Zwillinge zu der Axenebene ac oder die nach den drei folgenden Gesetzen zu der Axenebene ab , beim Albit gar nicht beobachtet ist, so fällt auch der Grund für die Wahrscheinlichkeit der letzten sechs Gesetze weg, und es bleiben nur die ersten angeführten sechs Gesetze, die aber jetzt sämmtlich durch die Beobachtung bestätigt worden sind.

II. *Experimentaler Beweis, daß der galvanische Strom unabhängig von der entwickelten Wärme feste Körper ausdehnt; von Er. Edlund.*

(Vorgetragen in der Königl. Schwedischen Akademie der Wissenschaften den 10. Januar 1866.)

1. Vor etwa einem Jahre wollte ich bei einer physikalischen Untersuchung die Temperaturerhöhung bestimmen, die in einem Metalldraht durch einen galvanischen Strom hervorgebracht wird, und als Maafs dieser Temperaturerhöhung diente die Verlängerung des Drahts. Obgleich dieser Versuch keineswegs als beweisend betrachtet werden konnte, gab mir derselbe doch Veranlassung zu der Vermuthung, daß der Strom selbst eine Verlängerung des Drahts verursachte, unabhängig von der Verlängerung die durch die Temperaturerhöhung entstanden war. Ich beschloß daher diesen Gegenstand näher zu untersuchen. Es sind die Ergebnisse dieser Untersuchung, die ich nebst einigen allgemeinen Schlußfolgerungen, wozu jene Veranlassung gaben, im Folgenden mittheilen werde.

Wie man leicht einsehen wird, liegt bei einer solchen Untersuchung die eigentliche Schwierigkeit darin, die Ausdehnung des Drahts, die direct von der Wärme verursacht wird, genau bestimmen zu können. Man muß nämlich mit Genauigkeit die Temperatur des Drahts kennen,

während der Strom denselben durchläuft. Zu diesem Zwecke kann man kein gewöhnliches Thermometer benutzen, weil ein solches sich nicht der Art am Drahte anbringen läßt, daß man damit die Temperatur des letzteren zuverlässig ermitteln kann. Man kann auch nicht eine thermoelektrische Säule anwenden, welche, wenn es sich um geringe Temperaturveränderungen handelt, die durch schnelle Veränderungen des Drahtvolumens verursacht werden, dem Zwecke entspricht. Eine solche Säule bewirkt eine Ausbreitung des Stroms an derjenigen Stelle, wo sich dieselbe befindet, weshalb an dieser Stelle eine niedrigere Temperatur, als in den übrigen Theilen des Drahts, erfolgt. Weil nun außerdem der Strom Zeit bedarf, um eine Verlängerung des Drahts zu bewirken, so gewinnt die Wärme ebenfalls Zeit, durch die Säulenstangen zu entweichen, und mithin wird auch aus diesem Grunde die Temperatur an der betreffenden Stelle niedriger. Daß die Verlängerung des Drahts nicht als Maafs der Temperatur dienen kann, wenn es sich um die Bestimmung handelt, in welchem Grade Verlängerung und Temperaturerhöhung einander entsprechen, ist selbstverständlich. Aus Gründen, die weiterhin erörtert werden sollen, kann man ebenfalls nicht zu dem Zwecke, um den es sich hier handelt, die Temperatur dadurch constant erhalten, daß man den Draht in eine die Elektrizität nicht leitende Flüssigkeit, welche die vom Strom entwickelte Wärme schnell ableitet, eintaucht. Um die Wärme zu messen, muß man sich daher nach einer andern Eigenschaft derselben umsehen, und eine solche erbietet sich sogleich in ihrem Vermögen, den elektrischen Leitungswiderstand zu verändern. Diese Veränderung ist so bedeutend, daß sie ein genaues Maafs für den Temperaturüberschuß abgibt. Bei den von mir benutzten Eisendrähten können die Fehler bei den directen Messungen in den meisten Fällen 0,2 Grade nicht übersteigen, und beim Messingdraht, bei dem die Unsicherheit in dieser Beziehung am größten war, konnten die Fehler keine 0,6 Grade erreichen.

2. Die angewandte Untersuchungsmethode war folgende: Der zu untersuchende Metalldraht ward horizontal ausgespannt und dessen Leitungswiderstand ermittelt. Sodann wird der Draht von einem galvanischen Strome erwärmt. Sobald die Verlängerung constant geworden, ward sie genau gemessen, der erwärmende Strom sodann unterbrochen, und 0,36 Secunden später der Leitungswiderstand wiederum bestimmt. Durch besonders angestellte Versuche ergab sich, um wie viel die Verlängerung des Drahtes sich während der angegebenen kurzen Zeitdauer verminderte. Subtrahirte man diese Verminderung von der gemessenen Verlängerung, so erhielt man als Rest diejenige Verlängerung, welche der Draht in jenem Augenblicke, wo der Widerstand gemessen wurde, besaß. Diese Versuche wurden bei verschiedenen Spannungen des Drahts und bei verschiedener Stärke des Stromes wiederholt. Nachdem dieses bewerkstelligt worden, ward der Leitungswiderstand des Drahts abermals bei der Lufttemperatur im Zimmer ermittelt, und das Mittel zwischen dieser und der ersten Bestimmung genommen. Wenn man nun die Ausdehnung des Drahtes durch die Wärme und die Veränderung seines Leitungswiderstandes für einen gegebenen Temperaturzuschuss kenne, so besäße man Alles, was erforderlich wäre, um zu berechnen, in wiefern die Verlängerung des Drahtes von der Temperaturerhöhung allein verursacht wurde, oder nicht. Aber sowohl die Ausdehnung durch Wärme, als besonders die Veränderung des Leitungswiderstandes sind selbst bei Drähten derselben Art etwas verschieden, und selbige müssen daher bei jedem Draht besonders bestimmt werden. Ohne daß der ausgespannte Draht im mindesten verrückt wurde, ward er mit Wasser von verschiedener Temperatur umgeben, und dessen Wärmeausdehnung mit eben demselben Apparat bestimmt, womit die Ausdehnung durch den galvanischen Strom vorher gemessen wurde. Wenn demnach wider alle Vermuthung die Untersuchungsmethode mit irgend merkbaren constanten Fehlern behaftet gewesen wäre, so hätten selbige in einem

und demselben Grade auf beide Messungen einwirken und somit das Endresultat unabhängig davon machen müssen. Nachdem die Wärmeausdehnung bestimmt worden, ward der Draht aus dem Apparat herausgenommen und dessen Veränderungen im Leitungswiderstande durch ein weiterhin näher erörtertes Verfahren bestimmt. Der Grund, weshalb die Versuche bei zwei verschiedenen Streckungen des Drahts angestellt wurden, ist folgender. Nach Wertheim's Untersuchung bewirkt der galvanische Strom eine temporäre Verminderung der Elasticität der Metalle, und eben dieselbe Wirkung verursacht auch die Wärme. Wenn der galvanische Strom durch den gespannten Metalldraht geht, ist also die Elasticität desselben geringer, als wenn der Draht eine niedrigere Temperatur hat und von keinem Strom durchzogen wird. In Folge dessen muß der Draht sich beim Durchgang des Stroms mehr ausstrecken, als es der Fall seyn würde, wenn keine Verminderung der Elasticität stattfände. Es ist aber klar, daß diese Vermehrung der Streckung in demselben Verhältniß geringer werden muß, als der Draht weniger belastet wird, und es ist möglich die Belastung so unbedeutend zu nehmen, daß eine merkbare Vermehrung der Streckung aus diesen Gründen nicht entsteht. Macht man somit Versuche bei zwei verschiedenen Belastungen, und findet man dabei, daß diese dieselbe Verlängerung ergeben, so ist dies ein Beweis, daß die erwähnte Verminderung der Elasticität keinen merkbaren Einfluß auf die Zuverlässigkeit der Versuche ausübt. Dies war stets der Fall bei den folgenden Versuchen.

3. Fig. 1 Taf. I stellt die Art und Weise dar, worauf diese Beobachtungsmethode praktisch ausgeführt wurde. f ist der Draht, der untersucht werden soll und der sich von F bis A erstreckt; n und n' sind zwei Neusilberdrähte, und r ist ein Rheostat. l und l' sind zwei Leitungsdrähte, die das Galvanometer b mit den Punkten N und g in Verbindung setzen. x stellt einen Commutator dar, der in seiner einen Stellung a mit a' verbindet und den Punkt g

frei läßt, und in seiner andern Stellung a' mit g verknüpft und den Punkt a ausläßt. h und h' sind die Leitungsdrähte, durch welche der Wärme producirende Strom von der galvanischen Säule anlangt. e ist eine kleine Säule von 1 oder 2 Daniell'schen Elementen, die den Strom, mit welchem der Widerstand in f gemessen wird, abgiebt. Diese Säule ist daher mittelst Leitungsdrähte mit den Punkten D und F in Verbindung gesetzt. Der Leiter l' zum Galvanometer ist bei p unterbrochen, und es befindet sich daselbst ein Pendel, welches, während der Punkt a durch den erwähnten Commutator mit a' verbunden, und der Punkt g frei ist, seitwärts von seiner Gleichgewichtslage aufgehakt ist. In demselben Augenblick, wo der Commutator umgeworfen wird, so daß a' mit g verbunden und der Punkt a isolirt gelassen, wird das Pendel gerade durch die Umwerfung des Commutators frei gemacht, und die beiden getrennten Theile der Leitung l' werden dadurch mit einander verbunden, daß das Pendel während seiner Bewegung mit einem Metallstift, der mit dem einen Theil von l' in Verbindung steht, einen Quecksilbertropfen, welcher den Endpunkt des andern Theiles bildet, berührt. Dieser Contact war in 0,36 Secunden vollendet, nachdem der Commutator umgeworfen worden. Diese Zeit ist natürlich leicht zu berechnen, wenn man die Oscillationszeit des Pendels kennt. Der eine Leitungsdraht von der Säule e ist gleichfalls zwischen k und k' unterbrochen, wo sich ein Strombrecher befindet. In dem Augenblick, wo der Commutator umgeworfen wird, wird auch k mit k' durch den Strombrecher vereinigt. Diese Anordnung wurde getroffen, damit der Strom der Säule nicht unnöthigerweise die Neusilberdrähte n und n' durchgehen und durch Erwärmung eine Veränderung in ihrem Leitungswiderstande bewirken sollte, wozu derselbe Strom im Allgemeinen doch viel zu schwach war. Es ist außerdem bekannt, daß die Wärme einen höchst geringen Einfluß auf den Leitungswiderstand des Neusilbers ausübt, was, im Verein mit der

Gröfse des Widerstandes, Neusilber zu einem dienlichen Material für Rheostaten macht.

Aus dem bisher Dargestellten ist leicht zu ersehen, wie die Beobachtungen bewerkstelligt wurden. Als mittelst des Commutators a mit a' verbunden und der Punkt g frei war, ging der erwärmende Strom durch f , ohne in einen der übrigen Leiter, die in Verbindung mit F stehen, übergehen zu können. Als der Commutator umgeworfen wurde, so dafs a' mit g verbunden und a frei gelassen ward, hörte der erwärmende Strom auf, und man erhielt aus n , n' , r und f zusammen mit den durch das Galvanometer b verbundenen Leitern l und l' eine vollständige Wheatstone'sche Brücke, in die ein Strom bei D und F eintrat. Wenn die Widerstände in n , n' , r und f durch dieselben Buchstaben repräsentirt werden, so kann bekanntlich bewiesen werden, dafs kein Strom das Galvanometer passirt, sobald $n'r = nf$ ist. Durch successive Versuche ward die Gröfse des Widerstandes im Rheostat r so abgepaßt, dafs kein Strom das Galvanometer passirte, und man erhielt demnach ein sicheres Maafs des Widerstandes im Drahte f . Durch besondere Versuche ward ermittelt, dafs der Widerstand in den Verbindungsdrähten Aa' und im Commutator sowohl als in Eg im Vergleich mit dem Widerstande in f und r so geringe war, dafs man keine Rücksicht darauf zu nehmen brauchte.

Der Apparat, den man benutzte, um die Verlängerung des Drahtes zu messen, wird in der Fig. 2 Taf. I dargestellt. AB ist ein starker eichener Balken, der bei den Versuchen in horizontaler Lage zwischen zwei festen Pfeilern im Arbeitslocal festgeschraubt war. Am einen Ende dieses eichenen Balkens ist ein eisernes Band von der mit cc dargestellten Form sicher festgeschraubt. Von dem obern horizontalen Theil dieses Eisenbandes geht ein Eisenpfeiler vertical hinab, an dessen unterm Ende bei F das eine Ende des Drahtes f festgeschraubt wurde. An derselben Stelle waren auch der in der Fig. 1 angedeutete Leiter h' für den erwärmenden Strom, so wie auch der

Neusilberdraht n' nebst dem Leitungsdraht von der Säule e befestigt. Der Punkt F ist also derselbe, der in Fig. 1 Taf. I mit diesem Buchstaben bezeichnet ist. Nahe am andern Ende des eichenen Balkens sind zwei eiserne Pfeiler gg angeschraubt. An den obern Enden derselben sind Axenlager für die horizontal liegende Axe h befestigt. Um die Reibung zu vermindern, ist die Axe h bis auf die Hälfte ihres Durchmessers an derjenigen Stelle abgedrechselt, wo sie von den erwähnten Axenlagern umfaßt wird. Von der Mitte der Axe h geht ein eiserner Pfeiler abwärts, der an seinem Ende mit einem horizontal auslaufenden runden Stift versehen ist. Der Draht f ward dergestalt befestigt, daß sein Ende in einer kleinen Eisenklemme mit einem für den erwähnten runden Stift gebohrten Loche festgeschraubt wurde. Von der Axe h laufen zwei Messingstangen (m, m) aus, an denen die Gewichte (n, n), mit denen der Draht gespannt wird, hängen. Am einen Ende der Axe, außerhalb des Axenlagers, ist ein Spiegel p , in welchem die Verlängerung des Drahts mittelst Fernrohr und Scala abgelesen wird, befestigt. Der Abstand zwischen der Scala, die in Millimeter getheilt war, und dem Spiegel betrug 2,560 Meter. Am andern Ende der Axe ist ein gebogenes Stück Messing (o) festgeschraubt. Unter dem äußeren Ende desselben stand ein kleiner Napf mit Quecksilber, von welchem ein starker Kupferdraht den galvanischen Strom nach dem obengenannten Commutator leitete. Daß der Widerstand gegen die Elektricität vom Drahtende f bis ans Ende des Commutators so unbedeutend war, daß dasselbe, im Vergleich mit dem Widerstande in den zu untersuchenden Drähten, nicht in Betracht genommen zu werden verdiente, ward, wie schon erwähnt, durch besondere Versuche dargethan. Die Drähte f waren 1184 Millimeter lang. Die Länge der Eisenklemme von der Mitte des runden Loches bis zu dem Punkte, wo der Draht frei ward, betrug 19 Millimeter; der Abstand zwischen der Mitte des Eisenstiftes, an dem die Eisenklemme saß, und der Mitte der Axe h betrug 30,58 Millimeter, und die Breite

des eisernen Pfeilers *F*, in dem das andere Ende des Drahts festgeschraubt war, machte 14 Millimeter aus. Während der Versuche stand auf den Böcken *qq* ein hölzerner Kasten von parallelepipedischer Form. Dieser ist in der Figur weggelassen, um einen Theil derselben nicht zu verdecken. Weder die genannten Böcke, noch der Kasten berührten irgend einen Theil des eichenen Balkens oder dessen Zubehör, weshalb die Lage derselben durch sie nicht verrückt werden konnte. Bei den Versuchen mit dem galvanischen Strom war der Kasten leer und mit Pappe bedeckt. Drei in dieselben hineingesetzte Thermometer gaben nun die Lufttemperatur in der Umgegend des Drahts an. Bei den Versuchen, die angestellt wurden, um die Ausdehnung der Drähte durch Wärme zu bestimmen, ward der Kasten mit Wasser so angefüllt, daß dieses den ausgespannten Draht etwas überragte, und dieselben Thermometer gaben nunmehr die Temperatur des Wassers und des Drahtes an. Der Eichenbalken war mit Baumwolle und Pappe umgeben, um während der Dauer einer Reihenfolge von Versuchen gegen die Veränderungen der Temperatur geschützt zu seyn.

Um die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur zu bestimmen, ward ein Apparat, der in Fig. 3 Taf. I dargestellt ist, angewandt. In einer runden Holzscheibe *aa* sind vier Glassäulen angebracht, die zusammen ein Quadrat bilden. Von der Holzscheibe aus gehen, senkrecht gegen die Scheibe, zwei starke Messingdrähte hinunter, die an ihren untern Enden mit kleinen Klemmschrauben versehen sind. Auf der obern Seite der Holzscheibe sind diese Drähte *bb* längs der Scheibenfläche gebogen. Das eine Ende des Drahts wird in der einen dieser Klemmschrauben festgeschraubt; sodann wird derselbe in mehreren Windungen um die Glassäulen gewickelt (welche, damit der Draht nicht abgleite, mit einer dünnen Kautschukschichte überzogen waren), worauf das andere Ende des Drahtes in der zweiten Klemmschraube festgeschraubt wird. Zwei empfindliche Thermometer *cc* sind durch die Holz-

scheibe herabgelassen, so daß ihre ovalen Behälter sich nahe an den Drahtwindungen auf den beiden entgegengesetzten Seiten des Quadrats befinden. Ueber die Glas säulen mit dem aufgewickelten Draht ward ein Glasbecher gesetzt, dessen oberer Rand sich der untern Seite der Holzscheibe dicht anschloß, worauf das Ganze in ein, um die runde Holzscheibe herumgedrehtes, Wasserbad gesenkt wurde, dessen Temperatur man verändern und mittelst einer unter dasselbe gestellten Spirituslampe constant halten konnte. Die Messingdrähte *bb* wurden alsdann mit dem Rheostat und zwei Neusilberdrähten zu einer Wheatstone'schen Brücke vereinigt und die Beobachtungen mit Hülfe des vorgenannten Pendels bewerkstelligt. Es war nothwendig den Strom nur einen Augenblick durch die Drähte zum Galvanometer gehen zu lassen, weil andernfalls leicht ein Fehler, zufolge der stattfindenden ziemlich starken thermoelektrischen Ströme, hätte entstehen können. War die Leitung zum Galvanometer nur einen Augenblick geschlossen, so vermochten diese Ströme keine merkbare Einwirkung auf das Galvanometer auszuüben. Ein Thermometer ward zwischen den beiden Thermometerröhren (*cc*) oberhalb der Holzscheibe aufgehängt, um die Temperatur der Röhren anzugeben. Daß der Leitungswiderstand in den beiden Messingdrähten im Vergleich mit dem Widerstande in den zu untersuchenden Drähten von keiner Bedeutung war, ward durch Versuche erwiesen.

Der benutzte Rheostat bestand aus zwei, parallel mit einander über einem horizontal liegenden Brett ausgespannten Neusilberdrähten; das Brett war in schwedische Zolle eingetheilt. Diese Drähte standen mit einander in leitender Verbindung mittelst einer Brücke, die vom einen Ende der Drähte zum andern geschoben werden konnte. Damit diese Brücke einen guten Contact bewirken möge, war sie so eingerichtet, daß sie sowohl auf der obern als untern Seite die Drähte berührte und von einem kleinen Gewichte gegen denselben gepreßt wurde. An der Brücke war ein in Linien eingetheiltes Messinglineal, durch welches man

die Unterabtheilungen des Zolles erhielt, befestigt. Der Strom trat durch den Befestigungspunkt des einen Drahtes ein, durchging sodann diesen Draht bis zur Brücke und kehrte darauf durch den andern Draht zu dessen in der Nähe des vorigen gelegnem Befestigungspunkte zurück. Diese Zolle sind es, die im Folgenden Rheostateinheiten genannt werden. Eine besondere Untersuchung zeigte, daß die auf einander folgenden Zolle der Rheostatdrähte innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler einen gleich großen Widerstand hatten.

Um zu bestimmen, mit wie vielen Scalatheilen der Draht sich in 0,36 Secunden zusammenzog, wenn der erwärmende Strom schnell unterbrochen wurde, wurde mit Hülfe einer Terz-Uhr diejenige Zeit, welche der Draht bedurfte, um seine Länge mit einer gewissen Anzahl Scalatheilen zu verkürzen, beobachtet. Zu diesem Zwecke ward ein kleines, mit einer Scala versehenes Fernrohr in der Entfernung eines halben Meters vom Spiegel aufgestellt. Das Spindelhaar des Rohres ging alsdann so langsam über die Scalatheile, daß diese abgelesen und die Zeit bestimmt werden konnte. Diese Beobachtungen waren jedoch nicht immer vollkommen genau; wo jedoch einige Ungewissheit anzunehmen war, ist die Abkühlung eher etwas zu groß, als zu klein genommen worden, so daß ein Fehler, der die Resultate der Untersuchung unsicher macht, nicht daraus entstanden ist.

Da nach Matthiessen's Untersuchung der Widerstand der Metalldrähte sich bei successiven Erwärmungen ein wenig verändert, so wurden die Metalldrähte, die angewandt werden sollten, vor Anstellung der Versuche der Art präparirt, daß sie während 10 bis 15 Stunden in einem Luftbade, dessen Temperatur 100 Grade war, gehalten wurden.

4. Wir gehen nun zu den eigentlichen Beobachtungen über. Die im Folgenden vorkommenden Benennungen: Stärkere Spannung und schwächere Spannung bezeichnen, jene, daß der Draht durch ein Gewicht von 2 schwedischen Pfunden an einem Hebelarm von der Länge von

53 Millimetern aufgehängt, und diese, daß er mit 2 Pfunden an einem Hebelarm von 37 Millimeter Länge aufgehängt, gespannt wurde. Jenes entspricht einer directen Zugkraft längs dem Drahte von 3,466 Pfund, und letzteres einer Zugkraft von 2,420 Pfund.

Platindraht.

Der Durchmesser des Drahts betrug 0,512 Millimeter. Der Widerstand des Drahts, wenn kein Strom denselben durchging, war als Mittel mehrerer Versuche vor, während und nach den Beobachtungen, bei einer Temperatur von $+17^{\circ},1$ gleich mit 15,62 Rheostateinheiten.

Versuch 1a.

Schwächere Spannung.

Als der Strom den Draht durchging und die Verlängerung constant geworden war, betrug diese Verlängerung (U) 43,5 Scalatheile über die Länge hinaus, die der Draht bei einer Temperatur (T) in dem Kasten von $+17^{\circ},7$ hatte, wenn kein Strom durch den Draht ging ¹⁾. Binnen 0,36 Sekunden ward die Verlängerung des Drahts um 1,2 Scalatheile vermindert, welche Verminderung im Folgenden u genannt wird. Die Verlängerung des Drahtes in dem Augenblicke, wo der Widerstand gemessen ward, war somit $U - u = 42,3$ Scalatheile. Dieser Widerstand (W) betrug 16,70 Rheostateinheiten.

Versuch 1b.

Stärkere Spannung.

$U = 49,9$ Scalath.; $u = 1,3$ Scalath.; $U - u = 48,6$ Scalath.;
 $W = 16,85$ Rheostateinh.; $T = 17^{\circ},7$.

Versuch 2a.

Schwächere Spannung.

$U = 57,8$ Scalath.; $u = 1,5$ Scalath.; $U - u = 56,3$ Scalath.;
 $W = 17,02$ Rheostateinh.; $T = 17^{\circ},9$.

1) Ein Gehülfe las im Fernrohr die Verlängerung in dem Augenblicke ab, wo ich den erwärmenden Strom unterbrach und den Widerstand bestimmte. .

Versuch 2b.

Stärkere Spannung.

$$U = 59,5 \text{ Scalath.}; u = 1,5 \text{ Scalath.}; U - u = 58,0 \text{ Scalath.}; \\ W = 17,02 \text{ Rheostateinh.}; T = 17^{\circ},9.$$

Versuch 3a.

Schwächere Spannung.

$$U = 101,0 \text{ Scalath.}; u = 2,2 \text{ Scalath.}; U - u = 98,8 \text{ Scalath.}; \\ W = 18,02 \text{ Rheostateinh.}; T = 18^{\circ},2.$$

Versuch 3b.

Stärkere Spannung.

$$U = 99,0 \text{ Scalath.}; u = 2,2 \text{ Scalath.}; U - u = 96,8 \text{ Scalath.}; \\ W = 18,00 \text{ Rheostateinh.}; T = 18^{\circ},0.$$

Versuch 4a.

Schwächere Spannung.

$$U = 140,0 \text{ Scalath.}; u = 2,4 \text{ Scalath.}; U - u = 137,6 \text{ Scalath.}; \\ W = 19,00 \text{ Rheostateinh.}; T = + 20^{\circ},0.$$

Versuch 4b.

Stärkere Spannung.

$$U = 139,0 \text{ Scalath.}; u = 2,4 \text{ Scalath.}; U - u = 136,6 \text{ Scalath.}; \\ W = 18,95 \text{ Rheostateinh.}; T = + 19^{\circ},0.$$

5. Nachdem diese Versuche beendet worden, ward der Kasten, für die Untersuchung über die Ausdehnung des Drahtes durch Wärme, mit Wasser gefüllt. Drei kalibrierte Thermometer, deren Kugeln so nahe als möglich an den Draht gestellt wurden, gaben die Temperatur desselben an verschiedenen Stellen an. Das Wasser wurde fleißig umgerührt, so daß die Thermometer selten mehr als 0,1 Grad von einander verschieden waren. Zuerst wurden die Thermometer abgelesen, sodann die Scala im Fernrohr, darauf geschah wieder eine Thermometer-Ablesung, so daß jeder Bestimmung der Verlängerung des Drahts sechs Thermometer-Ablesungen entsprachen. In folgender Tabelle wird der Kürze halber nur das Mittel der Scala-ablesungen und der Thermometer-Indicationen angeführt, nachdem letztere in der Hinsicht corrigirt worden, daß die Thermometerröhren nicht dieselbe Temperatur hatten, als die Kugeln.

Schwächere Spannung.

Temperaturgrad	Ableseung der Scala im Fernrohr.
12°,75	664,55
18 ,75	676,55
3 ,96	650,23
33 ,83	701,37.

Wenn diese Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet werden, erhält man die Ausdehnung (k) des Drahts für einen Grad Cels. = 1,7389 Scalatheile.

Hieraus erhält man zwischen den mit diesem Coëfficien-ten berechneten und den im Fernrohr beobachteten Able- sungen folgende Unterschiede:

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
665,22	664,55	— 0,67
675,65	676,55	+ 0,90
649,94	650,23	+ 0,29
701,88	701,37	— 0,51.

Eine andere Beobachtungsreihe wurde angestellt, wäh- rend der Draht mit der gröfseren Belastung gespannt war:

Temperaturgrad	Ableseung der Scala im Fernrohr.
3°,88	697,93
33 ,57	748,83
22 ,72	727,35
12 ,15	709,00.

Aus dieser Reihe erhält man $h = 1,7242$ Scalatheile.

Die Unterschiede zwischen den berechneten und den beob- achteten Ableseungen der Scala werden folgende:

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
696,30	697,93	+ 1,63
747,49	748,83	+ 1,34
728,78	727,35	— 1,43
710,56	709,00	— 1,56.

Da der Unterschied zwischen den beiden erhaltenen Ausdehnungscoëfficien-ten nicht gröfser ist, als dafs man annehmen darf, er sey durch Beobachtungsfehler entstan- den, so mufs die Ausdehnung durch Wärme für beide Bela-

stungen als gleich angesehen werden. Wird das Mittel bei der Bestimmungen genommen, so findet man demnach, daß der Ausdehnungscoëfficient des benutzten Platindrahts für 1 Grad Cels. = 1,7315 Scalatheilen ist ¹⁾).

6. Hierauf wurde der Platindraht aus dem Kasten genommen und auf die vorhin beschriebene Weise über die 4 Glassäulen gewickelt. Die Temperatur der beiden Thermometer, corrigirt in Bezug auf die niedrigere Temperatur, welche die Thermometerröhren in Vergleich mit den Kugeln besaßen, wird hier unten angegeben. Ein drittes, zwischen den beiden Röhren aufgehängtes Thermometer gab die Temperatur dieser an.

Die Temperatur 98°,8

98,2

Mittel 98°,5; der Widerstand 30,93 Rheostateinheiten.

78°,5

78,7

Mittel 78°,6; der Widerstand 29,53.

58°,7

58,3

Mittel 58°,5; der Widerstand 28,12.

41°,1

41,3

Mittel 41°,2; der Widerstand 26,89.

Vor Beginn der Versuchsreihe war der Widerstand bei $+18^{\circ},4 = 25,12$, und nach Schlufs derselben bei $+16^{\circ},9$ war derselbe 25,04. Also betrug im Mittel bei $+17^{\circ},65$ der Widerstand 25,08 Rheostateinheiten.

Wenn das *Leitungsvermögen* des Platins bei 0° durch 100 repräsentirt wird, so erhält man aus diesen Beobachtun-

1) Wenn man mit Hülfe der oben mitgetheilten Angaben über die Länge des Drahts, den Abstand der Scala etc., den wirklichen Ausdehnungscoëfficienten für Platin berechnet, so erhält man diesen $(\alpha) = 0,000008485$. Dieses stimmt ziemlich genau mit Borda's Bestimmung überein; der zufolge $\alpha = 0,000008565$.

gen folgende Beziehung zwischen dem Leistungsvermögen (λ) und der entsprechenden Temperatur (t):

$$\lambda = 100 - 0,2884 t + 0,0005936 t^2.$$

Diese Formel giebt die Beobachtungen mit folgenden Unterschieden wieder:

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
30,92	30,93	+ 0,01
29,53	29,53	$\pm$ 0,00
28,08	28,12	+ 0,04
26,84	26,89	+ 0,05
25,15	25,08	- 0,07.

7. Mit Hilfe dieser Formel kann man leicht berechnen, welche Temperatur der Platindraht besaß, als bei den in No. 4 angeführten Versuchen der Widerstand gemessen ward. Vergleicht man den so berechneten Temperaturüberschuß mit demjenigen, den man aus den gemessenen Verlängerungen des Drahts erhält, so bekommt man folgende Resultate:

Versuch 1 a. Die Temperatur des Drahtes (T_1), berechnet nach dem Leitungswiderstande $= 41^{\circ},38$; der Temperaturüberschuß also ($T_1 - T$) $= 41^{\circ},38 - 17^{\circ},7 = 23^{\circ},68$.

Der Temperaturüberschuß (T_0), berechnet aus der Verlängerung des Drahts $= \frac{42,3}{1,7315} = 24^{\circ},43$.

Also wird $T_0 - (T_1 - T) = 0^{\circ},75$.

Versuch 1 b. $T_1 = 44^{\circ},72$; $T_1 - T = 27^{\circ},02$
 $T_0 = 28^{\circ},07$
 $T_0 - (T_1 - T) = 1^{\circ},05$.

Versuch 2 a. $T_1 = 48^{\circ},51$; $T_1 - T = 30^{\circ},61$
 $T_0 = 32^{\circ},52$
 $T_0 - (T_1 - T) = 1^{\circ},91$.

Versuch 2 b. $T_1 = 49^{\circ},17$; $T_1 - T = 31^{\circ},27$
 $T_0 = 33^{\circ},50$
 $T_0 - (T_1 - T) = 2^{\circ},23$.

$$\text{Versuch 3a. } T_1 = 70^{\circ},80; T_1 - T = 52^{\circ},60$$

$$T_0 = 57,06$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 4^{\circ},46.$$

$$\text{Versuch 3b. } T_1 = 70^{\circ},35; T_1 - T = 52^{\circ},35$$

$$T_0 = 55,90$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 3^{\circ},55.$$

$$\text{Versuch 4a. } T_1 = 93^{\circ},07; T_1 - T = 73^{\circ},07$$

$$T_0 = 79,47$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 6^{\circ},40.$$

$$\text{Versuch 4b. } T_1 = 91^{\circ},92; T_1 - T = 72^{\circ},92$$

$$T_0 = 78,89$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 5^{\circ},97.$$

8. Folgende Versuche geschahen mit einem

Eisendraht No. 1.

Der Durchmesser dieses Drahts betrug 0,339 Millimeter. Die Versuche wurden auf dieselbe Weise angestellt wie beim Platindraht.

Der Widerstand des Drahts, als dieser die Temperatur der ihn umgebenden Luft hatte, betrug

vor den Versuchen bei $+18^{\circ},5$ 30,23 Rheostateinheiten

während d. Versuche bei $+17,3$ 30,09 „

nach den Versuchen bei $+19,6$ 30,30 „

im Mittel also bei $+18^{\circ},5$ 30,21 „

Versuch 1a.

Schwächere Spannung.

$U = 110,0$ Scalath.; $u = 5,7$ Scalath.; $U - u = 104,3$ Scalath.;

$W = 35,70$ Rheostateinh.; $T = 20^{\circ},0$.

Versuch 1b.

Stärkere Spannung.

$U = 110,0$ Scalath.; $u = 5,7$ Scalath.; $U - u = 104,3$ Scalath.;

$W = 35,72$ Rheostateinh.; $T = 20^{\circ},0$.

Versuch 2a.

Schwächere Spannung.

$U = 58,5$ Scalath.; $u = 2,2$ Scalath.; $U - u = 56,3$ Scalath.;

$W = 33,15$ Rheostateinh.; $T = 20^{\circ},0$.

Versuch 2b.

Stärkere Spannung.

$$U = 58,0 \text{ Scalath.}; u = 2,2 \text{ Scalath.}; U - u = 55,8 \text{ Scalath.};$$

$$W = 33,12 \text{ Rheostateinh.}; T = 20^{\circ},0.$$

Versuch 3a.

Schwächere Spannung.

$$U = 229,5 \text{ Scalath.}; u = 11,1 \text{ Scalath.}; U - u = 218,4 \text{ Scalath.};$$

$$W = 41,67 \text{ Rheostateinh.}; T = 20^{\circ},3.$$

Versuch 3b.

Stärkere Spannung.

$$U = 230,0 \text{ Scalath.}; u = 11,1 \text{ Scalath.}; U - u = 218,9 \text{ Scalath.};$$

$$W = 41,75 \text{ Rheostateinh.}; T = 20,5.$$

Versuch 4.

Stärkere Spannung.

$$U = 172,5 \text{ Scalath.}; u = 9,5 \text{ Scalath.}; U - u = 163,0 \text{ Scalath.};$$

$$W = 38,82 \text{ Rheostateinh.}; T = 20,5.$$

9. Folgende Beobachtungen wurden zur Bestimmung der Ausdehnung des Eisendrahtes durch Wärme angestellt:

Schwächere Spannung.

Temperatur	Ablesung der Scala im Fernrohr
4°,32	619,40
34 ,18	690,05
22 ,74	661,83
11 ,99	635,60.

Stärkere Spannung.

12°,54	672,60
4 ,52	655,27
34 ,40	726,68
21 ,10	694,10.

Wird die erste Reihe nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, so erhält man $k = 2,3801$ Scalatheile. Die Unterschiede zwischen der Berechnung und der Beobachtung werden folgende:

Berechnung	Beobachtung	Unterschied.
618,43	619,40	— 0,97
689,50	690,05	— 0,55
662,27	661,83	+ 0,44
636,69	635,60	+ 1,09.

Die letzte Reihe giebt in derselben Weise $k = 2,4062$, mit folgenden Unterschieden zwischen Berechnung und Beobachtung:

Berechnung	Beobachtung	Unterschied
673,68	672,60	+ 1,08
654,39	655,27	— 0,88
726,28	726,68	— 0,40
694,28	694,10	+ 0,18.

Die Wärmeausdehnung des Eisendrahts für 1 Grad Cels. wird also im Mittel $k = 2,39315$ Scalatheile. ¹⁾).

10. Zur Bestimmung der Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur wurden folgende Versuche auf dieselbe Art gemacht, wie beim Platindrabte geschah.

Die Temperatur $96^{\circ},1$

$96,8$

Mittel $96^{\circ},5$; der Widerstand 42,80 Rheostat-einheiten

Temp. $74^{\circ},3$; der Widerstand 39,56.

Temp. $58^{\circ},4$

$58,4$

Mittel $58^{\circ},4$; der Widerstand 37,20.

Temp. $19^{\circ},8$

$19,8$

Mittel $19^{\circ},8$; der Widerstand 31,78

Temp. $48^{\circ},9$

$48,9$

Mittel $48^{\circ},9$; der Widerstand 35,87.

Ist das Leistungsvermögen des Eisens bei 0 Grad = 100, so erhält man aus diesen Beobachtungen folgende Formel für die Veränderung des Leistungsvermögens mit der Temperatur:

$$\lambda = 100 - 0,4255t + 0,0010126t^2.$$

1) Hieraus erhält man mit Hilfe der oben mitgetheilten Angaben $\alpha = 0,00001181$.

Diese Gleichung giebt die Beobachtungen mit folgenden Unterschieden wieder:

Berechnung	Beobachtung	Unterschied
42,80	42,80	$\pm 0,00$
39,55	39,56	$+ 0,01$
37,23	37,20	$- 0,03$
31,81	31,78	$- 0,03$
35,85	35,87	$+ 0,02.$

11. Wird diese Formel zur Berechnung der in No. 8 angeführten Versuche benutzt, so erhält man folgende Resultate:

$$\text{Versuch 1 a. } T_1 = 59^{\circ},55; T_1 - T = 39^{\circ},55$$

$$T_0 = 43,58$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 4,03.$$

$$\text{Versuch 1 b. } T_1 = 59^{\circ},69; T_1 - T = 39^{\circ},69$$

$$T_0 = 43,58$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 3^{\circ},89.$$

$$\text{Versuch 2 a. } T_1 = 40^{\circ},95; T_1 - T = 20^{\circ},95$$

$$T_0 = 23,51$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 2^{\circ},56.$$

$$\text{Versuch 2 b. } T_1 = 40^{\circ},73; T_1 - T = 20^{\circ},73$$

$$T_0 = 23,30$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 2^{\circ},57.$$

$$\text{Versuch 3 a. } T_1 = 102^{\circ},43; T_1 - T = 82^{\circ},13$$

$$T_0 = 91,26$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 9^{\circ},13.$$

$$\text{Versuch 3 b. } T_1 = 103^{\circ},01; T_1 - T = 82^{\circ},51$$

$$T_0 = 91,46$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 8^{\circ},95$$

$$\text{Versuch 4. } T_1 = 81^{\circ},82; T_1 - T = 61^{\circ},32$$

$$T_0 = 68,11$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 6^{\circ},97.$$

12. Folgende Versuchsreihen wurden mit einem *Messingdrahte*, dessen Durchmesser 0,323 Millimeter betrug, angestellt. Alle Versuche wurden in eben der Weise, wie

mit den Platin- und Eisendrähten, ausgeführt. Die Belastungen aber waren bei den Versuchen mit diesem Draht nur halb so schwer, als bei den vorigen. Der Widerstand des Drahts bei $+16^{\circ},4$ betrug 29,08 Rheostateinheiten.

Versuch 1 a.

Schwächere Spannung (1 Pfd. auf einem Hebelarm von 37 Millimetern.)

$$U=240,0 \text{ Scalath.}; u=16,0 \text{ Scalath.}; U-u=224,0 \text{ Scalath.}; \\ W=31,20; T=18^{\circ},2.$$

Versuch 1 b.

Stärkere Spannung.

Einer der Neusilberdrähte war in einer Zusammenlöthung zum Theil los geworden, in Folge dessen der Widerstand des Messingdrahts bei einer Temperatur von $17^{\circ},5$ zu 28,82 verändert ward. Bei einer Messung im Laufe der Versuche war der Widerstand 28,78 bei einer Temperatur von $17^{\circ},5$ und nach Beendigung der Versuche ward er bei einer Temperatur von $17^{\circ},9$ zu 28,80 gemessen. Im Durchschnitt war also der Widerstand = 28,80 bei $+17^{\circ},6$.

$$U=241,5 \text{ Scalath.}; u=16,0 \text{ Scalath.}; U-u=225,5 \text{ Scalath.}; \\ W=30,90; T=18^{\circ},0.$$

Versuch 2 a.

Schwächere Spannung.

$$U=300,0 \text{ Scalath.}; u=17,9 \text{ Scalath.}; U-u=282,1 \text{ Scalath.}; \\ W=31,38; T=18^{\circ},4.$$

Versuch 2 b.

Stärkere Spannung.

$$U=300,0 \text{ Scalath.}; u=17,9 \text{ Scalath.}; U-u=282,1 \text{ Scalath.}; \\ W=31,38; T=18^{\circ},5.$$

Versuch 3.

Stärkere Spannung.

$$U=194,0 \text{ Scalath.}; u=12,6 \text{ Scalath.}; U-u=181,4 \text{ Scalath.}; \\ W=30,52; T=18^{\circ},5.$$

Versuch 4.

Stärkere Spannung.

$$U=97,0 \text{ Scalath.}; u=5,0 \text{ Scalath.}; U-u=92,0 \text{ Scalath.}; \\ W=29,66; T=18^{\circ},4.$$

13. Um die Ausdehnung des Messingdrahts durch Wärme zu bestimmen, wurden die beiden folgenden Beobachtungsreihen angestellt:

Schwächere Spannung.		
Temperatur	Ablesung der Scala im Fernrohr	
11°,93	278,6	
4 ,21	250,7	
31 ,89	356,45	
21 ,56	316,3.	
Stärkere Spannung.		
4°,17	317,0	
31 ,41	420,25	
22 ,00	383,1	
11 ,44	343,7.	

Die erstere Reihe, nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, giebt $k = 3,8346$ Scalath., mit folgenden Differenzen zwischen Berechnung und Beobachtung:

Berechnung	Beobachtung	Unterschied
279,55	278,60	+ 0,95
249,94	250,70	— 0,76
356,09	356,45	— 0,36
316,47	316,30	+ 0,17.

Aus der letzteren Reihe, nach selbiger Methode behandelt, erhält man $k = 3,7885$ Skalath., mit folgender Uebereinstimmung zwischen

Berechnung	Beobachtung	Unterschied.
316,46	317,0	— 0,54
419,66	420,25	— 0,59
384,00	383,1	+ 0,90
344,00	343,7	+ 0,30.

Im Mittel ist also für den Messingdraht $k = 3,8115$ Scalath.¹⁾.

14. Darauf ward die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur bestimmt.

- 1) Mit Benutzung der vorhin mitgetheilten Angaben der Drahtlänge etc. erhält man demnach den Ausdehnungscoefficienten für 1° $\alpha = 0,00001897$.

Vor den Versuchen war der Leitungswiderstand des Messingdrahtes bei $+19^{\circ},0$ gleich 27,26, und nach Beendigung derselben 27,20 bei $+18^{\circ},0$. Im Mittel also bei $+18^{\circ},5$ gleich 27,23.

Die Temperatur $98^{\circ},0$

99 ,0

Mittel $98^{\circ},5$; Widerstand 30,12.

81 ,5

82 ,1

Mittel $81^{\circ},8$; Widerstand 29,52.

51 ,8

52 ,4

Mittel $52^{\circ},1$; Widerstand 28,37.

66 ,4

67 ,2

Mittel $66^{\circ},8$; Widerstand 28,90.

30 ,5

30 ,5

Mittel $30^{\circ},5$; Widerstand 27,65.

Wird das Leistungsvermögen des Messingdrahtes bei 0 Grad durch 100 repräsentirt, so erhält man aus diesen Beobachtungen folgende Formel für die Abhängigkeit des Leistungsvermögens von der Temperatur:

$$\lambda = 100 - 0,11045 t - 0,00007086 t^2.$$

Die Differenzen zwischen Berechnung und Beobachtung werden:

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
30,18	30,12	— 0,06
28,92	28,90	— 0,02
27,64	27,65	+ 0,01
29,50	29,52	+ 0,02
28,38	28,37	— 0,01
27,25	27,23	— 0,02.

15. Werden die in No. 12 angeführten Beobachtungen nach diesen Bestimmungen der Wärmeausdehnung und

der Veränderung des Leitungswiderstandes des Messingdrahts berechnet, so erhält man:

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 1a.} & T_1 = 73^{\circ},45; & T_1 - T = 55^{\circ},25 \\ & & T_0 = 58,77 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 3^{\circ},52. \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 1b.} & T_1 = 74^{\circ},41; & T_1 - T = 56^{\circ},41 \\ & & T_0 = 59,16 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 2^{\circ},75. \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 2a.} & T_1 = 85^{\circ},85; & T_1 - T = 67^{\circ},45 \\ & & T_0 = 74,01 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 6^{\circ},56. \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 2b.} & T_1 = 85^{\circ},85; & T_1 - T = 67^{\circ},35 \\ & & T_0 = 74,01 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 6^{\circ},66. \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 3.} & T_1 = 64^{\circ},91; & T_1 - T = 46^{\circ},41 \\ & & T_0 = 47,58 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 1^{\circ},17. \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Versuch 4.} & T_1 = 42^{\circ},27; & T_1 - T = 23^{\circ},87 \\ & & T_0 = 24,14 \\ & & \hline & T_0 - (T_1 - T) = & 0^{\circ},27. \end{array}$$

16. Schliesslich wurden einige Bestimmungen mit einem neuen *Eisendraht No. 2* gemacht, dessen Durchmesser 0,400 Millimeter betrug. Die Versuche wurden ebenso wie mit den vorigen Drähten angestellt. Der Draht wurde mit 2 Pfd. auf einem Hebelarm von 53 Millimeter Länge gespannt. Der Widerstand war vor Beginn der Versuche 26,45 bei einer Temperatur von $+18^{\circ},0$, und nach Beendigung derselben 26,45 bei $+18^{\circ},2$; also durchschnittlich 26,45 bei $+18,1^{\circ}$.

Versuch 1.

$$\begin{array}{l} U = 229,0 \text{ Scalath.}; \quad u = 9,75 \text{ Scalath.}; \quad U - u = 219,25 \text{ Scalath.}; \\ W = 38,45; \quad T = 20^{\circ},8. \end{array}$$

Versuch 2.

$$\begin{array}{l} U = 195,0 \text{ Scalath.}; \quad u = 8,36 \text{ Scalath.}; \quad U - u = 186,64 \text{ Scalath.}; \\ W = 36,60; \quad T = 19^{\circ},8. \end{array}$$

Versuch 3.

$U = 174,0$ Scalath.; $u = 7,31$ Scalath.; $U - u = 166,69$ Scalath.;
 $W = 35,55$; $T = 19^{\circ},4$.

17. Zur Bestimmung der Wärmeausdehnung des Eisendrahts No. 2 wurden die beiden folgenden Reihen von Beobachtungen angestellt:

Temperatur	Ablesung der Scala im Fernrohr.
$6^{\circ},18$	559,7
$34,28$	624,4
$25,35$	601,9
$16,84$	580,0.

Aus dieser Reihe erhält man $k = 2,319$ Scalatheile. Dadurch entstehen folgende Unterschiede zwischen

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
557,9	559,7	+ 1,8
623,1	624,4	+ 1,3
602,4	601,9	— 0,5
582,6	540,0	— 2,6.

Die zweite Beobachtungsreihe wurde bei derselben Belastung des Drahtes gemacht:

Temperaturgrad	Ablesung der Scala im Fernrohr.
$5^{\circ},73$	555,4
$14,87$	577,3
$34,40$	620,7
$23,11$	592,3.

Diese Reihe giebt $k = 2,244$. Die Unterschiede zwischen den berechneten und den beobachteten Ablesungen der Scala werden:

Berechnet	Beobachtet	Unterschied
555,5	555,4	— 0,1
576,0	577,3	+ 1,3
619,8	620,7	+ 0,9
594,5	592,3	— 2,2.

Die beiden Bestimmungen von k unterscheiden sich mehr von einander, als es bei den Beobachtungen mit den andern Drähten der Fall war. Das Mittel der beiden Be-

stimmungen dürfte jedoch ein für den beabsichtigten Zweck hinlänglich genaues Resultat ergeben. Dieses Mittel wird $k = 2,282$ Scalatheile ¹⁾).

18. Zur Bestimmung der Abhängigkeit des Leitungswiderstandes von der Temperatur wurden nur folgende drei Bestimmungen gemacht. Die eine derselben geschah jedoch bei einer Temperatur, die sich nur wenig von der Temperatur unterschied, welche von dem galvanischen Strom verursacht wurde, als der Leitungswiderstand gemessen ward. Diese Bestimmungen waren folgende:

Bei der Temperatur $+17^{\circ},35$ war der Leitungswiderstand vor den Versuchen 25,38, und nach deren Beendigung 25,58 bei $+19^{\circ},0$; also war das Mittel 25,48 bei $+18^{\circ},17$.

Temp. $96^{\circ},8$

$97,5$

Mittel $97^{\circ},15$; Widerstand 35,58.

Temp. $76^{\circ},0$

$76,5$

Mittel $76^{\circ},25$; Widerstand 32,73.

Hieraus erhält man für diesen Eisendraht:

$$\lambda = 100 - 0,44331 t + 0,0009685 t^2 \text{ } ^2).$$

19. Wird diese Formel zur Berechnung der mit dem Eisendraht No. 2 angestellten Beobachtungen in Anwendung gebracht, so erhält man:

Versuch 1. $T_1 = 107^{\circ},70$; $T_1 - T = 86^{\circ},90$

$T_0 = 96,08$

$T_0 - (T_1 - T) = 9^{\circ},18$.

1) Hieraus erhält man den Coëfficienten für die Wärmeausdehnung dieses Eisendrahts $\alpha = 0,00001126$.

2) Es ist bekannt, daß die Veränderung der Leitungsfähigkeit mit der Temperatur bei den verschiedenen Eisenarten sehr verschieden ist. Matthiessen fand (Pogg. Ann. Bd. 118, S. 439), daß die Verminderung des Leitungsvermögens für 100 Grade bei einer Eisenprobe 38,5 Procent und bei einer andern nicht mehr als 30,6 Procent ausmachte. Bei den beiden von mir angewandten Eisendrähten beträgt die Verminderung der Leitungsfähigkeit für 100 Grade bei No. 1 = 32,42 und bei No. 2 34,65 Proc.

Versuch 2. $T_1 = 94^{\circ},72$; $T_1 - T = 74^{\circ},92$

$$T_0 = 81,78$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 6^{\circ},86$$

Versuch 3. $T_1 = 87^{\circ},34$; $T_1 - T = 67^{\circ},94$

$$T_0 = 73,04$$

$$T_0 - (T_1 - T) = 5^{\circ},10.$$

20. Alle angestellten Versuche stimmen also ohne Ausnahme darin überein, daßs, wenn ein Metalldraht durch einen galvanischen Strom erwärmt und die entstandene Temperaturerhöhung aus der Verlängerung des Drahts berechnet wird, man als Resultat eine höhere Gradzahl erhält, als wenn die Temperaturerhöhung mit Hülfe der Veränderung der Leitungsfähigkeit des Drahtes berechnet wird. Daßs die Ursache dessen nicht darin liegen kann, daßs, in Folge der höheren Temperatur und des Durchganges des Stromes, die Elasticität geringer und folglich die Streckung etwas größer würde, als wenn sich die Elasticität unverändert beibehielte, geht aus den Versuchen selbst hervor. Diese zeigen nämlich öfters einen größeren Unterschied zwischen den beiden Berechnungen für die geringere Belastung, als für die größere, und ist dieses nicht der Fall, so ist das Verhältniß zwischen diesen beiden Unterschieden nicht mit dem Verhältniß zwischen den Belastungen proportional. Weil beide Belastungen geringe waren, wurden die Folgen der geringen Elasticitätsveränderung unmerkbar. Man muß demnach die Ursache dieser Thatsache anderswo suchen. Beim ersten Anschein könnte man möglicher Weise annehmen wollen, daßs die Drähte an verschiedenen Stellen sehr verschieden dick sind und in Folge dessen beim Durchgange des Stromes an einigen Stellen eine höhere und an andern eine niedrigere Temperatur erhalten. Weil die Wärmeausdehnung innerhalb der Grenzen, die bei den Versuchen stattfanden, mit der Temperatur proportional ist, so mußs die gemessene Verlängerung des Drahtes, vorausgesetzt, daßs die Verlängerung nur von der Temperaturerhöhung herrührt, ein richtiges

Maafs für die *mittlere* Temperatur desselben abgeben. Die Leitungsfähigkeit dagegen nimmt langsamer, als es die Proportionalität mit der Temperatur erfordert, ab, wie die oben angeführten Formeln für Eisen und Platin erweisen. Diese Formeln würden also, falls die Temperatur an verschiedenen Stellen verschieden wäre, eine zu niedrige Mitteltemperatur geben. Weil der Coëfficient des zweiten Gliedes in diesen Formeln im Verhältnifs zu dem ersten sehr klein ist, so müßte die Verschiedenheit der Temperatur in den verschiedenen Theilen des Drahts bedeutend seyn, wenn hieraus ein merkbarer Fehler entstehen könnte. Um einen Begriff von der Gröfse des Einflusses, den eine verschiedene Dicke des Drahts an verschiedenen Stellen ausüben könnte, zu erhalten, ward der Durchmesser dieser Drähte an acht Stellen unter dem Mikroskop gemessen, und es stellte sich dabei heraus, dafs nur bei dem Eisendraht No. 1 der Unterschied an zwei Stellen das Mittel um ein Procent überstieg. Man kann berechnen, dafs beim Durchgang des Stroms hieraus nur eine höchst unbedeutende Veränderung in der Temperatur entsteht. Der Messingdraht beweist überdies, dafs diese Erklärungsweise nicht richtig seyn kann. In der Formel, welche beim Messingdrahte die Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Temperatur angiebt, ist nämlich das letzte Glied negativ. Es ist allerdings wahr, dafs beim Durchgang des Stroms die Temperatur nahe an den Befestigungspunkten des Drahts niedriger seyn mufs, als in den übrigen Theilen des Drahts; man kann sich jedoch leicht davon überzeugen, dafs bei so dünnen Metalldrähten, wie die zu den Versuchen angewandten, diese niedrigere Temperatur sich nur unbedeutend vom Befestigungspunkte erstreckt. Diese Art, die entstandene Verschiedenheit zwischen den beiden Rechnungsergebnissen zu erklären, ist also nicht anzuwenden. Man könnte ferner annehmen, dafs der Leitungswiderstand des Drahts, 0,36 Secunden nach der Durchlassung eines starken galvanischen Stroms, zufolge irgend einer Nachwirkung dieses Stroms auf den Leitungswiderstand, gerin-

ger ist, als er bei derselben Temperatur seyn würde, wenn kein Strom durch denselben gegangen wäre. Es ist aber klar, daß, wenn eine solche Nachwirkung wirklich stattfände, alsdann eine Wirkung des Stroms auf den Leitungswiderstand, *während* der Strom den Draht durchläuft, müßte dargethan werden können, und eine solche Wirkung müßte dann natürlich von der Stromstärke abhängig seyn. Der Leitungswiderstand würde demnach von der Stromstärke abhängig seyn. Eine derartige Annahme steht aber mit dem Ohm'schen Gesetze und allen durch die Erfahrung bestätigten Schlußfolgerungen, die daraus hergeleitet werden können, im Widerspruch. Die im Vorhergehenden mitgetheilten Beobachtungen nöthigen daher zu der Annahme, *daß der galvanische Strom feste Körper, durch welche er geht, unabhängig von der durch denselben entwickelten Wärme ausdehnt.*

21. Die im Vorigen mitgetheilten Beobachtungen sind nicht hinreichend, um das Gesetz über das Vermögen des galvanischen Stromes, feste Körper auszudehnen, aufstellen zu können. Dazu ist erforderlich, daß Versuche bei höherer Temperatur und unter veränderten Verhältnissen gemacht, daß die Stromstärke genau gemessen und daß verschiedene Metalle untersucht werden. Das Einzige, was man aus den obigen Versuchen entnehmen kann, ist, daß die Ausdehnung schnell mit der Stromstärke zunimmt. Ein Umstand, der bei Beurtheilung der wahren Natur der galvanischen Ausdehnung von Wichtigkeit zu seyn scheint, ist der, daß sich der Draht nicht augenblicklich in dem Moment, wo der Strom aufhört, zusammenzieht, sondern sich nach und nach, und, soweit ersichtlich, nach ungefähr demselben Gesetze verkürzt, als wenn der Draht seine gesamte Verlängerung durch Wärme erhalten hätte. Die betreffende Ausdehnung kann also nicht dadurch entstehen seyn, daß der Strom den Draht durch irgend eine Streckung verlängert; denn in diesem Fall müßte die Elektrizität diese Streckung in dem Augenblicke, wo der Strom abgebrochen wird, zum Aufhören bringen. Die nächste

Ursache zur Ausdehnung durch *Wärme* liegt zweifelsohne in der Vermehrung der lebendigen Kraft der Molecüle, und die Ausdehnung verschwindet in demselben Maasse, als diese Vermehrung der lebendigen Kraft sich der Materie und dem Aether, wovon der erwärmte Körper umgeben ist, mittheilt. Da die galvanische Ausdehnung nach demselben Gesetze, als die Ausdehnung durch *Wärme*, zu verschwinden scheint, liegt die Annahme nahe, daß jene auf dieselbe Weise als diese von einer Vermehrung der lebendigen Kraft der Molecüle verursacht wird. Allein diese, direct vom Galvanismus erzeugten, periodischen Bewegungen der Molecüle müssen alsdann in einer oder andern Beziehung eine andere Beschaffenheit haben, als die, welche durch die *Wärme* entstehen, weil jene nicht wie diese im Stande sind, die Fähigkeit des Körpers, den galvanischen Strom zu leiten, zu verändern, obgleich sie allerdings, gleichwie diese, eine Vergrößerung des Volumens bewirken. Dieser Ansicht gemäß müßten alsdann die Molecüle der Materie zweier durchaus verschiedenen Arten vibratorischer Bewegungen fähig seyn. Nun kann man fragen: wenn diese galvanischen Vibrationen aus dem Körper, in welchem sie vom Strom hervorgebracht worden, entweichen, erhalten sie sich unverändert, oder gehen sie durch irgend eine Fluorescenz in Wärmeoscillationen über? In jenem Falle würde man nicht mehr vollkommen sicher seyn können, daß eine beobachtete Vergrößerung des Volumens bei irgend einem Körper unumstößlich bewiese, daß dieser eine größere Wärmemenge erhalten habe, da es ja möglich seyn könnte, daß die Vergrößerung des Volumens von galvanischen Vibrationen genannter Art herrühren könnte. Weil nichts in der Natur isolirt dasteht, könnte man wohl ebenfalls Zweifel hegen, ob die mehr erwähnten Oscillationen nicht auch unter andern Verhältnissen hervorgebracht werden können, als solchen, unter denen wir sie im Vorhergehenden haben entstehen sehen. Mit einem Worte, es scheinen mit der elektrischen Ausdehnung mehrere Fragen, deren vollständige Lösung von Wichtig-

keit seyn kann, in Verbindung zu stehen. Es wäre demnach zu wünschen, daß sich diejenigen Naturforscher, welche dieser Gegenstand irgendwie interessiren kann, mit einer näheren Untersuchung desselben beschäftigen möchten.

III. *Optische Experimental-Untersuchungen;* von G. Quincke.

(Fortsetzung von Bd. 127, S. 1—29 u. 199—237; Bd. 128, S. 355—399 u. S. 541—564.)

V. Herstellung von Metallspiegeln.

45.

Bei vielen optischen Untersuchungen ist es wünschenswerth Metallspiegel benutzen zu können wegen der Intensität und der übrigen Eigenschaften des von ihnen reflectirten Lichtes. Besonders eignet sich das Silber zu solchen Metallspiegeln, weil man dieselben auf Glasplatten beliebiger Form leicht herstellen und poliren kann. Es sind daher schon seit längerer Zeit eine Reihe von Methoden zur Anfertigung von Silberspiegeln angegeben worden, zumal die Technik sich von der Möglichkeit auch krumme Glasflächen und Tafelglas mit Spiegelbelegung versehen zu können grofse Vortheile versprach.

Wenn die grofsen Erwartungen, die an die Belegung des Glases mit Silber geknüpft worden, nicht in Erfüllung gegangen sind, und man fast überall wieder zu der alten Belegung mit Quecksilber und Zinnfolie zurückgekehrt ist, so liegt der Grund nach den Erfahrungen, welche ich seit dem Jahre 1858 darüber gemacht habe, einestheils in der Schwierigkeit die Glasplatten zu reinigen, welche belegt werden sollen, und anderntheils in einer Aenderung der molecularen Beschaffenheit des Silbers, wodurch dieses die Fähigkeit verliert, das Licht stark zu reflectiren. Zu diesen