## V. *Ueber die elektrischen Ströme im getheilten Schliefsungsdrahte der Batterie; von K. W. Knochenhauer.*

Die Untersuchungen über den Nebenstrom bei der Entladung der Batterie, welche ich zuletzt mitgetheilt habe, machten eine Reihe von Versuchen über die Vertheilung der elektrischen Ströme in einem gespaltenen Schliefsungsdrahte nothwendig, da die bisher beobachteten Erscheinungen sich nicht unter das für den galvanischen Strom geltende Gesetz subsumiren liefsen. Ich habe jetzt diese Beobachtungen in hinreichender Anzahl angestellt, und werde in dem Folgenden den ganzen Hergang zunächst in den allgemeineren Umrissen darlegen, die specielleren Forschungen dagegen über die feineren Vorgänge einer späteren Zeit überlassen.

### 1. Der Apparat.

Zu den folgenden Beobachtungen wurde ein doppeltes Luftthermometer angewandt, bestehend aus zwei hohlen Glascylindern, die in gleich weite gut calibrirte Röhren ausgehen, woran sich im gleichen Niveau die zur Aufnahme der Flüssigkeit bestimmten Gefäfse befinden. Die beiden Cylinder sind oben mit Fassungen versehen und bekommen luftdicht schliefsende Deckel. Durch jeden von diesen geht ebenfalls luftdicht ein in einer Glasröhre eingeschlossener Kupferdraht, der aufsen eine Klemme trägt, und unten im Innern umgebogen ist, wieder mit einer Klemme am Ende. Ein zweiter kürzerer Kupferdraht, gleichfalls in einer Glasröhre, hat aufsen und innen eine Klemme. Zwischen den beiden inneren Klemmen wird der Platindraht ausgespannt, wogegen die äufseren zur Aufnahme neuer Drähte dienen. Die Skale,

in Par. Linien getheilt, befindet sich auf einem Spiegel, der den richtigen Stand des Auges beim Beobachten sichert. Ich habe das Instrument in zwei verschiedenen Zuständen angewandt. Als es zuerst in dem beschriebenen Zustande war, bemerkte ich bald, dafs bei ganz luftdicht schliefsenden Deckeln keine sichere Beobachtung zu machen war, da die Flüssigkeit ihren Stand fortwährend veränderte; hier blieb nur übrig, die Deckel so aufzuschrauben, dafs durch die nicht absolut abgesperrte äufsere Luft der Stand der Flüssigkeit sich nach einiger Zeit wieder ausgleichen konnte. Meine bisherigen Luftthermometer waren in demselben Falle, obschon ich sie für absolut luftdicht gehalten hatte; demnach war es für mich von besonderem Interesse, diese Angaben mit den späteren zu vergleichen, und dadurch die Gewifsheit zu erhalten, dafs auch hier die Angaben zuverlässig waren, wenn man nur den richtigen Stand der Flüssigkeit durch langsames Beobachten abwartete und die Temperatur des Zimmers nicht schwankte. Von meinen beiden früher angewandten Thermometern *N* und *H* halte ich indefs das mit *H* bezeichnete für ungenau, indem alle mit ihm allein angestellten Messungen, namentlich bei den Widerständen der Drähte, nicht so zuverlässig ausgefallen sind, als es die Natur der Sache gestattet; zum Glück habe ich diefs Thermometer sehr wenig allein in der letzten Abhandlung gebraucht, und gerade bei Angaben, deren ganz genaue Werthe gleichgültiger seyn können, weil ich dieselben Verhältnisse später doch noch einmal in ihrem ganzen Umfange ermitteln mufs. — Als ich mit den nachfolgenden Beobachtungen im Laufe des Sommers nicht fertig geworden war, denn mir fehlte immer noch die Formel, welche sämmtliche Thatsachen umfafst, so mufste ich für den beginnenden Winter auf eine Abänderung des Instrumentes sinnen, welche den Gebrauch desselben auch im geheizten Zimmer gestattete. Zu diesem Behufe liefs ich durch die Deckel zwei kleine Lö-

cher bohren und sie mit Klappen unter dem Druck starker Federn wieder sicher verschliefsen. Hierdurch hat das Instrument an Brauchbarkeit ungemein gewonnen, und ich kann es als höchst zuverlässig empfehlen; die Klappen bleiben bis zur Beobachtung geöffnet, die Flüssigkeit stellt sich in die ganz richtige Lage, und während der Beobachtung ist der absolut luftdichte Raum durch Schliefsung des Luftloches hergestellt. Die Angaben sind jetzt nicht allein bis in hohe Grade der Erwärmung hinein unter einander vergleichbar, sondern es wird auch viel Zeit beim Experimentiren gewonnen, da sich die einzelnen Beobachtungen ohne allen Nachtheil viel schneller folgen können. — Der Schliefsungsdraht wurde folgendermafsen zusammengestellt. Von der Innenseite der nicht isolirten Batterie aus meinen vier Flaschen ging ein 1 Linie starker und 2′ 11″ langer Messingdraht aus, unterbrochen durch die Kugeln des Ausladers, deren gesicherter Stand eine gleiche Stärke der Entladung lieferte. Mittelst einer Klemme schlofs sich hieran ein Kupferdraht 7½″ lang von 0″,279 Durchmesser, von derselben Beschaffenheit, wie ich ihn zu den früheren Beobachtungen benutzt hatte, und den ich bei allen folgenden Untersuchungen anwandte. Hierauf theilte sich die Leitung, indem zwei gleiche Kupferdrähte von 4 Zoll Länge in zwei mit Quecksilber gefüllte, wohl isolirte gläserne Näpfe tauchten; aus jedem von diesen führten 3 Zoll lange Kupferdrähte in neue Gefäfse mit Quecksilber; diese Bügel liefs ich indefs späterhin fort, wodurch keine bemerkbare Verschiedenheit herbeigeführt werden konnte. Von den letzteren Näpfen gingen 18 Zoll lange Kupferdrähte zu den beiden Lufttthermometern, in denen sich Platindrähte von 16 Zoll Länge befanden; die getheilten Ströme verliefen also durch diese Drähte, und vereinigten sich wieder hinter den beiden andern Klemmen in 2 Zoll Entfernung von jeder Seite. Der gemeinsame Strom ging jetzt durch einen neuen Kupferdraht von 21

Zoll, dem ein Quecksilbergefäfs folgte, wodurch der Strom entweder durch das früher mit *N* bezeichnete Luftthermometer gehen, oder nach Entfernung desselben unmittelbar auf einem 3′ 9″ langen Kupferdraht von 0‴,50 Durchmesser zur Aufsenseite der Batterie geleitet werden konnte. Läfst man das Thermometer *N* unberücksichtigt, so war also der Strom auf 2′ 11″ Messingdraht, $28\frac{1}{2}$ Zoll gewöhnlichen und 3′ 9″ stärkeren Kupferdraht vereinigt; von den getheilten Strömen durchlief jeder 27 Zoll Kupferdraht und die eine Seite des doppelten Luftthermometers. Die vielen eingeschalteten Quecksilbergefäfse waren dazu bestimmt, theils andere Drähte in beliebiger Länge auf bequeme und sichere Weise einzufügen, theils nach Umständen den einen Zweig der getheilten Leitung ganz öffnen zu können. — Die Drähte, welche zum Einschalten gebraucht wurden, waren folgende. An Neusilber: die früheren Spiralen I bis VII, nämlich I, II, III von 2′, 4′ und 8′ Länge bei 0‴,332 Durchmesser; IV von 4′,659 Länge und 0‴,253 Durchmesser; V, VI, VII von 2′,067, 4′,134 und 8′,268 Länge bei 0‴,169 Durchmesser. Von Sorte No. III zu 0‴,187 Durchmesser fanden zwei Drähte von je 4′ Länge Anwendung. Hierzu kam eine neue Sorte No. V aus demselben Stücke gezogen; ein Theil von 2′ 11″ 4‴ Länge hatte ein Gewicht von 0,550 Grammen; wonach bei dem früher angegebenen specifischen Gewichte der Durchmesser 0‴,126 beträgt. Endlich gebrauchte ich später noch eine Sorte No. VI, die zwar durch dasselbe Loch, aber aus einem andern Stücke Draht gezogen war, und deshalb besonders genommen werden mufs. Von Eisen wandte ich die beiden Sorten No. II und No. IV an in neu gewundenen Spiralen, die dadurch etwas verändert zu seyn schienen. Der Kupferdraht war, wie schon bemerkt, immer derselbe von 0‴,279 Durchmesser, der leider sich in seinen einzelnen Partieen nicht ganz gleichmäfsig verhielt, was freilich auch mehr oder weniger bei

allen Drähten der Fall ist und die Resultate immer etwas ungenau werden läfst. Dazu kommen Platindrähte; zunächst die beiden Drähte in den Thermometern von 16 Zoll Länge; beide zusammen wogen 0,423 Grammen, und haben demnach bei einem zu 19,3 angenommenen specifischen Gewicht einen Durchmesser von 0‴,079; dann eine Spirale *C* von gleicher Stärke 15″ 1‴,6 lang; drittens eine Spirale *A* von 16 Zoll, und viertens eine gleich starke *B* von 32 Zoll; ihr Durchmesser beträgt 0‴,061, da der letztere Draht 0,241 Grammen wog. Die Platinspiralen waren, wie die Neusilberspiralen I bis VII auf Glas gewunden und mit Schellack überzogen. Die anderen Drähte waren nur in lockere Spiralen gewunden, wobei sie sich eben so bequem einfügen liefsen. — Meine beiden Thermometer lieferten bei gleicher Construction innerhalb der gewöhnlichen Schwankungen ganz gleiche Resultate, doch um alle Fehler zu vermeiden, die besonders aus der Ungleichheit der eingefügten Drähte entstehen, wurden die Beobachtungen der Ströme in den beiden Zweigen immer so angestellt, dafs der Strom der einen Seite einmal durch das eine, dann durch kreuzweise Schliefsung mit den 18 Zoll langen Kupferdrähten durch das andere Thermometer hindurchgehen mufste; bei gleichen Strömen in beiden Zweigen machte ich stets 8, bei ungleichen Strömen stets 4 Beobachtungen, welche die Mittelzahlen lieferten. Ich glaube durch dieses Verfahren sehr an Genauigkeit gewonnen zu haben.

### 2. Einige Probeversuche.

Anfänglich war nach der obigen Angabe das Thermometer *N* in die vereinigte Leitung eingeschaltet worden, indem ich sowohl hier, als in den beiden Zweigen den Strom beobachten wollte. Um mich zu orientiren machte ich vorläufige Versuche, deren Genauigkeit ich nicht sogleich bis auf's Aeufserste trieb. Es fanden sich bei einer solchen Beobachtung im Mittel aus 4 Notirun-

gen, als der eine Zweig, entweder $Z'$ oder $Z''$, erst geöffnet, dann beide geschlossen waren, folgende Angaben:

| $\Theta'$. | $\Theta''$. | $N$. |
|---|---|---|
| 13,62 | $Z''$ offen | 20,12 |
| $Z'$ offen | 13,75 | 20,50 |
| 4,00 | 4,25 | 22,94 |

Die Buchstaben $\Theta'$ und $\Theta''$ geben die Erwärmungen der Thermometer in $Z'$ und $Z''$ an, $N$ bezeichnet das Luftthermometer im vereinigten Drahte. Abgesehen von den kleinen Differenzen in $\Theta'$ und $\Theta''$, die hier gar zu leicht hervortreten, giebt $N$ eine Erwärmung, wie man sie auch nach dem Gesetz des galvanischen Stroms erwarten darf; denn der Widerstand von $N$ war $=2{,}31$, von der übrigen einfachen Leitung $=0{,}36$, von jedem Zweige $=0{,}64$. Beträgt also der Strom durch $Z'$ oder $Z''$ und $N$ allein im Mittel 20,31 Grade in $N$, so mufs er, wenn beide Zweige geschlossen sind, $=22{,}48$ seyn, was im Allgemeinen mit der Beobachtung übereinstimmt. Die Ströme in den beiden Zweigen sind dagegen bedeutend vermindert. Ich schaltete nun in $Z'$ eine immer gröfsere Länge Kupferdraht ein, und es ergab sich:

| zu $Z'$. | $\Theta'$. | $\Theta''$. | $N$. |
|---|---|---|---|
| 4′ K. | 2,56 | 5,75 | 22,87 |
| 8′ K. | 2,00 | 7,25 | 22,25 |
| 12′ K. | 1,25 | 8,75 | 22,36 |

Hiernach bietet die Vertheilung der Ströme in $Z'$ und $Z''$ sonderbare Resultate dar, wogegen die Angaben von $N$ nur wenig differiren. Bei dem starken Widerstande in $N$ waren indefs die Beobachtungen langwierig, und doch konnte man von diesen Resultaten bei der ganzen Zusammenstellung des Schliefsungsdrahtes wenig Auskunft erwarten. Mir schien es demnach das zweckmäfsigste zu seyn, $N$ ganz zu beseitigen und die Ströme in den Zweigen allein zu beobachten, damit ich zuerst über diese

zu einer klaren Einsicht gelangte. Nur das eine blieb mir bei der Sache bemerkenswerth, wie hier in $N$ kein Verlust an der Stromstärke stattfinden sollte, den ich doch in meiner letzten Abhandlung durchgehends nachgewiesen hatte. Um die Verhältnisse den früheren ähnlicher zu machen, liefs ich durch Versetzung der Drähte in dem einen Thermometer den einen Zweig $Z''$ der getheilten Leitung nur aus den 18 Zoll Kupferdraht bestehen, während der Strom in dem andern Zweige $Z'$ durch sein Thermometer hindurchging. Es fand sich:

| $\theta'$. | $N$. |
|---|---|
| $Z'$ offen | 22,66 |
| 8,50 | 22,42 |

also auch hier kein Verlust. Ich schaltete nun in $Z''$ noch 20′ neuen Kupferdraht ein, weil gröfsere Längen früher immer einen gröfseren Verlust gegeben hatten. Die Beobachtung ergab:

| $\theta'$. | $N$. |
|---|---|
| $Z'$ offen | 21,33 |
| 10,37 | 21,37 |

folglich nicht das Erwartete. Die Sache ward mir sehr bedenklich; indefs erinnerte ich mich bald daran, dafs bei meinen früheren Beobachtungen das Thermometer $N$ in der Nebenleitung gewesen war, welches einen ziemlich langen, feinen Platindraht enthält. Ich schaltete demnach, während das Uebrige blieb, in den Zweig $Z'$ noch die Platinspirale $B$ ein. Das Resultat war nach dieser Aenderung:

| zu $Z'$. | $\theta'$ | $N$. |
|---|---|---|
| offen | — | 21,33 |
| Plat. $B$ | 5,37 | 18,12 |
| offen | — | 21,58 |

Bei solcher Anordnung trat endlich der Verlust in $N$ ein

unter Verhältnissen, die zunächst viel Auffallendes haben müssen. Ich glaubte diese Thatsachen schon deshalb anführen zu müssen, damit man sich theils durch Beobachtungen mit andern Instrumenten nicht täuschen lasse, theils um hier gleich die sicher nicht ganz einfachen Umstände anzudeuten, welche bei der Spaltung des elektrischen Stromes vorkommen, und die ohne allen Zweifel von den Gesetzen des galvanischen Stroms durchweg differiren.

### 3. Widerstand der verschiedenen Drähte.

Zur Angabe des Widerstandes, welchen die verschiedenen Drähte darbieten, mag nach Entfernung von $N$ der Widerstand des einfachen Schliefsungsdrahtes durch einen Zweig allein zur Einheit genommen werden. Die Resultate wurden mit dem Thermometer bei der anfänglichen Einrichtung gewonnen, und hinterher mit dem verbesserten abermals bestimmt; die genügende Uebereinstimmung beider Reihen zeigt am einfachsten für die Brauchbarkeit des Instruments unter beiden Gestalten. Ich werde in dem Folgenden alle Beobachtungen der ersteren Art mit $(A)$ und die späteren mit $(B)$ bezeichnen, damit sich auch Andere über den Gang des Thermometers ein sicheres Urtheil bilden können.

1) Kupferdraht.

| $(A)$ Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. | $(B)$ Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0′ | 22,39 | 22,39 | 0′ | 25,78 | 25,78 |
| 8 | 19,59 | 19,41 | 16 | 19,82 | 19,88 |
| 16 | 17,06 | 17,13 | 32 | 16,18 | 16,15 |
| 24 | 15,25 | 15,32 | | | |
| | $b=0{,}077$. | | | $b=0{,}074$. | |

Mittel $b=0{,}075$.

Die erste Columne giebt die eingeschalteten Drahtlängen, die zweite die beobachtete, und die dritte die berechnete Temperatur an; mit $b$ wird der Widerstand von 4′ Drahtlänge bezeichnet.

2) Neusilberspiralen II bis VII.

| (A) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0 | 22,48 | 22,48 |
| | II | 18,59 | 18,51 |
| | III—V | 15,69 | 15,72 |
| | VI | 12,44 | 12,10 |
| | VII | 8,03 | 8,27 |

II = 0,215.

| (A) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber |
|---|---|---|---|
| | 0 | 22,80 | 22,80 |
| | VI | 12,33 | 12,09 |
| | VII | 8,08 | 8,22 |

VI=0,886 oder II=0,221

| (B) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0 | 24,66 | 24,66 |
| | II | 20,12 | 20,16 |
| | III | 16,72 | 17,05 |
| | VI | 13,47 | 13,03 |
| | VII | 8,75 | 8,86 |

II = 0,223,

also im Mittel II oder Neusilber No. I $b = 0{,}220$.

In allen drei Beobachtungen zeigen sich dieselben Fehler, die folglich in den Drähten selbst ihren Grund haben.

3) Neusilber No. V.

| (A) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0′ | 22,46 | 22,46 |
| | 4 | 8,74 | 8,73 |
| | 8 | 5,41 | 5,42 |

$b = 1{,}57$.

| (B) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0′ | 21,73 | 21,73 |
| | 4 | 8,62 | 8,56 |
| | 8 | 8,22 | 8,34 |

$b = 1{,}54$.

Mittel $b = 1{,}55$.

4) Neusilber No. VI.

| (B) | Einsch. | Θ beob. | Θ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0′ | 24,91 | 24,91 |
| | 4 | 9,31 | 9,33 |
| | 8 | 5,75 | 5,74 |

$b = 1{,}67$.

5) Eisendraht No. II.

| (A) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. | (B) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0′ | 22,56 | 22,56 | 0′ | 24,87 | 24,87 |
| 4 | 17,30 | 17,28 | 4 | 19,19 | 19,26 |
| 8 | 13,91 | 14,00 | 8 | 15,69 | 15,72 |
| 12 | 11,83 | 11,77 | 12 | 13,34 | 13,27 |
| | $b=0{,}306.$ | | | $b=0{,}291.$ | |

Mittel $b=0{,}299.$

6) Eisendraht No. IV.

| (A) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. | (B) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0′ | 22,67 | 22,67 | 0′ | 25,37 | 25,37 |
| 4 | 15,91 | 15,94 | 4 | 18,06 | 18,17 |
| 8 | 12,33 | 12,29 | 8 | 14,16 | 14,23 |
| 12 | 10,00 | 10,00 | 12 | 11,66 | 11,59 |
| | $b=0{,}422.$ | | | $b=0{,}396.$ | |

Mittel $b=0{,}409.$

Auffallend sind die Verhältnisse der Widerstände dieser beiden Drahtsorten unter einander, von denen die ersteren einen Durchmesser von 0″,428, die andern von 0″,242 hat. Beide Sorten bestehen offenbar aus ganz verschiedenem Materiale, obschon sie aus derselben Fabrik stammen. Hiernach sind die Angaben in meiner vorigen Abhandlung zu berichtigen.

7) Platinspiralen *A* und *B*.

| (A) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. | (B) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 22,60 | 22,60 | 0 | 15,91 | 15,91 |
| *A* | 10,72 | 10,87 | *A* | 7,47 | 7,47 |
| *B* | 7,25 | 7,16 | *B* | 4,87 | 4,88 |
| | $A=1{,}08.$ | | | $A=1{,}13.$ | |

| (B) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. | (B) Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 15,16 | 15,16 | 0 | 19,96 | 19,96 |
| *A* | 7,12 | 7,15 | *A* | 9,70 | 9,74 |
| *B* | 4,70 | 4,68 | *B* | 6,50 | 6,44 |
| | $A=1{,}12.$ | | | $A=1{,}05.$ | |

(*B*)

| ($B$) | Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|
| | 0 | 26,08 | 26,08 |
| | $A$ | 13,46 | 13,39 |
| | $B$ | 9,04 | 9,06 |

$A=0{,}94$.

Den Widerstand dieser Spiralen habe ich so oft bestimmt, weil dieser Draht bei den späteren Beobachtungen Abweichungen zeigte, die sich in gleichem Maafse nirgends weiter vorfanden; überall wird ein etwas geringerer Widerstand erfordert, als ihn mir die beiden ersten Beobachtungen angegeben hatten. Es zeigt sich aber auch aus diesen Beobachtungen, dafs bei gröfserer Stromstärke der Widerstand geringer wird, ein Umstand, den ich sonst nicht weiter beobachtet habe, dessen Grund ich aber nicht anzugeben vermag, weil ich gegenwärtig keinen andern Platindraht besitze. Wo in dem Folgenden gröfsere Stromstärken durch den Draht hindurchgehen, werde ich den Widerstand von $A=1{,}00$ setzen, was annähernd genügen mag.

8) Die Platinspirale $C$.

Diese gab nach ($A$) $C=0{,}57$.

9) Widerstand des Thermometers ($T$).

Hier erhielt ich ($A$) $T=0{,}594$
($B$) $T=0{,}622$
($B$) $T=0{,}573$
Mittel $T=0{,}596$

welches Resultat mit $C$ in (8) gut übereinstimmt.

4. Die Stromstärke in gleichen Zweigen.

Wenn man zuerst die Stromstärke bei einem geöffneten Zweige mifst und hinterher beide Zweige schliefst, so mufs die Stromstärke im vereinigten Draht nach dem verminderten Widerstande zunehmen. Die Elektricität

theilt sich hierbei offenbar gleich in beide Zweige, jeder empfängt die Hälfte der Elektricität, und da diese durch solche Theilung zugleich auf die halbe Intensität zurückgebracht wird, so beträgt auf gleichem Drahte die Erwärmung in jedem Zweige den vierten Theil von der in der vereinigten Leitung. Diefs erfordert die Natur der statischen Elektricität. Ist also der Widerstand in der vereinigten Leitung, die oben angegebene Drahtverbindung als Einheit genommen, $= W$, der Widerstand in $Z'$ und $Z'' = w'$ und $w''$, wobei hier $w' = w''$, und setzen wir die Stromstärke beim Widerstande $1 = C$, so bekommen wir die Angaben $\Theta'$ und $\Theta''$ der beiden Thermometer aus:

$$\Theta' = \Theta'' = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{4}w' + \frac{1}{4}w''} = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{2}w''},$$

wogegen bei einem geöffneten Zweige die Temperatur

$$T = \frac{C}{W + w'}$$

ist, also auch $\Theta' = \Theta'' = \frac{\frac{1}{2}T(W+w')}{W+\frac{1}{2}w'}$.

Als der Schliefsungsdraht in der gewöhnlichen Weise war, ergab sich:

| | No. | $T$. | $\Theta' = \Theta''$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|
| $(A)$ | 1 | 22,59 | 9,98 | 9,74 |
| $(B)$ | 2 | 24,75 | 10,45 | 10,67 |
| $(B)$ | 3 | 24,66 | 10,38 | 10,63 |
| $(B)$ | 4 | 47,56 | 20,74 | 20,50 |

als dagegen noch 4′ Neus. No. VI in die vereinigte Leitung eingefügt waren, erhielt ich:

| | $T$. | $\Theta' = \Theta''$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|
| $(B)$ | 19,50 | 5,53 | 5,54 |

In dem ersteren Falle ist $W + w' = 1{,}00$, im anderen $W + w' = 2{,}67$. Den Widerstand $w' = w''$ erhält man nach den obigen Angaben aus dem Widerstande

des Thermometers $=0{,}596$ und 27 Zoll Kupferdraht $=0{,}042$, also $w'=0{,}64$ und $W=0{,}36$. Berechnet man mit diesen Zahlen die obigen Beobachtungen, so werden namentlich die vier ersteren, denn diese sind hier allein entscheidend, so bedeutende Fehler zeigen, dafs sie den Beobachtungsfehlern unmöglich zugewiesen wergen können. Ich habe daher die obige Berechnung mit $W=0{,}16$ und $w'=0{,}84$ geführt. Diese Differenz hat mich lange Zeit in Verlegenheit gesetzt, und gerade um so mehr, als ich $W=0{,}36$ auch nicht nachweisen konnte. Die vereinigte Leitung nämlich besteht aus $28\frac{1}{2}$ Zoll Kupferdraht $=0{,}044$, aus 3′ 9″ stärkerem Kupferdraht, höchstens $=0{,}070$; also käme auf 2′ 11″ eine Linie starken Messingdraht ein Widerstand $=0{,}264$, was rein unmöglich ist. Der Widerstand des Thermometers ist aber auch nicht falsch genommen, da ich ihn drei Mal auf das sorgfältigste bestimmt habe, und die Uebereinstimmung des gefundenen Werthes mit Platinspirale $C$ aufserdem entscheidet. Ein Hindernifs endlich in den Klemmen fand auch nicht statt, da diese bei der Bestimmung des Widerstands im Thermometer sämmtlich in die Schliefsung mit eingingen. Um Auskunft zu erhalten, schaltete ich bei beiden geschlossenen Zweigen die Neusilberdrähte V und VI in die Hauptleitung ein, und bestimmte nach der bekannten Formel ihren Widerstand $B$ auf 4′ Länge. Ich fand:

1) Neusilber No. V.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0′ | 20,20 | 20,20 |
| 4 | 5,43 | 5,39 |
| 8 | 3,25 | 3,19 |

$B=2{,}66.$

2) Neusilber No. VI.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0' | 20,99 | 20,99 |
| 4 | 5,53 | 5,38 |
| 8 | 3,00 | 3,08 |

$B = 2{,}90.$

Vergleicht man diesen Widerstand mit dem früher im dritten Abschnitte angegebenen, so erhält man, indem dort $W + w' = 1$ war, hier:

aus Neusilber No. V $\quad W + \frac{w'}{2} = 0{,}583$

Neusilber No. VI $\quad W + \frac{w'}{2} = 0{,}576$

Fügt man hierzu die Werthe von $W + \frac{w'}{2}$ aus den vier ersteren Beobachtungen über die Stärke des getheilten Stromes, indem man $T$ und $\Theta$ aus den Beobachtungen entnimmt, so giebt:

No. 1 $\quad W + \frac{w'}{2} = 0{,}566$

No. 2 $\quad = 0{,}592$

No. 3 $\quad = 0{,}594$

No. 4 $\quad = 0{,}584$

das Mittel aus allen sechs Beobachtungen ist

$$W + \frac{w'}{2} = 0{,}58,$$

demnach $W = 0{,}16$ und $w' = 0{,}84$. Der Werth $W$ stimmt ganz gut mit dem gemeinsamen Schliefsungsdrahte überein, also mufs irgendwo ein Hindernifs liegen, das einen Widerstand $= 0{,}20$ in den getheilten Zweigen hervorbringt. Einen näheren Nachweis hierüber lieferten mir meine früheren Beobachtungen, die mit der anfänglichen Einrichtung des Thermometers ($A$) angestellt waren. Ich hatte nämlich den Widerstand der Drähte bestimmt, wenn ich gleiche Längen von ihnen in die bei-

den Zweige einschaltete und beide schlofs. Hier hatte ich, um nur diejenigen Drahtsorten aufzuführen, die entscheidend sind, folgende Werthe gefunden:

1) Neusilber No. V.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0' | 23,50 | 23,50 |
| 4 | 10,64 | 10,66 |
| 8 | 6,91 | 6,90 |

$B'=1{,}204$, also im obigen Sinne $B=2{,}408$.

2) Neusilber No. V.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0 | 25,65 | 25,65 |
| 4' | 12,03 | 11,90 |
| 8 | 7,62 | 7,73 |

$B=2{,}32$.

Mittel $B=2{,}36$.

3) Eisen No. IV.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0' | 21,43 | 21,43 |
| 4 | 16,12 | 16,01 |
| 8 | 12,80 | 12,77 |
| 12 | 10,53 | 10,62 |

$B=0{,}678$.

4) Eisen No. II.

| Einsch. | $\Theta$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|
| 0' | 20,64 | 20,64 |
| 4 | 16,48 | 16,55 |
| 8 | 13,83 | 13,81 |
| 12 | 11,88 | 11,85 |

$B=0{,}494$.

Hierauf überzeugte ich mich zunächst, dafs die Angaben der Thermometer ganz gleich blieben, wenn ich

2′ irgend eines Drahtes in die Hauptleitung einfügte, oder wenn diese fortblieben und dafür 4′ in beide Zweige eingeschaltet wurden; eben so mit 4′ in der Hauptleitung und 8′ in jedem Zweige. Berechnet man also aus den obigen Zahlen gerade wie vorhin $W+\frac{w'}{2}$, so erhält man diesen Widerstand $=0{,}657$, $=0{,}623$, $=0{,}659$, im Mittel $=0{,}64$, folglich $W=0{,}28$ und $w'=0{,}72$.

Dafs diesen Beobachtungen aber kein Fehler zum Grunde liegt, beweist einmal die völlige Uebereinstimmung der Widerstände aller Drähte nach $(A)$ und $(B)$, endlich belegen es alle Beobachtungen in dem folgenden Abschnitte nach $(A)$, die nur mit den eben angegebenen Zahlen in Uebereinstimmung gebracht werden können. Hiermit befindet sich ein Hindernifs in dem Schliefsungsdrahte, das erst mehr in der Hauptleitung, später mehr in die Zweige trat, sey nun diefs letztere nach und nach eingetreten, oder dadurch, dafs der Apparat für den zweiten Theil der Beobachtungen in ein anderes Zimmer gebracht worden war. Der Sitz des Hindernisses war mir nun deutlich. Da wo der Hauptstrom in die beiden Zweige übergeht, und eben so wo er sie verläfst, sind die Drähte nur 1 bis 2 Mal nach jeder Seite umwickelt; diese Stelle mufs hemmen, und zwar anfänglich so, dafs der Strom vornehmlich nur an einer Stelle auf den aus einem Stücke bestehenden, die Zweige abgebenden Draht gelangte, später an zwei Stellen zugleich; dadurch war anfänglich der zufällige Widerstand mehr in der vereinigten Hauptleitung, später vorherrschend in den Zweigen. Es würde mir leicht gewesen seyn, das Factum zu constatiren, wenn ich nicht die Leitung, so wie sie jetzt ist, zu späteren Versuchen unabgeändert erhalten wollte. Für den, welcher das Ganze übersieht, kann jedoch kein Zweifel entstehen. Der einzige Uebelstand für mich bestand darin, dafs ich einige Beobachtungsreihen mit $(A)$ aus dem Folgenden fortlassen mufste, gerade da, wo die

kleine Differenz in den Zahlen einen noch bemerkbaren Einfluſs in der Rechnung herbeiführt.

### 5) Die Stromstärke in compensirten Zweigen.

Wenn man in die beiden Zweige der Leitung verschiedene Drähte einfügt, und zwar in den einen Zweig zunächst irgend einen von bestimmter Länge, in den andern einen an Stoff und Stärke verschiedenen, dessen Länge man so lange verringert oder vermehrt, bis beide Thermometer eine gleiche Erwärmung erhalten, so will ich die so zu einander gehörigen Längen elektrisch gleiche nennen, oder von ihnen aussagen, daſs sie durch einander compensirt werden. Diese letztere Beziehung wähle ich deshalb statt des schon sonst beim galvanischen Strom gebräuchlichen Namens der Reduction, um damit sogleich die Thatsache auszudrücken, daſs die durch einander compensirten und die auf einander reducirten Drahtlängen sich keineswegs entsprechen. Nehmen wir z. B. an, daſs in den einen Zweig, der natürlich schon das Thermometer und 27 Zoll Kupferdraht enthält, noch 4′ Neusilberdraht gefügt werden, in den andern dagegen 9′ Kupferdraht, und daſs jetzt beide Thermometer eine gleiche Stromstärke zeigen, so sind 4′ Neus. =9′ Kupf., oder 4′ Neus. werden bei der vorliegenden Einrichtung der Zweige durch 9′ Kupf. compensirt, und umgekehrt. — Bei den nachfolgenden Compensationsbestimmungen habe ich die Längen des nach und nach zugefügten oder verminderten Drahtes für den einen Zweig nur nach ganzen Fuſsen variiren lassen, da die kleinen Schwankungen in den Angaben der Thermometer doch keine ganz scharfe Bestimmung zulassen, und ich habe dafür in einzelnen Fällen lieber die Angaben vor oder nach der wahren Fuſszahl angegeben. Zuerst will ich die Beobachtungen liefern, die mit dem veränderten Thermometer ($B$) angestellt wurden.

1) Compensation von Neus. V und Neus. VI.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,00 | 0 | 17,00 | 17,00 |
| 4′ Neus. V | 9,69 | 8′ Kupf. | 10,56 | |
| 4′ Neus. V | 9,87 | 9′ Kupf. | 10,00 | 9,83 |
| 4′ Neus. VI | 9,46 | 9′ Kupf. | 9,62 | 9,49 |
| 8′ Neus. V | 6,62 | 20′ Kupf. | 6,94 | 6,81 |
| 8′ Neus. VI | 6,78 | 20′ Kupf. | 6,97 | 6,54 |

Bleiben wir sogleich bei dieser Beobachtungsreihe stehen, in der die erste Columne den Zusatz zu dem einen Zweige, die dritte zu dem andern angiebt, $\Theta'$ die Temperatur im ersteren, $\Theta''$ im anderen, so ist zuerst ganz augenfällig, dafs hier andere Gesetze walten als beim galvanischen Strome, denn der eine Zweig bietet bei 4′ Neus. V und 9′ Kupf. einen Widerstand $=2{,}39$, der andere einen Widerstand $=1{,}03$ dar; bei 8′ Neus. V und 20′ Kupf. sind die Widerstände $=3{,}94$ und $=1{,}21$, und dennoch sind in beiden Fällen die Stromstärken in beiden Zweigen einander gleich. — Ich sehe ganz einfach die Sache so an. Der elektrische Strom unterscheidet sich vom galvanischen durch die freie Spannung, welche ihn begleitet; tritt ein gröfserer Widerstand in einer Leitung ein, so nimmt nicht nur die Spannung überhaupt, sondern beim elektrischen Strome auch zugleich die freie Spannung ab, und zwar rück- und vorwärts wirkend durch die ganze Länge der Leitung. Der freien Elektricität ist es aber eigenthümlich, dafs an zwei aneinanderstofsenden leitenden Theilen keine Differenz der Spannung stattfinden kann, sondern dafs diese Verschiedenheit durch Ausgleichung jedesmal verschwindet. Möge also durch die beiden Zweige je welcher Theil an Elektricität durch den einen und den andern hindurchgehen, immer mufs doch an den beiden Stellen, wo sich diese Zweige wieder vereinigen, nach der einen und der andern Seite hin eine gleiche Spannung vorliegen, und eben so müssen beide Zweige durch ihre Rückwirkung die

gleiche Spannung hier aufrecht erhalten. Nach diesem Satze würde es zunächst als nothwendig erscheinen, dafs durch beide Zweige in allen Fällen die gleiche Stromstärke hindurchginge, und dafs demnach in denjenigen, welcher den gröfsten Widerstand leistet, und hiermit die Spannung am meisten auf seiner Seite verringert, die meiste Elektricität hineinträte, damit nach erfolgtem Verlust die noch übrigbleibende Spannung der in dem andern Zweige das Gleichgewicht hielte. Diefs würde in der That auch der Fall seyn, wenn nicht erstens bei gleicher Stromstärke die freie Spannung auf einem feineren Drahte gröfser wäre als auf einem stärkeren, und demnach bei gleicher Länge der Drähte der stärkere mehr Elektricität aufnehmen müfste, damit er rückwirkend die gleiche freie Spannung an den Vereinigungspunkten erzeugte; und wenn nicht zweitens die Erfahrung uns belehrte, dafs eine geringere Stromstärke auf einem längeren Draht eine stärkere Rückwirkung zeigte, als eine gleiche Stromstärke auf einem kürzeren Zweige, sey es nun, dafs im Betreff der freien Spannung eine ähnliche Vertheilung stattfindet, wie auf einem Conductor, oder sey es, was mir wahrscheinlicher scheint, dafs wir die Rückwirkung der freien Spannung in ihrer ganzen Totalität, also vom ganzen Zweige her, auf einmal zusammenfassen müssen, da ja die beiden Vereinigungsstellen der getrennten Zweige die Stützpunkte abgeben, zwischen denen die ganze Spannung der Zweige ihre Rückwirkung äufsert. Zu diesen so eben aufgezählten Umständen, welche die freie Spannung bedingen, kommt drittens noch das Verhalten des verschiedenen Materials der Drähte, das verschieden auf das Auftreten der freien Spannung einwirkt, ja verschieden nachdem diese durch einen geringeren oder gröfseren Widerstand weniger oder mehr verändert ist. Lassen wir den letzteren Umstand, als den schwierigeren, vorerst bei Seite, so haben wir im Allgemeinen Folgendes in den Zweigen zu erwarten: Dünnere Drähte nehmen bei gleicher Länge mit stärkeren

eine geringere Stromstärke auf und erzeugen schon hiermit das Gleichgewicht der freien Spannung; zweitens lassen bei gleicher Stärke längere Drähte eine geringere Stromstärke zu, indem sie wieder die erforderliche Spannung eben durch ihre Länge erzielen. Soll also ein dünnerer Draht durch einen stärkeren compensirt werden, so nehme man diesen von gröfserer Länge, und umgekehrt. — Gehen nun bei einer solchen Compensation durch die beiden unter einander verschiedenen, an Widerstand namentlich ganz ungleichen Zweige gleiche Stromstärken hindurch, so ist es ebenfalls natürlich, dafs in dem am meisten Widerstand bietenden Zweig die gröfsere Menge von Elektricität eingetreten ist, weil die noch vorhandene Stromstärke der Ueberschufs ist von der ursprünglich vorhandenen und der durch den Widerstand aufgelösten; was indefs der eine Zweig an Spannung consumirt, geht auf dem andern verloren, da jener rückwirkend auf die Vereinigungsstellen die freie Spannung vermindert, und der andere Zweig für sich allein hier keine gröfsere Spannung eben des Gleichgewichts wegen aufrecht erhalten kann. Somit trifft die Spannung in einem Zweige nicht nur diesen, sondern den andern zugleich, und läfst ihn mitleiden, und zwar hemmt jeder die gemeinsame Stromstärke je nach der Gröfse des durch ihn hindurchgegangenen Theiles, wie diefs mit der Berechnung der Stromstärke überall der Fall ist. Setzen wir jetzt die Stromstärke in der vereinigten Leitung $= C$ bei einem Widerstande $= 1$, so wird von der durch den gesammten Widerstand verminderten Stromstärke $\frac{1}{4}$ sowohl in dem einen, als auch in dem andern Zweige seyn, sofern wir diese compensirt haben; beläuft sich hierauf der Widerstand in der gemeinsamen Leitung auf $W$, im Zweige $Z'$ auf $w'$ und im Zweige $Z''$ auf $w''$, so findet man die Erwärmung in $Z'$ und $Z''$ aus:

$$\Theta' = \Theta'' = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{4}w' + \frac{1}{4}w''},$$

oder, wenn man $w'$ in den Widerstand $w_0$ des Ther-

mometers sammt den 27 Zollen Kupferdraht, d. h. der constanten Länge des Zweiges und in den Widerstand $w_{,}$ des eingefügten Drahtes trennt, und eben so $w''$ in $w_0 + w_{,,}$, so ist auch:

$$\Theta' = \Theta'' = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{2}w_0 + \frac{1}{4}(w_{,} + w_{,,})}.$$

Da bei diesen Beobachtungen nur die Temperatur in den beiden Zweigen bei 0 Zusatz ganz gleich erhalten werden kann oder vielmehr unter einander ausgeglichen wird, so mufs sich die Berechnung an dieses Datum allein anschliefsen; es sey also $T$ die Erwärmung bei 0 Zusatz, so hat man:

$$T = \frac{\frac{1}{4}C}{W + \frac{1}{2}w_0}.$$

folglich:

$$\Theta' = \Theta'' = \frac{T(W + \frac{1}{2}w_0)}{W + \frac{1}{2}w_0 + \frac{1}{4}(w_{,} + w_{,,})}$$

Nach dieser Formel, in der nach dem Obigen $W + \frac{1}{2}w_0 = 0{,}58$ ist, habe ich die vorstehende und die nachfolgenden Beobachtungsreihen, die mit dem veränderten Thermometer ($B$) angestellt wurden, berechnet. Diese ferneren Reihen sind folgende:

2) Compensation der Neusilberspiralen II bis VII.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$, beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,70 | 0 | 17,70 | 17,70 |
| II | 16,25 | 5′ Kupf. | 15,31 | 15,60 |
| III | 14,25 | 10′ Kupf. | 13,37 | 13,95 |
| III | 13,31 | 9′ Kupf. | 14,50 | |
| IV | 14,75 | 6′ Kupf. | 13,25 | |
| IV | 14,19 | 5′ Kupf. | 15,12 | 14,40 |
| V | 14,81 | 3′ Kupf. | 15,12 | 14,57 |
| VI | 13,37 | 7′ Kupf. | 12,37 | |
| VI | 12,00 | 6′ Kupf. | 13,00 | 12,02 |
| VII | 9,50 | 14′ Kupf. | 9,50 | 9,00 |

Nach diesem Compensationsversuche folgen die Spiralen in folgender Ordnung auf einander: I, V, II, IV, VI,

III, VII, welches genau dieselbe Reihe ist, als wie ich sie in meiner letzten Abhandlung aufgestellt habe.

3) Compensation der Platinspiralen.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,62 | 0 | 17,62 | 17,62 |
| $A$ | 11,44 | 4′ Kupf. | 12,94 | |
| $A$ | 12,18 | 5′ Kupf. | 11,50 | 11,98 |
| $B$ | 9,37 | 10′ Kupf. | 9,50 | 9,08 |
| $A+B$ | 7,75 | 16′ Kupf. | 8,31 | |
| $A+B$ | 8,06 | 17′ Kupf. | 7,75 | 7,27 |

Den Widerstand des Platins $A$ habe ich hier nach der früheren Bemerkung zu 1,00 angenommen, doch zeigt sich überall, auch etwas bei den andern Drähten, dieselbe Neigung bei gröfseren Drahtlängen auf eine etwas höhere Temperatur überzugehen, als wie die Berechnung voraussetzt. Obschon sich die absolute Sicherheit des Instruments bei verschiedenen Graden nicht ganz verbürgen lassen mag, so sehe ich in diesem auch später wiederkehrenden Thatbestand eine Eigenthümlichkeit der elektrischen Ströme, die in ihren Wirkungen zwar gering, doch nicht allein in den stellenweise ungleichartigen Drähten begründet ist. — Bemerkenswerth ist es ferner, dafs bei gleichmäfsig wachsender Länge der mehr Widerstand leistenden Drähte die zur Compensation erforderlichen Längen an Kupferdraht mehr als proportional heranwachsen; dieser Umstand, den ich später näher berühren werde, hängt mit der erschwerten Leitung zusammen, wie das Folgende augenscheinlich zeigt. Fügt man nämlich in die vereinigte Leitung noch einen Draht ein, so hat man:

4) Compensation von Neus. V bei 2′ Neus. VI in der Hauptleitung.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel. ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 11,03 | 0 | 11,03 | 11,03 |
| 4′ Neus. V | 8,84 | 10′ Kupf. | 9,25 | 8,37 |
| 8′ Neus. V | 7,37 | 24′ Kupf. | 7,15 | 6,70 |

5) Compensation von Neusilber V bei 4′ Neus. VI in der Hauptleitung.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 7,25 | 0 | 7,25 | 7,25 |
| 4′ Neus. | 6,25 | 11′ Kupf. | 6,40 | 6,02 |
| 8′ Neus. | 5,47 | 24′ Kupf. | 5,31 | 5,13 |

Die Zunahme an Kupferdraht ist hiernach bei erschwerter Leitung besonders gleich im Anfange bemerklich.

Ich gebe hier noch die Resultate der Compensationsversuche mit dem anfänglichen Thermometer ($A$), weil gerade diese am besten belegen, dafs damals die gewöhnliche Leitung bei beiden geschlossenen Zweigen an Widerstand höher stand, denn die zur Compensation erforderlichen Längen an Kupferdraht waren überall beträchtlicher. Die Rechnung habe ich so geführt, dafs ich $W+\frac{1}{2}w_0=1$ setzte, und dann bei Kupferdraht, wie es die damaligen Versuche ergaben, den Widerstand von 4′ oder $b=0{,}13$, Neusilber No. V $b=2{,}36$, Eisen No. IV $b=0{,}678$, Eisen No. II $b=0{,}494$ nahm. Von den Neusilberspiralen I bis VII, und eben so von den Platinspiralen hatte ich den Widerstand nicht bestimmen können, da ich sie zur Einfügung in die Zweige nicht doppelt besafs; ich begnüge mich also für diese Spiralen nur den Kupferdraht anzugeben, durch welchen sie compensirt wurden. Hier war V $=3\frac{1}{2}'$ K., II $=5'^{\dagger}$ K., IV $=6'$ K., VI $=7'^{\dagger}$ K., III $=10\frac{1}{2}'$ K. und VII $=15'$ K. (das Kreuz vor der Zahl bedeutet etwas weniger, hinter der Zahl etwas mehr als angegeben ist). Ferner fand sich Platin $A=\dagger 5'$ K., $B=11'$ K., $A+B=\dagger 18'$ K. und $C=3'$ K.

6) Compensation von Neusilber No. V.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 23,50 | 0 | 23,50 | 23,50 |
| 4′ Neus. | 13,56 | 8′ Kupf. | 15,09 | |
| 4′ Neus. | 14,12 | 9′ Kupf. | 14,25 | 14,13 |
| 8′ Neus. | 9,46 | 19′ Kupf. | 11,22 | |
| 8′ Neus. | 9,50 | 20′ Kupf. | 10,50 | |
| 8′ Neus. | 10,00 | 22′ Kupf. | 10,18 | 9,97 |

7) Compensation von Neusilber V, als noch 8′ Kupferdraht in beide Zweige gefügt waren.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 19,40 | 0 | 19,40 | 19,40 |
| 4′ Neus. | 12,97 | 9′ Kupf. | 12,16 | |
| 4′ Neus. | 12,50 | 8′ Kupf. | 12,66 | 12,50 |
| 8′ Neus. | 9,18 | 18′ Kupf. | 10,05 | |
| 8′ Neus. | 9,62 | 20′ Kupf. | 9,22 | 9,09 |

Bemerkenswerth ist hier, dafs trotz des vermehrten Widerstandes in der Leitung doch die zur Compensation erforderliche Länge an Kupferdraht geringer geworden ist. Ich erkläre mir die Sache folgendermafsen. Bisher mufste die Länge an Kupferdraht steigen, weil dieser bei mehr gehemmtem Strome an Rückwirkung auf Erhaltung der freien Spannung verliert; jetzt tritt aber derselbe Fall auch in dem zweiten Zweige ein, ja in diesem zweiten Zweige ist wegen des Neusilbers der Strom vorherrschend gehemmt, die Eigenthümlichkeit des Kupfers zeigt sich hier also in erhöhtem Maafse und bewirkt die geringere Länge im andern Zweige.

8) Compensation von Eisen No. IV.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 24,75 | 0 | 24,75 | 24,75 |
| 4′ Eisen | 20,16 | 6′ Kupf. | 20,37 | 20.30 |
| 8′ Eisen | 16,31 | 12′ Kupf. | 17,34 | 17,23 |
| 12′ Eisen | 14,42 | 19′ Kupf. | 14,28 | 14,89 |

9) Compensation von Eisen No. II.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ im Mittel ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 20,64 | 0 | 20,64 | 20,64 |
| 4′ Eisen | 17,48 | 5′ Kupf. | 18,06 | 17,73 |
| 8′ Eisen | 15,62 | 11′ Kupf. | 15,55 | 15,64 |
| 12′ Eisen | 13,84 | 17′ Kupf. | 13,90 | 13,69 |

10) Verschiedenartige Compensationen.

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta$ ber. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 22,94 | 0 | 22,94 | 22,94 |
| Pl. $A$ | 15,69 | Sp. II | 15,37 | |
| Pl. $B$ | 11,78 | Sp. III | 12,00 | |
| 4′ Neus. V+3′ K. | 11,78 | 8′ Eis. IV | 12,09 | 11,80 |
| 8′ Neus. V | 8,87 | 12′ Eis. IV+3′ K. | 9,09 | |
| 8′ Neus. V | 8,87 | 12′ Eis. IV+4′ K. | 8,75 | 8,46 |
| 8′ Neus. V | 6,78 | Pl. $A+B$+4′ K. | 6,87 | |

6. Die Stromstärke in ungleichen Zweigen.

Ich gehe jetzt zu den Strömen in ungleichen Zweigen über. Zunächst blieb die Hauptleitung in ihrer einfachsten Form ohne weiter eingefügten Draht; beide Zweige wurden geschlossen, und in den einen nach und nach eine immer beträchtlichere Länge desselben Drahtes eingefügt. In den drei folgenden Reihen mit dem verbesserten Thermometer ($B$) wurde Kupferdraht in den einen Zweig eingeschaltet, und zwar erstens so, dafs beide Zweige unverändert waren, dann dafs beide eine bleibende Verlängerung von 4′ Kupfer, endlich drittens beide eine solche von 8′ Kupfer erhielten. Die Resultate waren:

Erster Versuch. Beide Zweige unverändert.

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,39 | 17,16 | 0 | 17,39 | 17,16 | 40,3 |
| 4′ K. | 9,78 | 9,84 | 0 | 24,66 | 24,31 | 40,1 |
| 8′ K. | 6,16 | 6,19 | 0 | 28,53 | 28,44 | 39,9 |
| 12′ K. | 4,12 | 4,20 | 0 | 30,81 | 31,01 | 39,5 |
| 16′ K. | 3,03 | 3,04 | 0 | 32,03 | 32,78 | 39,0 |
| | | $Const$=7,0 K. | | | | 39,8 |

Zweiter Versuch. Beide Zweige um 4′ K. verlängert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,25 | 20,91 | 0 | 21,25 | 20,91 | 52,5 |
| 4′ K. | 14,56 | 14,42 | 0 | 27,37 | 26,91 | 52,7 |
| 8′ K. | 10,18 | 10,41 | 0 | 31,06 | 31,03 | 51,5 |
| 12′ K. | 7,78 | 7,77 | 0 | 33,59 | 33,98 | 51,3 |
| 16′ K. | 6,06 | 6,00 | 0 | 35,62 | 36,11 | 51,2 |
| | | $Const = 11{,}0$ K. | | | | 51,8 |

Dritter Versuch. Beide Zweige um 8′ K. verlängert.

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19,55 | 19,19 | 0 | 19,55 | 19,19 | 51,2 |
| 4′ K. | 14,25 | 14,37 | 0 | 23,81 | 23,40 | 50,8 |
| 8′ K. | 11,06 | 11,04 | 0 | 26,62 | 26,58 | 50,5 |
| 12′ K. | 8,59 | 8,69 | 0 | 28,78 | 29,03 | 50,1 |
| 16′ K. | 6,84 | 6,99 | 0 | 29,94 | 30,93 | 49,0 |
| | | $Const = 14{,}5$ K. | | | | 50,3 |

Betrachtet man die vorstehenden Zahlen in $\Theta'$ und $\Theta''$ etwas genauer, so nimmt man bald wahr, dafs sich überall

$$\Theta' : \Theta'' = c^2 : (c+n)^2$$

verhält, worin $c$ einen constanten Werth und $n$ die eingefügte Drahtlänge in Fufsen bezeichnet. Denn setzt man die Proportion in die Form:

$$n = \left(\sqrt{\frac{\Theta''}{\Theta'}} - 1\right) c,$$

so giebt der erste Versuch folgende Bedingungsgleichungen:

$$4 = 0{,}59\, c$$
$$8 = 1{,}13\, c$$
$$12 = 1{,}73\, c$$
$$16 = 2{,}25\, c$$

Mittel $c = 7{,}0$;

der

der zweite:

$$4 = 0{,}37\,c$$
$$8 = 0{,}74\,c$$
$$12 = 1{,}08\,c$$
$$16 = 1{,}42\,c$$

Mittel $c = 11{,}0$;

der dritte:

$$4 = 0{,}29\,c$$
$$8 = 0{,}55\,c$$
$$12 = 0{,}83\,c$$
$$16 = 1{,}09\,c$$

Mittel $c = 14{,}5$.

Die drei Werthe von $c$ unterscheiden sich ferner nahe durch die Zahl der Fufse von einander, welche in die beiden Zweige zugleich zugefügt worden sind; demnach ist es klar, dafs der constante Werth diejenige Drahtlänge an Kupferdraht bezeichnet, durch welche das Thermometer sammt den 27 Zollen Kupferdraht compensirt wird. Wir haben also das Gesetz, dafs durch jeden der beiden getrennten Zweige eine ihrer compensirten Länge umgekehrt proportionale Menge an Elektricität durchgeht, und da die Stromstärke von der Quantität und Intensität zugleich abhängig ist, die letztere aber wieder der Quantität proportional zunimmt, so ist die Stromstärke in jedem Zweige dem Quadrate der Länge umgekehrt proportional. Nach diesem Gesetze kann es nicht schwer seyn, die ganze Formel für die beiden Stromstärken zu bilden; wir wissen ja schon, dafs beide Zweige gleichmäfsig auf die Vereinigungsstellen rückwirken, und dafs der Verlust, welchen die Stromstärke in einem Zweige durch den Widerstand erleidet, zugleich für beide um des Gleichgewichts der Spannung willen nachtheilig ausfällt. Beachten wir diese Verhältnisse und bezeichnen mit $\lambda'$ und $\lambda''$ die Längen des als Grundmaafs dienenden Drahtes, welche die Zweige $Z'$ und $Z''$

compensiren, ferner wie oben mit $W$ den Widerstand in der vereinigten Hauptleitung, mit $w'$ und $w''$ die Widerstände in den beiden Zweigen, endlich mit $C$ die vereinigte Stromstärke bei einem Widerstande $=1$, so haben wir:

$$\Theta' = \frac{C\left(\frac{\lambda''}{\lambda'+\lambda''}\right)^2}{W+\left(\frac{\lambda''}{\lambda'+\lambda''}\right)^2 w'+\left(\frac{\lambda'}{\lambda'+\lambda''}\right)^2 w''},$$

$$\Theta'' = \frac{C\left(\frac{\lambda'}{\lambda'+\lambda''}\right)^2}{W+\left(\frac{\lambda''}{\lambda'+\lambda''}\right)^2 w'+\left(\frac{\lambda'}{\lambda'+\lambda''}\right)^2 w''},$$

welche Formeln bei $\lambda'=\lambda''$ in die frühere

$$\Theta'=\Theta''=\frac{\frac{1}{4}C}{W+\frac{1}{4}w'+\frac{1}{4}w''}$$

übergehen. Ist die vorstehende Formel aber in den Hauptstücken richtig, so ist es schon einleuchtend, dafs die Berechnung nur annähernd genaue, nie ganz exacte Werthe geben kann, da nach dem Obigen unter verändertem Widerstande dieselbe Drahtlänge durch eine etwas verschiedene Länge eines anderen Drahtes compensirt wird. Erst wenn wir im Stande seyn werden, die compensirten Längen ganz unabhängig von den obigen Reihen anzugeben, und demnach die erforderlichen kleineren Correctionen in die vorstehende Gleichung einführen können, erst dann werden wir die Beobachtungsfehler und die anderweitigen Störungen streng übersehen; so lange diese Kenntnifs fehlt, mag es genügen eine vorläufige Uebersicht über den ganzen Hergang im getheilten Schliefsungsdrahte der Batterie zu gewinnen. — Bei der Berechnung habe ich erst aus den angeführten Bedingungsgleichungen die constante Länge der Zweige nach dem Drahte bestimmt, welcher in den einen Zweig zu immer gröfserer Länge eingeschaltet wurde; dann habe ich

$$\Theta' + \Theta'' = \frac{C \frac{\lambda'^2 + \lambda''^2}{(\lambda' + \lambda'')^2}}{W + \left(\frac{\lambda''}{\lambda' + \lambda''}\right)^2 w' + \left(\frac{\lambda'}{\lambda' + \lambda''}\right)^2 w''}$$

genommen, für $\Theta' + \Theta''$ den Werth aus der Beobachtungsreihe entlehnt, und hiermit $C$ berechnet, wie es die Tabelle giebt; der mittlere Werth dieser Gröfse diente zur weiteren Rechnung von $\Theta'$ und $\Theta''$ nach der Formel. — Es kam nun darauf an, die Anordnung der Zweige und den Widerstand in der Hauptleitung so weit variiren zu lassen, dafs über die Richtigkeit der gegebenen Formel im Allgemeinen kein Zweifel bliebe. Ich theile die hierzu angestellten Versuche der Reihe nach mit. Zunächst wurde Neusilberdraht No. V zur Einschaltung genommen.

Vierter Versuch, Beide Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19,75 | 19,48 | 0 | 19,75 | 19,48 | 45,8 |
| 4′ N. | 5,12 | 4,77 | 0 | 27,72 | 28,13 | 45,1 |
| 8′ N. | 2,31 | 2,18 | 0 | 31,97 | 32,35 | 45,6 |
| 12′ N. | 1,09 | 1,25 | 0 | 34,53 | 35,04 | 44,3 |
| | | *Const*=2,8 Neus. | | | | 45,2 |

Von den früheren Versuchen mit dem Thermometer ($A$) gebe ich zwei ähnliche Reihen mit Neus. V, obschon die Berechnung des weniger genau bekannten Widerstandes willen nicht so vollkommen stimmt, wie es sonst vielleicht der Fall seyn möchte; indefs habe ich die Reihen früher doppelt gemacht, und sie scheinen mir deshalb einige Beachtung zu verdienen. Die zur Compensation erforderliche Länge an Neusilber ist dem Früheren vollkommen entsprechend etwas gröfser, als in der obigen Reihe.

Fünfter Versuch. Beide Zweige unverändert.

*a*)

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 23,50 | 23,12 | 0 | 23,50 | 23,12 | 51,5 |
| 2′ N. | 11,75 | 11,33 | 0 | 28,69 | 27,80 | 55,4 |
| 4′ N. | 7,28 | 6,90 | 0 | 31,37 | 31,32 | 54,2 |
| 6′ N. | 4,37 | 4,66 | 0 | 33,94 | 34,04 | 53,0 |
| 8′ N. | 3,37 | 3,39 | 0 | 35,33 | 36,16 | 52,4 |
| 12′ N. | 2,12 | 2,03 | 0 | 38,88 | 39,24 | 53,2 |
| 16′ N. | 1,65 | 1,36 | 0 | 40,28 | 41,46 | 52,5 |
| | | | | | | 53,6 |

*b*)

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 22,95 | 22,89 | 0 | 22,95 | 22,89 | 53,2 |
| 4′ N. | 6,95 | 6,82 | 0 | 31,27 | 31,04 | 53,6 |
| 8′ N. | 3,28 | 3,36 | 0 | 36,06 | 35,82 | 53,3 |
| 12′ N. | 1,91 | 2,00 | 0 | 38,22 | 38,88 | 52,1 |
| | | | | | | 53,1 |

*a*) $Const = 3{,}58$ Neus. *b*) $= 3{,}48$. Mittel $= 3{,}53$.

Sechster Versuch. Beide Zweige durch 4′ Kupfer verlängert.

*a*)

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 23,59 | 24,12 | 0 | 23,59 | 24,12 | 58,9 |
| 4′ N. | 9,16 | 9,21 | 0 | 28,66 | 28,24 | 60,9 |
| 8′ N. | 5,18 | 5,10 | 0 | 32,50 | 31,86 | 61,5 |
| | | | | | | 60,4 |

*b*)

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 22,58 | 23,08 | 0 | 22,58 | 23,08 | 56,5 |
| 4′ N. | 9,09 | 8,83 | 0 | 26,97 | 27,01 | 58,2 |
| 8′ N. | 5,12 | 4,89 | 0 | 31,00 | 30,48 | 59,0 |
| 12′ N. | 3,09 | 3,16 | 0 | 33,12 | 33,31 | 57,4 |
| | | | | | | 57,8 |

*a*) $Const = 5{,}29$ Neus. *b*) 5,39. Mittel $= 5{,}34$.

Zur weiteren Probe gab ich den Zweigen an Widerstand stärkere Zusätze, zuerst 4′ Neus. III, dann 4′ Neus. V auf jeder Seite. Die Beobachtungen mit dem Thermometer (*A*) genügen hier, da die kleine Differenz

in den Widerständen der Zweige gegen die Hauptleitung jetzt fast ganz in den Hintergrund tritt. Neusilber V wurde in beiden Fällen eingeschaltet.

Siebenter Versuch. Beide Zweige um 4′ Neus. III verlängert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 16,00 | 16,00 | 0 | 16,00 | 16,00 | 59,8 |
| 4′ N. | 6,75 | 6,92 | 0 | 19,82 | 19,57 | 60,0 |
| 8′ N. | 3,94 | 3,84 | 0 | 22,12 | 22,17 | 59,9 |
| 12′ N. | 2,59 | 2,56 | 0 | 23,75 | 23,87 | 59,6 |
| | | $Const = 5{,}84$ Neus. V. | | | | 59,8 |

Achter Versuch. Beide Zweige um 4′ Neus. V verlängert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 14,15 | 14,15 | 0 | 14,15 | 14,15 | 76,9 |
| 4′ N. | 7,06 | 7,08 | 0 | 17,50 | 17,48 | 76,9 |
| 8′ N. | 4,25 | 4,27 | 0 | 19,50 | 19,48 | 76,9 |
| | | $Const = 7{,}0$ Neus. V. | | | | 76,9 |

Die gröfsere Uebereinstimmung in diesen Reihen hat offenbar ihren Grund in dem durch den vermehrten Widerstand mehr stabilen Lauf der elektrischen Ströme.

Eine sehr genügende Probe für die Richtigkeit der Formel geben die folgenden drei Versuche, in denen zuerst in den einen Zweig 4′ Neus. V, dann Platin $B$ (Widerstand $= 2{,}00$) eingesetzt wurden, hinterher in den andern Zweig immer gröfsere Längen von Kupferdraht; hier mufste sich der Strom hauptsächlich auf den am meisten gehemmten Zweig hinüberwerfen. Im dritten Versuche wurde dem Neus. V Eisendraht No. IV entgegengesetzt. Diese mit Thermometer ($B$) angestellten Versuche haben, natürlich etwas Mifsliches, und geringere Fehler in den angenommenen Widerständen üben einen bedeutenden Einflufs auf die Resultate der Rechnung.

Neunter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,75 | 17,72 | 0 | 17,75 | 17,72 | 41,2 |
| 4′ N. | 4,81 | 4,83 | 0 | 24,47 | 25,29 | 40,0 |
| 4′ N. | 10,18 | 9,80 | 8′ K. | 11,10 | 11,37 | 41,3 |
| 4′ N. | 12,10 | 11,97 | 16′ K. | 6,00 | 5,95 | 41,5 |
| 4′ N. | 13,09 | 13,19 | 24′ K. | 3,94 | 3,62 | 41,6 |
| *Const*=7,12 K. 4′ Neus. V=9,18 K. | | | | | | 41,1 |

Zehnter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,12 | 17,24 | 0 | 17,12 | 17,24 | 39,7 |
| Pl. $B$ | 4,12 | 4,20 | 0 | 23,58 | 24,20 | 39,1 |
| Pl. $B$ | 8,62 | 8,31 | 8′ K. | 10,62 | 11,21 | 39,4 |
| Pl. $B$ | 10,21 | 9,99 | 16′ K. | 5,87 | 5,85 | 40,6 |
| Pl. $B$ | 10,97 | 10,98 | 24′ K. | 3,87 | 3,58 | 40,7 |
| Pl. $B$ | 11,40 | 11,49 | 32′ K. | 2,69 | 2,39 | 40,6 |
| *Const*=7,5 K. Plat. $B$ = 10,5 K. | | | | | | 40,0 |

Der letzte Versuch mit Neus. V und Eisen IV hat, wie ich glaube, des etwas zu starken Stromes willen, die meisten Schwankungen erfahren, doch beweist er auch so noch die Richtigkeit der Formel.

Elfter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$ | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 23,20 | 24,00 | 0 | 23,20 | 24,00 | 53,8 |
| 4′ N. | 7,03 | 7,19 | 0 | 31,97 | 32,11 | 54,8 |
| 4′ N. | 11,60 | 10,83 | 4′ E. | 16,94 | 16,85 | 57,4 |
| 4′ N. | 13,43 | 13,05 | 8′ E. | 10,44 | 10,18 | 57,2 |
| 4′ N. | 14,91 | 14,65 | 12′ E. | 6,94 | 6,35 | 56,6 |
| 4′ N. | 15,72 | 15,68 | 16′ E. | 4,91 | 4,87 | 55,9 |
| 4′ N. | 16,50 | 16,86 | 20′ E. | 3,69 | 3,74 | 54,6 |
| *Const*=5,7 Eis. 4′ Neus. =6,4 Eis. | | | | | | 55,7 |

Für den Widerstand der vereinigten Hauptleitung =0,16 mögen diese vielfach abgeänderten Versuche genügen; jetzt noch einige andere, wenn ein Draht in die Hauptleitung eingeschoben wird. In den beiden näch-

sten Versuchen war Platinspirale $A$ (Widerstand $=1{,}00$) in der vereinigten Leitung, und Thermometer ($A$) ist Meſsinstrument, denn die kleine Differenz in den Zahlen tritt hier in den Hintergrund. Zuerst wurde in den einen Zweig Kupferdraht, dann zweitens Neusilber V eingeschaltet.

Zwölfter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 16,26 | 16,17 | 0 | 16,26 | 16,17 | 102,6 |
| 4′ K. | 10,34 | 10,32 | 0 | 23,31 | 22,63 | 104,2 |
| 8′ K. | 7,12 | 7,12 | 0 | 27,37 | 27,46 | 101,8 |
| 12′ K. | 5,12 | 5,13 | 0 | 30,69 | 30,67 | 102,0 |
| 16′ K. | 3,84 | 3,91 | 0 | 32,59 | 33,42 | 99,5 |
| | | $Const=8{,}3$ K. | | | | 102,0 |

Dreizehnter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z''$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 17,19 | 17,45 | 0 | 17,19 | 17,45 | 108,4 |
| 4′ N. | 5,62 | 5,55 | 0 | 30,66 | 30,23 | 111,6 |
| 8′ N. | 2,75 | 2,72 | 0 | 36,81 | 36,59 | 110,8 |
| 12′ N. | 1,62 | 1,62 | 0 | 40,47 | 40,66 | 109,6 |
| | | $Const=3{,}0$ Neus. | | | | 110,1 |

Ferner habe ich mit Thermometer ($B$) noch folgende Versuche gemacht; zuerst wurde bei 2′ Neus. VI in der vereinigten Hauptleitung Kupferdraht in den einen Zweig gefügt, und zweitens gegen 4′ Neus. V in den einen Zweig Eisendraht IV in den andern eingeschaltet.

Vierzehnter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 12,80 | 12,66 | 0 | 12,80 | 12,66 | 72,0 |
| 4′ K. | 7,50 | 7,46 | 0 | 18,53 | 18,42 | 72,0 |
| 8′ K. | 4,75 | 4,88 | 0 | 22,65 | 22,43 | 71,6 |
| 12′ K. | 3,44 | 3,42 | 0 | 25,03 | 25,18 | 71,2 |
| 16′ K. | 2,37 | 2,51 | 0 | 26,91 | 27,16 | 70,6 |
| | | $Const=7{,}0$ K. | | | | 71,5 |

Funfzehnter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 12,49 | 12,79 | 0 | 12,49 | 12,79 | 70,8 |
| 4′ N. | 3,46 | 3,62 | 0 | 21,91 | 22,84 | 69,9 |
| 4′ N. | 7,12 | 7,07 | 4′ E. | 13,00 | 13,01 | 72,6 |
| 4′ N. | 9,87 | 9,65 | 8′ E. | 8,50 | 8,35 | 74,0 |
| 4′ N. | 11,72 | 11,46 | 12′ E. | 5,94 | 5,72 | 74,5 |
| 4′ N. | 13,00 | 12,80 | 16′ E. | 4,18 | 4,16 | 73,4 |
| | | | $Const = 4{,}7$ Eis. 4′ Neus. $= 7{,}1$ Eis. | | | 72,5 |

Endlich fügte ich noch bei 4′ Neus. VI Neusilber V in den einen Zweig ein; hier gab Thermometer ($B$):

Sechszehnter Versuch. Zweige unverändert.

| Zu $Z'$. | $\Theta'$ beob. | $\Theta'$ ber. | Zu $Z''$. | $\Theta''$ beob. | $\Theta''$ ber. | $C$. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 13,95 | 13,43 | 0 | 13,95 | 13,43 | 125,6 |
| 4′ N. | 3,87 | 3,94 | 0 | 25,25 | 25,09 | 120,9 |
| 8′ N. | 1,72 | 1,83 | 0 | 29,62 | 30,72 | 116,5 |
| | | | $Const = 2{,}6$ Neus. | | | 121,0 |

Die mannigfach abgeänderten Versuche dieses Abschnitts entsprechen der Formel, so weit man es billigerweise verlangen kann. Die Differenzen, obschon klein, vermag ich indefs doch nicht dem Thermometer allein zuzuschreiben, da ich seinen Gang sorgfältig beobachtet habe, und sich auch einige regelmäfsige Abweichungen hervorstellen, die entweder in den noch etwas fehlerhaft bestimmten Widerständen der Drähte, vielleicht auch in der Entladung über die Kugeln des Ausladers ihren Grund haben, die möglicherweise bei verschiedenen Schliefsungsdrähten nicht ganz gleich ist. Wenn es irgendwie ausführbar ist, müssen hierüber später wiederholte Versuche Entscheidung bringen.

7) Die Abnahme der Stromstärke in der vereinigten Leitung.

Nachdem sich im Vorhergehenden die aufgestellte Formel für die Stromstärke in den Zweigen einer ge-

theilten Leitung im Ganzen bewährt hat, verlohnt es sich wohl der Mühe wenigstens vorläufig zu ermitteln, wie sich dieselbe für die Stromstärke in der wieder vereinigten Leitung stellen werde, obschon ich mir vorbehalte später einmal diesen Theil durch einige Versuche zu erläutern. Wenn in dem Zweige $Z'$ die Erwärmung $= \Theta'$ und in $Z'' = \Theta''$ ist, so ist die Quantität der Elektricität bekanntlich proportional mit $\sqrt{\Theta'}$ und $\sqrt{\Theta''}$, und die Erwärmung im Hauptdrahte, vorausgesetzt dafs mit demselben Thermometer gemessen werde, ist

$$= \Theta = (\sqrt{\Theta'} + \sqrt{\Theta''})^2,$$

oder bei einem andern Thermometer dieser Gröfse proportional. Nun geben die obigen Formeln:

$$\Theta = \frac{C}{W + \left(\frac{\lambda''}{\lambda' + \lambda''}\right)^2 w' + \left(\frac{\lambda'}{\lambda' + \lambda''}\right)^2 w''}.$$

Ist hier $\lambda''$ unendlich grofs, oder, was dasselbe ist, bleibt der Zweig $Z''$ geöffnet, so haben wir im Hauptdrahte:

$$\Theta_0 = \frac{C}{W + w'},$$

wie dieſs auch anderweitig bekannt ist. Soll also eine Abnahme bei geschlossenem Zweige $Z''$ stattfinden, so mufs:

$$\Theta_0 > \Theta$$

seyn, oder:

$$\frac{C}{W + w'} > \frac{C}{W + \left(\frac{\lambda''}{\lambda' + \lambda''}\right)^2 w' + \left(\frac{\lambda'}{\lambda' + \lambda''}\right) w''};$$

dieſs giebt:

$$\lambda''^2 w' + \lambda'^2 w'' > (\lambda' + \lambda'')^2 w',$$

woraus

$$\lambda' w'' > (\lambda' + 2\lambda'') w'$$

folgt. So oft dieser Bedingungsgleichung Genüge geschieht, wird bei geschlossenem $Z''$ ein Verlust gegen die Erwärmung bei geöffnetem $Z''$ stattfinden. — Wir wollen hier nur die im zweiten Abschnitte angeführten

Probeversuche des Beispiels halber berücksichtigen, ohne auf die Zahlenwerthe einen zu grofsen Werth zu legen. Der Zweig $Z'$ bestand anfänglich aus 22′ Kupferdraht, also $w'=0{,}41$; der Zweig $Z''$ enthielt das Thermometer nebst Zubehör, wobei hier auch die schlecht leitende Stelle in $Z''$ fallen mufste, also $w''=0{,}84$, $W$ endlich war = Thermometer $N+0{,}16=2{,}47$. Compensiren wir ferner die Zweige durch Kupferdraht, so haben wir $\lambda'=22$ und $\lambda''$ annähernd genau $=9$. Die Bedingungsgleichung für den Verlust verlangt, dafs $22\times0{,}84>40\times0{,}41$ sey, der hier gerade eben erst genügt wird. Es war aber $\Theta_0=21{,}33=\frac{C}{2{,}92}$ oder $C=62{,}28$; demnach wird $\Theta=21{,}28$, welcher Verlust sich der Beobachtung natürlich vollständig entzieht. Als darauf Platin $B$ (Widerstand $=2{,}00$) in $Z''$ eingefügt war, ward, wenn $B=11'$ K., $w''=2{,}84$, $\lambda''=20$; die übrigen Gröfsen blieben unverändert. Hier war wieder $\Theta_0=21{,}33$, also $C=62{,}28$, und unsere Formel liefert $\Theta=18{,}63$, während die Beobachtung 18,12 ergab, sicher hinreichend genau für einen Probeversuch, und zwar um so mehr, als keine ganz sicheren Bestimmungen bei der Compensation vorliegen. Ich zweifele demnach keineswegs, dafs spätere Versuche auch hier der Formel in allen Fällen genügen werden.

### 8. Der elektrische Nebenstrom.

Die gewonnene Einsicht über die Strömungen im getheilten Schliefsungsdrahte verstattet uns auch die Entstehungsweise und den Verlauf des elektrischen Nebenstroms besser zu erkennen, als es bisher der Fall seyn konnte. Gehen wir nämlich von den Thatsachen aus, die vorliegen, und trennen, des bequemeren Ausdrucks halber, den leitenden Ring, durch welchen der Nebenstrom geht, in zwei Theile, in den gespannten Draht, welcher der Hauptleitung in irgend einem Abstande parallel läuft, und in den Nebendraht, welcher durch das

Thermometer gewöhnlich verbunden wird, so habe ich in meiner vorigen Abhandlung nachgewiesen, dafs durch den Nebendraht ein Strom von ganz gleichen Eigenschaften hindurchgeht, der gespannte Draht mag von dem Hauptdrahte durch einen nicht leitenden Zwischenraum getrennt, oder mit ihm zu einer Leitung verbunden seyn. Ferner habe ich früher erwähnt, dafs die elektrischen Figuren im Nebendrahte dieselben sind in eben diesen beiden Fällen. Da nun die elektrischen Figuren die gleich bleibende Stromrichtung angeben, der Nebendraht aber, wenn er eine vollständige Zweigbahn zur Hauptschliefsung bildet, einen Strom nach derselben Richtung empfängt, als wie im Hauptdrahte ist, so läuft im Nebendrahte der Strom dem Hauptstrome gleichsinnig. Der Nebendraht selbst empfängt aber, um seines Abstandes und seiner Lage willen, keine Einwirkung vom Hauptdrahte; der Strom also, der in ihm hervortritt, wird durch den gespannten Draht allein hervorgerufen, und mufs, wenn er in zwei Fällen gleiche Eigenthümlichkeiten zeigt, sicher in beiden von einem gleichen Strome erzeugt werden. Kommt der gespannte Draht mit dem Hauptdrahte in leitende Verbindung, so haben beide einen gleich gerichteten Strom, und es folgt hieraus, dafs auch bei der Entfernung des gespannten Drahtes vom Hauptdrahte in beiden ein gleich gerichteter Strom statt hat. Diese Ansicht, dafs beide Drähte, in denen der Nebenstrom verläuft, von gleich gerichteten Strömen durchzogen werden, mag anfänglich etwas sonderbar scheinen, aber richtig ist sie dennoch auf jede Weise. Ich erlaube mir den Hergang zu erläutern, wie ich ihn allein für möglich halte. Alle Gesetze, denen die elektrischen Strömungen im getheilten Schliefsungsdrahte unterworfen sind, erklärten sich uns aus der Anwesenheit der freien Elektricität und ihrer freien Spannung; freie Elektricität wirkt bindend nach aufsen, also auch auf den gespannten Draht; seine Strömungen entstehen daher durch gebundene Elek-

tricität, oder vielmehr durch die freie, die durch die gebundene auftritt. Ich habe hierzu schon früher nachgewiesen, dafs die Quantität der gebundenen Elektricität von ruhender freien, wie sie durch die Drehwage ermittelt wird, bei verschiedenen Abständen genau unter derselben Formel steht, wie die Strömung im Nebendrahte, jedoch mit dem Unterschiede, dafs hier der von mir so benannte Bindungsexponent gegen den ersteren Fall im Quadrate vorkommt, und denn zweitens bei gehemmter Leitung im Hauptdrahte oder im Nebendrahte vermindert wird. Das Vorkommen im Quadrate wird aber jetzt ganz einfach dadurch erklärt, dafs man mit der Drehwage die Quantität der Elektricität allein, mit dem Lufthermometer das Product aus Quantität und Intensität mifst, die bei gleichen Verhältnissen zu einander proportional sind. Mag man demnach über den Werth der von mir aufgestellten Formel für jetzt noch ein beliebiges Urtheil hegen, denn zum Beweise ihrer unbezweifelbaren Richtigkeit fehlt noch der Nachweis über die Richtigkeit der eingeführten Constante, zu welchem Nachweise ich indefs durch die obigen Untersuchungen die nothwendigen Mittel der Berechnung in Händen zu haben glaube, so viel bleibt immer wahr, dafs beide Dinge, die Quantität der anerkannt gebundenen Elektricität und die Stärke des Nebenstroms unter derselben Formel stehen, also auch gleichen Ursprungs seyn müssen. Hierzu kommt ein Umstand, der in seinem Wesen zwar noch nicht erklärt, doch mehr als alles Andere das Daseyn der gebundenen Elektricität erhärtet. Bei den Compensationsbestimmungen fanden wir im Obigen verschiedene Werthe, je nachdem der Widerstand in der Leitung vermindert oder vermehrt wird; eine Erklärung bietet sich nur dar, wenn wir die Eigenschaften der freien Spannung in den Drähten durch den veränderten Widerstand als modificirt ansehen. Ist diefs der Fall, wie sollte nicht dann auch die so modificirte Elektricität auf eine andere Weise

binden, sie, die schon auf ihrer eigenen Leitung schwächer zurückwirkt? Diese Modification habe ich aber beim Nebenstrom in der variablen Gröfse des Bindungsexponenten nachgewiesen. Hiernach sprechen allein schon hinreichende Thatsachen dafür, dafs der Nebenstrom nur durch gebundene Elektricität entstehen kann. Wenn wir aber diese Ansicht aufnehmen, so haben wir aufserdem eine ganz einfache Erklärung des Nebenstroms. Sobald die Elektricität an die Stelle des Hauptdrathes tritt, an welcher ihm parallel der gespannte Draht beginnt, so bindet das erste ankommende z. B. positive Theilchen zunächst ein Theilchen negativer Elektricität auf dem Nebendraht, und ein Theilchen positiver wird frei. Das freie Theilchen im Hauptdrahte rückt weiter, demnach rückt auch entweder das gebundene negative weiter und mit ihm das frei gewordene positive, oder jenes vorher gebundene Theilchen verbindet sich wieder mit seiner freien Elektricität und ein neues Theilchen wird gebunden, eben so ein neues frei. Bei beiden Ansichten rückt im gespannten Drahte eben so ein freies Theilchen positiver Elektricität vorwärts, wie im Hauptdrahte das freie Theilchen vorrückt; jedes folgende Theilchen übt einen gleichen Einflufs, folglich strömt gerade wie im Hauptdrahte, so auch im gespannten Drahte positive Elektricität vorwärts, natürlich im letzteren in einem so geminderten Maafse, als es die Entfernung vom ersteren in jedem Falle bedingt. Haben wir hiermit den Strom im gespannten Drahte, der andere im Nebendrahte wird uns nicht fehlen. Wir gehen wieder auf den getheilten Schliefsungsdraht zurück. Die Elektricität der Batterie, welche bis an die getrennten Zweige gelangt, wird offenbar nicht nach eigener Wahl den schwierigeren Weg, wo sie die meisten Hindernisse findet, durch die Zweige einschlagen, sondern den leichteren zumeist, wie diefs natürlich ist; und doch zwingt sie das erforderliche Gleichgewicht der Spannung an der Vereinigungsstelle einen Gang

zunehmen, der weiter vom Ziele abliegt. Die Elektricität also, die eigentlich durch den leichteren Weg hindurch will, mufs auch den schwierigeren gerade in dem Maafse ausfüllen, bis das Gleichgewicht erzielt ist; ein einseitiger Gang ist hier nicht möglich. Eben so ist indefs mit dem gespannten Drahte auch der Nebendraht verbunden; die freie Elektricität wird hier ursprünglich den gespannten Draht entlang getrieben, aber sie kann auf ihm ihre Strömung nicht vollbringen, es sey denn, dafs sie auch den Nebendraht erfüllt und an der Vereinigungsstelle das Gleichgewicht der Spannung herstellt. Der eine Strom ohne den andern ist wieder unmöglich. Folglich gehen beide Ströme in gleicher Richtung, und werden sich ohne allen Zweifel nach derselben Weise vertheilen, wie sich die Ströme in den Zweigen des Schliefsungsdrahtes vertheilen. Hieraus erklärt sich zugleich die Beobachtung von Riefs, dafs wenn man den Ring, durch welchen der Nebenstrom geht, aus einem feineren und einem ihm gleich langen stärkeren Draht zusammensetzt, das Thermometer im Nebendrahte einen stärkeren Strom anzeigt, wenn der feinere, als wenn der stärkere Draht im gleichen Abstande vom Hauptdrahte ausgespannt wird. Denn findet in beiden Fällen eine gleiche Elektricitätserregung statt, so nimmt bei der Vertheilung dieses inducirten Stromes der Nebendraht einen gröfseren Theil auf sich, wenn er durch den stärkeren Draht eine bessere, der andere Zweig mit dem feineren Draht eine schlechtere Leitung gewährt, oder mit unseren Worten, wenn der Nebendraht durch eine kürzere Länge, der gespannte durch eine gröfsere compensirt wird. Eben so umgekehrt. — Zum Schlusse noch einige Worte über die verzögernde Wirkung des Nebenstroms auf den Hauptstrom. Wiederum giebt der Hauptstrom die genügende Auskunft. Wir haben gesehen, dafs sich der Strom in die beiden Zweige so vertheilt, und sich in ihnen bei dieser Vertheilung so schwächen kann, dafs er in seiner

Vereinigung nicht mehr dieselbe Gröfse erreicht, als wenn er nur durch einen Zweig bei geöffnetem anderem hindurchgegangen wäre. Dieselbe Vertheilung findet auch bei dem durch die gebundene Elektricität erregten Strome statt; er vertheilt sich nach demselben Gesetze in die beiden Zweige des Ringes. So oft daher auch hier die Vertheilung von der Art ist, dafs die übrigbleibende freie Elektricität, die aus der gebundenen hervortrat, nicht mehr dieselbe Gröfse hat, als die gebundene, die ihr den Impuls gab, so oft kann die freie Elektricität nicht mehr hinreichen die gebundene auszugleichen, wenn diese nach Ablauf des Hauptstromes ebenfalls frei wird. Gebundene Elektricität wirkt aber auf die freie zurück, von der sie gebunden wird, und sicher ist das Band zwischen ihnen stärker, als man anzunehmen geneigt scheint; kann demnach die gebundene Elektricität nicht wieder in der freien verschwinden, der sie den Ursprung gab, so kann auch die freie Elektricität nicht fort, von der sie gebunden ward. Die Folge hiervon ist, dafs sich der Strom im Hauptdrahte eben so verlangsamen mufs, als sich das Verschwinden der gebundenen Elektricität in dem Nebendrahte verlangsamt.

Meiningen, 1843.

## VI. *Ueber die tägliche Variation der magnetischen Elemente in München;*

*von J. Lamont.*

Director der Königlichen Sternwarte.

Im Jahre 1840 habe ich, der Aufforderung der Königl. Societät in London entsprechend, und nach vorläufigem Benehmen mit Hrn. Staatsrath Kupffer, ein magnetisches Observatorium an der hiesigen K. Sternwarte eingerichtet, um correspondirend mit den brittischen und