

eine feste Parallelstellung der Augenaxen zu bewahren, welche bei dem gezeichneten Apparate für manche Augen schwer ausführbar schien ¹⁾).

VII. *Ueber die Bestimmung des galvanischen Leitungswiderstandes;*
von Dr. H. W. Schröder van der Kolk
in Maestricht.

1. Methode.

Fast nirgendwo findet man in der practischen Physik mehr aus einander laufende Resultate, als bei der Bestimmung der galvanischen Leitungsfähigkeit der Metalle, wovon man sich durch eine Vergleichung der neuesten Untersuchungen hinreichend überzeugen kann. So fanden z. B. für das Silber Lenz 136,25, Matthiessen 136,9 und Arndtsen 101,32, und für das Eisen die Werthe 17,74, 18,6 und 15,02, wobei der Widerstand des Kupfers = 100 gesetzt worden ist. Beim Aluminium fand Matthiessen 43,6 und Arndtsen 51 bis 57, und gleiche Unterschiede findet man für die verschiedenen Metalle bei allen Experimentatoren. Nicht viel besser kommen die Bestimmungen des Coëfficienten der Widerstandsveränderung bei Temperaturerhöhung unter einander überein. Da diese Unterschiede viel zu groß sind, um sich als Beobachtungsfehler erklären

1) Vorstehend beschriebene Instrumente werden in unserer Werkstatt für mathematische und physikalische Instrumente zu folgenden Preisen angefertigt:

Optometer nebst Stativ	15 Thlr.
dito ohne »	7 »
Ophthalmodiastimeter	4 »

Landsberg u. Parisius.

zu lassen, so hat es seinen Werth, genauer die Ursachen dieser Differenzen zu erforschen.

Diese können ihre Ursache haben:

- 1) in dem untersuchten Draht,
- 2) in der angewandten Methode.

Dafs die Ursache oft im Drahte selbst zu suchen ist, erhellt aus dem Umstande, dafs derselbe Experimentator bei zwei Drähten desselben Metalles zwei ganz verschiedene Resultate fand, wie z. B. Matthiessen bei Kupfer.

No. 1 77,43

No. 2 72,06

No. 3 30,63.

Zuerst kommt hier die chemische Beschaffenheit in Betracht, deren Einfluß Pouillet und Matthiessen hinreichend nachgewiesen haben.

Zweitens ist die physische Constitution zu erwähnen. Diefs war schon sehr wahrscheinlich geworden durch die Untersuchungen Thomson's ¹⁾, der z. B. bei angeblich chemisch reinen Kupferdrähten die Widerstände 100; 96,1; 90,5 und 54,9 fand, und sogar von zwei Kupferdrähten spricht, deren Widerstände sich verhielten wie 7 : 22.

Ebenso fand Weber für den Widerstand in absoluten Einheiten:

Jacobi's Draht	2310,000
Kirchhoff's Draht	1916,000
Weber's Draht	1865,600
Galvanoplastisch niedergeschlagenes Kupfer	1684,000.

Dieser Einfluß war aber nicht mehr zu bezweifeln, da man fand, dafs Metalle nach Erwärmung einen anderen Leitungswiderstand zeigen, was z. B. Müller und Becquerel beobachtet haben. Letzterer fand sogar beim Silber eine Zunahme von 7 Proc., und wiewohl die Veränderung oft geringer war, beobachtete er immer eine Zu-, niemals eine Abnahme des Leitungswiderstandes. Hieraus ist abzuleiten, dafs starke galvanische Ströme, die den Draht merkbar erhitzen, auch dessen Leitungswiderstand verändern.

1) *Phil. Mag. Ser. IV, T. 15. p. 472.*

Später zeigte **Wartmann** noch den Einfluß des Druckes auf die Conductibilität.

Aus diesen Betrachtungen folgt also, daß die Leitungsfähigkeit von der chemischen und physischen Beschaffenheit der Drähte abhängig ist.

Da die physische Constitution jedoch sehr veränderlich ist, kann man demzufolge nicht viel mehr annehmen, als daß eine Widerstandsbestimmung bei Metallen, das Quecksilber ausgenommen, nur gültig ist für den untersuchten Draht, in der Voraussetzung, daß dieser keinen starken Einflüssen unterworfen worden sey. Im Allgemeinen haben also Widerstandsbestimmungen der verschiedenen Metalle wenig Werth.

Auf die erhaltenen Resultate ist natürlich von großem Einfluß die Wahl der Methoden. Man kann diese im Allgemeinen in zwei Classen theilen:

- 1) wo der Widerstand verglichen wird mit einem andern Widerstand,
- 2) wo man diese aus Veränderungen der Stromstärke bestimmt.

In die erste Classe gehört die Methode, wo der Strom nach Herausnahme des Widerstandes, z. B. durch einen Rheostat, auf die vorige Intensität zurückgebracht wird, die Differentialmethode und die **Wheatstone'sche**, später von **Kirchhoff** und **Matthiessen** modificirte Drahtcombination.

Bei dieser Methode wird der Widerstand immer durch einen anderen gemessen, wofür gewöhnlich ein Rheostat angewandt wurde. Aber schon in seiner Construction hat dieses Instrument viele Mängel, wie zum Beispiel der schleifende Contact der Feder, der nicht zu stark seyn darf; die oft unvollkommene Berührung zwischen der Spirale und dem kupfernen Cylinder, vorzüglich wenn dieser nicht ganz rein ist; das allmähliche Verlängern des Drahtes u. s. w., weshalb auch schon **Jacobi** eine andere Einrichtung vorschlug und **Becquerel**, **Kirchhoff** und Andere eine sogenannte Widerstandsbank anwandten. Indessen wurde der

Rheostat in letzterer Zeit von Hrn. Arndtsen und Willibald Schmidt wieder angewandt. Ueberdies beruht alles auf der Proportionalität zwischen Länge und Widerstand, was in der Praxis schwer zu erreichen ist, da man sich niemals weder auf die gleiche Dicke, noch auf die gleiche Conductibilität des Drahtes verlassen kann. Zwar kann man successive Abschnitte des Drahtes mit einem Etalon vergleichen, wie z. B. Willibald Schmidt ¹⁾ der diesen Widerstand successive den Drahtlängen 1135, 1155, 1125, 1150, 1135, 1140 gleich fand, wo also noch Differenzen von $\frac{1}{35}$ vorkommen. Jedenfalls bleibt es aber unmöglich, diese Correction genau anzubringen, da man den Draht zwar in mehrere gleiche Theile theilen kann, aber nichts desto weniger ganz ungewiß bleibt hinsichtlich der gleichen Conductibilität in jedem Abschnitte.

Demzufolge sind die Methoden, wo der Widerstand durch die Stromstärke gemessen wird, denen der ersten Classe bei Weitem vorzuziehen, da man diese Stärke mit großer Genauigkeit messen kann. Hiemit haben vorzüglich Hr. Lenz und Hr. Weber sich beschäftigt, die beide Inductionsströme, welche immer in nahe gleicher Gröfse hervorgebracht werden können, angewandt haben.

In den elektrodynamischen Maafsbestimmungen sind bekanntlich die beiden Weber'schen Methoden, die Multiplications- und die Zurückwerfungsmethode, beschrieben, welche letztere bei der Vergleichung der Leipziger Etalons angewandt worden ist.

Wiewohl diese Methode theoretisch allen Anforderungen entspricht, hat sie doch in practischer Hinsicht ihre Beschwerden, unter welche vorzüglich die sehr langwierige Rechnung zu zählen ist. Bei dem seltenen Falle einer Vergleichung der Etalons ist diese Schwierigkeit weniger erheblich, bei einer nur etwas ausgebreiteten Reihe von Widerstandsmessungen wird dieser Mangel hingegen sehr fühlbar. Deshalb wurde bei den weiter unten beschriebenen Bestim-

1) Pogg. Ann. Bd. 107, S. 539.

mungen statt der Weber'schen eine andere mir von Dr. J. Boscha mitgetheilte Methode angewandt.

Diese beruht auf dem folgenden Principe: Man theilt einen Strom in zwei Zweige, deren Widerstände a und b (Fig. 10 Taf. II) sind, dann ist die Relation der Intensitäten in b und d^1) $= \frac{a}{a+b}$.

Nennt man den Hauptstrom J , so ist demzufolge die Stromstärke in b

$$i = \frac{a}{a+b} J \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a).$$

Vergrößert man den Widerstand in b , so wird, wenn J dieselbe bleibt, i abnehmen; man kann aber auf vielfache Weise, z. B. durch Verringerung des Widerstandes in d , J dergestalt zunehmen lassen, daß i , trotz der Vergrößerung von b , seinen Werth behält. Sey m die Zunahme von b , und J' der Werth, welchen man der Stromstärke im Hauptzweige geben muß, um i auf seinen Werth zurückzubringen, so ist

$$i = \frac{a}{a+b+m} J' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

oder in Verbindung mit (a)

$$\frac{a}{a+b} J = \frac{a}{a+b+m} J'$$

und

$$\frac{m}{a+b} = \frac{J'}{J} - 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c).$$

Die Relation $\frac{m}{a+b}$ läßt sich demzufolge bestimmen, wenn J und J' mittelst einer Tangentenbussole gemessen werden, und sich in b ein Galvanometer befindet, das aber nur der Bedingung bei gleicher Intensität gleiche Abweichung zu geben, zu entsprechen braucht. Ebenso hat man bei Einschaltung eines anderen Widerstandes m'

$$\frac{m'}{a+b} = \frac{J'}{J} - 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (d).$$

Aus (c) und (d) findet man dann

- 1) In der Figur ist der Widerstand des Hauptstromes irrtümlich auch mit a bezeichnet. (P.)

$$\frac{m'}{m} = \frac{\frac{J''}{J} - 1}{\frac{J'}{J} - 1} = \frac{J'' - J}{J' - J} \cdot \cdot \cdot \cdot (e).$$

Mittelst dieser Methode kann man also leicht den Quotient zweier Widerstände bestimmen. Es ist leicht einzusehen, daß die Methode desto genauere Resultate geben wird, je mehr J' und J'' von J verschieden sind, oder mit andern Worten, je größer m ist im Verhältniß zu b . Da die empfindlichen Rheoskope aber meistens einen großen Widerstand besitzen, bekommt b schon hierdurch einen großen Werth, und die Methode würde also nur bei der Anwendung sehr großer Widerstände ihre Anwendung finden können.

Dieser Schwierigkeit ist aber leicht abzuhelpen durch eine zweite Nebenschließung in f Fig. 11 Taf. II. Sey der Widerstand zwischen e und g , zusammen mit dem zwischen c und h , gleich p , der des Multiplicators M gleich g , so ist der Quotient ohne Nebenschließung in f

$$\frac{J'}{J} - 1 = \frac{m}{a + p + g}.$$

Ist diese aber angebracht, so erhält man statt des großen Widerstandes g , den Werth $\frac{fg}{f+g}$, welcher, wenn g groß ist in Vergleichung mit f , gleich f gesetzt werden kann. Man hat also

$$\frac{J'}{J} - 1 = \frac{m}{a + p + f},$$

und diesen letzten Widerstand kann man immer hinreichend verringern, um dem Quotienten einen großen Werth zu geben.

Meistens wird es unmöglich seyn, bei den beiden Bestimmungen, aus welchen der Quotient $\frac{m}{a+b}$ berechnet wird, die Stromstärke im Multiplicator auf genau gleiche Größe zu halten. Man kann aber leicht kleine Differenzen beibehalten, und annehmen, daß die Stromstärke im Multiplicator bei diesen geringen Unterschieden den Ablesungen

direct proportional sey. Um also die Bestimmungen auf gleiche Stromstärke zu reduciren, müssen die corrigirten Ablesungen der Tangentenbussole durch die des Multipliers dividirt werden.

Das Galvanometer, wodurch J , J' und J'' bestimmt werden, muß mit großer Genauigkeit die Intensitäten angeben, was bei den andern nicht erforderlich ist, da dieses Instrument stets nahezu gleiche Ablesungen giebt.

Noch ist zu bemerken, daß auch hier bei nahe gleicher Größe der beiden Widerstände, die Genauigkeit der Methode sehr zunimmt. Man subtrahirt J von J' und J'' , und je mehr diese übereinkommen, desto geringeren Einfluß werden Fehler in J auf den Quotienten ausüben. Sind sie einander gleich, so verschwindet dieser Einfluß völlig.

Im Allgemeinen muß jede Methode von Widerstandsmessung folgenden drei Bedingungen genügen:

1. Der Widerstand muß bestimmt werden durch die Stromstärke.

2. Die Bestimmung muß unabhängig seyn von den Stromschwankungen, welche während der Bestimmung durch Veränderungen im Elektromotor verursacht werden.

3. Der Strom muß so schwach seyn, daß man keine merkliche Wärmezunahme und daraus folgende Widerstandsveränderung zu befürchten hat. Die Weber'sche Methode und die hier beschriebene genügen beide der ersten Bedingung und verdienen deswegen den Vorzug vor allen Methoden der ersten Gattung.

Der zweiten wird genügt durch die gleichzeitige Ablesung des Multipliers und der Tangentenbussole. Eine Stromschwankung wird demzufolge zugleich angezeigt und in Rechnung gebracht. Bei der Weber'schen war die elektromotorische Kraft constant, da hier Inductionsströme angewandt wurden. Der dritten Bedingung entsprechen beide, da man bei den zwei Methoden den Strom beliebig schwächen kann.

In dieser Hinsicht sind beide Methoden als von gleichem Werth zu betrachten. In dem Folgenden hoffen wir aber

zu zeigen, daß die Bosccha'sche Methode in practischer Hinsicht einige Vorzüge besitze.

2. Einrichtung der Versuche.

Die Instrumente waren aufgestellt im Sectionszimmer der Anatomie zu Utrecht.

Der Strom eines Daniell'schen Elementes *B* (Fig. 12, Taf. II) durchlief erst die Windungen der Tangentenbussole *T*, deren Abweichungen mittelst Fernrohr und Scale in *K* bestimmt wurden. Mittelst des Commutators konnte man den Strom auch in entgegengesetzter Richtung durch die Bussole leiten. In *D* verzweigte sich der Strom; ein Theil ging direct nach *E*, der andere dagegen nach dem Multiplicator *M* (Ablesung mittelst Fernrohr und Scale in *L*) durchlief in *R* den zu untersuchenden Widerstand, um nach Vereinigung mit *DE* in *E*, nach *B* zurückzukehren.

In *ON* war ein Nebenzweig angebracht, da die Methode sonst, des großen Widerstandes in *M* wegen, zu ungenaue Resultate geben würde. In Vergleichung mit Fig. 11 ersieht man, daß *B*, *T*, *M* und *R* ihre Bedeutung beibehalten, indem *ec* durch *ED* und *gh* durch *ON* vertreten ist. *W* ist ein Regulator, um die Stromstärke in *M* immer auf gleichen Werth zurückzubringen. Um die Nadel der Tangentenbussole schnell zu beruhigen, war in *P* eine kupferne Spirale aufgestellt worden, durch welche man den Strom der Batterie *Q* mittelst des Commutators *S* in beiden Richtungen führen konnte. Man hatte also eine Ampère'sche Solenoïde, welche die Nadel nach Belieben anzog oder abstiefs.

Die ganze Bestimmung bestand demgemäß in den Ablesungen der beiden Galvanometer. Da man dem Multiplicator *M* stets nahezu gleiche Abweichung gab, war hier keine Correction an den Ablesungen anzubringen, welche den kleinen noch übrig bleibenden Differenzen der Stromstärke proportional zu setzen waren. Das Fernrohr *L* hatte eine 30malige Vergrößerung, und die Scale war ein in Millimeter getheiltes Metermaafs.

Aus den Ablesungen der Tangentenbussole T' mußte man aber mit der größten Genauigkeit die Stromstärke berechnen können, da hieraus der Quotient der Widerstände abgeleitet wurde.

Das Instrument war vom Mechanikus Olland in Utrecht verfertigt und zwar mit vieler Sorgfalt. Es bestand in einer Tangentenbussole, worin die mit einem Glasspiegel versehene Nadel an einem Coconfaden aufgehängt war. Die Nadel war durch einen sie umgebenden Glaskasten vor Luftströmungen geschützt. Die Dimensionen waren:

Durchmesser der Windungen	600 ^{mm}
Anzahl der Windungen	10
Dicke der Drähte	2
Länge der Nadel	40
Dicke des Spiegelglases	3,6
Dicke der Glasplatte	2,0
Distanz der Scale vom Spiegel	2240.

Die Ablesung geschah mittelst eines Fernrohrs mit 58maliger Vergrößerung und einer 12 Decimeter langen in halbe Millimeter getheilten Scale. Zehntel dieser Abtheilungen wurden geschätzt, und da man also $\frac{1}{1000}$ der Länge oder $\frac{1}{100}$ Millimeter bestimmte, mußten alle Correctionen, welche diese Größe überschritten, berechnet werden.

Diese Correctionen waren folgende:

1. Die Tangenten der doppelten Winkel mußten auf die der einfachen Winkel reducirt werden mittelst der Formel

$$d = e \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{8} \frac{e^2}{a^2} + \frac{1}{16} \frac{e^4}{a^4} \dots \dots \right)$$

wo a die Distanz zwischen Spiegel und Scale, e die wahrgenommene, d die corrigirte Ablesung in Scalentheilen bedeutet.

Die Correction $-\frac{1}{8} \frac{e^2}{a^2}$ wurde sogleich an den Beobachtungen angebracht.

2. Das folgende Glied der Reihe $\frac{1}{16} \frac{e^5}{a^4}$.

3. Die Stromstärke ist den Tangenten der Abweichungen nicht genau proportional.

Da die Windungen eine merkliche Breite hatten, wurde die von Bosccha integrierte Bravais'sche Formel angewandt.

Bei der Bravais'schen Formel sind die höheren Potenzen des Quotienten $\frac{e}{R}$ vernachlässigt, deren Einfluss auf das Resultat sich bei der Berechnung als unmerkbar ergab.

4. Bei der Anwendung eines Glasspiegels wird der Strahl parallel mit sich selbst verrückt, welche Verschiebung von der Dicke und dem Brechungsquotienten des Glases abhängt.

Sey p die Dicke des Glases,

n der Brechungsquotient, so ist die Correction

$$= p \frac{e}{a} \left(\frac{n-1}{n} + \frac{n^3-1}{8n^3} \frac{e^2}{a^2} \right),$$

wo e und a ihre frühere Bedeutung besitzen.

5. Ebenso wurde der Strahl von der vor der Nadel aufgestellten Glasplatte verrückt.

Sey p wieder die Dicke, n der Brechungsquotient, so ist

$$\text{Corr.} = p \frac{e}{2a} \left(\frac{n-1}{n} - \frac{2n^3-3n^2+1}{2n^3} \frac{e^2}{4a^2} \right)$$

6. Bei der Berechnung des Einflusses einer etwaigen prismatischen Form des Glasspiegels, ergab sich, dass dieser Fehler eliminirt wird durch Ablesungen an beiden Seiten des Nullpunktes.

7. Der Einfluss der Torsion kann $= 0$ betrachtet werden, da man diese als den Ausschlägen genau proportional betrachten kann.

8. Die Aufstellung von Fernrohr und Scale geschah auf folgende Weise.

Man bestimmte den Punkt der Scale, der gerade unter die Axe des Fernrohrs zu liegen kam, und stellte letzteres

so, daß dieser vom Spiegel reflectirte Punkt mit dem in der Mitte des Feldes aufgespannten Faden zusammenfiel. Nun mußte die Scale noch senkrecht auf die Axe des Fernrohrs gestellt werden, was man leicht auf folgende Weise erreichen kann.

Man befestige in *J* Fig. 13 Taf. II ein kleines Stück Spiegelglas gerade unter der Axe des Fernrohrs. Nachdem dieses senkrecht auf den Spiegel gestellt ist, wird in *O* ein Draht dergestalt aufgehängt, daß sein im Spiegel reflectirtes Bild mit dem Faden des Fernrohrs zusammenfällt. Der Faden wird aber auch vom Spiegel der Scale nach *OIGH* reflectirt, und nur wenn beide Spiegelflächen einander genau parallel sind, werden beide Bilder zusammenfallen. Man hat also nur die Scale zu verdrehen, bis dies eintritt. Da hier aber der Parallelismus zwischen Spiegel und Scale vorausgesetzt wird, muß die Scale ganz flach seyn, und übrigens läßt sich der Fehler eliminiren bei Wiederholung der Beobachtung bei umgelegter Lage des Spiegels. Statt des Drahtes kann man bisweilen mit Vortheil eine Flamme anwenden.

Auf diese Weise waren alle Correctionen, welche bei einer Bestimmung des Quotienten der Intensitäten in Betracht kommen, und von welchen die drei letzten unmerklich sind, berechnet.

Die erste wurde für jede Beobachtung besonders berechnet.

Die übrigen vier wurden für 100 bis 100^{mm} im Voraus berechnet. Man fand somit folgende Tabelle, deren Correctionen in Millimeter angegeben sind.

Abl. Unt.	Corr. No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.	Summe
1200	+ 0,77	+ 0,36	+ 0,73	+ 0,20	+ 2,06
1000	0,31	0,21	0,60	0,16	1,28
800	0,10	0,10	0,48	0,13	0,81
600	0,02	0,04	0,36	0,10	0,52
400	0,00	0,01	0,24	0,07	0,32
200	0,00	0,00	0,12	0,03	0,15

Hieraus erhellt, daß diese Correctionen nicht zu vernachlässigen sind, da man sie bei der Tangentenbussole $\frac{1}{\pi} \sigma^{\text{mm}}$ schätzen kann.

Die Beobachtung geschah nun auf folgende Art:

Nachdem der Nullpunkt des Multipliers bestimmt war, wurde der Strom geschlossen, und beide Galvanometer nach Beruhigung der Nadel zugleich abgelesen, was sogleich bei entgegengesetztem Ausschlag der Tangentenbussole wiederholt wurde. Zuletzt wurde der Strom geöffnet und der Nullpunkt des Multipliers nochmals bestimmt. Diefes wurde nun bei Einschaltung eines andern Widerstandes wiederholt, wobei die Ablesungen des Multipliers immer möglich gleich gehalten wurden.

An den Differenzen der beiden Ablesungen der Tangentenbussole wurden nun erst Correction 1 und darauf die aus der Tabelle angebracht. Der Quotient, nach Division dieser Zahlen durch die der Multiplikatorablesungen, wurde der Stromstärke proportional gesetzt.

Sey J' ihre Stromstärke bei Einschaltung des Etalons

J''	"	"	"	"	der Copie
J'''	"	"	"	"	von beiden hin-
					ter einander
J''''	"	"	"	"	von beiden ne-
					ben einander

m der Widerstand des Etalons

n " " der Copie,

so folgt aus der oben gefundenen Formel

$$\frac{m}{n} = \frac{J''' - J'}{J'' - J'''} \quad \text{und} \quad \frac{m}{n} = \sqrt{\frac{J'' - J'''}{J' - J''''}}$$

Bei dem hier mitgetheilten Beispiel sind alle Angaben in Millimeter.

Vergleichung von Copie No. 2 und No. 3 am 11. Aug.
No. 3 und No. 2 hinter einander.

Multiplicator.		
Nullpunkt	Abweichung	
166,60	607,2	} 607,55
	607,9	
164,05	606,1	} 606,10
	606,1	
<u>165,32</u>		606,82
		<u>165,32</u>
		441,50

Tangentenbussole.		
1140,50	} 1140,60 Corr. No. 1.	1051,70
1140,70		<u>14,39</u>
1140,50		1037,31
88,85	} 88,90 Uebrig. Corr.	<u>1,41</u>
88,75		
89,00		
		<u>1038,72</u>
		1051,70

$$J'' = \frac{1038,72}{441,50} = 2,35273 \text{ (log. 0,37157).}$$

Man fand ebenso

$$J' = 1,50257$$

$$J'' = 1,53887$$

$$J''' = 2,35273$$

$$J^{iv} = 1,10310$$

$$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}} = \frac{J''' - J'}{J^{iv} - J'} = \frac{0,85016}{0,81386} = 1,04460$$

$$= \sqrt{\frac{J'' - J^{iv}}{J' - J^{iv}}} = \frac{0,43577}{0,39947} = 1,04447$$

$$\text{Im Mittel} = 1,04453$$

Die Rechnung wird noch viel erleichtert durch Anwendung der Gauss'schen Logarithmen, da bei der Berechnung J' , J'' , J''' und J^{iv} stets in Logarithmen bekannt sind.

3. Untersuchung der Etalons.

Da man bei dieser Methode eines constanten Widerstandes bedarf, so war mein erster Zweck, nachdem die Instrumente aufgestellt waren, die Leipziger Copien in dieser Hinsicht zu untersuchen. Es versteht sich, daß diese nur bei schwachen Strömen anzuwenden sind, bei längerem Gebrauche hatte Hr. Quintus Icilius in diesem Falle dennoch bei Kupfer- und Platinadrähten eine Widerstandszunahme gefunden. Liefs sich schon hieraus ableiten, daß man sich nicht unbedingt auf die Leipziger Copien verlassen konnte, so war weiter noch folgender Einwand zu machen. Für jede Copie werden zwar die Beobachtungen mitgetheilt, durch welche sie mit dem Leipziger Standard-Etalon verglichen wurde, aber niemals die Temperatur, wobei dieß geschah. Haben beide Copien gleichen Coëfficienten für die Widerstandszunahme bei Temperaturerhöhung, so ist diese zwar ohne Einfluß auf ihr Verhältniß; da jedoch der Widerstand der Kupferdrähte sehr verschieden seyn kann, läßt sich dieß *a priori* nicht behaupten, und um so weniger, da der Jacobi'sche Etalon von Kupfer und die Copien von Messing sind. Die Zahl, welche den absoluten Widerstand einer Copie angiebt, gilt also nur bei einer bestimmten Temperatur, und ist für jede andere zu groß oder zu klein, und da weder diese Temperatur, noch dieser Coëfficient bei den Copien bekannt ist, so bleibt es unmöglich, diese Correction anzubringen.

Dieser Fehler ist nicht zu vernachlässigen. Gesetzt man habe einen Kupferdraht und einen von Messing von genau gleichem Widerstand bei 25° gefunden, und

$$z. B. = 19000 \cdot 10^7 \frac{\text{mill.}}{\text{sec.}}$$

so werden diese bei 15°, wenn man nach Arndtsen für Kupfer den Coëfficienten 0,0036 und für Messing 0,0016 annimmt,

$$\begin{array}{rcl}
 \text{der Kupferdraht} & = & 18342 \ 10^7 \\
 \text{der Messingdraht} & = & 10702 \ 10^7 \\
 \text{Unterschied} & = & 360 \ 10^7,
 \end{array}$$

d. i. nahe $\frac{1}{50}$ des ganzen Werthes.

Um aber die Veränderlichkeit der Copien mittelst dieser Methode zu untersuchen, wurden Copie No. 3 aus Leyden mit Copie No. 2 aus Utrecht unter einander verglichen. Von diesen war die erste oft, die zweite noch nicht gebraucht worden.

Nach den Leipziger Angaben war:

$$\text{Widerstand der Leyden'schen Copie No. 3} = 60717 \ 10^5$$

$$\text{„ der Utrecht'schen „ No. 2} = 60158 \ 10^5$$

also

$$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}} = 1,00929.$$

Die directen Vergleichen am 28. und 29. Juni ergaben

$$28. \text{ Juni} \quad 1,0777$$

$$29. \text{ „} \quad 1. \text{ Ser. } 1,0762$$

$$2. \text{ Ser. } 1,0742$$

$$\text{Im Mittel } \frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}} = 1,07603$$

Dieser Unterschied läßt sich unmöglich durch Beobachtungsfehler erklären, und zeigt also, daß die Leyden'sche Copie No. 3 durch den Gebrauch sehr an Widerstand zugenommen hat.

Diese Zunahme wurde noch von anderen Beobachtungen angedeutet. Wiederholt war mit der Leydner Copie die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes bestimmt. So fand Bosccha vor einigen Jahren, bei Anwendung der Leipziger Angaben,

$$e = 10258 \ 10^7$$

$$\text{Im Oct. 1858 fand ich} \quad 9233 \ 10^7$$

$$\text{Im Nov. 1859 „ Bosccha} \quad 10008 \ 10^7,$$

welche Differenzen sich nur aus Veränderungen der Copien erklären lassen, da die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes gewiß für constant zu halten ist.

War es demzufolge ausgemacht, daß die Copien auf

die Dauer ihren Widerstand ändern, so wunderte mich dennoch, daß die Uebereinstimmung der Resultate vom 28. und 29. Juni nicht gröfser war, da die Methode zweifelsohne eine gröfsere Genauigkeit zuläfst. So lange aber nur zwei Copien verglichen wurden, war es unmöglich zu ermitteln, ob diese Unterschiede den Beobachtungsfehlern oder Widerstandsänderungen zuzuschreiben waren. Bald aber ergab sich die Gelegenheit die Untersuchungen an Copie 5, welche dem Deventer'schen physikalischen Cabinet gehört, fortzusetzen.

Man konnte nun unter einander die drei folgenden Copien vergleichen:

Copie No. 3 aus Leyden	60717	10 ⁵	mill. sec.
" No. 2 " Utrecht	60158	10 ⁵	
" No. 5 " Deventer	59440	10 ⁵	nach den

Leipziger Angaben.

Erst wurde No. 3 mit No. 2 verglichen, wobei successive jede allein, beide hinter und nebeneinander in die Leitung gebracht wurden. Auf gleiche Art wurde No. 3 mit No. 5 und No. 5 mit No. 2 verglichen. Eine vollständige Bestimmung bestand demgemäfs aus zwölf Beobachtungen. Man hat hiebei den grofsen Vortheil die Genauigkeit der Beobachtungen controliren zu können, da das Verhältnifs zwischen den drei Copien, deren Widerstände am meisten verschieden waren, immer dem Producte der beiden andern gleich seyn mufste.

Es ergaben sich folgende Quotienten:

1859.	$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}}$	$\frac{\text{No. 2}}{\text{No. 5}}$	$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 5}}$	$\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}} \times \frac{\text{No. 2}}{\text{No. 5}}$	Controle
Nach Leipz. Ang.	1,00930	1,01207	1,02149		
11 Aug. Vorm.	1,04453	1,00302	1,04769	1,04767	0,00002
" Nachm.	1,04308	1,00307	1,04567	1,04627	0,00060
12 "	1,04162	1,00161	1,04354	1,04329	0,00025
17 "	1,04033	1,00428	1,04516	1,04470	0,00046
25 "	1,04004	0,98872	1,02842	1,02831	0,00011

Aus diesen Beobachtungen kann man ableiten, daß der Widerstand des Kupfers eine sehr veränderliche Gröfse

ist, und sogar von schwachen Strömen in kurzer Zeit verändert wird. Diese Veränderlichkeit erreichte zwar selten $\frac{1}{100}$ des ganzen Werths, weshalb sie auch bei Anwendung der früheren wenig genauen Methoden unbemerkt bleiben mußte; wo man aber, der Controle gemäß, wenigstens auf $\frac{1}{1000}$ gewiß ist, kann man eine Differenz von $\frac{1}{100}$ nicht länger Beobachtungsfehlern zuschreiben.

Man ist dann wohl genöthigt diese Ursache in einer veränderten molecularen Constitution zu suchen; den Temperaturveränderungen ist sie keineswegs zuzuschreiben, da diese nahe Null waren.

Die Zunahme der Leydener Copie No. 3 ergibt sich sowohl aus der Vergleichung mit No. 2 als mit No. 5. Schwer ist es aber insbesondere die Veränderungen der Copien anzugeben, da man sie dazu mit völlig constanten Widerständen hätte vergleichen müssen, und hier nur Verhältnisse bestimmt worden sind, deren Veränderungen sowohl in der einen als in der anderen Copie liegen kann. Das regelmäßige Abnehmen der Verhältnisse $\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 2}}$ und $\frac{\text{No. 3}}{\text{No. 5}}$ zeigt aber, daß No. 2 und No. 5, die beide nicht oder wenig gebraucht waren, eine größere Widerstandszunahme erfuhren als No. 3, die früher schon viel stärker exponirt worden war.

Von dieser letzten No. 3 kann ich noch Folgendes bemerken.

Der Widerstand ist nach Leipziger Angabe	60717 10 ⁵ <small>Mill. sec.</small>
Bestimmung Oct. 1858	68736 10 ⁵
Nach Vergleichung mit der Utrechter Copie	
No. 2, welche als unverändert betrachtet	
wurde, Juni 1859	64748 10 ⁵
Nach Vergleichung mit der Deventer Copie	
No. 5, welche als unverändert betrachtet	
wurde, 11. August 1859	62260 10 ⁵
No. 3 war an diesem Tage auch mit der	
Utr. Copie verglichen; da diese aber seit	

Juni viel gebraucht worden, konnte man sich auf sie weniger verlassen.

Bestimmung 4. November 1859	61760	} 62240 10 ⁴
„ 5. „ „	62720	

Hieraus scheint zu folgen, daß die Leydener Copie No. 3, nachdem sie erst durch starke Ströme von 8 bis 10 Daniell'sche Elemente sehr an Widerstand zugenommen hatte, allmählich zu dem vorigen Betrage zurückkehrte. Von Juni bis August hat sich der Widerstand viel, und von August bis November nur wenig geändert, wovon die Ursache vielleicht in dem Umstande zu suchen ist, daß die Copie von Juni bis August fast nicht, und von August bis November oft angewandt worden ist.

Hatte man also schon früher gefunden, daß man sich auf die Dauer nicht auf die Leipziger Copie verlassen konnte, so folgt aus diesen Bestimmungen, daß sie sogar zu veränderlich sind, um bei einer Methode, die leicht eine Genauigkeit von $\frac{1}{10000}$ zuläßt, angewandt werden zu können.

Ohne Zweifel ist die Genauigkeit aber weiter zu führen, da man unter ziemlich ungünstigen Umständen beobachten mußte. Die Galvanometer konnten nicht auf isolirten Stativen aufgestellt werden, und wurden häufig gestört von vorbeifahrenden Wagen, da das Local mitten in der Stadt gelegen war. In dessen Nähe wurde oft gezimmert, und überdiß machten viele magnetische Störungen, vorzüglich im September, den Nullpunkt oft sehr ungewiß. Dieser wurde immer vor und nach dem Schließen des Stromes abgelesen, und wenn eine Differenz sich ergab, wurde das Mittel genommen. Nichts versicherte aber, daß die Nadel sich regelmäfsig fortbewegt hatte, und war dieses nicht der Fall, so wurde immer ein fehlerhafter Nullpunkt eingeführt.

Hat man dagegen ganz feste Stative, empfindliche Galvanometer und starke Fernröhre, so würde diese Methode vielleicht ohne Schwierigkeit eine Genauigkeit von $\frac{1}{10000}$ erreichen lassen. Vorthailhaft ist es dann aber, den Strom nicht nur in der Tangentenbussole, sondern in der ganzen Leitung umzukehren, da man dann auch für den Multipli.

cator doppelte Ausschläge erhält, und Veränderungen des Nullpunkts größtentheils eliminiert werden, die man übrigens durch Anwendung eines dritten Magnetometers ganz herauschaffen könnte.

Vergleicht man hiermit die Weber'sche Methode, so wird diese keineswegs eine größere Genauigkeit gewähren können. Diese hängt ab von den Ablesungen, für welche man zwar bei beiden Methoden gleiche Scale und Fernröhre anwenden kann, die jedoch bei der beschriebenen Methode Beziehung haben auf die ruhende Nadel, während bei der anderen Methode Elongationen der Schwingungen abgelesen werden, was gewiß nicht mit gleicher Genauigkeit geschehen kann. Aus den Beobachtungen selbst sind die Methoden nicht zu vergleichen, da eine Vergleichung zwischen den Copien, wie die mitgetheilte, bei der Weber'schen Methode nicht vorlag.

Zwar kommen die zwei Zahlen aus je drei der vier Bestimmungen bei beiden Methoden immer sehr gut überein, aber dieß ist nur ein sehr schwacher Beweis. Von den drei gegebenen Größen sind in beiden Fällen zwei dieselben, und ein Fehler in diesen zwei Bestimmungen ist also ganz ohne Einfluß. Ferner ist es leicht einzusehen, daß ein Fehler in den zwei anderen einen nur sehr geringen Einfluß auf das Resultat haben wird, sogar einen ganz verschwindenden, wenn beide Widerstände einander gleich sind. Wiewohl immer nur schwache Ströme angewandt wurden, war es dennoch der großen Genauigkeit wegen, welche die Methode gewähren kann, der Mühe werth, den Einfluß der vom Strome entwickelten Wärme zu untersuchen. Es stellte sich aber heraus, daß diese bei nahe gleicher Größe der zwei untersuchten Widerstände ganz unmerklich ist, und daß es nur im Falle, wenn diese sehr verschieden sind, vorthellhaft seyn kann den Zweig *a* Fig. 10 Taf. II in ein Wasserbad zu stellen, um zu große Wärmezunahme zu verhindern. Durch den Strom werden zwar bei jedem Etalon Wärme und Widerstand etwas steigen; macht man den Strom aber immer von gleicher Größe und Dauer, so

wird auch diese Zunahme constant bleiben. Da diese und alle übrigen Correctionen, so wie die beschriebenen Resultate hier nur im Auszuge mitgetheilt sind, so muß ich für die weitem Details auf meine Dissertation hinweisen.

4. Untersuchung des Quecksilbers.

Die im vorigen Abschnitte mitgetheilten Resultate zeigen, daß bei den Leipziger Etalons auf keinen constanten Widerstand zu rechnen ist, und daß es demzufolge auch unmöglich ist, mittelst dieser Copien den absoluten Widerstand des Quecksilbers zu bestimmen. Für practische Zwecke ist dieß auch weniger nothwendig, da man nur eines constanten Widerstands bedarf, um zwei verschiedene Widerstände genau vergleichen zu können. Da nun Kupfer dieß nicht zu gewähren scheint, wollte ich Joule's Beispiel folgen und Etalons von Quecksilber anwenden, bei deren Gebrauch es aber höchst nothwendig war, den Coëfficient der Widerstandsverminderung bei Temperaturzunahme zu bestimmen, was der zweite Theil dieser Untersuchungen war.

Zu dieser Bestimmung mußte man den Widerstand einer Quecksilbersäule bei verschiedenen Temperaturen mit einem constantem Widerstand vergleichen und demzufolge hier sogleich Quecksilberetalons anwenden. Dieses Metall ist dem Kupfer für diese Zwecke ohne Zweifel vorzuziehen, da man hier keine Veränderungen der molecularen Constitution zu fürchten hat.

Diese Etalons bestanden aus zwei Barometerröhren, welche horizontal auf einem Brett befestigt wurden und deren Enden vertical umgebogen waren. In diesen wurden zwei eiserne Stäbchen von 8^{mm} Dicke befestigt, welche oben mit zwei kupfernen Schrauben versehen waren zur Aufnahme der Leitungsdrähte. Der obere Theil der eisernen Stäbchen war mit Firniß bestrichen, damit die Oberfläche des Contacts nicht zunehmende bei erhöhter Temperatur und Ausdehnung des Quecksilbers.

Die früheren Bestimmungen dieses Coëfficientes sind

Edm. Becquerel 0,001036

Müller 0,001045.

Diese stimmen zwar sehr gut überein; die geringe Uebereinstimmung ihrer übrigen Resultate mit denen Arndtsen's, der das Quecksilber nicht untersuchte, schwächt aber doch einigermaßen das Zutrauen zu diesen Angaben. Um so weniger war also eine neue Untersuchung für überflüssig zu halten, da dieser Coëfficient beim Gebrauche der Etalons seine Anwendung findet.

Hierzu wurde eine vielfach umgebogene, mit Quecksilber gefüllte Röhre in einem Wasserbade erhitzt, und sein Widerstand bei verschiedenen Temperaturen mit den Quecksilberetalons verglichen. Das Wasserbad war ein kupfernes Gefäß mit doppelter Wand, worin das mittelst einer Spiritusflamme erhitzte Wasser fortwährend in Bewegung gehalten wurde, um die Temperatur gleichmäfsig zu halten.

In den beiden Enden der Röhren befanden sich zwei eiserne Stäbchen, 4^{mm} dick, welche, ausgenommen an ihrem unteren Theile, mit Mastix bedeckt waren. Die freie Oberfläche des Eisens war also immer unter dem Quecksilberniveau, um eine Zunahme des Contacts bei der Ausdehnung des Quecksilbers zu verhindern. Die Stäbchen selbst waren oben in kupfernen Schrauben befestigt, die zugleich zur Aufnahme der Leitungsdrähte dienten.

Die Röhre war also abwechselnd in oder aus der Leitung, wenn die Leitungsdrähte zugleich oder vermittelt der Quecksilberröhre verbunden wurden. Dadurch wurde aber keineswegs der reine Widerstand der Säule gefunden, sondern vermehrt mit dem des Eisens und des Contactes. Deswegen wurde eine zweite Röhre von kürzerer Länge und größerem Durchmesser im Calorimeter neben der andern aufgehängt, und gleichfalls mit zwei eisernen Stäbchen versehen. Im Ganzen hatte man also vier eiserne Stäbchen, die sich aus dem Calorimeter erhoben.

Der galvanische Strom wurde nun entweder durch die eine oder die andere Röhre geleitet, wobei die gleiche Gröfse der vier eisernen Leiter erlaubte, deren Widerstand und den des Contacts in beiden Röhren einander als gleich zu betrachten. Der gefundene Widerstand bezieht sich dann

auf den Unterschied beider Röhren, und also auf eine von bestimmter Größe, deren Dimensionen man aber nicht zu kennen braucht, da nur das Verhältniß der Widerstände bei verschiedenen Temperaturen gesucht wird.

Zwei der eisernen Stäbchen einer jeden Röhre waren mittelst einer kupfernen Schraube unter einander verbunden, welche letztere zugleich zur Aufnahme einer der Leitungsdrähte diente. Diese Schließung blieb während der Bestimmungen unverändert. Die zwei andern waren aber jede mit einer Schraube versehen zur Aufnahme des andern Leitungsdrahtes, den man also nur aus der einen in die andere Schraube zu setzen hatte, um den Strom durch die lange oder kurze Quecksilbersäule zu führen.

In dem Calorimeter hingen zwei Thermometer, die öfters während der Beobachtung abgelesen wurden.

Ist nun der Widerstand gleich W bei 0° , und gleich W' bei t , so ist

$$W' = (1 + \alpha t) W,$$

wo α die Widerstandszunahme für einen Grad ist. Deshalb ist

$$\alpha = \left(\frac{W'}{W} - 1 \right) \frac{1}{t}.$$

Folgende Correctionen wurden nun angebracht:

1. Die Ausdehnung des Glases. Sey diese β , so findet man

$$\alpha t \approx \frac{W'}{W} - 1 + \frac{W'}{W} \beta t.$$

Für β wurde ein mittlerer Werth $= 0,0000085$ angewandt. Man hatte keine Gelegenheit diesen Coëfficient direct zu bestimmen, und der geringe Betrag der Correction macht auch eine größere Genauigkeit überflüssig.

2. Bei der Beobachtung wurde der Unterschied der Widerstände beider in den Calorimeter gestellten Röhren bestimmt, welche Differenz nur dann eine bestimmte Größe haben wird, wenn beide Quecksilbersäulen gleiche Temperatur haben. Da dieß gewöhnlich nicht ganz genau der Fall war, mußte eine Correction angebracht werden, welche

von den Dimensionen beider Röhren und ihrem Temperaturunterschied abhängt. Bei der Berechnung ergab sich diese als gering, und kam auch nur in einzelnen Fällen in Betracht.

3. Die Temperaturen wurden mittelst zwei Thermometer von Fastré No. 28 und No. 31 bestimmt, welche mit einer arbiträren Theilung versehen waren. Nach den Aufgaben Fastré's waren

	No. 28	No. 31.
Kochpunkt	568,2	617,2
Gefrierpunkt	93,5	146,5.

Bei einer wiederholten Bestimmung ergab sich

567,7	617,4
93,7	147,0,

welche Zahlen sehr gut mit den früheren übereinstimmen.

Noch mußte eine besondere Correction an den Beobachtungen angebracht werden, da die Thermometer sich ihrer Länge wegen immer theilweise aus dem Calorimeter erhoben.

4. Die Etalons, mit welchen die Calorimeterröhre verglichen wurde, mußten immer auf gleiche Temperatur reducirt werden. Sey W der Widerstand bei 0° , und W' bei t° , so ist

$$W' = W(1 + \alpha t) = W(1 + 0,0009 t).$$

Bei den Bestimmungen waren immer drei Beobachter erforderlich, einer für den Multiplicator, einer für die Tangentenbussole und einer für die Thermometer, welche drei Instrumente immer gleichzeitig abgelesen wurden. Die Correction No. 4 war meistens unmerkbar. Die Beobachtungen geschahen bei sehr auseinanderliegenden Temperaturen, da sonst die Beobachtungsfehler zu groß wären.

Als Beispiel theilen wir hier die Beobachtung vom 31. August mit.

Die Röhre wurde verglichen mit Etalon A.

Temp.	18° 14	63° 90	80,00
$\frac{C}{A}$	1,02341	1,06451	1,07602
Corr. No. 2 =		<u>2</u>	
		1,06453	

Temp.-Unt.	$\frac{W'}{W} - 1$	Glascorr.	αt	α
45° 76	0,04019	0,00034	0,04053	0,000885
61° 86	0,05140	0,00054	0,05194	0,000839

C bedeutet den Widerstand der Quecksilbersäule im Calorimeter, A den des Etalons. Diese Verhältnisse wurden auf die nämliche Art wie bei der Vergleichung der Copien bestimmt.

Auf gleiche Weise wurde der Coëfficient an den andern Tagen bestimmt, deren nähere Details, so wie die der Correctionen in meiner Dissertation beschrieben sind.

Man erhielt folgende Bestimmungen:

1859	Untere Temp.	Obere Temp.	Unterschied	Coëfficient	Anzahl d. Bestimm.	Gewicht
31. Aug.	18°,14	63,90	45,76	0,000885	2	3
»	»	80,00	61,86	0,000839	2	4
7. Sept.	8°,50	91,10	82,60	0,000831	2	5
»	15°,08	»	76,02	0,000827	2	5
»	7°,04	64,71	57,67	0,000889	2	2
»	»	89,77	82,73	0,000903	2	3
»	15°,37	64,71	49,34	0,000843	2	2
»	»	89,77	74,40	0,000872	2	3
8. »	16°,29	66,57	50,28	0,000845	3	5
12. »	2°,24	89,47	87,23	0,000868	6	3
»	2°,99	87,64	84,65	0,000877	4	11

Im Mittel $\alpha = 0,000860$ wobei die Gewichte in Betracht gezogen sind.

Diese letzteren sind folgender Weise berechnet. Da die Gewichte vom Temperaturunterschied der Beobachtungen, so wie von deren Anzahl abhängen, wurden diese beiden in einander multiplicirt, und von Zahlen, welche den Producten nahe proportional sind, ersetzt. Am 7. September wurden die Gewichte aber in zwei getheilt, da jede Beobachtung zweimal angewandt wurde bei der Vergleichung der Calorimeterröhre mit den beiden Etalons, und besondere Umstände nöthigten mich der ersten Beobachtung vom 12. September ein geringeres Gewicht beizulegen.

Aus diesen Bestimmungen scheint zu folgen, dafs die Angaben Becquerel's und Müller's zu grofs sind, und gleichfalls, dafs die von Clausius bei den Coëfficienten

der übrigen Metalle gefundene Uebereinstimmung, für das Quecksilber wenigstens nicht gültig ist.

Wenn man nun diesen Coëfficienten zur Reduction der Quecksilberetalons auf gleiche Temperatur in Anwendung bringt, wird man wahrscheinlich der Wahrheit ziemlich nahe kommen, da hier nur geringe Temperaturunterschiede vorkommen.

Als allgemeine Resultate kann man folgende aus diesen Bestimmungen ableiten:

1. Der Widerstand eines Metalldrahtes ist sowohl von seiner chemischen als physischen Constitution abhängig, und kann sogar in kurzer Zeit von schwachen Strömen verändert werden.

2. Die Methoden der Widerstandsbestimmung, wobei der eine Widerstand von dem andern gemessen wird, sind zu verwerfen.

3. Die Widerstände müssen gemessen werden durch die Stromstärke, welcher Bedingung die Weber'sche und die Bosc ha'sche Methode beide entsprechen. Der leichtern Ablesung wegen wird aber letztere eine größere Genauigkeit gewähren, und sie verdient auch deswegen in practischer Hinsicht den Vorzug, da bei ihr die Berechnung der Resultate viel kürzer ist.

4. Die Leipziger Copien können nicht als von constantem Widerstand betrachtet werden und es wäre vortheilhaft sie durch Quecksilberetalons zu ersetzen.

5. Der absolute Widerstand des Quecksilbers läßt sich schwerlich durch Vergleichung mit den Leipziger Copien bestimmen.

6. Der Coëfficient der Widerstandszunahme des Quecksilbers bei 1° Temperaturerhöhung kann vorläufig gleich 0,000860 gesetzt werden.

Februar 1860. ¹⁾)

1) Bemerken muß ich hier, daß dem Hrn. Verfasser, zur Zeit der Einsendung des vorstehenden Aufsatzes, die damals eben im Druck begriffene Arbeit des Hrn. Siemens (Seite I u. ff. dieses Bandes) noch nicht bekannt seyn konnte.