Bestimmung

der

galvanischen Leitungsfähigkeit und deren Abhängigkeit von der Temperatur für eine Reihe quasiisotroper, metallischer Leiter in Prismenform.

Von

Oberlehrer **Hermann Ihle.**

Der Widerstand, den der galvanische Strom beim Durchgange durch eine Leitung erfährt, hängt von deren Dimensionen, sowie deren chemischer und physikalischer Beschaffenheit ab. Geringfügigste Zusätze eines anderen Stoffes, äußerlich unmerkliche mechanische oder thermische Einwirkungen beeinflussen in verschieden hohem Grade den Widerstand. Am augenfälligsten ist für Metalle seine Änderung mit der Temperatur.

Unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen ist der Widerstand umso größer, je größer die Länge l des Leiters, je kleiner sein Querschnitt q und je kleiner die Leitungsfähigkeit λ des Materials ist. Die Abhängigkeit des Widerstandes von den Eigenschaften der Leitung findet in der Formel $w = \frac{l}{\lambda q}$ Ausdruck, aus welcher

$$\text{I. } \lambda = \frac{l}{wq}$$

folgt. Die Leitungsfähigkeit λ ist bei bestimmter Temperatur eine in Ziffern darstellbare Größe, von Metall zu Metall verschieden, für ein und dasselbe Material eine diesem eigentümliche, charakteristische Zahl, eine physikalische Konstante.

Steigende Temperatur vermehrt im allgemeinen den Widerstand, vermindert also die ihm reciproke Leitungsfähigkeit. Die Anderung der letzteren erweist sich innerhalb nicht zu großer Intervalle der Änderung der Temperatur angenähert proportional. Auf eine streng gültige Beziehung zwischen den Leitungsfähigkeiten und den Temperaturen des Leiters führt folgende Überlegung: Es sei $\varkappa$ eine Zahl, welche angiebt, um welchen Bruchteil ihrer Größe die bei der Temperatur t ermittelte Leitungsfähigkeit λ irgend eines Stoffes sich ändert, wenn die Temperatur um dt zunimmt, dann ist

$$d\lambda = \varkappa \,.\, \lambda \,.\, dt.$$

Bezeichnen λ_t und λ_T die Leitungsfähigkeiten jenes Stoffes bei den Temperaturen t und T, so folgt aus vorstehender Form

$$\text{II. } \varkappa = -\frac{1}{T-t}\left\{\frac{\lambda_t - \lambda_T}{\lambda_T} - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda_t - \lambda_T}{\lambda_T}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{\lambda_t - \lambda_T}{\lambda_T}\right)^3 - \frac{1}{4}\left(\frac{\lambda_t - \lambda_T}{\lambda_T}\right)^4 \pm \cdots\right\}$$

Diese Zahl $\varkappa$, in welcher sich „die Anderung der Leitungsfähigkeit für 1^0 Temperaturzunahme“ ausspricht, ist eine für die betreffenden Leiter charakteristische Größe, wie die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Leitungsfähigkeit selbst ebenfalls eine physikalische Konstante, und wird „Temperaturkoeffizient“ genannt.

Zahlreiche experimentelle Untersuchungen bezweckten die Konstanten λ und $\varkappa$ für die Metalle und die wichtigsten Metalllegierungen festzustellen, deren zum Teil nicht unbeträchtlich voneinander abweichende Resultate in den physikalisch-chemischen Tabellen von Landolt und Börnstein (Berlin, Springers Verlag 1894) auf Seite 468—471 und 503—507 übersichtlich zusammengestellt sind. Die Litteraturangaben finden sich auf den Seiten 515—520.

Für die Elektrotechnik hat die Kenntnis der Leitungsfähigkeit ein hohes praktisches Interesse. Da bei ihr die Metalle hauptsächlich in Form von Drähten und Blechen zur Verwendung kommen, haben sehr viele Beobachter die Metalle in diesen Formen auf die Leitungsfähigkeit untersucht. Durch den Drahtzug und das Walzen ist freilich die natürliche Struktur, der ursprüngliche Charakter der Untersuchungsobjekte verloren gegangen; die für Drähte und Bleche ermittelten Konstanten sind deshalb nur angenähert die Konstanten des betreffenden Metalles. Denn alles, was die molekulare Spannung vermehrt und den Zusammenhang der Moleküle lockert, vermindert erheblich die galvanische Leitungsfähigkeit. Nach dem Schmelzen, also in Barrenform, sind nach Kalischer alle Metalle außer Nickel und Aluminium krystallinisch und leiten besser als im amorphen Zustande. Durch mechanische Bearbeitung, wie Hämmern, Walzen, Ziehen, werden die Krystalle deformiert, der molekulare Zustand dem amorphen genähert, und die Metalle leiten dann schlechter. Daß dagegen Pressungen, welche die Krystallindividuen nicht zerstören, sondern nur zu innigerer Berührung bringen, das Leitungsvermögen erhöhen, ist durch Versuche von Chwolson in Petersburg[1]) nachgewiesen, welcher die Metalle im Piezometer bei 4° C. einem allseitigen Drucke von 60 Atmosphären aussetzte und die Leitungsfähigkeiten maß.

Wegen dieses innigen Zusammenhanges mit der Konstitution der Körper und mit der Natur der Molekularkräfte hat das Studium der galvanischen Leitungsfähigkeit unbearbeiteter Metalle auch ein hohes theoretisches Interesse.

Der höchste Gewinn für die Theorie muß aber erwartet werden, „wenn das vorsichtig und aus möglichst gut definierten Metallstücken hergestellte Beobachtungsmaterial nicht nur für die Bestimmung einer einzelnen, sondern einer größeren Anzahl von physikalischen Konstanten verwertet wird. Insbesondere werden solche Untersuchungen zur Beantwortung der Frage beitragen, ob zwischen den auf dieselbe Substanz bezüglichen, verschiedenartigen Konstanten numerische Beziehungen stattfinden.“

Dies ist das ausgesprochene Ziel einer Reihe von Untersuchungen, welche Herr Prof. Dr. W. Voigt in Göttingen seit einer Reihe von Jahren verfolgt. Derselbe hat Stäbchen von ca. 10 cm Länge, 6 mm Breite und 1 mm Dicke aus 19 verschiedenen Metallsorten hergestellt. Dieselben sind, „um die Isotropie möglichst wenig durch die Bearbeitung zu stören, aus eigens gegossenen Blöcken vorsichtig und ohne erhebliche Erwärmung ausgesägt, mit scharfem Stichel eben abgedreht und schließlich mit Schmirgel geschliffen und poliert worden.“ Herr Prof. Dr. Voigt hat mit diesem Material bereits die Konstanten der Elastizität und der inneren Reibung, sowie der thermischen Dilatation und des thermischen Druckes, die spe-

1) Carls Repertorium 18. Bd.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zifische Wärme bei konstantem Drucke und konstantem Volumen bestimmt und die Resultate seiner Untersuchungen im 36. und 38. Bande der Abhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen veröffentlicht.[1]) Derselbe hat die große Güte gehabt, jenes kostbare Material dem Verfasser zur Verfügung zu stellen, um die Konstanten der elektrischen Leitungsfähigkeit aufzusuchen. Ich fühle mich Herrn Prof. Dr. Voigt für die bereitwillige Überlassung zu größtem Danke verpflichtet, dem ich an dieser Stelle öffentlich Ausdruck gebe und den ich zu bethätigen gesucht habe, indem ich seit der am 9. Juli 1895 erfolgten Übernahme der Stäbchen kein Opfer an Zeit und Kraft gescheut habe, zuverlässige Resultate zu erzielen.

Da mir die zur Messung so subtiler Größen notwendigen elektrischen Präzisionsinstrumente in Dresden nicht zur Verfügung standen, hat mir mein ehemaliger Kollege am hiesigen Kgl. Gymnasium, Herr Dr. J. Kollert, welcher gegenwärtig Vorstand der elektrotechnischen Abteilung an den Kgl. technischen Staatslehranstalten in Chemnitz ist, einen sehr wertvollen Freundschaftsdienst erwiesen, indem mir derselbe während der Sommer- und Herbstferien in seinem Laboratorium die notwendigen Instrumente freundlichst zugänglich machte und meine Untersuchungen durch sein Interesse und durch Anfertigung eines höchst praktischen Hilfsapparates, von dem weiter unten die Rede sein wird, förderte. Es sei mir gestattet, auch Herrn Dr. Kollert an dieser Stelle bestens zu danken.

A. Das Maß für die Größe w.

Von den in der Formel I für die Leitungsfähigkeit λ auftretenden Größen lassen sich die Länge l und der Querschnitt q des Leitungsmaterials jederzeit mit hinreichender Genauigkeit nach üblichen Maßeinheiten angeben. Die Ermittelung der Größe w ist nicht so einfach. Die Messung des Widerstandes erfordert vor allem die Festsetzung einer Widerstandsmaßeinheit. Nach zahlreichen anderen Vorschlägen fand allgemein diejenige von Siemens Annahme. Da reines Quecksilber von bestimmter Temperatur stets leicht hergestellt werden kann und keinen Strukturänderungen unterworfen ist, schlug Siemens vor, als Einheit solle der Widerstand einer Quecksilbersäule gelten, welche bei 0 Grad Celsius 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt hat.

So viele physikalische Größen es giebt, so viele konventionelle Maßeinheiten wären nötig, wie die eben angeführte Siemenseinheit eine solche ist, wenn es nicht gelungen wäre, dieselben alle auf drei zurückzuführen, nämlich auf diejenigen der Länge, der Zeit und der Masse. Messungen, welche sich nur dieser Einheiten bedienen, heißen absolute Messungen. Auch für Messung des Widerstandes w ist eine absolute Maßeinheit aufgestellt worden; das 10^9fache davon wird als 1 Ohm (1ω) bezeichnet und ist im absoluten Maße dargestellt durch $10^9 \frac{\text{Centimeter}}{\text{Sekunde}}$. Vergleicht man das Ohm mit der Siemens-Einheit, so zeigt sich, daß ersteres das 1,063fache der letzteren ist, daß also 1 Ohm dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 1,063 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0^0 Celsius gleich ist.

Bei der wirklichen Herstellung dieser Maße ist die Kalibrierung und Längenbestimmung des Glasrohres, die Auswiegung der Quecksilberfüllungen und die Vergleichung der Widerstände eine äußerst schwierige und subtile Arbeit. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt

1) Vergl. auch Wiedemann Ann. 47., 48., 49. Bd.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hat seit ihrer Gründung die größte Sorgfalt darauf verwendet, ein Urnormal der Quecksilbereinheit herzustellen, mit welchem die gebräuchlichen Widerstandsmaße verglichen werden können. Indem es ihr gelang, in dem Manganin (einer Legierung von Mangan, Kupfer und Nickel) ein Material zu finden, dessen Leitungsfähigkeit bei gewöhnlichen Temperaturen nahezu unveränderlich ist, wurde es der Reichsanstalt möglich, Kopien des Urmaßes in Gestalt von Manganinblechstreifen, welche in besonders konstruierten Hilfsapparaten eingeschlossen sind, der Wissenschaft und Technik zugänglich zu machen. Diese sogenannten Normalwiderstände werden in einer für den jeweiligen Gebrauch geeigneten, verschiedenen Größe und zwar von 10000 ω bis herab zu 0,0001 ω geliefert nebst einer zu jedem einzelnen Normalwiderstand gehörigen Korrektionstabelle für die äußerst geringfügigen Änderungen mit der Temperatur.

B. Die Messungsmethode.

Unter den vielfachen Methoden, welche dazu dienen, den Widerstand w eines gegebenen Leiters zu messen, d. h. mit der eben besprochenen Widerstandseinheit zu vergleichen, ist die am häufigsten benutzte die sogenannte Brückenmethode. Zu ihrem Verständnis ist es nötig die Verhältnisse zu kennen, welche bei einer Stromverzweigung sich ergeben. Zur Veranschaulichung pflegt folgende Betrachtung herangezogen zu werden:

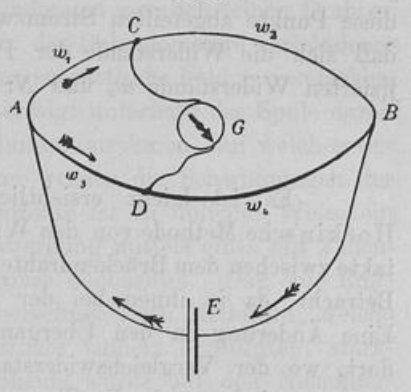
Das Rohr einer Wasserleitung teile sich in zwei verschieden lange, beliebig geformte Arme. Beim Fließen des Wassers wird infolge der Reibung an den Rohrwänden der hydrostatische Druck nach und nach abnehmen. Es wird für jeden Punkt der einen Rohrleitung ein Punkt in der anderen gefunden werden können, in dem der Druck gleich groß wie in jenem ist. Denkt man sich nun zwei solche Punkte gleichen hydrostatischen Druckes miteinander durch ein Glasrohr — eine sogenannte Brücke — verbunden, welche mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt sein möge, so wird letztere in dem Verbindungsrohre still stehen, welche Form und Lage es auch zwischen den beiden Punkten gleichen Druckes haben mag. Verbindet man aber zwei Punkte verschiedenen hydrostatischen Druckes, so wird ein Fließen in der Brücke erfolgen.

Analoge Erscheinungen lassen sich nun auch bei einer von einem galvanischen Strome durchflossenen Leitung beobachten. Zwischen den Polen eines galvanischen Elementes bestehen Unterschiede des elektrischen Druckes, der sogenannten Spannung, welche in dem Schließungsbogen die Bewegung der Elektrizität veranlassen. Man kann mit Hilfe eines Quadrantenelektrometers zeigen, daß sich der elektrische Druck, die Spannung auf dem Schließungsbogen eines Elementes von dem einen Pole zum anderen hin gleichmäßig ändert, und daß die Spannungsdifferenzen den Widerständen der durchflossenen Leitung proportional sind. Verzweigt man nun an irgend einer Stelle die Leitung in zwei Arme von verschiedener Länge und Form, die sich vor dem anderen Pole wieder vereinigen, so wird sich der Strom durch beide Leitungsarme ergießen, und in jedem wird sich die Spannung nach und nach den überwundenen Widerständen entsprechend bis zum Vereinigungspunkte hin ändern. Dabei wird es für jeden Punkt des einen Zweiges einen Punkt des anderen geben, in welchem die Spannung gleich groß ist, sodaß zwischen beiden ein Strömen unmöglich ist. Solche Punkte heißen Punkte gleicher Spannung oder isopotentielle. Benutzt man nun als Brücke, analog dem oben beschriebenen Verbindungsrohr mit gefärbter Flüssigkeit, einen Draht, den man

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit seinen Enden an die Leitungszweige anlegt, so wird durch ihn kein Strom gehen, sobald man Punkte gleicher Spannung berührt hat. Um den etwa vorhandenen Strom sichtbar zu machen, hat man nur nötig den Brückendraht um eine Magnetnadel zu führen, oder einfacher in den Brückendraht ein Galvanometer einzuschalten. Bedeutet in beistehendem Schema Fig. 1 E ein galvanisches Element, dessen Schließungsbogen sich in A und B verzweigt, und sind C und D ein Paar isopotentieller Punkte, für welche also kein Strom durch die Brücke CGD geht, dann ergiebt eine einfache Rechnung, welche von den Kirchhoffschen Sätzen ihren Ausgang nimmt: Die Punkte C und D teilen die Leitungszweige so, daß die Widerstände der Teile auf dem einen Zweige sich zu einander verhalten wie die Widerstände der ihnen entsprechenden Teile auf dem anderen; in Formeln ausgedrückt:

Fig. 1.

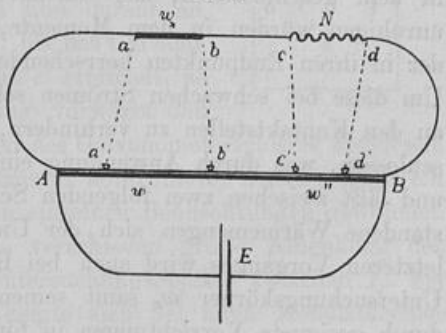


$$\text{III.}\quad \frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}.$$

C. Die Matthiessen-Hockinsche Methode.

Die Brückenmethode ist von Matthiessen und Hockin in folgender Weise zur Messung von Widerständen benutzt worden. Das Schema Fig. 2 soll die Anordnung veranschaulichen. Der von der Elektrizitätsquelle E kommende Strom verzweigt sich in den Punkten A und B. Der in der Figur obere Stromzweig enthält bei cd den bekannten Widerstand, als welchen man einen der oben beschriebenen Normalwiderstände N wählen kann, sowie in ab den seiner Größe nach noch unbekannten Widerstand w_x, also etwa eins der zu untersuchenden Metallprismen. Der andere Zweig $A\,a'\,b'\,c'\,d'\,B$ wird gebildet von einem ausgesucht gleichmäßig dicken Stück Neusilberdraht von 2,5 mm Durchmesser, welcher über einen in Millimeter geteilten hölzernen Maßstab gespannt ist. Dieser Draht wird kurz als Meßdraht bezeichnet. Auf dem Meßdrahte ist ein Kontakt verschiebbar, durch welchen die vier Punkte a, b, c, d des oberen Zweiges in leitende Verbindung mit dem Meßdrahte gebracht werden können. Die in der Figur punktierten Linien aa', bb', cc', dd' deuten den das Galvanometer enthaltenden Brückendraht an. Man sucht nun auf dem Neusilberdrahte AB einen Punkt, z. B. a', in welchem die Spannung dieselbe ist wie in dem Anfangspunkte a des zu untersuchenden Stäbchens w_x. Darauf sucht man die den Punkten b, c, d entsprechenden Punkte b', c', d'. Man projiziert also gewissermaßen den unbekannten Widerstand w_x, sowie den Normalwiderstand N auf den Meßdraht AB. Offenbar wird man auf ihm die Punkte a', b' . . . um so genauer fixieren können, je empfindlicher das im Brückendrahte aa' eingeschaltete Galvanometer ist. Notiert man sich ihre Lage nach den Angaben des unter dem

Fig. 2.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Maßdrahte liegenden Millimetermaßstabes, so lassen sich die Längen $a'b'$ und $c'd'$ in Millimetern angeben; diese Millimeterzahlen seien im folgenden unter w' und w'' gemeint.

Rechnet man mit der am Ende des vorigen Abschnittes angegebenen Formel III für jedes der Punktpaare a und a', b und b', ... die Verhältnisse der Widerstände der durch diese Punkte abgeteilten Stromzweige aus, so ergiebt sich weiterhin das einfache Resultat, daß sich die Widerstände der Projektionen w' und w'' zu einander verhalten wie die projizierten Widerstände w_x und N; in Formeln ausgedrückt:

$$\text{IV.}\quad \frac{w'}{w''} = \frac{w_x}{N}.$$

Es ist leicht ersichtlich, daß die hier schematisch dargestellte Matthiessen-Hockin'sche Methode von den Widerständen an den Kontaktstellen unabhängig ist. Die Kontakte zwischen dem Brückendrahte und den beiden Leitungszweigen kommen überhaupt nicht in Betracht, da in ihnen bei der endgültigen Beobachtung sich kein Strom mehr abzweigt. Eine Änderung in den Übergangswiderständen der Hauptleitungen, also in A und B und dort, wo der Vergleichswiderstand N, sowie das Untersuchungsobjekt w_x in dieselbe eingespannt sind, würde die Stromstärke beeinflussen. Ein stärkerer Strom vergrößert alsdann die einzelnen Spannungen in jedem der Punkte a, b, ..., a', b' ..., aber in keiner Weise die Lage der Punkte gleicher Spannung. Die Methode ist also unabhängig von den Kontaktwiderständen und den angewandten Stromstärken.

Doch wird man namentlich bei Messung kleiner Widerstände starke Ströme vermeiden, damit sich nicht die Leitungen erwärmen und an den Berührungspunkten heterogener Metalle, z. B. in a oder A, sekundäre, nämlich thermoelektrische Ströme entstehen, welche in dem geschlossenen, das Galvanometer enthaltenden Leiterkreise $a\ a'\ A$ die Nadel beunruhigen würden in dem Momente, in welchem die Brücke unter dem alleinigen Einfluß der in ihren Endpunkten herrschenden Spannungen des Hauptstromes stromlos sein müsste. Um diese bei schwachen Strömen sehr geringen, aber immerhin vorhandenen Erwärmungen an den Kontaktstellen zu verhindern, hält man die Hauptleitung stets nur kurze Zeit geschlossen, was durch Anwendung eines Stromunterbrechers zwischen E und A erreicht wird, und läßt zwischen zwei folgenden Schließungen hinreichend Zeit verstreichen, um etwa entstandene Wärmemengen sich der Umgebung mitteilen zu lassen. Zur Beschleunigung des letzteren Vorganges wird auch bei Beobachtungen innerhalb gewöhnlicher Temperaturen der Untersuchungskörper w_x samt seinen Zuleitungen in ein Bad versenkt, dessen Flüssigkeit durch geeignete Vorrichtungen in fortwährender Bewegung erhalten wird.

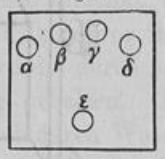
D. Der Beobachtungsapparat.

Bei den nach der Matthiessen-Hockin-Methode angestellten Beobachtungen, deren Resultate weiterhin angegeben werden, dienten 4 parallel geschaltete Akkumulatoren als Elektrizitätsquelle, und die Stromstärke betrug reichlich 2 Ampère. Statt des eben erwähnten Stromunterbrechers wurde zwischen E und A ein Stromwender angebracht, um durch Umlegen desselben einen Ausschlag des Galvanometerspiegels nach der entgegengesetzten Seite herbeizuführen, falls bei den Einstellungen a', b', ... noch der kleinste Teil eines Stromes durch die Brücke ging. Demselben war es bei der Empfindlichkeit des angewandten Spiegelgalvanometers — es war ein solches nach Deprez und d'Arsonval — schon ohnehin schwer

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

genug gemacht, sich der Beobachtung zu entziehen, da dergleichen Instrumente noch Ströme von $\frac{1}{10\,000\,000}$ Ampère anzeigen.[1]) In dem stark magnetischen Felde zwischen den Polen von 12 Hufeisenstahlmagneten hängt an einem sehr dünnen Drahte aus Phosphorbronze, der zugleich zur Stromzuführung dient, eine Spule mit vielen Windungen ziemlich feinen Drahtes. Innerhalb dieser rechteckigen Spule ist ein fest mit dem Stativ des Galvanometers verbundener Cylinder aus weichem Eisen angebracht, dessen Zweck ist, das magnetische Feld zu verstärken, innerhalb dessen die Spule schwingt. Die Stromwegführung erfolgt unterhalb der Spule durch eine Spirale aus dünnem Kupferdraht. Durch die in dem Aluminiumrahmen, auf welchen der Draht gewickelt ist, entstehenden kräftigen Induktionsströme werden die Schwingungen der Spule außerordentlich schnell gedämpft. An dem Aufhängedrahte ist in üblicher Weise ein Spiegel befestigt. Seine Ablenkungen wurden aus $2^1/_2$ m Entfernung mittels eines mit Fadenkreuz und Skala (1 Skalenteil = 2 mm) ausgerüstetem Fernrohre beobachtet. Das eine Ende der Galvanometerspule stand in Verbindung mit der Neusilberschneide am Meßdraht, welche längs demselben an einem 2 cm dicken, parallel dem Meßdrahte isoliert befestigten, starkwandigen Messingrohre verschoben werden konnte. Die Schneide wurde auf den Neusilberdraht durch einen massiven Messingcylinder aufgedrückt, welcher letztere zugleich Träger einer Lupe war, um die Einstellungen der Schneide auf dem Maßstabe in den Punkten a', b', ... schärfer erkennen zu können. Das andere Ende der Galvanometerspule war mit dem Quecksilbernapf ε des Umschalters (Fig. 3) verbunden, nach dessen 4 anderen Näpfen α β γ δ die Leitungsdrähte von den Punkten a, b, c, d der Figur 2 führten. Wurde ein dicker ⌐⌐förmiger Kupferhaken z. B. in die Näpfe γ und ε getaucht, so war die Brücke zwischen dem Punkte c des einen Stromzweiges und dem Meßdrahte geschlossen, und es kam nun darauf an, die Schneide auf dem Meßdrahte so lange zu verschieben, bis das Galvanometer keinen Ausschlag mehr zeigte. War so der Punkt c' ermittelt, so wurde die Schneide absichtlich von ihm 1 mm bez. 5 mm vorwärts und rückwärts entfernt und nach Stromschluß die Ablenkungen des Galvanometerspiegels abgelesen. Auf diese Weise wurde nicht nur die Nulllage des letzteren kontrolliert, sondern auch ein Urteil über die Empfindlichkeit des Galvanometers bei den einzelnen Beobachtungen gewonnen. Eine Verschiebung der Schneide um 1 mm hatte eine verschieden große Ablenkung des Galvanometerspiegels zur Folge, die je nach Art der Untersuchungsobjekte zwischen 1,5 bis 5 Skalenteilen schwankte. Als Vergleichswiderstand N zeigte sich bei allen Metallstäbchen ein Normalwiderstand von $0{,}001^{\omega}$ als der geeignetste, nur bei Wismuth mußte ein solcher von $0{,}01^{\omega}$ substituiert werden. An der hierfür vorgesehenen Stelle desselben wurde an dem Normalwiderstande N ein in $\frac{1}{10}{}^0$ geteiltes Thermometer eingesetzt.

Fig. 3



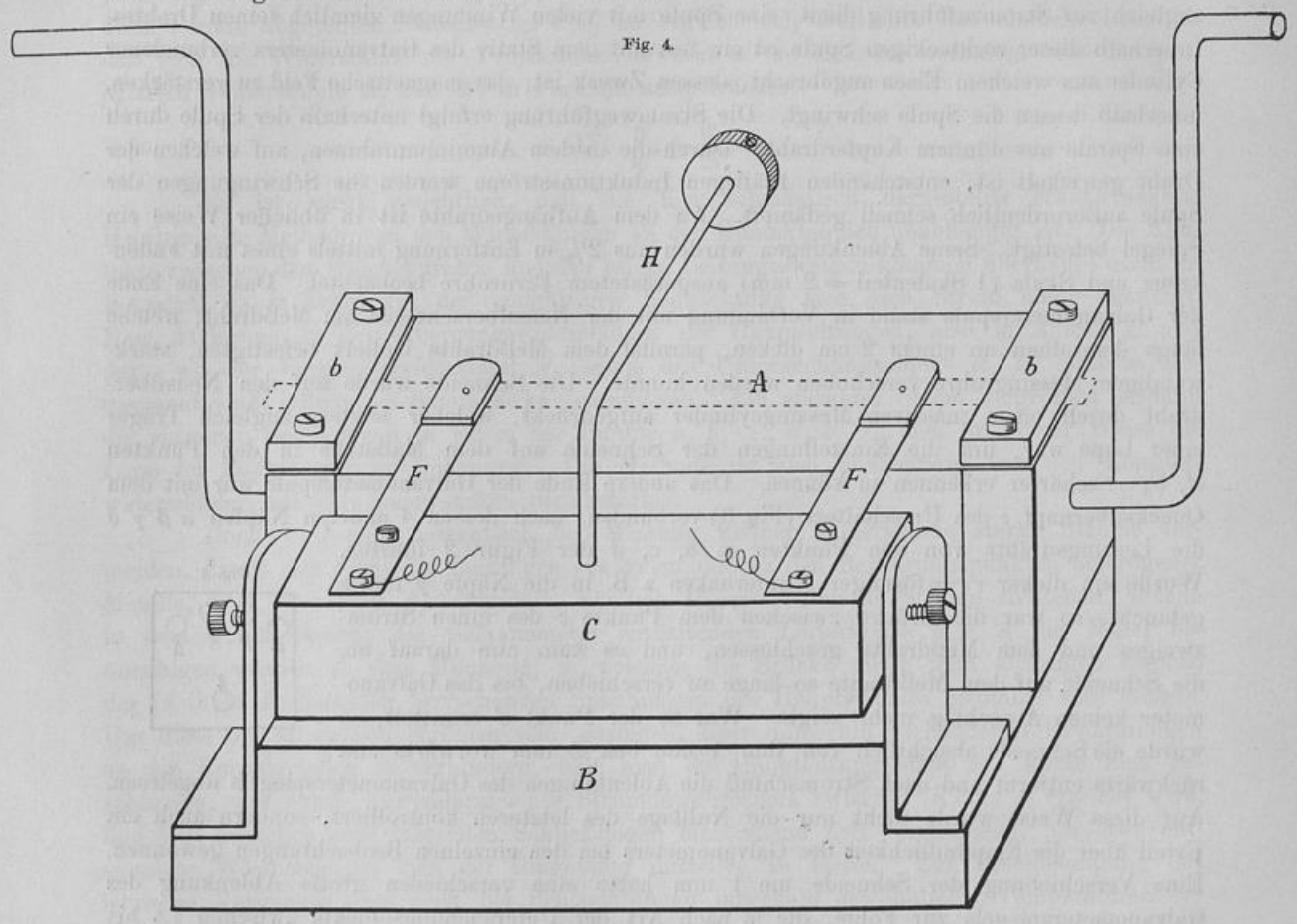
Da der galvanische Strom, ähnlich wie das Licht, beim Passieren enger Übergangsstellen eine Beugung erfährt und erst in einiger Entfernung, etwa 1—2 cm von den Übergangsstellen, die zur Längsachse des Leiters senkrechten Querschnitte als Flächen gleicher Spannung angesehen werden können, dürfen die Berührungsstellen des Brückendrahtes nicht mit den Eintrittsstellen des Stromes in das zu untersuchende Stäbchen zusammenfallen, wie es nach dem Schema Figur 2 in den Punkten a und b scheinen könnte. Zur Befestigung

1) Compt. rend. 94. S. 1347.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der zu untersuchenden Stäbchen im Stromzweige und zur bequemen Anlegung der Brückendrähte in der gehörigen Entfernung von den Übergangsstellen hatte mir Herr Dr. Kollert einen Hilfsapparat konstruiert, welcher sich als recht zweckmäßig herausgestellt hat und durch die Figur 4 veranschaulicht werden soll.

Fig. 4.



Aus einem Stück roter Vulkanfiber, einer neueren Isolationsmasse, ist ein doppeltprismatischer Körper von 10 cm Länge ausgesägt. In die Stirnseiten des höheren Prismas *A* (3,2 cm hoch, 2,5 cm breit) sind 1 cm dicke Messingplatten eingelassen und angeschraubt, in welche zur Stromzuführung Kupferdrähte von 25 qmm Querschnitt eingelötet sind. Die obere Fläche dieses mit Messingbacken versehenen Prismas *A* ist zu einer ebenen Fläche abgeschliffen und parallel den Messingrändern in Abständen von etwa $^1/_4$ cm ebenso tief ausgefurcht. Die Fläche hat zwischen den Messingstücken 8,5 cm Länge. Durch je zwei Schrauben wird auf die Messingbacken ein kleines Messingprisma *b* angedrückt, durch welches die zu untersuchenden Stäbchen festgeklemmt werden. An das andere Vulkanfiberprisma *B* (4 cm hoch, 2 cm breit) sind beiderseits oben abgerundete Messingbacken von 2,5 cm Höhe angebracht, in welche Spitzenschrauben horizontal eingeschraubt sind. Ein drittes Prisma *C* aus Vulkanfiber (8,6 cm lang, 1,5 cm hoch und breit) ist an den beiderseitigen Grundflächen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit konisch ausgebohrten Messinglagern versehen, in welche die eben erwähnten Spitzenschrauben eingreifen. Das Prisma C ist also um die Verbindungslinie der Schraubenspitzen drehbar. Es trägt auf der oberen Seitenfläche in beiderseits gleicher Entfernung von den Grundflächen federnde Stahlblechstreifen F. Diese sind an den Enden durch aufgelötete, 2 mm dicke Messingplatten verstärkt und tragen an ihrer Unterseite die in der Figur nicht sichtbaren konisch zugespitzten Stifte aus 1,25 mm dickem Platindraht. Die Platinspitzen legen sich auf das eingespannte, zu untersuchende Metallstäbchen (in der Figur durch die punktierten Linien angedeutet) auf und stellen die Punkte dar, die im Schema Figur 2 mit a und b bezeichnet sind. Damit die Stifte das Stäbchen sicher berühren, ist am Prisma C ein Hebel H aus Messing befestigt, welcher am Ende ein 30 g schweres Messinggewicht trägt. Letzteres ist angebohrt, um den Stiel eines Tischchens aus Zinkblech aufzunehmen bei Untersuchungen, welche den Einfluß einer Mehrbelastung der Platinkontakte auf die Empfindlichkeit des Apparates feststellen sollen. Am festen Ende der Federn F sind die Zuführungsdrähte für den Brückenstrom dauernd angebracht, sie enden anderseits in den Näpfen α und β des Umschalters Figur 3. Sollten Stäbchen in den Apparat eingespannt oder herausgenommen werden, so wurde das Prisma C um 180° um seine Achse gedreht und dadurch die Platinspitzen vor Beschädigungen bewahrt.

Der genaue Abstand der Platinspitzen ist von meinem Freunde zu 5,9185 cm mit einem mittleren Fehler von $\pm$ 0,006 mm bestimmt worden. Dies ist also die Länge l der Formel I für λ und die Strecke w_x im Schema Figur 2.

Damit der Apparat und die Stäbchen bis auf den Kern gleiche Temperaturen hätten, wurde der ganze Apparat in ein doppelwandiges Petroleumbad aus Zinkblech versenkt und darin dauernd aufbewahrt und die Stäbchen auf einer kleinen Galerie stundenlang vor ihrer Beobachtung unter der Flüssigkeitsoberfläche gehalten. Das Petroleum wurde durch eine mittels Wasserturbine getriebene Rührvorrichtung beständig in Bewegung gehalten. Für Untersuchungen des Widerstandes bei höheren Temperaturen wurde das Ölbad durch Wasserdampf erhitzt, der durch ein rostartig über den Boden des Bades ausgebreitetes Messingrohrsystem geleitet wurde und beim Austritt aus dem Apparate sofort kondensiert wurde. Ein in $\frac{1}{4}$ Grade eingeteiltes Thermometer von Haake in Jena tauchte so tief in das Bad ein, daß die horizontale Mittelebene der eingespannten Stäbchen die Cylinderhöhe des Quecksilbergefäßes halbierte. Die am Thermometer abgelesene Temperatur wurde als diejenige des Stäbchens angenommen. Je nach der Länge des Dampfzuführungsschlauches trat bei 91—94° ein stationärer Wärmezustand ein, bei dem Beobachtungen möglich waren. Bei zwischenliegenden Temperaturen also für 20—90° Aufnahmen zu machen, ist für einen einzelnen Beobachter sehr schwer. Ich habe es mehrfach versucht, die Temperatur hatte sich dabei meist um ein oder mehrere Grade geändert; daher halte ich meine Beobachtungen für die Zwischentemperaturen 20—90° für wertlos und unterlasse ihre Mitteilung. Daß bei den Erwärmungen des Ölbades der Normalwiderstand gehörig durch zwischengestellte Pappwände vor Wärmezustrahlung geschützt war, ist selbstverständlich.

E. Die Kalibrierung des Meßdrahtes.

Soll, nachdem der Widerstand des Metallstäbchens und der Normalwiderstand auf den Meßdraht projiziert worden sind, aus den am Millimetermaßstabe abgelesenen Längen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

w' und w'' ein Maß für das Verhältnis der ersteren gewonnen werden, so müßte der ausgespannte Meßdraht AB durchaus gleichmäßig und vollkommen homogen sein, d. h. irgend zwei herausgeschnittene Stücke desselben von gleicher Länge müßten einem elektrischen Strome genau den nämlichen Widerstand bieten. Um dies zu untersuchen, bedient man sich einer von Strouhal und Barus angegebenen Methode, welche der Kalibrierung eines Thermometerrohres sehr ähnlich ist, daher allgemein als Kalibrierung des Meßdrahtes bezeichnet wird. Sie gründet sich auf das oben beschriebene Matthiessen-Hockin'sche-Projektionsverfahren galvanischer Widerstände.

Man denke sich in der Figur 2 den Leiterzweig $Aw_x NB$ ersetzt durch eine Reihe von 10 untereinander beinahe gleichen Einzelwiderständen, deren jeder mit dem folgenden durch einen Quecksilbernapf kurz verbunden ist. Einer von jenen Einzelwiderständen, durch eine Marke kenntlich gemacht, wird in der Reihe der übrigen nach und nach verschoben und in seiner jedesmaligen Stellung auf den Meßdraht projiziert. Die 10 Einzelwiderstände hatten die beistehende Reiter-Form Figur 5. An einem Holzklötzchen von quadratischer Grundfläche (5 cm, 2,5 cm hoch) sind beiderseits 5 cm lange und 4 mm dicke Kupferdrähte befestigt, die über und unter dem Holzklötzchen vorstehen. Zwischen den oberen Enden der Kupferstifte ist ein der Bequemlichkeit halber zu einer Spirale gewundener Neusilberdraht von 20 cm Länge und 1,5 mm Dicke angelötet. In ein Brett sind in Abständen je von 5,5 cm elf als Quecksilbernäpfe dienende Löcher eingebohrt, von denen starke untereinander gleiche Kupferdrähte, in der Figur 6 mit 0—10, m und n bezeichnet, nach der Längsseite ausgehen und dort einige Centimeter vorstehen. Der von den Akkumulatorenbechern kommende, durch den Kommutator geleitete Strom verzweigt sich in A, um einerseits durch den Meßdraht über B zurück zur Batterie zu gehen, anderseits von A aus über m in den ersten Quecksilbernapf einzutreten, die Reihe der Reiter zu durchfließen und über n am Ende B des Meßdrahtes sich mit dem anderen Zweigstrome zu vereinigen. Für die Punkte 0 und 1 der Reiterkette werden nun in bekannter Weise auf dem Meßdrahte die Orte gleicher Spannung ermittelt, während der markierte Reiter zwischen 0 und 1 sich befindet. Nun läßt man den letzteren seinen Platz mit dem folgenden tauschen und projiziert ihn in der neuen Stellung. Fährt man mit Platzwechsel und Projektion in der angedeuteten Weise fort, so erhält man 10 Pro-

Fig. 5.

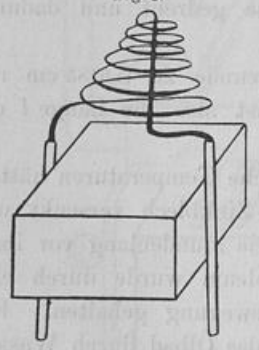
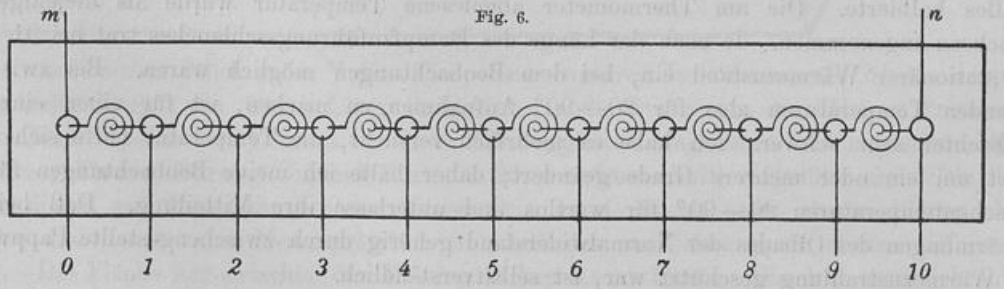


Fig. 6.



Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jektionen eines und desselben Widerstandes, während derselbe sich in immer anderen Punkten des Schließungsbogens befindet. Diese Projektionen begrenzen daher solche Strecken des Meßdrahtes, welche sämtlich mit der ersten Projektion widerstandsgleich sind. Wäre der Meßdraht vollkommen homogen, so müßten die Längen der 10 Projektionen genau gleich sein. Das ist in Wirklichkeit nie der Fall, also sind Korrektionen nötig.

Da der markierte Reiter seinen Platz wechselt mit Reitern, deren Widerstände dem seinigen nicht genau gleich sind, so fällt der Anfangspunkt der folgenden Projektion nicht genau mit dem Endpunkt der vorhergehenden zusammen, und es könnte möglich sein, daß in dem Zwischenraume gerade eine Inhomogenität des Meßdrahtes vorhanden wäre. Durch Veränderung der Längen der Zuleitungsdrähte von A nach m und von n nach B kann man aber die den äußersten Näpfen entsprechenden isopotentiellen Punkte den Enden des Meßdrahtes beliebig nähern und erhält dann bei Wiederholung der Projektion auf dem Meßdrahte 10 andere untereinander widerstandsgleiche Strecken, deren Anfangs- und Endpunkte nicht mehr dieselben sind als vorher. Eine etwaige Inhomogenität, die bei der ersten Kalibrierung an den bezeichneten Stellen entgangen wäre, würde also bei der neuen zum Vorschein kommen.

Hat man die 10 widerstandsgleichen Strecken r_k des Meßdrahtes am Meßstabe abgelesen, so berechnet man aus ihnen die mittlere Länge r_m derselben, sowie die Abweichung $\delta_k = r_m - r_k$ jeder einzelnen von der mittleren Länge. So war z. B. bei einer der 12 von mir vorgenommenen Meßdrahtkalibrierungen $r_m = 94{,}471$ mm, $r_6 = 97{,}298$ mm also $\delta_6 = +0{,}173$ mm. Bei der Reduktion auf gleichen mittleren Widerstand ist also die Drahtstrecke r_6 so viel wert als der mittlere Widerstand von 94,471 mm, man hat daher die Länge 97,298 mm zu rechnen als 97,298 + 0,173 mm. Hiernach wird der Inhalt folgender Korrektionstafel verständlich sein, die sich auf dieselbe Kalibrierung bezieht: Die Strecke zwischen den Meßdrahtpunkten

von	bis	ist zu rechnen als	mithin von o bis n	als $n - \Sigma\delta_k$
4,14 mm	102,40 mm	97,612 − 0,141 mm	102,40 mm	102,40 − 0,141 mm
102,40 „	207,30 „	97,693 − 0,222 „	207,30 „	207,30 − 0,363 „
207,30 „	298,65 „	97,677 − 0,206 „	298,65 „	298,65 − 0,569 „
298,65 „	397,05 „	97,800 − 0,329 „	397,05 „	397,05 − 0,898 „
397,05 „	495,60 „	97,642 − 0,171 „	495,60 „	495,60 − 1,069 „
495,60 „	593,52 „	97,483 − 0,012 „	593,52 „	593,52 − 1,081 „
593,52 „	691,05 „	97,298 + 0,173 „	691,05 „	691,05 − 0,908 „
691,05 „	788,96 „	97,290 + 0,181 „	788,96 „	788,96 − 0,727 „
788,96 „	886,57 „	97,138 + 0,333 „	886,57 „	886,57 − 0,394 „
886,57 „	983,81 „	97,072 + 0,399 „	983,81 „	983,81 − 0 „

Werden nun auf Millimeterpapier von 1 m Länge die unter o—n angegebenen Millimeterzahlen markiert, welche die widerstandgleichen Strecken begrenzen und dort etwa in 1000facher Größe als Lote die jeweilige Größe $\Sigma\delta_k$ aufgetragen, so veranschaulicht die Reihe der Endpunkte nicht nur die Größe der bei den einzelnen Meßdrahtstellen anzubringenden Gesamtkorrektion, sondern bietet auch ein Mittel, dafern man die Änderungen der Homogenität zwischen je zwei folgenden Punkten als stetig annimmt und die Endpunkte der Lote verbindet, für zwischenliegende Millimeterzahlen die anzubringende Korrektion mit dem Zirkel abzumessen. Aus drei der besten dieser Kurven wurde ein mittlerer Zug konstatiert und allen Korrektionen der Meßdrahtablesungen zu Grunde gelegt. Die in den folgenden Tabellen als

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

w' und w'' bezeichneten Meßdrahtlängen sind aus so korrigierten Millimeterzahlen hervorgegangen. Diese w' und w'' sind aber jedesmal bereits die Mittel aus mindestens drei Beobachtungsreihen.

Es könnte vielleicht in den kommenden Resultaten auffallen, daß die an verschiedenen Tagen bei nahe liegenden Temperaturen für ein und dasselbe Stäbchen gewonnenen Zahlen w' und w'' nicht immer genau übereinstimmen. Dies rührt außer von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern von dem Umstande her, daß beim Einspannen der Stäbchen nicht immer ein und dasselbe Stück unter den Platinspitzen des Apparates Fig. 4 gelegen hat. Eine Verrückung um nur 1 mm beeinflußt das Resultat sehr merklich, falls längs dieses einen Millimeters die Dimensionen des Stäbchens um wenn auch kleinste Größen sich ändern. Ferner ist ein Hauptgrund für die Verschiedenheit obiger Verhältnißzahlen, daß in den Zwischenzeiten zwischen den betreffenden Beobachtungssätzen die Zuleitungen gewechselt worden waren, namentlich der wiederholten Meßdrahtuntersuchungen wegen. Jede Veränderung der Zuleitungsdrähte läßt aber die Projektionen auf den Meßdraht anders ausfallen. Der Kontrolle wegen ist sogar absichtlich bei den Herbstbeobachtungen bei den Zuleitungen ein $^1/_2$ m langer Neusilberdraht vorgeschaltet worden, wodurch die Projektionen fast doppelt so groß als im Sommer wurden. Bei längeren Strecken übt aber der Ablesungsfehler einen kleineren Einfluß auf das Resultat aus als bei kurzen Strecken. Die Werte der Verhältnisse $\frac{w'}{w''}$ stimmen meist recht befriedigend.

Alle bisher beschriebenen Arbeiten dienten dazu, den Wert der Größe $w_x = \frac{w'}{w''} N$ in Formel IV zu ermitteln. N ist für alle übrigen Stäbchen 0,001 ω, nur bei Wismuth 0,01 ω sodaß für die allermeisten $w_x = \frac{w'}{w''} \cdot 0{,}001\ \omega = \frac{w'}{w''} \cdot 0{,}001 \cdot 1{,}063\ S.E.$ beträgt.

Hierdurch wird die Formel für die Berechnung der Leitungsfähigkeit λ

$$\text{V. } \lambda = \frac{l}{\frac{w'}{w''} \cdot 0{,}001 \,.\, 1{,}063\ q}.$$

Diese liegt den anzugebenden Resultaten zu Grunde.

F. Die Dimensionen der Stäbchen.

Wie schon oben erwähnt, ist die Länge l für alle Stäbchenbeobachtungen der unveränderliche Platinspitzenabstand des Apparates Fig. 4 und beträgt 0,059185 m. Zur Berechnung des Querschnittes q lagen zwar in den auf Seite 5 citierten Abhandlungen Angaben über die Dicke und Breite der Stäbchen vor, diese erwiesen sich jedoch nicht verwendbar für die vorliegende Arbeit. Während die Stäbchen zur Feststellung anderer Konstanten in ihrer ganzen Länge von 10 cm benutzt worden waren, knüpften sich meine Beobachtungen nur an die mittelsten 6 cm. Die mittlere Breite und Dicke ist für diese Länge nicht dieselbe wie dort. Unter Benutzung eines Dickenmessers mit direkter Ablesung von 0,05 mm zu 0,05 mm, welcher aber mittels Lupe noch die Zehntel dieser Größe zu schätzen erlaubte, habe ich die Breiten und Dicken sämtlicher Metallprismen — gegen 100 Stück — von Neuem wiederholt gemessen, indem ich, um die Dicken zu erfahren, entlang der benutzten 6 cm langen Strecke

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in drei parallelen Linien, nämlich in der Mitte und nahe den Rändern, durchschnittlich je 20 Dickenaufnahmen machte und aus diesen 60 Zahlen das Mittel D nahm; ebenfalls zu wiederholten Malen für jedes Stäbchen wurde die Breite an 15—20 äquidistanten Stellen gemessen und dann aus diesen Zahlen das Mittel B ausgerechnet. Das Produkt der mittleren Länge mit der mittleren Breite ergab den mittleren Querschnitt Q, den ich der Rechnung zu Grunde gelegt habe.

Ich möchte nicht verfehlen hier zu bemerken, daß mir wohl bekannt ist, daß die Einsetzung des mittleren Querschnittes in die Formel für λ eine mathematische Ungenauigkeit in sich schließt. Die Summe $\Sigma \frac{1}{q}$ der wirklichen Querschnitte zu berechnen ist während der mir zur Verfügung gestandenen Zeit bei der Anzahl von 100 Stäbchen ein Ding der Unmöglichkeit. Aber auch schon die wechselnde Form der Querschnitte längs jener 6 cm eines einzigen Stäbchens würde der Ausführbarkeit ein unüberwindliches Hindernis bieten. Übrigens sind die Stäbchen regelmäßig genug geschliffen, sodaß nur selten an einem derselben die Breiten-, bez. die Dicken-Änderungen mehr als weniger $\frac{1}{1000}$ Millimeter betrugen. Soweit mir die einschlägige Litteratur zur Verfügung gestanden hat, haben übrigens auch andere Beobachter immer nur den mittleren Querschnitt ihren Rechnungen zu Grunde gelegt.

G. Das Beobachtungsmaterial.

Betreffs des Beobachtungsmaterials im allgemeinen wiederhole ich das, was Herr Prof. Voigt in der Einleitung zu den „Bestimmungen der Elastizitätskonstanten etc.“ mitgeteilt hat. Es ist aus vorsichtig gegossenen Stücken herausgeschnitten. „Um den Präparaten den quasiisotropen Zustand möglichst zu erhalten, nämlich die verschiedenen Richtungen physikalisch gleichwertig zu belassen, sind auch bei Herstellung der Stäbchen gewisse Vorsichtsmaßregeln zur Anwendung gekommen. Die Schnitte sind langsam und in vielfachen Pausen ausgeführt, um erhebliche lokale Erwärmungen zu vermeiden; die erhaltenen rohen Schnittstücke sind mit scharfem Stichel auf die gewünschte Dicke abgedreht und nur der letzte Schliff mit einer scharfen Feile, bez. feinem Schmirgel, ohne Anwendung eines erheblichen Druckes erzielt. Die Stäbchen sind recht regelmäßig in ihrer Form geraten und zu Messungen, die auf einige pro mille zuverlässig sind, wohl zu benutzen.“

„Natürlich hat die Sorgfalt der Bearbeitung etwaige Unvollkommenheiten des Materials, Gußporen, Inhomogenitäten, sowie lokale Anisotropie infolge von zu grobkrystallinischer Struktur nicht zu beseitigen vermocht; daß solche vorhanden sind, zeigen die erhaltenen Beobachtungsresultate, die voneinander mitunter viel mehr, als die Wirkung der direkten Beobachtungsfehler, differieren.“

„Die Gußstücke hatten die Form von Kreiscylindern von ca. 12 cm Länge und 4—7 cm Durchmesser. Die Stäbchen wurden stets der Längsachse parallel aus den mittleren Partien herausgeschnitten, falls dort nicht, wie dies bei den im Erstarren sich stark zusammenziehenden Metallen stattfand, eine Höhlung sich befand.“

Was sonst über Herkunft und Reinheit der Metalle zu wissen nötig ist, will ich bei jeder einzelnen Sorte vor meinen im folgenden aufzuführenden Beobachtungsresultaten angeben.

Die einzelnen Stäbchen waren von den früher mit ihnen angestellten Beobachtungen her durch eingeritzte Nummern kenntlich gemacht; soweit letztere noch sichtbar waren, sind sie als Bezeichnung der einzelnen Objekte beibehalten worden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

H. Die Beobachtungsresultate.

Auf den folgenden Seiten 18—32 sind die beobachteten Metallsorten in alphabetischer Reihenfolge angeordnet. Den Schluß bilden die Legierungen: die als Kupfer bezeichnete, die Bronze und das Messing.

In den einzelnen Tafeln sind die Stäbchen der Reihe nach nebeneinander aufgeführt und alle auf eines derselben bezüglichen Angaben finden sich in derselben vertikalen Kolumne.

Hinter B und D stehen die nach Millimetern gemessenen mittleren Dicken und Breiten, hinter Q die aus ihnen berechneten Querschnitte in Quadratmillimetern.

Neben den t, τ und T sind die Temperaturen des Ölbades angegeben, während unter dem Datum die Temperatur des Normalwiderstandes steht.

In der Zeile $\frac{w'}{w''}$ haben die Mittel aus den korrigierten Meßdrahtlängen nebst den aus ihnen berechneten Widerständen nach $0{,}001^{\omega}$ gemessen (nur bei Wismuth $0{,}01^{\omega}$) Aufnahme gefunden.[1])

Neben λ_t sind die auf Grund der Formel V aus dem betreffenden Beobachtungssatze berechneten Leitungsfähigkeiten mitgeteilt. Aus den für nahe bei einander liegende Temperaturen erhaltenen λ sind am Ende der Seiten je die Mittel genommen, und aus letzteren ist der Temperaturkoeffizient $\varkappa$ nach der üblichen Näherungsformel berechnet worden, welche aus der Reihe II hervorgeht, wenn man die höheren Potenzen vernachlässigt. Genaue Werte für $\varkappa$ würden hervorgehen, wenn man die ersten vier Glieder der Reihe berücksichtigen würde; doch begnügt man sich allgemein mit der angegebenen Annäherung.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen sind am Ende der Arbeit die für die verschiedenen Metalle ermittelten Leitungsfähigkeiten und Temperaturkoeffizienten in einer Tafel zusammengestellt.

---

1) Das Zustandekommen der in der Zeile $\frac{w'}{w''}$ mitgeteilten Ziffern möge folgendes Beispiel zeigen. Als ein Kupferstäbchen eingespannt war, wurde beobachtet, daß die Schneide zwischen den in der ersten Kolumne der folgenden Beobachtungsreihe angegebenen Meßdrahtpunkten stehen mußte, während die Galvanometerleitung stromlos war. Bei Einstellung auf jene ganzen Millimeterzahlen erfuhr der Galvanometerspiegel eine Ablenkung und kam zur Ruhe, als hinter der Vertikalen des Fadenkreuzes die in der nächsten Kolumne angegebenen Skalenteile (dies sind bereits Mittel aus meist drei Beobachtungen) sichtbar wurden. Aus den mittleren Ablenkungen wurden die Dezimalstellen der in der nächsten Kolumne aufgeführten Millimeterzahlen berechnet. Letztere geben also die Stelle des Meßdrahtes an, über welcher die Schneide gestanden haben müßte, wenn die Brücke stromlos wäre. In der folgenden Spalte stehen die an der Korrektionskurve abgemessenen Korrektionen für die betreffende Meßdrahtstelle und schließlich unter mm die dem Stäbchen und dem Normalwiderstande entsprechenden widerstandsgleichen Meßdrahtlängen:

mm	Skalenteile	mm	Korrektion	mm
529	+ 2,40	529,67	—0,92	
530	—1,21			
452	+ 2,92	452,85	—0,82	76,72
453	—0,49			
375	+ 1,65	375,47	—0,64	also $\frac{w_x}{N} = \frac{42{,}75}{76{,}72}$
376	—0,49			
332	+ 2,13	332,61	—0,53	42,75
333	—1,34			

Für jedes Stäbchen wurden bei niederer Temperatur meist drei solcher Beobachtungssätze gemacht, bei hoher Temperatur meist 6—9, und die Mittel aus den erhaltenen Zahlen als $\frac{w'}{w''}$ in die folgenden Tabellen aufgenommen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Im Hinblick auf die Eigenartigkeit des benutzten Materials und der Herstellung der Stäbchen mußte von vornherein erwartet werden, daß die auf Grund der Beobachtungen nachträglich durch Rechnung hervorgehenden Leitungsfähigkeiten in Zahlen Ausdruck finden würden, welche von den anderwärts erhaltenen mehr oder weniger abweichen würden. Um dann nicht einen Zweifel an der Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte aufkommen zu lassen, habe ich auch einige Drahtsorten aus Elektrolytkupfer, aus Blei und Neusilber, wie ich sie gerade in Chemnitz vorfand, genau wie die Stäbchen behandelt und später ihre Leitungsfähigkeiten berechnet. Die mit diesen Drähten gewonnenen Konstanten stimmen recht gut zu den sonst für Kupfer, Blei und Neusilber gefundenen Leitungsfähigkeiten:

Elektrolyt-Kupferdraht. 1) *4 mm Durchmesser.*

Datum:	29. Juli	1. August	4. August	11. August	9. August
Ölbad-Temperatur:	$20{,}5^0$	$20{,}1^0$	$19{,}5^0$	18^0	$92{,}5^0$
$\frac{w'}{w''}$	$\frac{6{,}70}{81{,}65} = 0{,}0820_6$	$\frac{6{,}74}{82{,}35} = 0{,}0818_5$	$\frac{6{,}63}{81{,}36} = 0{,}0815$	$\frac{6{,}53}{81{,}86} = 0{,}0797_7$	$\frac{7{,}98}{77{,}19} = 0{,}1033_8$
λ_t	$53{,}99_6$	$54{,}13$	$54{,}37$	$55{,}54$	$42{,}85_8$

also im Mittel $\lambda_{19,4} = \mathbf{54{,}51}$, woraus $\varkappa_{20-92,5} = -\mathbf{0{,}00373}$ folgt.

2) *2,5 mm Durchmesser.*

	29. Juli	4. August
t	$20{,}5^0$	$18{,}8^0$
$\frac{w'}{w''}$	$\frac{16{,}95}{80{,}56} = 0{,}2104$	$\frac{16{,}68}{81{,}17} = 0{,}2055$
λ_t	$53{,}91$	$55{,}19_6$

Neusilberdraht. *2,5 mm Durchmesser.*

	30. Juli	31. Juli	4. August	11. August	9. August	30. September
t	$20{,}5^0$	$20{,}1^0$	$19{,}8^0$	$18{,}2^0$	$92{,}7^0$	$92{,}8^0$
$\frac{w'}{w''}$	$\frac{177{,}52}{59{,}15} = 3{,}001$	$\frac{178{,}17}{59{,}46} = 2{,}996$	$\frac{179{,}47}{59{,}96} = 2{,}993$	$\frac{154{,}65}{52{,}46} = 2{,}948$	$\frac{174{,}14}{57{,}26} = 3{,}041$	$\frac{230{,}26}{75{,}61} = 3{,}045$
λ_t	$3{,}779$	$3{,}785$	$3{,}789$	$3{,}847_6$	$3{,}729_6$	$3{,}724_6$

also im Mittel $\lambda_{20,1} = \mathbf{3{,}784}$, woraus $\varkappa_{20-92,7} = -\mathbf{0{,}00021}$ folgt.

Bleidraht. *3,5 mm Durchmesser.*

	31. Juli	1. August	4. August	5. August	9. August
t	20^0	$19{,}7^0$	$19{,}6^0$	$18{,}8^0$	$92{,}6^0$
$\frac{w'}{w''}$	$\frac{88{,}62}{69{,}99} = 1{,}2662$	$\frac{88{,}57}{69{,}98} = 1{,}2655$	$\frac{84{,}50}{66{,}72} = 1{,}2665$	$\frac{83{,}98}{66{,}53} = 1{,}2623$	$\frac{96{,}77}{60{,}03} = 1{,}6120$
λ_t	$4{,}570$	$4{,}573$	$4{,}569$	$4{,}585$	$3{,}590$

also im Mittel $\lambda_{19,8} = \mathbf{4{,}571}$, woraus $\varkappa_{19,8-92,6} = -\mathbf{0{,}00375}$ folgt.

$\varkappa_{18,8-92,6} = -\mathbf{0{,}00376}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Aluminium $s = 2{,}676$.

„Von der ehemaligen Aluminium- und Magnesiumfabrik in Hemelingen bezogen. Das Gußstück war dem Augenschein nach recht befriedigend dicht. Die chemische Analyse ergab

Al 97,53 % *Fe* 1,33 % *Si* 1,01 % *C* 0,17 %.

Die Verunreinigung ist also nicht unbedeutend; überdies scheint das Gemisch nicht homogen zu sein."

Stäbchen-Nr.:		1	2	3	4	5	6
Breite:		6,037	6,084	6,002	6,030	6,028	6,038
Dicke:		$0{,}992_7$	$1{,}012_8$	1,003	$0{,}993_5$	$1{,}246_2$	1,245
Querschnitt:		5,993	6,162	6,020	5,991	7,512	7,517
	t	21,2°	21,2°	21,3°	21,3°	21,4°	21,4°
29. Juli	w'	30,98	29,05	29,63	29,72	23,49	24,24
21,2°	w''	78,07	78,0	77,34	75,42	76,23	78,69
		= 0,3968	= 0,3725	= 0,3831	= 0,3941	= 0,3081	= 0,30804
	λ_t	23,41	24,26	24,14	$23{,}58_5$	24,05	$24{,}04_5$
	t'	19,4°	19,4°	19,3°	19,4°	19,3°	19,6°
4. August	w'	31,02	29,28	28,42	30,66	24,08	24,04
19,6°	w''	78,70	79,25	74,80	77,96	78,67	78,90
		= 0,3942	= 0,3696	= 0,3800	= 0,3933	= 0,3060	= 0,3046
	$\lambda_{t'}$	23,54	24,46	24,34	23,63	24,22	24,32

			8. August	6. August	3. Oktober
August	T		92,1°	92,4°	93°
18° bez.	w'		35,21	35,70	43,13
19,5°;	w''		77,31	75,36	88,89
Oktober			= 0,4554	= 0,4737	= 0,4851
15,6°.	λ_T		19,84	19,52	19,16

Zum Stäbchen Nr. 3 ist ein gut gelungener Beobachtungssatz bei 67° vorhanden; es war bei 67°: $\frac{w'}{w''} = \frac{33{,}68}{76{,}80} = 0{,}4385$, woraus $\lambda_{67} = 21{,}09$ hervorgeht.

Man hat hiernach im Mittel

$\lambda_{21,3} = \mathbf{23{,}915}$ und $\varkappa_{21-93} = -\mathbf{0{,}00316}$; dazu kommt $\varkappa_{67-93} = -\mathbf{0{,}00315}$.

$\lambda_{19,4} = \mathbf{24{,}085}$ $\varkappa_{19-93} = -\mathbf{0{,}00320}$.

$\lambda_{92,7} = \mathbf{19{,}507}$.

Die Stäbchen Nr. 1 und 4 ergeben ein von den übrigen recht abweichendes λ. Man muß in der Inhomogeneität des Materials den Grund vermuten, da in allen Temperaturlagen die Abweichung nach derselben Richtung vorhanden ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kadmium $s = 8{,}65$.

Es ist, um Gußporen möglichst zu vermeiden, in einem luftverdünnten Raume verschmolzen. (Näheres unter Wismuth.) „Wegen der sehr starken Kontraktion, welche Kadmium beim Erstarren erfährt, war es nötig, den oberen Teil der geschmolzenen Masse noch im flüssigen Zustande zu erhalten, während der untere Teil erstarrte; es gelang auf diese Weise, eine anscheinend ganz dichte Masse zu erhalten.“

	Nr.	2	4	5	6
	B	6,028	6,038	6,050	6,058
	D	1,005	1,000	0,8177	0,807
	Q	6,055	6,038	4,947	4,889
	t	21,3°	21,4°	21,4°	21,5°
29. Juli 21,2°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{54{,}44}{76{,}83} = 0{,}7086$	$\frac{53{,}86}{75{,}99} = 0{,}7088$	$\frac{65{,}02}{75{,}12} = 0{,}8655$	$\frac{65{,}82}{75{,}02} = 0{,}8774$
	λ_t	$12{,}97_7$	13,010	13,003	12,950
	t'	19,7°	19,7°	19,7°	19,7°
1. August 20°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{54{,}56}{77{,}59} = 0{,}7032$	$\frac{54{,}76}{77{,}51} = 0{,}7065$	$\frac{65{,}32}{75{,}73} = 0{,}8625$	$\frac{66{,}52}{76{,}13} = 0{,}8738$
	$\lambda_{t'}$	13,08	13,05	13,02	13,03
			7. August		30. Juli
	t''		18,4°		20,7°
Juli 20,7° August 17,9°	$\frac{w'}{w''}$		$\frac{53{,}89}{76{,}46} = 0{,}7048$		$\frac{65{,}72}{75{,}02} = 0{,}8760$
	$\lambda_{t''}$		13,08		13,00
	T	91,1°	92,2°		92,3°
7. August	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{67{,}47}{75{,}19} = 0{,}8973$	$\frac{67{,}68}{75{,}34} = 0{,}8983$		$\frac{81{,}74}{73{,}56} = 1{,}1112$
	λ_T	10,25	10,27		10,25

Es ist im Mittel

$\lambda_{21,4} = \mathbf{12{,}99}$ und $\varkappa_{21-92} = -\mathbf{0{,}00380}$

$\lambda_{19,7} = \mathbf{13{,}05}$ $\varkappa_{20-92} = -\mathbf{0{,}00377}$

$\lambda_{91,7} = \mathbf{10{,}26}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gold $s = 19{,}28$.

„Ist in Form kleiner Barren von der deutschen Gold- und Silberscheide-Anstalt in Frankfurt a. M. bezogen und angeblich nahe chemisch rein."

	Nr.	1	2
	B	6,192	6,174
	D	$1{,}007_9$	1,0069
	Q	$6{,}241_5$	$6{,}217_4$
	t	20,8°	20,8°
30. Juli 21°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{18{,}05}{80{,}86} = 0{,}2232$	$\frac{18{,}25}{81{,}41} = 0{,}2242$
	λ_t	39,961	39,947
	t'	19,9°	19,9°
3. August 20°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{18{,}35}{82{,}66} = 0{,}2220$	$\frac{18{,}21}{81{,}58} = 0{,}2232$
	$\lambda_{t'}$	40,186	40,116
	t''		18,5°
7. August 17,8°	$\frac{w'}{w''}$		$\frac{18{,}32}{82{,}41} = 0{,}2223$
	$\lambda_{t''}$		40,283

		8. August	3. Oktober	6. August
August 19° Oktober 15,2°	T	91,8°	93,6°	92°
	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{22{,}53}{80{,}78} = 0{,}2776$	$\frac{36{,}43}{130{,}84} = 0{,}2784$	$\frac{22{,}71}{80{,}61} = 0{,}2817$
	λ_T	32,141	32,01	31,79

Hiernach ist im Mittel:

$\lambda_{20{,}8} = \mathbf{39{,}95}$ und $\varkappa_{21-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00391}$

$\lambda_{19{,}9} = \mathbf{40{,}15}$ $\varkappa_{20-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00397}$

$\lambda_{18{,}5} = \mathbf{40{,}28}$ $\varkappa_{18{,}5-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00393}$

$\lambda_{92{,}5} = \mathbf{31{,}20}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gußeisen $s = 7{,}188$.

„Das Gußeisen, sogenannter schmiedbarer Guß, ist von Gruson in Magdeburg geliefert und nicht vollkommen dicht; die polierten Flächen lassen mit der Loupe kleine Gußporen erkennen."

	Nr.	1	2	3	4	5
	B	5,988	5,950	6,00	5,975	6,020
	D	1,027	$1{,}031_5$	$1{,}049_5$	$1{,}035_5$	1,257
	Q	$6{,}149_6$	$6{,}137_4$	6,297	6,187	$7{,}567_6$
	t	20,1°	19,7°	19,7°	19,9°	19,9°
26. Juli	w'	194,93	190,14	198,60	191,45	169,12
20,2°	w''	52,82 = 3,691	50,06 = 3,798	55,00 = 3,604	52,09 = 3,684	54,69 = 3,092
	λ_t	2,453	2,388	2,453	2,443	2,380
	t'	19,6°	19,7°	19,7°	19,7°	19,8°
2. August	w'	205,64	207,72	200,38	208,71	180,88
19,8°	w''	55,69 = 3,6925	54,70 = $3{,}797_5$	55,60 = 3,604	56,69 = 3,681	58,60 = 3,087
	$\lambda_{t'}$	2,452	2,389	2,453	2,444	2,384

		10. August	9. August	2. Oktober	2. Oktober
August	T	92,9°	92°	92,8°	92,9°
18,6°	w'	221,86	222,78	264.24	260,63
Oktober	w''	51,29 = $4{,}325_6$	50,32 = $4{,}427_4$	59,62 = 4,432	61,62 = 4,2296
18,7°	λ_T	2,093	2,049	2,047	2,090

Hiernach ist im Mittel:

$$\lambda_{19,9} = \mathbf{2{,}422} \quad \text{und} \quad \varkappa_{19,9-92,7} = -\mathbf{0{,}00234}$$

$$\lambda_{19,7} = \mathbf{2{,}424} \qquad \varkappa_{19,7-92,7} = -\mathbf{0{,}00235}$$

$$\lambda_{92,7} = \mathbf{2{,}070}$$

Die Stäbchen Nr. 2 und 5 zeigen sich in allen Temperaturlagen widerstandsreicher als die übrigen; dabei ist das Stäbchen Nr. 5 dasjenige mit größtem Querschnitt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gußstahl.

„Dieser bietet ein schönes und bequemes Beispiel für ein quasiisotropes Medium, welches mit verschieden feinem Korn, d. h. mit verschieden grossen Krystallindividuen zu erhalten ist. Für die Untersuchung hat Herr Fr. Krupp in Essen eine sehr interessante Reihe von Proben gesandt, die extra für diese Beobachtungen verschmolzen und verarbeitet sind. Zwei verschiedene Güsse haben das Material geliefert. Sie enthalten in Prozenten

	C	*Si*	*Mn*	*P*
LS 84:	0,70	0,24	0,64	0,015
LS 86:	0,65	0,22	0,24	0,014

Die Proben *LS* 84*R* und *LS* 86*R* sind direkt aus dem rohen, in der Form erkalteten Guß geschnitten und besitzen infolge der langsamen Abkühlung ein verhältnismäßig grobes Korn, die zweite Probe übrigens ein gröberes, als die erste."

LS 84*R*

	Nr.	1	2	3	4	5	6
	B	6,040	6,058	6,056	6,034	6,081	6,085
	D	0,830	$0{,}840_5$	0,839	$0{,}837_5$	1,045	1,034
	Q	5,013	5,092	5,082	5,053	6,355	6,292
	t	19,6°	19,5°	19,6°	19,7°	19,8°	19,8°
	w'	115,91	98,95	147,23	131,01	121,10	115,77
26. Juli	w''	45,11	39,62	58,58	51,38	59,94	56,80
19,5°		= 2,570	= 2,497	= 2,513	= 2,550	= 2,020	= 2,038
	λ_t	4,322	4,378	4,359	4,322	4,337	4,342
	t'	20,7°	20,7°	20,7°	20,7°	20,7°	20,7°
	w'	156,02	154,92	155,22	156,92	124,31	130,97
1. Aug.	w''	60,56	61,65	61,65	61,35	61,45	64,23
20,5°		= 2,576	= 2,513	= 2,518	= 2,558	= 2,023	= 2,039
	$\lambda_{t'}$	4,311	4,351	4,351	4,308	4,331	4,340
	t''				16°,9		
30. Sept.	w'			140,64	186,96		
16,8°	w''			55,98	74,03		
				= 2,525	= 2,526		
	$\lambda_{t''}$				4,363		
		10. August		10. August	1. Oktober		
August	T	92,6°		92°	93,4°		
19°	w'	167,71		171,43	167,11		
Oktober	w''	54,35		56,89	54,63		
15°		= 3,086		= 3,013	= 3,059		
	λ_T	3,599		3,635	3,602		

Hiernach ist im Mittel

$$\lambda_{19,7} = \mathbf{4{,}343} \quad \text{und} \quad \varkappa_{19,7-92,7} = -\mathbf{0{,}00278}$$
$$\lambda_{20,7} = \mathbf{4{,}332} \qquad \varkappa_{20,7-92,7} = -\mathbf{0{,}00277}$$
$$\lambda_{16,9} = \mathbf{4{,}363} \qquad \varkappa_{16,9-92,7} = -\mathbf{0{,}00275}$$
$$\lambda_{92,7} = \mathbf{3{,}612}$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

LS 86 R

	Nr.	1	2	3	4
	B	6,030	6,076	6,079	6,062
	D	$0{,}914_8$	$0{,}916_2$	$0{,}914_2$	0,918
	Q	$5{,}525_5$	5,567	5,557	5,565
	t	19,6°	19,6°	19,6°	19,6°
26. Juli 19,5°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{124{,}43}{63{,}04} = 1{,}974$	$\frac{127{,}51}{65{,}00} = 1{,}962$	$\frac{127{,}08}{64{,}43} = 1{,}972$	$\frac{127{,}84}{65{,}13} = 1{,}963$
	λ_t	5,105	5,098	5,080	5,097
	t'	20,6°	20,5°	20,5°	20,6°
1. August 20,5°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{129{,}07}{65{,}01} = 1{,}985$	$\frac{128{,}58}{65{,}23} = 1{,}971$	$\frac{129{,}17}{64{,}43} = 1{,}974$	$\frac{127{,}38}{64{,}84} = 1{,}965$
	$\lambda_{t'}$	5,075	5,074	5,075	5,093
		10. August	1. Oktober	1. Oktober	
August 19,3°	T	92,5°	93,2°	90°	
Oktober 15,3°	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{147{,}38}{60{,}49} = 2{,}436$	$\frac{153{,}25}{62{,}80} = 2{,}440$	$\frac{192{,}67}{79{,}68} = 2{,}418$	
	λ_T	$4{,}135_7$	$4{,}098_5$	$4{,}143_4$	

Hiernach ist im Mittel

$$\lambda_{19,6} = 5{,}095 \text{ und } \varkappa_{19,6-91,9^\circ} = -0{,}00325$$

$$\lambda_{20,6} = 5{,}079 \qquad \varkappa_{20,6-91,9^\circ} = -0{,}00324_5$$

$$\lambda_{91,9} = 4{,}126$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Die folgenden Proben $LS\,84\,N$ und $LS\,86\,N$ sind aus den bezüglichen Güssen in der Weise geschmiedet, daß die mechanische Bearbeitung möglichst gleichmäßig von allen Seiten stattfand.“

$LS\,84\,N$

	Nr.	1	2	3	4
	B	6,063	$6{,}079_5$	$6{,}044_5$	6,050
	D	$0{,}900_5$	0,911	0,892	$0{,}907_3$
	Q	5,460	5,538	5,392	5,489
	t	19,3°	19,3°	19,3°	19,4°
26. Juli	w'	124,85	141,42	147,03	143,08
19,3°	w''	53,75 = 2,323	61,87 = 2,286	62,45 = 2,354	62,09 = 2,304
	λ_t	4,390	4,398	4,386	4,402
	t'	20,7°	20,8°	20,8°	20,8°
31. Juli	w'	145,94	142,74	146,04	142,74
21,1°	w''	62,04 = 2,352	62,14 = 2,297	61,56 = 2,372	61,66 = 2,315
	$\lambda_{t'}$	4,335	4,377	4,353	4,382
	T		1. Oktober		10. August
August	w'		93,4°		92,4°
19,4°	w''		196,66		157,11
Oktober	λ_T		71,52 = 2,750		56,66 = 2,773
15°			3,656		3,658

Hiernach ist im Mittel $\lambda_{19,3} = \mathbf{4{,}394}$ und $\varkappa_{19,3-92,9} = -\mathbf{0{,}00274}$

$\lambda_{20,8} = \mathbf{4{,}371}$ $\varkappa_{20,8-92,9} = -\mathbf{0{,}00272}$

$\lambda_{92,9} = \mathbf{3{,}657}$

$LS\,86\,N$

	Nr.	1	2	3	4
	B	6,146	$6{,}089_3$	6,096	6,104
	D	$0{,}919_6$	$0{,}912_5$	$0{,}916_5$	$0{,}908_3$
	Q	5,652	5,557	5,587	5,544
	t		19,4°	19,4°	
11. August	w'		114,24	122,77	
19,1°	w''		58,43 = 1,955	63,04 = 1,9475	
	λ_t		5,125	5,117	
	t'	16,8°	16,8°	16,8°	16,8°
30. September	w'	155,27	117,98 163,77	156,35	170,57
16,7°	w''	81,08 = 1,915	60,58 = 1,947 84,19 = 1,945	80,66 = 1,938	87,50 = 1,949
	$\lambda_{t'}$	5,144	5,148	5,141	5,152
	T		12. August	12. August	1. Oktober
August	w'		92,7°	93°	93°
20,1°	w''		147,31	143,24	171,17
Oktober	λ_T		59,86 = 2,461	58,69 = $2{,}440_5$	69,85 = $2{,}450_5$
15,3°			4,072	4,079	4,108

Hiernach ist im Mittel $\lambda_{19,4} = \mathbf{5{,}121}$ und $\varkappa_{19-93} = -\mathbf{0{,}00345}$

$\lambda_{16,8} = \mathbf{5{,}146}$ $\varkappa_{17-93} = -\mathbf{0{,}00342}$

$\lambda_{92,9} = \mathbf{4{,}086}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

„Die folgenden Proben *LS* 84 *E* und *LS* 86 *E* sind nach einem besonderen, der Firma Krupp eigentümlichen Verfahren geschmiedet, welches dem Stahl einen außerordentlich schönen und sehnigen Bruch verleiht.“

LS 84 *E*.

	Nr.	1	2	3	4		
	B	6,093	6,107	6,091	6,070		
	D	$0{,}916_8$	$0{,}921_2$	$0{,}917_1$	$0{,}905_1$		
	Q	5,586	$5{,}625_5$	5,586	5,494		
						11. August	27. Juli
	t	18,4°	18,5°	18,5°	18,5°	18,8°	19°
25. Juli	w'	136,16	132,33	134,43	134,22	134,24	134,65
18,5°	w''	63,24	61,88	62,72	61,24	61,32	61,44
		= 2,153	= 2,138	= 2,143	= 2,192	= 2,189	= 2,192
	λ_t	$4{,}629_5$	$4{,}628_2$	4,632	4,624		
	t'	20,6°	20,6°	20,7°	20,7°		
1. August	w'	137,35	136,75	136,55	138,88		
20,8°	w''	63,32	63,15	63,14	62,94		
		= 2,169	= 2,166	= 2,163	= 2,206		
	λ_t	4,595	4,569	4,609	4,593		
				1. Oktober	10. August		
August	T			93,1°	92,4°		
19,2°	w'			187,39	156,17		
Oktober	w''			71,57	58,77		
				= 2,618	= 2,657		
15°	λ_T			3,807	3,814		

Hiernach ist im Mittel $\lambda_{18,6} = \mathbf{4{,}628}$ und $\varkappa_{19-93} = -\mathbf{0{,}00290}$

$\lambda_{20,7} = \mathbf{4{,}591}$ $\varkappa_{21-93} = -\mathbf{0{,}00285}$

$\lambda_{92,7} = \mathbf{3{,}811}$

LS 86 *E*.

	Nr.	1	2	3	4
	B	6,141	6,127	6,142	6,140
	D	0,9067	0,9157	0,8968	0,9098
	Q	5,568	$5{,}610_5$	5,508	5,586
	t	19,4°	19,5°	19,5°	19,5°
26. Juli	w'	122,51	120,80	123,81	121,86
19,4°	w''	64,94	64,46	64,50	64,90
		= 1,886	= 1,874	= 1,920	= 1,878
	λ_t	5,301	5,295	5,266	5,308
	t'	20,4°	20,4°	20,3°	20,4°
1. August	w'	122,27	123,20	126,08	122,00
20,2°	w''	64,62	65,51	65,71	64,82
		= 1,892	= 1,881	= 1,919	= 1,882
	λ_t	5,285	5,277	5,268	5,284
		10. August			1. Oktober
August	T	92,4°			93,2°
19,4°	w'	143,41			178,64
Oktober	w''	61,06			76,25
		$= 2{,}348_7$			$= 2{,}342_3$
15,1°	λ_T	$4{,}257_6$			$4{,}254_4$

Hiernach ist im Mittel $\lambda_{19,5} = \mathbf{5{,}292}$ und $\varkappa_{19,5-93} = -\mathbf{0{,}00332}$

$\lambda_{20,4} = \mathbf{5{,}278}$ $\varkappa_{20,4-93} = -\mathbf{0{,}00335}$

$\lambda_{92,8} = \mathbf{4{,}256}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Magnesium $s = 1{,}741$.

„Das Gußstück, von der ehemaligen Magnesiumfabrik in Hemelingen bezogen, ist dem Augenschein nach recht befriedigend dicht. Es fand sich bis auf unbestimmbare Spuren von Aluminium chemisch rein“.

	Nr.	1′	2	3	5	6
	B	6,016	6,007	6,026	5,979	6,015
	D	0,9904	1,002	0,990	1,227	1,223
	Q	5,958	6,019	5,966	7,334	7,356
	t	20,4°	20,4°	20,3°	20,7°	20,7°
28. Juli	w'	33,61	33,12	33,92	28,93	28,02
20,7°	w''	74,20 = 0,4530	73,72 = 0,4493	76,08 = 0,4458	78,44 = 0,3774	77,22 = 0,3629
	λ_t	20,63	20,59	20,93	20,58	20,86
Juli			4. Oktober		10. August	31. Juli
20,8°	t'		16,6°		18,8°	20,5
August 17,8°	w'		17,61		27,20	27,58
Oktober	w''		40,0 = 0,4403		76,09 = 0,3657	76,07 = 0,3626
16,6°	$\lambda_{t'}$		21,01		21,24	20,88
	t''	19,7°	19,7°	19,8°	19,8°	19,9°
3. August	w'	35,46	34,61	34,92	29,03	28,62
20,2°	w''	78,34 = 0,4526	77,21 = 0,4484	78,38 = 0,4455	78,89 = 0,3680	79,0 = 0,3623
	$\lambda_{t''}$	20,64	20,64	20,95	20,63	20,89
			8. August		9. August	
8. August	T		92,6°		92,5°	
17,7°	w'		42,61		34,68	
9. August	w''		75,39 = 0,5651		74,67 = 0,4645	
18,5°	λ_T		16,368		16,296	

Hiernach ist im Mittel

$\lambda_{20,5} = \mathbf{20{,}75}$ und $\varkappa_{21-93} = -\mathbf{0{,}00375}$

$\lambda_{19,8} = \mathbf{20{,}75}$ $\varkappa_{20-93} = -\mathbf{0{,}00372}$

$\lambda_{16,6} = \mathbf{21{,}10}$ $\varkappa_{16-93} = -\mathbf{0{,}00378}$

$\lambda_{92,5} = \mathbf{16{,}33}$

Bei höherer Temperatur ist Magnesium außerordentlich schwer zu beobachten. Ich habe versucht, den Widerstand des 2. Stäbchen am 3. und 4. Oktober nochmals zu messen, aber vergeblich, obwohl ich ihm am 4. Oktober sogar einen ganzen Vormittag gewidmet habe. Der Lichtzeiger kam nicht zur Ruhe.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Nickel $s = 8{,}795$.

„Rein-Nickel ist vom Westfälischen Nickelwalzwerke in Schwerte geliefert. Der Block war im Innern anscheinend völlig dicht und die daraus gefertigten Stäbe nahmen schöne Politur an.“

	Nr.	1	2	3	4	5	6
	B	6,016	6,035	6,028	6,042	6,085	6,062
	D	$0{,}993_2$	$1{,}006_6$	$1{,}001_4$	$0{,}997_7$	1,278	$1{,}263_8$
	Q	5,975	6,075	6,036	6,028	7,777	7,661
	t	20,7°	20,7°	20,8°	20,6°	20,8°	20,8°
30. Juli	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{103{,}67}{69{,}5} = 1{,}4917$	$\frac{106{,}22}{69{,}15} = 1{,}5361$	$\frac{106{,}47}{69{,}3} = 1{,}5364$	$\frac{102{,}63}{69{,}3} = 1{,}481$	$\frac{83{,}87}{72{,}36} = 1{,}1591$	$\frac{84{,}65}{71{,}98} = 1{,}1760$
21°	λ_t	6,247	5,967	6,004	6,237	6,177	6,180
	t'	19,2°	19,3°	19,7°	19,8°	19,7°	19,7°
3. und 4.	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{103{,}63}{69{,}9} = 1{,}4824$	$\frac{105{,}73}{69{,}40} = 1{,}5235$	$\frac{106{,}63}{69{,}9} = 1{,}5255$	$\frac{103{,}04}{70{,}1} = 1{,}4699$	$\frac{82{,}63}{71{,}53} = 1{,}1552$	$\frac{84{,}98}{72{,}48} = 1{,}1725$
August 20,1° 19,3°	$\lambda_{t'}$	6,286	6,016	6,047	6,284	6,198	6,199
	T			8. August	8. August		3. Oktober
8. August	w'			91,6°	91,8°		93,2°
19,2°	$\frac{w'}{w''}$			$\frac{123{,}82}{66{,}14} = 1{,}872$	$\frac{119{,}56}{66{,}48} = 1{,}798$		$\frac{141{,}19}{98{,}30} = 1{,}436$
Oktober	λ_T			4,938	5,136		5,062
15,7°							

Es ist im Mittel

$$\lambda_{20{,}7} = \mathbf{6{,}210} \quad \text{und} \quad \varkappa_{21-93} = -\mathbf{0{,}00303}$$
$$\lambda_{19{,}6} = \mathbf{6{,}242} \qquad \varkappa_{20-93} = -\mathbf{0{,}00307}$$
$$\lambda_{92{,}5} = \mathbf{5{,}100}$$

Die Stäbchen Nr. 2 und 3 haben in allen Temperaturlagen eine auffällig geringe Leitungsfähigkeit. Da sie sich außerdem nicht einmal den Querschnitten entsprechend einordnen $\left(\text{vergleiche die Linie } \frac{w'}{w''}\right)$, so muß bei ihnen auf eine Anomalie im Innern geschlossen werden. Die durch sie ermittelten λ sind bei Ermittelung der mittleren Leitungsfähigkeiten und Temperaturkoeffizienten nicht berücksichtigt worden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Silber $s = 10{,}49$.

„Silber ist in Barrenform von der deutschen Silberscheide-Anstalt in Frankfurt a. M. bezogen und angeblich nahe chemisch rein."

	Nr.	1	2	5	6
	B	6,078	6,040	6,040	6,048
	D	0,9113	0,8995	0,9010	0,9021
	Q	5,539	5,433	5,442	5,455
	t	19,2°		19,1°	19°
12. August	w'	13,85		14,01	14,14
18,7°—19°	w''	82,03 = 0,1688		82,20 = 0,1704	83,04 = 0,1702
	λ_t	58,18		60,03	59,95
	t''	16°	16°	16,1°	16,1°
30. September	w'	24,79	25,26	25,15	24,98
15,7°—16,1	w''	147,60 = 0,1680	148,13 = 0,1705	148,02 = 0,1699	147,56 = 0,1693
	$\lambda_{t'}$	59,85	60,10	60,21	60,30

		2. Oktober	12. August	2. Oktober	12. August
12. August	T	92,6°	93°	93,2°	92,9°
20,5°	w'	27,18	17,32	27,73	17,41
2. Oktober	w''	125,23 = 0,2170	79,95 = 0,2166	126,27 = 0,2196	80,03 = 0,2176
18,2°	λ_T	46,32	46,40	46,59	46,92

Hiernach ist im Mittel

$$\lambda_{19,1} = \mathbf{59{,}39} \text{ und } \varkappa_{19-93} = -\mathbf{0{,}00373}$$

$$\lambda_{16,1} = \mathbf{60{,}12} \qquad \varkappa_{16-93} = -\mathbf{0{,}00379}$$

$$\lambda_{92,9} = \mathbf{46{,}56}.$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wismuth $s = 10{,}05$.

„Um die Gußspuren möglichst zu vermeiden, wurde das in chemisch reinem Zustande bezogene Material in einem Glasrohre geschmolzen, das mit der Quecksilberluftpumpe nahe luftleer gemacht war. Nachdem die Masse flüssig geworden war und auch beim Neigen des Glasrohres — wodurch der hydrostatische Druck im Innern des Schmelzflusses vermindert wurde — keine Luftblasen mehr aufstiegen, wurde der Gasbrenner beseitigt, die Verbindung mit der Luftpumpe unterbrochen und das Glasrohr in ein Gefäß mit heißem Sande gesteckt, um die Erkaltung langsam und unter Atmosphärendruck vor sich gehen zu lassen. Letzteres geschah, um etwa noch vorhandene Luftbläschen zur Absorption zu bringen oder doch auf ein recht kleines Volumen zu bringen.

Infolge der langsamen Abkühlung sind nun allerdings die Krystallindividuen in der Masse sehr groß geworden und die Präparate können kaum mehr als quasiisotrop gelten."

Nr.		1				2	
B		5,832				6,037	
D		0,980				0,982	
Q		5,715				5,930	
Juli	t	30. Juli	31. Juli	2. August	3. August	30. Juli	3. August
21°		20,8°	20,7°	19,7°	19,8°	20,7°	19,8°
Aug.	w'	421,30	421,48	421,31	420,36	407,59	411,20
19,7°	$''w$	180,59	180,93	180,60	180,07	178,03	178,39
		= 2,333	= 2,330	= 2,333	= 2,334	= 2,289	= 2,305
	λ_t	0,4176	0,4182	0,4176	0,4173	0,4102	0,4074

T	8. August	2. Oktober	8. August	11. August	2. Oktober
	92°	93,6°	92,0°	92,7°	93,2°
w'	401,08	366,38	395,28	394,70	391,27
w''	181,42	165,59	179,98	179,86	178,30
	= 2,211	= 2,213	= 2,196	= 2,195	= 2,195
λ_T	0,4407	0,4403	0,4275	0,4279	0,4279

Wismuth ist die einzige Metallsorte, bei deren Untersuchung als Vergleichswiderstand ein Normalwiderstand von $0{,}01^{\omega}$ angewendet werden musste. Bei Benutzung von $0{,}001^{\omega}$ wurden die Verhältniszahlen zu ungleich. Ich erhielt mit ihm z. B. für Stäbchen 1 am 30. Juli $\frac{w'}{w''} = \frac{503{,}27}{21{,}59} = 23{,}31$.

Die nicht geringe Abweichung der für die beiden Stäbchen erzielten Resultate glaube ich dadurch erklären zu sollen, dass die Neigung der Stäbchenlängskanten gegen die Krystallflächen für beide sichtlich nicht die gleiche ist.

Man erhält durch Stäbchen

1	2
$\lambda_{20,2} = \mathbf{0{,}4177}$ und $z = +\mathbf{0{,}000713}$	$\lambda_{20,2} = \mathbf{0{,}4088}$ und $z = +\mathbf{0{,}000609}$
$\lambda_{92,8} = \mathbf{0{,}4405}$	$\lambda_{92,7} = \mathbf{0{,}4277}$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zinn $s = 7{,}328$.

Zinn ist aus chemisch reinem Material gegossen.

	Nr.	1	2	5	6	
	B	5,9932	5,9520	$6{,}035_5$	$6{,}029_0$	6,071
	D	0,9620	0,9960	0,8933	$0{,}887_8$	$1{,}504_3$
	Q	5,765	5,928	5,392	$5{,}352_5$	9,133
	t	19,2°	19,4°			19,6°
11. August 19° – 19,4°	w' / w''	$\frac{90{,}90}{72{,}88} = 1{,}247_3$	$\frac{88{,}82}{72{,}18} = 1{,}2305$			$\frac{57{,}73}{75{,}96} = 0{,}7600$
	λ_t	7,743	7,633			8,021
	t'	15,8°	15,9°	16,1°	16,6°	
29. September 15,7° – 17,2°	w' / w''	$\frac{87{,}24}{70{,}32} = 1{,}240_6$	$\frac{92{,}27}{70{,}88} = 1{,}3018$	$\frac{135{,}99}{104{,}40} = 1{,}3026$	$\frac{135{,}66}{103{,}50} = 1{,}3107$	
	$\lambda_{t'}$	7,784	7,931	7,928	7,936	

		12. August	3. Oktober	3. Oktober	12. August
12. August 21°	T	93,2°	92,8°	92,9°	92,7°
3. Oktober 15,4°	w' / w''	$\frac{110{,}60}{68{,}35} = 1{,}6181$	$\frac{160{,}87}{99{,}20} = 1{,}6216$	$\frac{165{,}55}{96{,}48} = 1{,}7159$	$\frac{71{,}89}{73{,}06} = 0{,}9839_8$
	λ_T	5,968	5,955	6,018	6,196

Man erhält im Mittel $\lambda_{19,4} = 7{,}80$ und $\varkappa_{19-93} = -0{,}00397$

$\lambda_{16,2} = 7{,}89$ $\varkappa_{16-93} = -0{,}00400$

$\lambda_{92,9} = 6{,}03$

Die mit den Zinnstäbchen erhaltenen Resultate weichen sehr von einander ab; berechnet man die Temperaturkoeffizienten für jedes Stäbchen einzeln, so erhält man:

1	5	7
$\varkappa_{19-93} = -0{,}00428$	$\varkappa_{16-93} = -0{,}00413$	$\varkappa_{20-93} = -0{,}00403$
$\varkappa_{16-93} = -0{,}00396$		

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Zink $s = 7{,}212$.

„Chemisch reines Zink erwies sich gegossen als zur Ermittelung der Elasticitätskonstanten unbrauchbar, nämlich porös und brüchig, gewöhnliches käufliches verhielt sich, neu gegossen und zu Stäbchen verwendet, besser, obgleich die darauf bezüglichen Zahlen natürlich geringen Wert haben.“

	Nr.	1	2	3	4
	B	6,032	5,941	6,045	6,002
	D	1,022	1,017	1,026	1,027
	Q	6,165	6,044	6,201	6,162
	t	20,7°	20,7°	20,7°	20,7°
30. Juli	w'	$\frac{60{,}14}{75{,}72} = 0{,}7942$	$\frac{64{,}73}{75{,}13} = 0{,}8616$	$\frac{61{,}55}{73{,}75} = 0{,}8346$	$\frac{62{,}84}{74{,}83} = 0{,}8398$
20,8°	w''				
	λ_t	11,37	10,69	10,76	10,76
	t'	19,8°	19,8°	19,8°	19,8°
3. August	w'	$\frac{60{,}34}{76{,}13} = 0{,}7926$	$\frac{64{,}73}{75{,}63} = 0{,}8559$	$\frac{61{,}91}{74{,}64} = 0{,}8294_5$	$\frac{63{,}00}{75{,}68} = 0{,}8325$
20,2°	w''				
	$\lambda_{t'}$	11,39	10,76	$10{,}82_5$	10,78

		1. Oktober	2. Oktober
30. Sept.	t'	17°	16°
16,8°	w'	$\frac{62{,}82}{74{,}83} = 0{,}8395$	$\frac{102{,}79}{122{,}64} = 0{,}8381$
1. Oktober	w''		
16,0°	$\lambda_{t''}$	10,97	10,99

		8. August	2. Oktober	2. Oktober	8. August
8. August	T	92,2°	93,3°	93°	91,6°
18,6°	w'	$\frac{73{,}01}{73{,}64} = 0{,}9914$	$\frac{117{,}15}{117{,}47} = 0{,}9973$	$\frac{126{,}18}{116{,}39} = 1{,}084$	$\frac{76{,}59}{72{,}93} = 1{,}050$
2. Oktober	w''				
17,6°	λ_T	9,110	9,056	8,497	8,604

Das erste Stäbchen weicht in allen Temperaturen ganz auffällig von den übrigen ab.

Für Nr. 1 ergiebt sich

$$\varkappa_{20{,}8-92{,}8} = -\mathbf{0{,}0035}$$
$$\varkappa_{19{,}8-92{,}8} = -\mathbf{0{,}0035}$$

Die Stäbchen Nr. 2—4 ergeben im Mittel

$$\lambda_{20{,}8} = \mathbf{10{,}74} \quad \text{und} \quad \varkappa_{20{,}8-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00356}$$
$$\lambda_{19{,}8} = \mathbf{10{,}79} \qquad \varkappa_{19{,}8-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00360}$$
$$\lambda_{16{,}5} = \mathbf{10{,}98} \qquad \varkappa_{16{,}5-92{,}5} = -\mathbf{0{,}00373}$$
$$\lambda_{92{,}5} = \mathbf{8{,}55}$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kupfer $s = 8{,}860$.

„Das Kupfer ist aus chemisch reinem Material gegossen. Behufs Desoxydation ist beim Guß eine kleine Menge Phosphor zugesetzt. Die chemische Analyse ergab, daß von diesem Zusatze in dem gegossenen Stück nur wenig noch vorhanden ist. Die nachweisbare Phosphormenge betrug 0,14%. Außerdem fand sich das Kupfer mit 0,34% Zinn verunreinigt“

	Nr.	1	2	4	5	6
	B	5,985	6,039	5,998	6,055	6,065
	D	1,018	1,022	1,014	1,259	1,274
	Q	6,093	6,172	6,082	7,623	7,727
12. Aug. 19°	t	19,5°		19,4°	19,5°	
	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{43{,}11}{77{,}44} = 0{,}5567$		$\frac{43{,}42}{77{,}65} = 0{,}5592$	$\frac{34{,}39}{77{,}91} = 0{,}4414$	
	λ_t	16,42		16,37	16,55	
29. Sept. 17°	t'	17,1°	17,2°	17,1°	17,1°	16,8°
	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{42{,}75}{76{,}73} = 0{,}5571$ $\frac{71{,}29}{128{,}13} = 0{,}5564$	$\frac{41{,}15}{76{,}08} = 0{,}5409$ $\frac{68{,}72}{126{,}49} = 0{,}5433$	$\frac{71{,}06}{127{,}45} = 0{,}5576$	$\frac{55{,}04}{125{,}44} = 0{,}4388$	$\frac{55{,}91}{128{,}46} = 0{,}4352$
	$\lambda_{t'}$	16,40 16,42	16,68 16,62	16,42	16,65	16,56
August Okt.	T	2. Oktober		12. August	12. August	
	w'	19° 93,5°		19,6° 93°	20,2° 93°	
	$\frac{w'}{w''}$	$\frac{68{,}58}{111{,}08} = 0{,}6174$		$\frac{46{,}94}{76{,}42} = 0{,}6142$	$\frac{36{,}97}{76{,}18} = 0{,}4853$	
	λ_T	14,80		14 90	15,05	

Hiernach ist im Mittel

$$\lambda_{19{,}5} = \mathbf{16{,}45} \quad \text{und} \quad \varkappa_{19-93} = -\mathbf{0{,}00139}$$
$$\lambda_{17{,}1} = \mathbf{16{,}54} \qquad \varkappa_{17-93} = -\mathbf{0{,}00143}$$
$$\lambda_{93{,}2} = \mathbf{14{,}92}$$

Das hier untersuchte Kupfer, vielleicht schon eher als Bronze zu bezeichnen, bietet ein bemerkenswertes Beispiel dafür, daß Verunreinigungen eines chemisch reinen Metalls durch andere Elemente die Leitungsfähigkeit bedeutend herabdrücken. Man vergleiche mit vorstehenden Zahlen die unter Elektrolyt-Kupferdraht angeführten.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Bronze $s = 8{,}731$.

„Sie ist aus chemisch reinen Materialien gegossen. Beim Guß ist behufs Desoxydation, um ein dichtes Gefüge zu erzielen, eine kleine Menge Phosphor zugesetzt. Nach Mitteilungen des Gießers enthält diese Bronze auf 88 Teile Kupfer 12 Teile Zinn. Die nachweisbare Phosphormenge betrug 0,94 %.“

	Nr.	1	4	5	6	8	9	10	14	15
	B	6,065	6,053	6,058	6,037	6,036	6,051	5,957	6,031	6,013
	D	1,037	$1{,}036_5$	$1{,}246_5$	1,227	$0{,}815_5$	$0{,}814_7$	$0{,}802_5$	0,905	0,897
	Q	6,289	6,275	7,552	7,409	4,922	4,946	4,780	5,458	5,394
	t'	19,8°	19,8°	19,9°	20°	20,1°	20°	20,1°	20,2°	20,2°
27. Juli 20°	w'/w''	$\frac{106{,}83}{68{,}32} = 1{,}571$	$\frac{107{,}03}{68{,}02} = 1{,}573$	$\frac{92{,}36}{70{,}88} = 1{,}307$	$\frac{92{,}15}{69{,}53} = 1{,}325$	$\frac{130{,}17}{64{,}48} = 2{,}019$	$\frac{130{,}57}{64{,}97} = 2{,}010$	$\frac{135{,}08}{64{,}85} = 2{,}083$	$\frac{123{,}14}{66{,}42} = 1{,}854$	$\frac{125{,}35}{66{,}52} = 1{,}884$
	λ_t	5,637	5,639	5,642	5,670	5,602	5,601	5,592	5,503	5,477
	t'	20,3°	20,4°	20,3°	20,2°	20,4°	20,4°	20,3°	20,4°	20,2°
2. Aug. 20,3°	w'/w''	$\frac{104{,}43}{66{,}32} = 1{,}575$	$\frac{105{,}38}{66{,}77} = 1{,}579$	$\frac{92{,}66}{70{,}77} = 1{,}309$	$\frac{92{,}75}{69{,}53} = 1{,}334$	$\frac{131{,}87}{65{,}32} = 2{,}019$	$\frac{131{,}37}{65{,}37} = 2{,}010$	$\frac{135{,}45}{64{,}92} = 2{,}086$	$\frac{123{,}18}{66{,}42} = 1{,}854$	$\frac{124{,}18}{66{,}09} = 1{,}879$
	λ_t	5,622	5,622	5,631	5,633	5,603	5,588	5,583	5,501	5,489
		1. Oktober		1. Oktober		8. August				
August 17,4°	t	16,2°		16,3°		18,6°				
Oktober 16,3°	w'/w''	$\frac{145{,}71}{92{,}95} = 1{,}567$		$\frac{90{,}23}{70{,}03} = 1{,}288$ $\frac{126{,}70}{98{,}27} = 1{,}289$		$\frac{132{,}02}{66{,}33} = 1{,}990$				
	λ_t	5,648		5,720		5,696				
		3. Oktober		7. August		7. August		7. August		
August 19,4°	T	93,5°		91,6°		91,3°		92,4°		
Oktober 16°	w'/w''	$\frac{148{,}81}{91{,}40} = 1{,}628$		$\frac{95{,}25}{70{,}03} = 1{,}360$		$\frac{136{,}24}{65{,}16} = 2{,}091$		$\frac{138{,}93}{64{,}13} = 2{,}166$		
	λ_T	5,437		5,421		5,406		5,377		

Hiernach ist im Mittel $\lambda_{20} = 5{,}597$ und $\varkappa_{20-92} = -0{,}00048$

$\lambda_{20,3} = 5{,}589$ $\quad \varkappa_{20,3-92} = -0{,}00046$

$\lambda_{16,2} = 5{,}648$ $\quad \varkappa_{16,2-92} = -0{,}00057$

$\lambda_{92,2} = 5{,}410$

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Messing $s = 8{,}438$.

„Aus chemisch reinen Materialien gegossen enthält es nach Mitteilungen des Gießers auf 60 Teile Kupfer 40 Teile Zinn."

Nr.	1	2	3	5	6	5′	6′
B	6,061	6,067	6,077	5,990	6,049	6,049	6,054
D	1,027	1,044	1,040	0,990	0,983	1,251	1,252
Q	6,226	6,333	6,318	5,930	5,945	7,569	7,581

Nachmittag

									29. Juli
27. Juli	t	20,3°	20,6°	21°	20,8°	20,6°	20,6°	20,8°	21,2°
20,7°	w'	$\frac{50{,}47}{76{,}80} = 0{,}6571$	$\frac{49{,}57}{76{,}61} = 0{,}6470$	$\frac{49{,}77}{76{,}62} = 0{,}6496$	$\frac{53{,}06}{76{,}33} = 0{,}6951$	$\frac{52{,}56}{76{,}11} = 0{,}6906$	$\frac{41{,}64}{76{,}62} = 0{,}5435$	$\frac{41{,}99}{77{,}31} = 0{,}5431$	$\frac{42{,}29}{77{,}51} = 0{,}5456$
$-21{,}2°$	w''								
	λ_t	13,61	13,59	13,57	13,51	13,56	13,54	13,52	13,46

	t'	20,2°	20,2°	20,2°	20,3°	20,3°	20,4°	20,4°
2. Aug.	w'	$\frac{50{,}37}{76{,}51} = 0{,}6583$	$\frac{49{,}48}{76{,}62} = 0{,}6458$	$\frac{49{,}57}{76{,}92} = 0{,}6445$	$\frac{52{,}46}{75{,}92} = 0{,}6910$	$\frac{52{,}56}{76{,}11} = 0{,}6906$	$\frac{41{,}88}{77{,}11} = 0{,}5430$	$\frac{41{,}99}{77{,}61} = 0{,}5411$
20,7°	w''							
	$\lambda_{t'}$	13,58	13,61	13,67	13,59	13,56	13,54	13,57

		6. August
	t''	18,5°
August	w''	$\frac{49{,}72}{77{,}06} = 0{,}6452$
18,5°	w''	
	$\lambda_{t''}$	13,84

		6. August	3. Oktober	8. August
August	T	91,7°	92,9°	91,5°
19,5°	w'	$\frac{55{,}19}{76{,}25} = 0{,}7238$	$\frac{84{,}41}{118{,}47} = 0{,}7125$	$\frac{57{,}24}{75{,}25} = 0{,}7607$
Oktober	w''			
15,3°	λ_T	12,35	12,34	12,34

Hiernach ist im Mittel

$$\lambda_{20{,}5} = \mathbf{13{,}58_5} \text{ und } \varkappa_{20-92} = -\mathbf{0{,}00141}$$

$$\lambda_{91{,}8} = \mathbf{12{,}34_3}$$

Aus den erhaltenen Resultaten geht hervor, daß das Leitungsvermögen auch dieser vorsichtig hergestellten Stäbchen mit der Temperaturzunahme abnimmt; nur das Wismuth als einzige unter den beobachteten 22 Metallsorten leitet bei höherer Temperatur besser als bei tiefer. Die gleiche Erfahrung haben auch andere Beobachter gemacht, so v. Ettinghausen, Leduc und Righi. Letzterer, der für Wismuth sehr eingehende Untersuchungen über die Änderungen des Widerstandes mit der Temperatur angestellt hat, suchte in Verunreinigungen des käuflichen Wismuths den Grund für das abweichende Verhalten und fand unter Verwendung chemisch reinen Wismuths eine Verringerung der Leitungsfähigkeit wie bei allen übrigen Metallen.

Die von mir untersuchten Stäbchen sind aus chemisch reinem Materiale gegossen, und doch tritt bei ihnen die Erscheinung wieder ein, die durch die Reinheit des Materials verhütet sein sollte. Es bleibt daher nur übrig, in der krystallinischen Struktur derselben eine Erklärung zu suchen. Wie schon bei Mitteilung der Beobachtungsresultate unter Wismuth erwähnt worden ist, hat die eigentümliche Art des Gusses und die angewandte Vorsicht bei der Abkühlung des Gußstücks die Krystallindividuen, die sonst bei Wismuth selten so deutlich hervortreten, sehr groß werden lassen. Bei der Erwärmung haben sich infolge der eintretenden Vergrößerung jedenfalls die benachbarten Individuen dichter aneinandergeschmiegt und sich in einem ähnlichen Zustande befunden, wie ihn ein allseitiger Druck hervorbringt. Wie hier mußte dann die Leitungsfähigkeit zunehmen.

Die von mir angestellten Beobachtungen mit Wismuth belegen das in der Einleitung Gesagte, daß neben der Natur der Substanz die Molekularstruktur ohne Zweifel der einflußreichste Faktor ist, von dem die elektrische Leitungsfähigkeit abhängt.

Noch in einer anderen Hinsicht sind die erhaltenen Resultate bemerkenswert. Die Erwärmung von Metalldrähten auf 100° übt nach Kalischer (Carls Rep. 18. Bd.) eine dauernde Wirkung auf das Verhalten der Drähte nach ihrer Wiederabkühlung aus. Er fand nach mehrtägigem Erhitzen auf 100° bei Kadmiumdrähten, nachdem die Drähte wieder Zimmertemperatur angenommen hatten, eine Zunahme der Leitungsfähigkeit. Ich habe die Leitungsfähigkeiten, welche vor der Erwärmung einzelner Stäbchen gewonnen waren, mit denjenigen verglichen, welche sie nach ihrer Erwärmung und Wiederabkühlung besitzen. Während bei anderen Metallsorten sich keine dauernde Wirkung auf die Leitungsfähigkeit nach ihrer Wiederabkühlung nachweisen läßt, zeigen Gold-, Bronze- und Magnesiumstäbchen ebenfalls wie Kalischers Kadmiumdrähte eine nicht unwesentliche Zunahme der Leitungsfähigkeit nach der Erwärmung. Es sind die Stäbchen: Gold Nr. 2, Mg. Nr. 2 und Nr. 5, Bronze Nr. 5 und 8, sowie der Neusilberdraht. Auch die hier berührten Erscheinungen weisen auf Beziehungen zwischen der elektrischen Leitungsfähigkeit und den Molekularzuständen hin.

Die an diesen ebengenannten Stäbchen beobachtete Zunahme der Leitungsfähigkeit wäre aber gewiß noch weit größer ausgefallen, wenn nicht gleichzeitig ein sie vermindernder Nebenumstand eingewirkt hätte.

Damit die Stäbchen bei ihrer Untersuchung im erhitzten Ölbade sich nicht in einem gezwungenen Zustande befanden, damit nämlich die der höheren Temperatur entsprechende Ausdehnung nicht gehindert wurde, waren dieselben stets heiß in den Apparat eingeklemmt worden. Einige Male habe ich nun diejenigen, welche an den Beobachtungstagen zuletzt bei höherer Temperatur untersucht worden waren, absichtlich während der Nacht im

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Apparate eingespannt gelassen. Sie haben sich also abkühlen müssen zwischen unverrückbaren Endpunkten; ihre Moleküle befanden sich am anderen Morgen in einem größeren Abstande, als der neuen Temperatur entsprechend war, also in einem Zustande der Dehnung, als ob ein Zug auf dieselben ausgeübt worden sei. Es sind eben jene Stäbchen, die vorher genannt sind, Gold Nr. 2 (6.—7. August), Bronze Nr. 8 (7.—8. August), Magnesium Nr. 5 (9.—10. August). Nach den Untersuchungen von Götz und Kurz, Tomlinson und vieler anderer bewirken Spannungen eine Erniedrigung der Leitungsfähigkeit. Die von mir vorher erwähnten nach der Wiederabkühlung der Stäbchen ermittelten Leitungsfähigkeiten hätten also gewiß in einer noch größeren Zahl Ausdruck gefunden, wenn nicht gleichzeitig die Dehnung der Stäbchen bestanden hätte.

Den hohen Einfluß, den geringfügige Beimengungen fremder Elemente auf die Leitungsfähigkeit eines Metalles ausüben, veranschaulichen recht augenfällig die für die Stahlsorten (Seite 22—25) und für Kupfer (Seite 17 und 32) gewonnenen Resultate. Die Stahlproben *LS* 84 enthalten im Ganzen nur 0,47 % derselben fremdartigen Elemente mehr, die auch in den Stahlproben *LS* 84 auftreten, und zufälligerweise ist das Seite 32 beschriebene Kupfer ebenfalls nur mit 0,48 % Zusatz verunreinigt gegenüber dem Elektrolytkupfer (Seite 17). Diese unscheinbaren Zusätze drücken aber doch die Leitungsfähigkeit der Stahlsorte *LS* 84 im Durchschnitt um 14 %, die des verunreinigten Kupfers sogar um 69 % gegen *LS* 86 bez. Elektrolytkupfer herab.

Übersichtliche Zusammenstellung der für die Leitungsfähigkeiten und Temperaturkoeffizienten auf den Seiten 18—34 angegebenen Zahlen.

Aluminium . .	$\lambda_{20,3} = 24,00$	$\lambda_{92,7} = 19,51$	$\varkappa = -0,00317$
Kadmium . . .	$\lambda_{20,5} = 13,02$	$\lambda_{91,7} = 10,26$	$\varkappa = -0,00378$
Gold	$\lambda_{19,7} = 40,13$	$\lambda_{92,5} = 31,20$	$\varkappa = -0,00394$
Gußeisen . . .	$\lambda_{19,8} = 2,42$	$\lambda_{92,7} = 2,07$	$\varkappa = -0,00235$
Gußstahl 84 R .	$\lambda_{19,1} = 4,34$	$\lambda_{92,7} = 3,61$	$\varkappa = -0,00277$
„ 84 N .	$\lambda_{20} = 4,38$	$\lambda_{92,9} = 3,66$	$\varkappa = -0,00273$
„ 84 E .	$\lambda_{19,6} = 4,61$	$\lambda_{92,7} = 3,81$	$\varkappa = -0,00288$
„ 86 R .	$\lambda_{20,1} = 5,09$	$\lambda_{91,9} = 4,13$	$\varkappa = -0,00325$
„ 86 N .	$\lambda_{18,1} = 5,13$	$\lambda_{92,9} = 4,09$	$\varkappa = -0,00343$
„ 86 E .	$\lambda_{20} = 5,28$	$\lambda_{92,8} = 4,26$	$\varkappa = -0,00333$
Magnesium . .	$\lambda_{19} = 20,84$	$\lambda_{92,5} = 16,33$	$\varkappa = -0,00375$
Nickel	$\lambda_{20,1} = 6,23$	$\lambda_{92,5} = 5,10$	$\varkappa = -0,00305$
Silber	$\lambda_{17,6} = 59,76$	$\lambda_{92,9} = 46,56$	$\varkappa = -0,00376$
Wismuth . . .	$\lambda_{20,2} = 0,41$	$\lambda_{92,8} = 0,43$	$\varkappa = +0,00065$
Zinn	$\lambda_{17,8} = 7,84$	$\lambda_{92,9} = 6,03$	$\varkappa = -0,00410$
Zink	$\lambda_{19} = 10,84$	$\lambda_{92,5} = 8,55$	$\varkappa = -0,00363$
Kupfer (unrein) .	$\lambda_{18,3} = 16,49$	$\lambda_{93,2} = 14,92$	$\varkappa = -0,00141$
Bronze	$\lambda_{18,8} = 5,61$	$\lambda_{92,2} = 5,41$	$\varkappa = -0,00050$
Messing . . .	$\lambda_{20,5} = 13,58$	$\lambda_{91,8} = 12,34$	$\varkappa = -0,00141$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Apparate eingespannt gela müssen zwischen unverrück-
baren Endpunkten; ihre M rgen in einem größeren Ab-
stande, als der neuen Te einem Zustande der Dehnung,
als ob ein Zug auf diesell en jene Stäbchen, die vorher
genannt sind, Gold Nr. 2 8. August), Magnesium Nr. 5
(9.—10. August). Nach Kurz, Tomlinson und vieler
anderer bewirken Spannur higkeit. Die von mir vorher
erwähnten nach der Wie n Leitungsfähigkeiten hätten
also gewiß in einer noc wenn nicht gleichzeitig die
Dehnung der Stäbchen be

Den hohen Einfl fremder Elemente auf die
Leitungsfähigkeit eines Me augenfällig die für die Stahl-
sorten (Seite 22—25) un nnenen Resultate. Die Stahl-
proben *LS* 84 enthalten dartigen Elemente mehr, die
auch in den Stahlproben ist das Seite 32 beschriebene
Kupfer ebenfalls nur mit C em Elektrolytkupfer (Seite 17).
Diese unscheinbaren Zusä ihigkeit der Stahlsorte *LS* 84
im Durchschnitt um 14 % r um 69 % gegen *LS* 86 bez.
Elektrolytkupfer herab.

Übersichtliche Zusamr igkeiten und Temperatur-
koeffizien enen Zahlen.

Aluminium	$\varkappa = -0{,}00317$
Kadmium .	$\varkappa = -0{,}00378$
Gold . . .	$\varkappa = -0{,}00394$
Gußeisen .	$\varkappa = -0{,}00235$
Gußstahl 8	$\varkappa = -0{,}00277$
„ 8	$\varkappa = -0{,}00273$
„ 8	$\varkappa = -0{,}00288$
„ 8	$\varkappa = -0{,}00325$
„ 8	$\varkappa = -0{,}00343$
„ 8	$\varkappa = -0{,}00333$
Magnesium	$\varkappa = -0{,}00375$
Nickel . .	$\varkappa = -0{,}00305$
Silber . .	$\varkappa = -0{,}00376$
Wismuth .	$\varkappa = +0{,}00065$
Zinn . . .	$\varkappa = -0{,}00410$
Zink . . .	$\varkappa = -0{,}00363$
Kupfer (un	$\varkappa = -0{,}00141$
Bronze . .	$\varkappa = -0{,}00050$
Messing .	$\varkappa = -0{,}00141$

© The Tiffen Company, 2007
TIFFEN Gray Scale
R G B W G K C Y M
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf