

---

*I. Ueber die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle;  
von G. Wiedemann und R. Franz.*

---

## §. 1.

Ueber zwanzig Jahre sind verflossen, seit Hr. Despretz durch seine mühevollen Untersuchungen zuerst einige sichere Zahlenwerthe über die relative Leitungsfähigkeit verschiedener fester Körper für die Wärme aufgefunden hat. —

Die große Genauigkeit und Sorgfalt, mit welcher die Versuche von Hrn. Despretz angestellt wurden, hat gewiss mit Recht zur Folge gehabt, dass die von ihm aufgestellten, nach dem damaligen Zustande der Wissenschaft glänzenden Resultate als Grundlage unserer Kenntniss in dem bearbeiteten Felde dienen mussten.

Indess erschien es doch wünschenswerth, die nach der von Hrn. Despretz angewandten Methode erzielten Beobachtungen nach längerer Zeit wieder einmal einer Prüfung zu unterwerfen, um so mehr, als durch die Entdeckung der Thermosäule ein Mittel gegeben war, unabhängig von manchen zur Zeit der Despretz'schen Arbeit unvermeidlichen Fehlerquellen, die Untersuchung der Wärmeleitung fester Körper von Neuem vorzunehmen.

Hr. Despretz hat bei seinen Versuchen Stangen von quadratischem Querschnitt an dem einen Ende durch eine Lampe erhitzt, und in bestimmten Entfernungen von demselben Löcher in die Stangen gebohrt, die mit Quecksilber gefüllt waren. Durch Thermometer, welche in dieses tauchten, konnten die Temperaturen der entsprechenden Stellen der Stangen beobachtet, und aus dem Verhältniss der ver-

schiedenen beobachteten Temperaturen die relativen Leitungsfähigkeiten der Stangen für Wärme berechnet werden.

Es ist wohl in keiner Weise zu läugnen, daß die häufigen Unterbrechungen der Continuität der Stangen durch die mit Quecksilber gefüllten Löcher der richtigen Vertheilung der Wärme hindernd in den Weg traten.

Diese Fehlerquelle scheint bei der Beobachtungsmethode des Hrn. Langberg vermieden zu seyn, welcher eben zuerst die Thermosäule statt des Thermometers zur Beobachtung der Temperaturen von Stangen, welche an einem Ende erhitzt waren, anwandte.

Nichts desto weniger möchten auch die Versuche des Hrn. Langberg nicht für vollkommen ausreichend anzusehen seyn, um auf sie ohne Weiteres Gesetze für die Wärmeleitung zu gründen; auch sind diese Versuche mehr in dem Zweck angestellt worden, um die neue Methode der Temperaturmessung als brauchbar zu erweisen, wie um wirklich umfassende Resultate zu gewinnen.

Hr. Langberg untersuchte die Temperaturen seiner an dem einen Ende durch kochendes Wasser erhitzten Stangen, indem er ein aus einem prismatischen Wismuth- und Antimonstäbchen zusammengelöthetes Thermoelement in verschiedener Entfernung von der Wärmequelle an die Stangen vermittelt einer Feder andrücken liefs, und an einem, mit dem Thermoelemente verbundenen graduirten Galvanometer die jedesmaligen Ausschläge beobachtete. — Die Löthstelle des Elementes war dabei zu einer rectangulären ebenen Fläche von 1<sup>mm</sup>,7 Länge und 0<sup>mm</sup>,7 Breite angefeilt; die Dicke der Stangen betrug 5<sup>mm</sup>,87 — 9<sup>mm</sup>,4.

Jedenfalls ist es mit den größten Schwierigkeiten verknüpft, den zum Andrücken der Löthfläche des Thermoelements an die verschiedenen Stellen der Stangen bestimmten Apparat in der Weise zu disponiren, daß stets eine gleiche Berührung zwischen ihnen beiden hergestellt wird. Bei der geringsten Abweichung der Stange oder des Thermoelementes von der ihnen vorgeschriebenen Lage, wird an Stelle der vollständigen Tangirung der Stange durch

die Löthfläche nur eine Kante der Letzteren sich an die Stange anlegen. In diesem Falle wird die Mittheilung der Wärme der Stange an das Thermoelement erschwert, und somit eine ungenaue Beobachtung der Temperatur bewirkt werden.

Ein zweiter Uebelstand der von Hrn. Langberg angewandten Anordnung seines Apparates scheint in der verhältnißmäßig langen Dauer jedes Versuches und in der Größe des Thermoelementes im Vergleich zu dem nur geringen Querschnitt der erwärmten Stangen begründet zu seyn.

Hr. Langberg legt das Thermoelement so lange (etwa 3 Minuten) an die Stange, bis es eine constante Temperatur angenommen hat. In dieser Zeit wird sich indess nicht allein ein aliquoter Theil der in der berührten Stelle der Stange enthaltenen Wärme der Löthstelle mitgetheilt haben, sondern es wird auch von anderen Theilen der Stange zu der durch das Thermoelement abgekühlten Stelle neue Wärme zuströmen, und dadurch eine völlig geänderte Wärmevertheilung in der Stange eintreten, so daß die am Thermoelement beobachtete Temperatur nicht vollständig der zu beobachtenden Temperatur der Stange an jeder Stelle unmittelbar proportional ist. Eine derartige Ungenauigkeit wird um so mehr eintreten müssen, als das Thermoelement in Folge seiner nicht unbedeutenden Dimensionen eine große Wärmemenge in kurzer Zeit ableiten kann.

Ferner muß die lange Zeit des Anlegens den Uebelstand zur Folge haben, daß die der Stange entnommene Wärme sich weiter in das Thermoelement verbreitet, anstatt nur in der Nähe seiner Löthstelle zu verweilen. Auf diese Weise können durch die Ungleichheit der inneren Structur des Wismuth- und Antimonstäbchens, aus welchen das Element zusammengesetzt ist, besondere Thermoströme erzeugt werden, welche sich in dem einen oder anderen Sinne zu dem durch die Erwärmung der Löthstelle erzeugten Strome addiren, und hierdurch gleichfalls die Reinheit der Beobachtung trüben.

Auch möchte in den Untersuchungen des Hrn. Lang-

berg der Beweis vermifst werden, dafs wirklich die von ihm beobachteten Intensitäten der bei jedesmaligem Anlegen des Thermoelementes erhaltenen Thermoströme den Erwärmungen desselben direct entsprechen. Ein solcher Beweis ist neuerdings um so nöthiger, als durch die Versuche von Hrn. Regnault erwiesen ist, dafs die Intensitäten der durch ein Thermoelement erzeugten galvanischen Ströme nicht direct dem Wärmeüberschufs seiner Löthstelle proportional sind.

Ein letzter Uebelstand der Versuche des Hrn. Langberg könnte darin gefunden werden, dafs die Temperaturen seiner ziemlich dünnen Stangen leicht durch zufällige Luftströmungen verändert werden konnten, da die Versuche ohne weiteren Schutz der Stangen in dem freien Raume eines Zimmers angestellt wurden.

Schon seit längerer Zeit hatten wir gestrebt, unter Beibehaltung der Methode der Temperaturmessung durch Thermoelemente, den vorher bemerkten Fehlerquellen zu entgehen und genaue Resultate für die relativen Wärmeleitungsfähigkeiten einiger Metalle herstellen zu können. Nach diesem Princip war auch schon vor mehreren Jahren von einem von uns der im Folgenden beschriebene Apparat in seinen Haupttheilen construirt.

Wir wandten bei Ausführung der mit diesem Apparat anzustellenden Beobachtungen gleichfalls die Metalle in Stangenform an, hielten es aber, namentlich bei der grofsen Genauigkeit, mit welcher die von Hrn. Despretz angestellten Versuche begabt sind, für wünschenswerth, durch möglichste Variirung der Beobachtungen, den Resultaten eine gröfsere Sicherheit zu verschaffen.

Die Hauptpunkte, welche wir bei Construction unseres Apparates und durch unsere Arbeit zu erreichen strebten, bestanden daher wesentlich in Folgenden:

- 1) Die Stangen sollten mit einer möglichst gleichmäfsigen Oberfläche versehen seyn.
- 2) Die Temperaturen der an einem Ende constant erwärmten Stangen sollten im lufteerfüllten und luftleeren Raume untersucht werden.

- 3) Dadurch, daß die Temperatur des die Stangen umgebenden Mediums während jeder Versuchsreihe genau constant erhalten wurde, sollte die Ausstrahlung derselben gleichfalls möglichst constant erhalten werden.
  - 4) Das zur Messung der Temperaturen der Stangen bestimmte Thermoelement sollte möglichst kleine Dimensionen haben; die in demselben entstehenden Eigenströme der Metalle möglichst vermieden werden.
  - 5) Das Thermoelement sollte bei jeder Beobachtung nur sehr kurze Zeit an der Stange anliegen.
  - 6) Das Andrücken desselben sollte möglichst gleichmäßig geschehen, und endlich
  - 7) Das zur Bestimmung der Intensität der Thermoströme benutzte Galvanometer eine präzise Ablesung gestatten.
- Mag es uns gelungen seyn, bei den folgenden Versuchen diese Zwecke zu erreichen, und dadurch unserem Resultate eine gröfsere Sicherheit und Genauigkeit zu verleihen <sup>1)</sup>).

## §. 2.

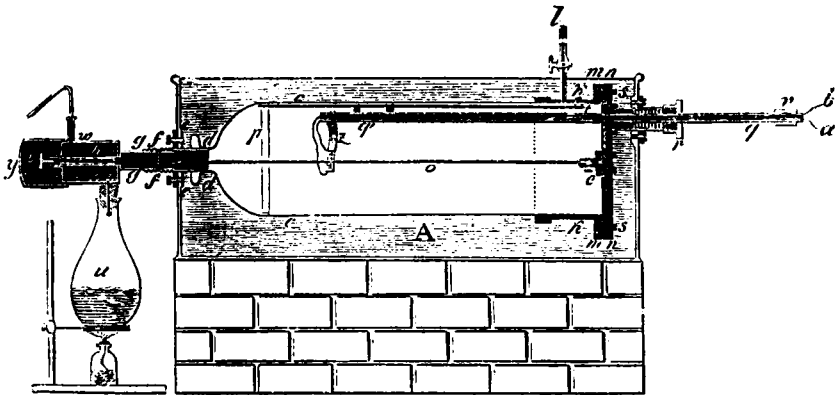
Der Apparat selbst, welchen wir benutzten, war in folgender Weise construiert:

Eine tubulirte Glocke von Glas 0<sup>m</sup>,5 lang 0<sup>m</sup>,16 im Diameter, war einen auf 0<sup>m</sup>,16 langen Cylinder von starkem Kupferblech luftdicht aufgekittet. Auf diesen Cylinder *k* war zunächst der Hahn *l* aufgeschraubt. Sodann trug derselbe an seinem der Glasglocke abgekehrten Ende einen 25<sup>mm</sup> breiten und 12<sup>mm</sup> dicken Ring *m* von Messing, auf welchen die gleichfalls 12<sup>mm</sup> dicke Messingscheibe *nn*

- 1) Unsere Untersuchung war fast vollendet, als wir die Note des Hrn. Despretz über die Arbeit des Hrn. Langberg in Betreff der Messung der Wärmeleitung der Körper (C. R. Nov. 1852) erhielten. — Hr. Despretz glaubt danach stets noch die Anwendung des Quecksilber-Thermometers der Benutzung der Thermoelemente bei den betreffenden Beobachtungen vorziehen zu müssen. —

Wir wollen hoffen, daß die Anwendung der Thermoelemente, wie dieselbe bei unseren Versuchen stattgefunden hat, von einem gleichen Einwand nicht betroffen werden möge.

aufgeschliffen war, und mittelst mehrerer Schrauben *ss* luftdicht festgedrückt werden konnte. Die Scheibe *nn* trug in ihrem Centrum eine Hülse *e*, in welche die dickeren der auf ihre Leitungsfähigkeit zu untersuchenden Stangen mit ihrem Ende hineinpaßten, und mittelst einer seitlichen Schraube festgehalten werden konnten. Zum Befestigen der dünnen Stangen wurde zuerst in die Hülse *e* noch ein Messingrohr eingeschoben, in dessen Oeffnung sich die Stangen genau einsetzen ließen. Um die Stangen nun auch an dem Tubulus *dd* des Glascylinders *c* zu befestigen, und daselbst zugleich einen luftdichten Verschluss zu bewirken, war die folgende Einrichtung getroffen:



In den Tubulus *d* war ein Messingrohr *ee* eingekittet. In dieses Rohr war bei *ff* ein zweites Rohr *gg* eingeschlif- fen, welches durch aufgelegte Gummiringe luftdicht daran festgehalten wurde, und als Fortsetzung ein engeres (7<sup>mm</sup> weites und 120<sup>mm</sup> lauges) Rohr *h* trug, das hinten mit der Schraube *i* luftdicht zu verschließen war. In das Fortset- zungsrohr *hh* paßten weitere oder engere Röhren von Mes- sing, in welche das andere Ende der Stangen eingelegt wurde. —

Um die auf diese Weise in der Axe der Glasglocke aufgespannten Stangen zu erwärmen, war auf das Rohr ein 50<sup>mm</sup> weiter und 80<sup>mm</sup> langer Cylinder *w* von Messingblech aufgeschoben, durch welchen beständig Wasserdampf

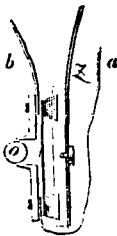
strömte, der im Kolben *u* entwickelt wurde. Um das Ende *i* des Rohres *h*, so wie den Erwärmungsapparat selbst vor Luftströmung zu schützen, war außerdem auf den Cylinder *w* die mit Watte gefüllte Blechkappe *y* aufgesetzt und der Erwärmungs-Cylinder *w* gleichfalls mit einer dicken Schicht Watte überwunden.

Es theilte sich auf diese Weise die Wärme des Wasserdampfes dem Rohr *h*, und durch dieses den Stangen mit. Indem sich die Wärme in den Stangen verbreitete, wurden die in dem Cylinder *cc* gelegenen Theile derselben erwärmt. Es war nun erforderlich, an den verschiedenen Stellen daselbst die Temperatur genau zu bestimmen.

Dazu diente folgende Vorrichtung: Die Scheibe *nn* war oberhalb durchbohrt und trug daselbst ein 140<sup>mm</sup> langes und 25<sup>mm</sup> weites Messingrohr, das bei *r* in eine Stopfbüchse endigte. In dieser Stopfbüchse war vermittelst einer hölzernen Handhabe *v* das 0<sup>m</sup>,83 lange und 6<sup>mm</sup> weite in Viertel-Zolle getheilte Messingrohr *qq*, verschiebbar. Damit dieses Rohr die richtige Lage bewahre, war dasselbe an seinem im Innern der Glasglocke gelegenen Ende *q*, mit einem kleinen Ringe versehen, welcher sich auf dem in der Glasglocke befestigten Drahte *t* fortschob. Der Draht *t* selbst war zwischen einem in der Glocke festgekitteten Messingreifen *p* und einer in den Kupfercylinder *k* angeschraubten Schraube straff ausgespannt.

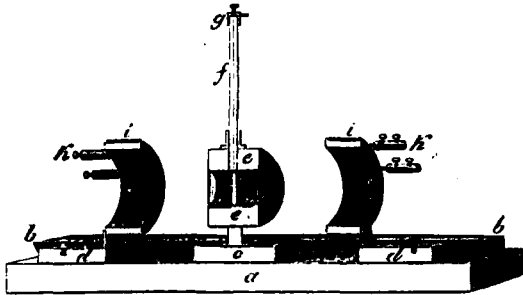
An dem Rohr *qq*, war bei *q*, eine ziemlich starke Stabfeder *z* angebracht, die an ihrem unteren Ende das Thermoelement trug.

Die Feder mit dem Thermoelement ist nebenbei im Detail abgebildet. Die Feder *z* war an ihrem unteren Ende aufgeschlitzt, und durch eine Schraube ein kleines 30<sup>mm</sup> langes und 6<sup>mm</sup> breites Elfenbeinplättchen darauf festgehalten. Dieses Plättchen trug zwei kleine Aufsätze von Messing, auf welche vermittelst zweier Schrauben zwei winkelförmige Vorsprünge von Elfenbein aufgeschraubt waren, zwischen die die zu unter-



suchenden Stangen *o* mit ihrem Querschnitte gerade hineinpaßten. — Zwischen den Messingaufsätzen und den Elfenbeinvorsprüngen war das eigentliche Thermoelement aufgespannt, welches aus zwei mit ihrem etwas abgeschrägten Querschnitt an einander gelötheten Eisen- und Neusilberdrähten von nur  $0^{\text{mm}},4$  Dicke bestand. Auf den Enden des Thermoelementes waren außerdem die aufgeschlitzten Enden der beiden Kupferdrähte *a* und *b* eingeklemmt. Diese Drähte waren durch das mit Schellack und Wachs ausgefüllte Rohr *q* fortgeführt und außerhalb des Apparates mit den beiden Enden der Leitungsdräthe eines sehr empfindlichen Galvanometers verbunden <sup>1)</sup>.

- 1) Das zu den folgenden Beobachtungen benutzte Galvanometer war in einer Weise construirt, wie ähnliche Apparate schon früher von Weber, Helmholtz u. A. angegeben waren:



Auf einem 40 Centim. langen, 14 Centim. breiten Brett *a* ließen sich zwischen zwei Holzleisten *b* die Brettchen *dd* und *c* verschieben. Auf dem Mittelbrettchen *c* stand eine Hülse *e* aus Kupfer, von  $30^{\text{mm}}$  Länge,  $21^{\text{mm}}$  inneren und  $56^{\text{mm}}$  äußeren Durchmesser, welche vorn und hinten durch Glasfenster verschlossen werden konnte. Auf diese war die Glasröhre *f* aufgesetzt, welche oben eine geeignete Vorrichtung *g* trug, an der an einem Kokonfaden ein Stahlspiegel *h* von  $1^{\text{mm}}$  Dicke und  $19^{\text{mm}}$  Diameter in der Weise aufgehängt war, daß er frei in der Kupferhülse schwebte. Der Stahlspiegel war magnetisirt, so daß seine Ebene sich stets in den magnetischen Meridian stellte. Auf den Brettchen *dd* befanden sich zwei Drahtspiralen *l* von  $60^{\text{mm}}$  innerem Durchmesser, von denen jede aus zwei  $1^{\text{mm}}$  dicken und  $16^{\text{cm}}$  langen Kupferdrähten *i* gewickelt war. Die Enden der Kupferdrähte waren an den Drahtklemmen *kk* befestigt; durch Zwischendrähte zwischen letzteren konnten die einzelnen Drähte der Spiralen beliebig mit einander verbunden



Der ganze bisher beschriebene Apparat lag in einem grossen Kasten *A* von Zinkblech, der mit Wasser von constanter Temperatur (gewöhnlich  $12^{\circ}$  C.) gefüllt war. Aus diesem Kasten ragte nur der zur Erwärmung der Stangen dienende Theil *fg...i*, die Stopfbüchse *r* und der Hahn *l* heraus. Durch Schrauben waren die Einfügungen des Apparates in den Wasserkasten wasserdicht gemacht. —

### §. 3.

Nachdem eine Stange auf die oben beschriebene Weise dem Apparate eingefügt und durch vierstündiges Heizen des Erwärmungsapparates erwärmt worden war, wurde durch Umdrehen des Rohres *qq*, um sich selbst das an der Feder befindliche Thermoelement in Abständen von je 2 zu 2 Zoll oder  $52^{\text{mm}}$  gegen die Stange gedrückt. In 4 — 6 Sekunden hatte sich die Wärme der berührten Stelle der Stange der Löthstelle des Thermoelementes mitgetheilt und der Spiegel des Galvanometers eine constante Ablenkung erhalten.

Nach Ablesung des Ausschlags wurde das Thermoelement durch Zurückdrehen des Rohres *qq*, wieder von der

werden. — Der Apparat wurde so aufgestellt, daß die Längsrichtung des Brettes *a* senkrecht gegen den magnetischen Meridian stand. — Wurde jetzt durch die Drähte *i* der Spiralen *ll* ein Strom geleitet, so wurde der Spiegel aus seiner Ruhelage abgelenkt, und es konnte die Ablenkung durch ein Fernrohr an einer etwa  $2^{\text{m}}$  entfernten Scale nach der bekannten Methode der Spiegelablesung beobachtet werden.

Es übte hierbei die dicke Kupferhülse, in der der magnetische Stahlspiegel schwebte, einen so stark dämpfenden Einfluß auf seine Schwingungen, daß der Spiegel nach dem Einsetzen des Stromes fast gar nicht um die neu erlangte Gleichgewichtslage hin und her schwankte. — Vier bis sechs Sekunden genügten um die Ablenkung des Spiegels zu bestimmen.

Je nachdem stärkere oder schwächere Ströme mit dem Galvanometer gemessen werden sollten, konnten die Spiralen *i* von dem in der Kupferhülse *e* schwebenden Spiegel entfernt oder ihr genähert werden. (In den oben beschriebenen Versuchen waren sie ganz über die Kupferhülse hinübergeschoben). Dadurch konnte bewirkt werden, daß das Maximum der Ablenkungen des Spiegels nie mehr als 2 bis  $3^{\circ}$  betrug, und man somit die Ablenkung des Spiegels der Intensität des ablenkenden Stromes selbst ohne Weiteres proportional setzen konnte.

Stange entfernt. In der kurzen Zeit des Anliegens des Thermoelementes konnte die Wärmevertheilung in der Stange nur wenig verändert seyn, um so mehr, als dasselbe, wie oben beschrieben, nur äußerst geringe Dimensionen hatte.

Wurde durch geringeres oder weiteres Umdrehen des Rohres  $qq_1$  das Thermoelement schwächer oder stärker gegen die erwärmte Stange gedrückt, so zeigte sich bei Zunehmen des Druckes ein Wachsen des Ausschlages bis zu einem Maximum. Ein stärkeres Andrücken änderte dann die Stellung des Spiegels am Galvanometer nicht mehr. Es wurde deshalb bei jedem Versuche der Druck so verstärkt, bis das Maximum des Ausschlages erreicht war.

Um zu untersuchen, ob das Thermoelement nach vielfach wiederholter Benutzung nicht gelitten hatte, wurde von Zeit zu Zeit eine Messingstange ihrer Wärmevertheilung nach untersucht und es zeigte sich stets fast genau dieselbe Reihe für die beobachteten Spiegelausschläge, wiewohl einige Wochen zwischen jeder der Beobachtungsreihen, die hier in einer Tabelle zusammengestellt folgen mögen, verflossen waren.

Die erste Columne giebt die Entfernungen der Punkte, an welche das Element gelegt wurde, von einem festen, der Wärmequelle zunächst liegenden Punkte der Stange, dem wärmsten, dessen Temperatur bestimmt wurde, dem Nullpunkte der Theilung beginnend, in Zollen an. Die folgenden Reihen enthalten die zu verschiedenen Zeiten erhaltenen entsprechenden Ausschläge des Galvanometerspiegels. Hier, wie bei allen folgenden Versuchsreihen, wurde von dem kälteren Ende der Stange zu dem wärmeren hin beobachtet, damit die Abkühlung, die das Anlegen des Elementes zur Folge hatte, nicht auf die spätere Beobachtung störend einwirke.

0	41,7	41,5	41,3
2	25,5	25,5	25,5
4	16	16	16,3
6	10,2	10,2	10
8	6,5	6,5	6,5

10	3,7	4	3,8
12	1,5	2	1,8
14	0,5	1	—

Das Wasserbad hatte bei allen diesen Versuchen eine Temperatur von 12° C.

Es wurde ferner beobachtet, daß, nachdem die Wärmequelle an Stelle von vier Stunden nur etwa 20 Minuten lang auf die gut leitenden Stangen gewirkt hatte, das Maximum der Temperatur, das die verschiedenen Punkte der Stange erlangen, schon erreicht war. Während der folgenden 3½ Stunden fand keine Zunahme der Wärme mehr statt, sondern scheinbar eine geringe Abnahme, weil die Luft in dem Glascylinder mehr Wärme durch die Ausstrahlung der Stangen erhielt, als das Wasserbad ihr in gleicher Zeit nehmen konnte, und so der Unterschied zwischen der Temperatur des Elementes und der Stange ein geringerer wurde. Die Beobachtungen an jedem der gut leitenden Metalle begannen daher, nachdem das eine Ende der Stange eine halbe Stunde lang dem Wasserdampf ausgesetzt war. Die schlechter leitenden Stangen dagegen wurden längere Zeit erwärmt.

Die aus der durch die Ausstrahlung der Stangen in die Luft des Cylinders entstehenden, freilich nur sehr kleinen Fehler, konnten dadurch vermieden werden, daß die Leitungsfähigkeit der Stangen im luftleeren Raume beobachtet wurde. Es geschahen diese Beobachtungen, nachdem durch Verbindung des Hahnes *l* mit einer Luftpumpe und Auspumpen, die Luft aus dem Apparate entfernt war, ganz in derselben Weise, wie die vorher im luftgefüllten Raume angestellten Versuche. Es läßt sich von vorne herein einsehen, daß die Leitungsfähigkeit im annähernd luftleeren Raume als eine bessere erscheinen muß, da in diesem Falle die Stangen an die umgebende verdünnte Luft viel weniger Wärme abgeben können. Die Beobachtungen bestätigen diese Voraussetzung in sofern, als der Wärmeabfall bei ein und derselben Stange im luftleeren Raume sich als langsamer ergab, wie im luftgefüllten Raum. Es

war aber dadurch zu gleicher Zeit ein Mittel gegeben, zu prüfen, ob bei der Beobachtung im luftgefüllten Raum die Stangen schon vollkommen erwärmt waren, denn eine neue Beobachtungsreihe, die angestellt wurde, nachdem wieder Luft in den Cylinder eingelassen war, mußte genau mit der Reihe übereinstimmen, die sich ergeben hatte, ehe die Luft aus dem Cylinder gepumpt war. Zwei solche, vollkommen übereinstimmende Reihen konnten erst die Gewissheit geben, daß zuerst die Stange vollkommen erwärmt, im zweiten Falle wieder von der sie umgebenden Luft gehörig abgekühlt war. Die im folgenden Paragraphen angeführten Reihen sind auf diese doppelte Weise gefunden.

Als in den Apparat verschiedene Stangen eingesetzt wurden, zeigte sich, daß bei den schlecht leitenden Stangen von der Wärmequelle aus so wenig Wärme bis zu den Punkten derselben gelangte, wo das Thermoelement angelegt werden konnte, daß eine genaue Messung des Wärmeabfalles nicht gut möglich war. Um die Erwärmung dieser Punkte daher zu vergrößern, wurden die schlechter leitenden Stangen nicht direct in das Erwärmungsrohr eingesetzt. Dagegen wurde in dasselbe ein genau hineinpassender (9<sup>mm</sup>,5 dicker und 250<sup>mm</sup> langer) Kupferstab eingeführt, welcher nicht ganz bis zu der Stelle in den Cylinder *c* hineinragte, wo sonst der Null-Punkt der Temperaturablesung für die besserleitenden Stangen sich befand (etwa bei dem Ringe *p*). Dieser Kupferstab war an seinem im Cylinder *c* befindlichen Ende zu einer etwa 1" langen Röhre ausgebohrt. In diese Röhre wurden die schlechter leitenden Stangen eingesetzt und mittelst einer Schraube darin festgehalten. Sie wurden so kurz genommen, daß sie gerade ausgespannt waren, wenn ihr anderes Ende in der an der Platte *m* befindlichen Hülse *e* befestigt war.

Wurde nach dieser Anordnung das Erwärmungsrohr erhitzt, so wurde der dem Null-Punkt der Theilung entsprechenden Stelle der schlecht-leitenden Stangen durch den dicken gut-leitenden Kupferstab eine große Menge Wärme zugeführt. Dadurch erhielt dieselbe eine höhere

Temperatur und es konnte jetzt die Wärmevertheilung in der ganzen Stange gut beobachtet werden.

Um den verschiedenen auf ihre Leitungsfähigkeit untersuchten Stangen ein gleiches Ausstrahlungsvermögen für die Wärme zu verleihen, wurden sie auf galvanischem Wege mit einer sehr dünnen Silberschicht überzogen, und dem Silberüberzug durch Bearbeitung mit einer Kratzbürste eine glänzende Oberfläche gegeben. Diejenigen Metalle, welche keine unmittelbare galvanische Versilberung zuließen, waren vorher auf galvanischem Wege mit einer äußerst dünnen Messingschicht überzogen, auf die nun der dünne Silberüberzug präcipitirt wurde.

#### §. 4.

Im Folgenden sind die nach der beschriebenen Methode gewonnenen Resultate verzeichnet.

Bei allen diesen Beobachtungen betrug die Temperatur des umgebenden Wassers 12° C.; bei den im luftverdünnten Raume angestellten Versuchen war der Druck der Luft gleich einer Quecksilbersäule von 5<sup>mm</sup> Höhe.

In allen folgenden Tabellen giebt die erste Columne die Entfernung der Stellen der Stangen, deren Temperatur beobachtet wurde, vom Null-Punkt der Theilung in Zollen an. In der folgenden Columne sind die beobachteten Ausschläge, in der dritten die Quotienten verzeichnet, welche man erhält, wenn man mit der nebenstehenden beobachteten Zahl in die Summe der darüber und darunter stehenden beobachteten Zahlen dividirt.

#### I. Silber.

Das Silber war chemisch rein und wurde vor dem Ziehen der Stangen mehrere Male umgeschmolzen. Die Dicke der Stangen betrug 5<sup>mm</sup>.

## a. Im luftgefüllten Raume.

x.	I. Mittel <sup>1)</sup> aus 4 Versuchsreihen.		II. Mittel aus 2 Versuchsreihen.		III.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	107,7		137		125,5	
2	84,2	2,061	107	2,056	98	2,061
4	65,8	2,065	83	2,060	76,5	2,052
6	51,7	2,052	64	2,078	59	2,068
8	40,3	2,022	50	2,060	45,5	2,055
10	29,8	2,040	39	2,051	34,5	2,049
12	20,5	2,092	30	2,057	25,2	2,052
14	13,1		22,7		17,2	
Mittel		2,055		2,060		2,056

## b. Im luftverdünnten Raume.

x.	I. Mittel aus 2 Versuchen.		III.	
	t.	q.	t.	q.
0	182		194	
2	158	2,016	167	2,018
4	136,5	2,012	143	2,021
6	116,7	2,014	122	2,024
8	98,5	2,024	104	2,024
10	82,7	2,025	88,5	2,028
12	69	2,010	75,5	—
14	56		—	
Mittel		2,017		2,023

Die unter II und III vermerkten Zahlen wurden an einer Stange gefunden, welche durch Einschmelzen der ersten und wiederholtes Ziehen des dargestellten Metallregulus erhalten war.

- 1) Die Mittel sind stets aus mehreren Versuchsreihen genommen, die sehr nahe an einander standen.

Zum Beweise, wie nahe die vereinten Reihen einander waren, seyen die vier beim Silber sub I. zusammengefaßten angeführt:

	1.	2.	3.	4.
0	109	108	107,2	106,5
2	87,5	83,5	83	83
4	65,2	65	67	66
6	52	51,5	52,2	51,2
8	41	40	40,5	40
10	30	30	30	29,5
12	21	20,5	20	20,5
14	13	13	13	13,5.

## II. Kupfer.

Es wurden zwei Stangen I und II von 5<sup>mm</sup> Dicke untersucht. Sie ergaben:

## a. Im luftgefüllten Raume.

x.	I. a. Mittel aus 2 V.		b.		c.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	96,5		117		107,2	
2	73,5	2,075	89	2,079	81,5	2,070
4	56	2,080	68	2,074	61,5	2,065
6	43	2,041	52	2,062	45,5	2,099
8	31,7	2,071	39,2	2,066	34	2,044
10	22,7	2,088	28,2	2,070	24	2,083
12	15,7		19,2		16	
Mittel		2,071		2,070		2,072

## a. Im luftgefüllten Raume. b. Im luftverd. Raume.

x.	II. a. Mittel aus 4 V.		b. Mittel aus 2 V.		I. Mittel aus 4 V.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	93,5		106,5		171	
2	70,5	2,091	80,5	2,065	142	2,036
4	53,9	2,067	59,7	2,089	118,1	2,028
6	40,9	2,063	44,2	2,086	97,5	2,009
8	30,5	2,046	32,5	2,067	77,8	2,025
10	21,5	2,111	23	2,066	60,1	2,025
12	14,9	2,060	15	—	43,9	—
14	9,2		—		—	
Mittel		2,073		2,075		2,025

## III. Gold.

Das Gold war fast chemisch rein, es enthielt auf die Mark nur  $1\frac{1}{2}$  Grän fremde Substanzen. Die untersuchte Stange war in der Werkstatt des Hrn. Hossauer gezogen. Ihre Dicke betrug 5<sup>mm</sup>.

## a. Im luftgefüllten Raume. b. Im luftverd. Raume.

x.	I. Mittel a. 2 V.		II.		I. Mittel a. 2 V.		II.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	(77,2)		83		146		148,5	
2	57,5	2,056	61,5	2,073	121	2,021	125	2,022
4	41	2,102	44,5	2,090	98,5	2,030	100,2	2,017
6	25,7	2,115	31,5	2,127	79	2,044	79,2	2,076
8	19,7	2,071	22,5	2,067	63	2,032	64,5	2,009
10	12,1	2,125	15	2,100	49	—	49,8	—
12	6		9		—		—	
Mittel		2,094		2,091		2,032		2,031

## IV. Messing.

Es wurden drei Stangen untersucht, die ersten beiden I und II hatten eine Dicke von 5<sup>mm</sup>; die IIIte war 6<sup>mm</sup>,2 dick.

Die dünnen Stangen I und II ergaben:

		a. Im luftgefüllten Raume.		b. Im luftverd. Raume.	
		I. Mittel aus 3 V.		II.	
x.		t.	q.	t.	q.
0		41,5		39,5	100,5
2		25,5	2,259	24	78
4		16,1	2,216	14,2	2,271
6		10,2	2,216	9,2	2,214
8		6,5	2,154	5	59,5
10		3,8	2,184	—	46
12		1,8	—	—	35
14		—	—	—	27
	Mittel		2,206		20,5
					2,073
					15,5
					2,070

Die dickere Stange III gab:

		a. Im luftgefüllten Raume.		b. Im luftverd. Raume.	
		Mittel aus 2. V.		Mittel aus 2. V.	
x.		t.	q.	t.	q.
0		61,7		118	
2		40,2	2,182	93,5	2,034
4		26	2,162	72,2	2,064
6		16	2,194	55,5	2,049
8		9,1	—	41,5	2,072
10		—	—	30,2	2,098
12		—	—	22	
	Mittel		2,179		2,063

## V. Eisen.

Es wurden zwei Stangen I und II von 5<sup>mm</sup> Dicke untersucht.

		a. Im luftgefüllten Raume.		b. Im luftverd. Raume.	
		I.		II. Mittel a. 2 V.	
x.		t.	q.	t.	q.
0		211		165,8	
2		103	2,568	82,7	2,521
4		54	2,436	42,7	2,456
6		30	2,300	22,2	2,441
8		15	2,400	11,5	2,408
10		6	—	5,5	—
12		—	—	—	—
	Mittel		2,426		2,456
					2,179
					2,166



## VI. Stahl.

Es wurden zwei Stangen I und II von 5<sup>mm</sup> Dicke untersucht. Sie gaben:

a. Im luftgefüllten Raume.					b. Im luftverd. Raume.			
x.	I.		II. Mittel a. 2 V.		I.		II.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	147		136,8		230		207	
2	69	2,669	68,5	2,493	147	2,231	133	2,195
4	37,2	2,433	34	2,553	98	2,143	84,5	2,225
6	21,5	2,265	18,3	2,355	63	2,222	55	2,149
8	11,5	2,348	91	2,472	42	2,095	33,7	2,151
10	5,5		42		25		17,5	
Mittel		2,429		2,468		2,173		2,179

## VII. Platin.

Die untersuchte Stange war *nicht* versilbert, und hatte eine Dicke von 4<sup>mm</sup>,75. Leider stand dieselbe uns nur kurze Zeit zu Gebote, so dafs es uns unmöglich war, umfassendere Beobachtungen mit ihr anzustellen. Sie ergab:

a. Im luftgefüllten Raume.				b. Im luftverd. Raume.		
x.	I. Mittel aus 2 V.		t.	q.	II.	
	t.	q.			t.	q.
0	94		192		64	
2	41,5	2,728	122	2,215	41,5	2,217
4	19,2	2,630	78,2	2,274	28	2,143
6	9,5	2,653	55,8	2,095	18,5	2,216
8	5	—	38,7	2,080	13	2,115
10	—	—	24,7	2,235	9	2,222
12	—	—	16,5		7	
Mittel		2,670		2,180		2,183

## VIII. Neusilber.

Es wurde mit einer Stange von 5<sup>mm</sup> Dicke experimentirt. Sie ergab:

a. Im luftf. R.			b. Im luftverd. R.	
x.	t.	q.	t.	q.
0	157,1		223	
2	61,5	2,967	134	2,266
4	25,4	2,815	80,8	2,291
6	10	2,850	51,1	2,237
8	3,1	—	33,5	2,092
10	—	—	19	2,384
12	—	—	11,8	2,203
14	—	—	7	
Mittel		2,877		2,246

## IX. Zinn.

Es wurden 2 Stangen I und II dem Experiment unterworfen.

x.	a. Im luftgefüllten Raume.				b. Im luftverd. Raume.			
	I.		II.		I.		II.	
	t.	q.	t.	q.	t.	q.	t.	q.
0	188		131,2		272		228	
2	108	2,329	72,2	2,326	198	2,109	168	2,101
4	63,5	2,283	46,2	2,256	145,5	2,094	125	2,072
6	57	2,311	28	2,240	106,5	2,094	91	2,109
8	22	2,364	16,5	2,273	77,5	2,096	65	2,123
10	15	—	9,5	2,263	55,5	2,081	47	2,085
12	—	—	5	—	38	2,105	33	2,121
14	—	—	—	—	24,5	—	20	—
Mittel		2,322		2,272		2,096		2,102

## X. Blei.

Es wurde eine Stange von 6<sup>mm</sup>,2 Dicke untersucht.

x.	a. Im luftf. Raume.		b. Im luftverd. Raume.	
	Mittel aus 2 V.		I. Mittel aus 2 V.	
	t.	q.	t.	q.
0	186		183,7	
2	89	2,590	122,2	2,174
4	44,5	2,506	82	2,115
6	22,5	2,511	51,2	2,269
8	12	2,400	34,2	2,128
10	6,3	—	21,6	2,188
12	—	—	12	12,5
Mittel		2,502		2,166

## XI. Rose'sches Metallgemisch.

Das geschmolzene Gemenge von 1 Theil Zinn, 1 Theil Blei und 2 Theilen Wismuth wurde durch eine Luftpumpe in eine vorher erwärmte Glasröhre von 6<sup>mm</sup> innerem Durchmesser hinaufgesogen. Nach dem Erkalten ergab die auf diese Weise erhaltene, unversilberte Stange, nachdem sie aus der Glasröhre entfernt und in den Erwärmungsapparat eingesetzt war, folgende Zahlen:

a. Im luftf. Raume.			b. Im luftverd. Raume.		
x.	t.	$q = \frac{t_0 + t_4}{t_2}$	x.	t.	q.
0	205		0	280	
1	111,5		2	135	2,585
2	61	3,705	4	69	2,464
3	35	3,563	6	35	2,456
4	21	3,310	8	17	
5	13,2				
6	8,5				
Mittel		3,529			2,502

## XII. Wismuth.

Wismuthstäbchen wurden in einer Glasröhre von 6<sup>mm</sup> innerem Durchmesser geschmolzen, und die erkaltete von der Glashülle befreite Stange auf ihre Leitungsfähigkeit im luftgefüllten Raume untersucht. Als Mittel von drei Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Zahlen:

x.	t.	q.
0	157,7	
1	61,1	
2	28,2	5,840
3	12,6	5,086
4	7	4,386
5	4	
6	2,5	
Mittel		5,104

## §. 5.

Die im vorigen Paragraphen aufgefundenen Zahlenresultate gestatten eine vergleichende Berechnung der Leitungsfähigkeiten der verschiedenen untersuchten Stangen für die Wärme. Um indeß zunächst auch die bei den einzelnen Stangen erhaltenen verschiedenen Beobachtungsmittel mit einander vereinen, so wie durch eine einfache graphische Darstellung die Wärmevertheilung in den verschiedenen Stangen vergleichen zu können, wurde folgende Betrachtung angestellt.

Erwärmt man, wie in den vorliegenden Versuchen, die beiden Enden einer Metallstange um ein Bestimmtes über

die Temperatur der Umgebung und beobachtet an gleich weit von einander entfernten Punkten (etwa wie bei unseren Beobachtungen von 2 zu 2 Zoll) die Temperaturen der Stange, wobei wir die Temperatur des umgebenden Mediums gleich Null setzen, so zeigt sich, dafs, welches auch die Endtemperaturen der Stange sind, stets das Verhältnifs der Temperatur jedes Punktes der Stange zur Summe der Temperaturen der zwei benachbarten Punkte durch die ganze Stange hindurch constant bleibt. Hierbei wird freilich vorausgesetzt, dafs die Wärmeleitungsfähigkeit der Stange innerhalb der beobachteten Temperaturdifferenzen sich nicht ändert.

Multipliziert man sämtliche Temperaturen einer Stange mit einer bestimmten Zahl  $n$ , so bleibt jenes Verhältnifs ungeändert, und es müssen daher die jetzt erhaltenen Werthe die Temperaturen angeben, welche die einzelnen Punkte der Stange erhalten, wenn ihre Endpunkte einen  $n$  Mal so hohen Temperaturüberschufs über die Umgebung als vorher gehabt haben.

Bei den im vorigen Paragraph beschriebenen Versuchen hatte das eine Ende der Stangen (welches um 19,5" von dem Maximumpunkt der Temperatur entfernt war) stets die Temperatur des umgebenden Wasserbades. Sein Temperaturüberschufs über die Umgebung war daher Null; der Anfangspunkt der Temperaturen war aber verschieden erwärmt.

Multipliziert man jetzt die bei den einzelnen Stangen beobachteten Zahlen mit einem Multiplikator, so dafs jedes Mal die Maximum-Temperatur zu 100 wird, so bleibt hierdurch der Temperaturüberschufs über die Umgebung am anderen Ende der Stange wie vorher gleich Null. Es werden also die neugefundenen Reihen angeben, in welcher Weise sich die Wärme in den Stangen vertheilt hätte, wenn die Temperatur des Anfangspunktes aller Stangen gleich 100, die des Endpunktes gleich Null gewesen wäre.

In dieser Weise sind aus den im vorigen Paragraphen aufgestellten Beobachtungsreihen die folgenden Zahlen berechnet:

## I. Versuche im luftgefüllten Raume.

I. Silber 5<sup>mm</sup> dick.

x.					Mittel.
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	78,2	78,1	78,1	78,1	78,1
4	61,1	60,6	61,0	60,9	60,9
6	48,0	46,7	47,0	47,2	47,2
8	37,4	36,5	36,4	36,8	36,8
10	27,7	28,5	27,5	27,9	27,9
12	19,0	21,9	20,3	20,4	20,4
14	12,2	16,6	—	14,4	14,4

II. Kupfer 5<sup>mm</sup> dick.

x.						Mittel.
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	75,4	75,6	76,2	76,1	76,0	75,8
4	57,6	56,1	58,0	58,1	57,4	57,4
6	43,7	41,5	44,6	44,4	42,4	43,3
8	32,6	30,5	32,9	33,5	31,7	32,2
10	23,0	21,6	23,6	24,1	22,4	23,0
12	15,9	14,1	16,3	16,4	14,9	15,5
14	9,8	—	—	—	—	9,8

III. Gold 5<sup>mm</sup> dick.IV. Messing 5<sup>mm</sup> dick.

x.				Mittel.				Mittel.
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	74,5	74,1	74,3	61,4	60,7	60,9	61,0	61,0
4	53,1	53,6	53,3	38,8	35,9	37,6	37,4	37,4
6	37,2	38,9	38,0	24,6	23,3	25,6	24,5	24,5
8	25,6	27,1	26,3	15,7	12,7	17,3	16,5	16,5
10	15,7	18,1	16,9	9,2	—	—	9,2	9,2
12	—	10,8	10,8	4,3	—	—	4,3	4,3

V. Eisen 5<sup>mm</sup> dick.VI. Stahl 5<sup>mm</sup> dick.VII. Platin  
4<sup>mm</sup>, 75 d.

x.				Mittel.				Mittel.
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	48,8	50,0	49,4	47,4	50,1	48,7	44,0	44,0
4	25,6	25,8	25,7	24,4	24,8	24,6	20,4	20,4
6	14,2	13,4	13,8	14,0	13,4	13,7	10,1	10,1
8	7,1	6,9	7,0	7,3	6,6	6,9	5,7	5,7
10	2,8	3,3	3,0	3,4	3,0	3,2	—	—

VIII. Neusilber (IVb.) Messing		IX. Zinn		Mittel.
5mm dick.	6mm,2 dick.	6mm,2 dick.	6mm,2 dick.	
x.				
0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	39,1	65,1	57,4	57,7
4	16,2	42,1	33,8	34,5
6	6,4	25,9	19,7	20,5
8	2,0	-14,7	11,7	12,1
10	—	—	8,0	7,6
12			4,6	4,2

X. Blei		XI. Rose's Metall		XII. Wismuth	
6mm,2 dick.	6mm dick.	6mm dick.	6mm dick.	6mm dick.	6mm dick.
x.					
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	47,8	29,7	17,9	17,9	17,9
4	23,9	10,2	4,4	4,4	4,4
6	12,1	4,1	—	—	—
8	6,4	—	—	—	—
10	3,4	—	—	—	—
12	1,2	—	—	—	—

## II. Versuche im luftverdünnten Raume.

I. Silber		II. Kupfer		III. Gold		Mittel.
5mm dick.	5mm dick.	5mm dick.	5mm dick.	5mm dick.	5mm dick.	
x.						
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	86,8	86,1	86,4	82,0	82,9	82,9
4	74,0	73,7	73,9	68,8	67,5	67,5
6	64,1	62,9	63,5	56,8	54,1	53,7
8	54,1	53,6	53,9	45,3	43,1	43,3
10	45,4	45,6	45,5	35,0	33,6	33,6
12	37,9	38,9	38,4	25,6	—	23,8
14	30,8	32,4	31,6	—	—	16,0

## IV. Messing 5mm d. V. Eisen 5mm d. VI. Stahl 5mm d.

IV. Messing 5mm d.		V. Eisen 5mm d.		VI. Stahl 5mm d.		Mittel.
5mm d.	5mm d.	5mm d.	5mm d.	5mm d.	5mm d.	
x.						
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	78,0	67,4	66,7	67,1	63,9	64,2
4	59,5	45,3	43,7	44,5	42,6	40,8
6	46,0	29,8	29,4	29,6	27,4	26,5
8	35,0	19,8	18,2	19,0	18,3	16,2
10	27,0	14,1	11,2	12,6	10,9	—
12	20,5	—	—	—	—	—
14	15,5	—	—	—	—	—

VII. Platin 4mm,75 dick.				VIII. Neusilber (IVb) Messing 5mm dick. 6mm,2 dick.	
x.	Mittel.		Mittel.		
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	63,5	64,8	64,2	63,1	79,2
4	40,7	43,7	42,2	38,0	61,2
6	29,1	29,9	29,0	24,0	47,0
8	20,2	20,3	20,2	15,8	35,2
10	12,9	14,1	13,4	8,9	25,8
12	8,6	10,9	9,6	5,6	19,1
14	—	—	—	3,3	12,3

IX. Zinn 6mm,2 dick:			X. Blei 6mm,2 dick.	XI. Rose's Metall 6mm dick.		
x.	Mittel.		Mittel.		Mittel.	
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	72,8	73,7	73,2	66,5	65,2	60,1
4	53,5	54,8	54,2	44,6	43,1	36,2
6	39,1	39,9	39,5	27,9	27,2	22,9
8	28,5	28,5	28,5	18,6	17,6	15,6
10	20,4	20,6	20,5	11,7	10,7	8,5
12	14,0	14,5	14,2	6,6	5,6	5,3
14	9,0	8,8	8,9	—	—	—

Bei allen diesen Reihen ist zunächst wieder angenommen, daß die relative Leitungsfähigkeit der Stangen für die Wärme bei der wirklich beobachteten und jetzt berechneten Temperatur ungeändert bleibt.

Die eben aufgestellten Rechnungsergebnisse ergeben zuerst, daß, wenn die beobachteten Maximumtemperaturen der Stangen von gleicher Beschaffenheit nicht zu verschieden waren, doch bei Berechnung derselben auf 100 die ganze Wärmevertheilung in ihnen sich als gleich herausstellt. Es bestätigen also die verschiedenen bei derselben Stange gewonnenen Reihen gegenseitig ihre Richtigkeit.

Um ferner aus diesen berechneten Resultaten einen directen Vergleich der Wärmevertheilung in den verschiedenen Stangen zu gewinnen, wurden die Mittel der im luft-erfüllten Raum erhaltenen Beobachtungsreihen bei jeder einzelnen Stange in der beiliegenden Tafel verzeichnet. In derselben stellt die untere Horizontallinie die Stange dar, auf der von der heißesten Stelle an die einzelnen Punkte

in Abständen von je einem Zoll durch die Zahlen von 0 bis 15 bezeichnet sind. Auf jedem Punkt der Stange ist alsdann seine Temperatur in einer beliebigen Längeneinheit als Perpendikel dargestellt. Diese Temperatur entspricht also bei dem Nullpunkte dem Perpendikel  $= 100$ . Die Gipfelpunkte sämmtlicher zu einer Stange gehörigen Perpendikel sind durch eine Curve verbunden, die demnach die berechnete Wärmevertheilung in der Stange ausdrückt.

Um die bei den dickeren und dünneren Stangen erhaltenen Resultate zu sondern, sind die auf die ersteren bezüglichen Curven punktirt, die für die letzteren geltenden Curven in vollen Linien ausgezogen.

Aus den verzeichneten Curven läßt sich leicht die Reihenfolge erkennen, welche die Stangen in Bezug auf ihre Leitungsfähigkeit einnehmen.

Je steiler die Curven von ihrem höchsten Punkte an gegen die untere Horizontallinie abfallen, je schneller also die Temperatur der Stangen von ihrem wärmsten Punkte an abnimmt, desto schlechter müssen sie die Wärme leiten.

Hiernach stellt sich, gleichviel ob die Versuche im luftgefüllten oder luftverdünnten Raum angestellt wurden, folgende Reihe heraus, bei der die später gestellten Körper immer schlechter die Wärme leiten, als die vorhergenannten.

I) Dünnerer Stangen.

Silber,  
Kupfer,  
Gold,  
Messing,  
Eisen,  
Stahl,  
Platin,  
Neusilber.

II) Dickere Stangen.

Messing,  
Zinn,  
Blei,  
Rose'sches Metallgemisch  
Wismuth,



## §. 6.

Die relative Leitungsfähigkeit der verschiedenen dem Versuche unterworfenen Stangen läßt sich nach Fourier aus folgender Betrachtung ableiten:

Ist eine Metallstange vom Querschnitt  $\Omega$  und vom Umfang  $\gamma$  an zwei beliebigen Punkten um ein Bestimmtes über die Temperatur des umgebenden Mediums erwärmt, und bestimmt man an einer beliebigen Stelle der Stange die Temperaturen  $v_0$ ,  $v_1$  und  $v_2$  dreier in gleichen Abständen  $\alpha$  von einander entfernten Punkte, so findet zwischen diesen Temperaturen, gleichviel an welcher Stelle die 3 Punkte gewählt sind, folgende Relation statt:

$$q = \frac{v_0 + v_2}{v_1} = e^{-\alpha \sqrt{\frac{h\gamma}{l\Omega}}} + e^{\alpha \sqrt{\frac{h\gamma}{l\Omega}}}.$$

In dieser Gleichung bezeichnet  $l$  die innere,  $h$  die äussere Leitungsfähigkeit der Stangen.

Setzt man  $e^{\alpha \sqrt{\frac{h\gamma}{l\Omega}}} = x$ , so folgt  $x + \frac{1}{x} = q$ ,  
und

$$l = \frac{h\gamma}{\Omega} a^2 \frac{1}{(\log x)^2}.$$

Bei den vorliegenden Versuchen ist der Abstand  $\alpha$  bei der Bestimmung der Quotienten  $q$  bei allen Stangen gleich groß genommen. Ebenso ist die äussere Leitungsfähigkeit  $h$  aller Stangen dieselbe. Ferner ist der Querschnitt der Stangen kreisrund. Ist also ihre Dicke  $= d$ , so ist  $\frac{\gamma}{\Omega} = \frac{1}{d}$ . Sind deshalb bei zwei verschiedenen Stangen von den Leitungsfähigkeiten  $l$  und  $l_1$ , den Dicken  $d$  und  $d_1$ , die Werthe  $x$  und  $x_1$  aus den beobachteten Quotienten  $q$  und  $q_1$  berechnet, so folgt:

$$l_1 = l \cdot \frac{d}{d_1} \cdot \frac{(\log x)^2}{(\log x_1)^2}.$$

Es ist leicht ersichtlich, daß eine sehr geringe Aenderung des Quotienten  $q$  schon einen sehr bedeutenden Unter-

schied der aus  $q$  berechneten relativen Leitungsfähigkeiten  $l$  zur Folge hat.

Variirt z. B. der Quotient nur zwischen den Zahlen 2,032 und 2,035, also nur um 0,005, so stehen die berechneten Leitungsfähigkeiten  $k$  schon im Verhältniß von 152: 166.

Ist also z. B. der Temperaturüberschuß des mittleren Punktes  $p$ , durch welchen in die Summe der beiden anderen Temperaturüberschüsse dividirt wird, nur in dem Verhältniß von  $\frac{1005}{1000}$  zu klein beobachtet, so wird, wenn der Quotient  $q$  in den oben angegebenen Zahlen sich bewegt, sogleich dieser sehr leicht mögliche Beobachtungsfehler auf die Berechnung der Leitungsfähigkeit den angeführten störenden Einfluß ausüben. Da also ein kleiner Fehler in der Beobachtung eine unverhältnißmäßig große Aenderung in der berechneten Leitungsfähigkeit hervorruft, ist den aus den betreffenden Quotienten abgeleiteten Werthen derselben kein zu großes Gewicht beizulegen. Diefes wird besonders der Fall seyn, wenn die Quotienten sich nur wenig von der Zahl 2,00 entfernen.

Jedenfalls bezeichnen die im vorigen Paragraphen angeführten Curven sicherer das verschiedene Verhalten der einzelnen Metallstangen zur Wärme, wie die aus jenem Quotienten zu berechnenden Zahlen.

Um indeß eine numerische Vergleichung der Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Substanzen zu erhalten, sind nach der von Fourier angegebenen Methode aus den Quotienten  $q$  die jedesmaligen relativen Leitungsfähigkeiten  $l$  berechnet. Es ist dabei die Leitungsfähigkeit des Silbers zu 100 angenommen.

Um einen Vergleich der Leitungsfähigkeiten der dickeren und dünneren Stangen zu erhalten, und die Resultate auf Stangen von gleichen Dimensionen (von 5<sup>mm</sup> Dicke) anwenden zu können, war es in Folge der oben aufgestellten Formel nöthig, die für die dickeren Stangen gewonnenen Zahlenresultate durch das Verhältniß der Durchmesser der dickeren Stangen zu denen der dünneren, also mit der Zahl

$\frac{5}{6,2}$  zu multipliciren. In gleicher Weise war die beim Platin erhaltene Zahl mit  $\frac{5}{4,75}$  zu multipliciren, da die benutzte Platinstange nur einen Durchmesser von 4<sup>mm</sup>,75 hatte <sup>1)</sup>.

Hiernach ergeben sich für die mittlern relativen Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Stangen, die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werthe. Es ist in derselben neben den beobachteten Quotienten  $q$  die jedesmal berechnete relative Leitungsfähigkeit  $l$  verzeichnet.

Metalle.	Für den luftgefüllten Raum.		Für den luftverdünnten Raum.	
	$q$ .	$l$ .	$q$ .	$l$ .
Silber	2,057	100	2,020	100
Kupfer	2,072	77,4	2,025	80,2
Gold	2,093	60,1	2,0315	63,7
Messing I.	2,202	27,9	2,0665	30,2
Messing II (dicker)	2,179	23,8	2,063	26,0
Zinn	2,297	15,4	2,099	16,1
Eisen	2,441	13,1	2,172	11,8
Stahl	2,4485	12,8	2,176	11,5
Blei	2,502	9,3	2,176	9,3
Platin	2,670	9,2	2,182	11,7
Neusilber	2,863	6,8	2,246	8,3
Rose'sches Metall	3,529	3,2	2,502	3,3
Wismuth	5,104	1,8	—	—

Unter diesen Resultaten möchten die Werthe der relativen Leitungsfähigkeiten, welche aus den im luftgefüllten Raum angestellten Versuchen berechnet sind, aus mehreren Gründen das größte Zutrauen verdienen.

Einmal war es möglich, bei den Versuchen im luftgefüllten Raume, die jedesmal erhaltenen Resultate dadurch zu controlliren, daß die Temperatur der Stangen vor und nach den Versuchen im luftleeren Raum abgelesen werden

- 1) Es wurde dabei angenommen, daß die Platinstange, ebenso wie die Stangen aus Rose'schem Metall und Wismuth durch den Mangel an Versilberung nicht bedeutend in ihrer Wärmeabgabe an die Umgebung von den versilberten Stangen differirten. Es wird diese Annahme vorzüglich bei den in der Luft angestellten Versuchen, wo die Stangen mehr durch directe Mittheilung der Wärme wie durch Strahlung abgekühlt werden, statthaft seyn.

konnten. Ferner ist es schwierig, bei den letzteren Versuchen den Druck der Luft während einer Beobachtungsreihe genau constant zu erhalten. Dann haben geringe Oberflächen-Verschiedenheiten auf die in der Luft gewonnenen Resultate einen geringeren Einfluss, da im luftgefüllten Raum die Abkühlung der Stangen hauptsächlich durch die Abgabe der Wärme an die umgebende Luft bewirkt wird, kleine Aenderungen der Ausstrahlung der Wärme auf die Temperatur der Stangen also eine viel geringere Wirkung äußern, als im luftleeren Raum, wo letztere allein die Stangen abkühlt.

Endlich liegen die Quotienten  $q$ , aus welchen die relativen Leitungsfähigkeiten berechnet werden, bei den Versuchen im luftgefüllten Raum weiter von 2,00 entfernt, als bei den Versuchen im luftverdünnten Raum, wodurch in jenem Falle geringe Beobachtungsfehler, also auch geringe Variationen der Quotienten weniger auf die berechneten Werthe einwirken.

#### §. 7.

Nach den neuesten Untersuchungen von Regnault steht die Intensität des in einem Thermoelement erregten galvanischen Stromes nicht in gleichem Verhältniß zu der Temperaturerhöhung der Löthstelle des Elementes. Aus diesem Resultat folgt, daß die bisher angegebenen Zahlenwerthe der Beobachtungen noch der Correction bedürfen. Um daher das Verhältniß der Intensität der beobachteten Thermostrome zu der jedesmaligen Temperatur der Stellen der Stangen, an welche das Thermoelement gelegt wurde, genau zu untersuchen, wurden noch folgende Versuche angestellt: Ein 2<sup>ctm</sup> langer Stahldraht von 5<sup>mm</sup> Dicke wurde etwa zur Hälfte seiner Länge ausgebohrt, so daß ein in Zehntelgrade getheiltes Quecksilberthermometer mit seinem kleinen cylindrischen Gefäße in die Höhlung eingelassen werden konnte. Der Zwischenraum zwischen dem Gefäße des Thermometers und der Stahlhülle wurde mit Quecksilber ausgefüllt, das Thermometer mit Wachs festgekittet, und nun der Stahldraht mit dem Thermometer in den oben beschriebenen für die Einsetzung der

kürzeren Stangen bestimmten Kupferstab eingeschraubt. Der Kupferstab mit der Thermometervorrichtung wurde in den Erwärmungsapparat eingelegt. Nachdem das Thermoelement so eingestellt war, daß es beim Anliegen an dem ausgehöhlten Stahldraht genau die der Mitte des Thermometergefäßes entsprechende Stelle desselben berührte, wurde das Maximum der Temperatur, die das Thermometer erreichte, abgewartet. Dann wurde die Wärmequelle entfernt, und durch Anlegung des Thermoelementes zu verschiedenen Zeiten die den einzelnen Höhen des Thermometers entsprechenden Ablenkungen des Galvanometerspiegels beobachtet. Es zeigte sich, daß bei der höchsten Temperatur ( $58^{\circ},3\text{ C.}$ ) durch das Anlegen des Elementes ein plötzliches Sinken des Thermometers um  $0,7^{\circ} - 0,8^{\circ}$  stattfand, indem die der Hülse anliegenden Theile des Elementes derselben so lange Wärme entzogen, bis sie selbst eine gleiche Temperatur angenommen hatten. Der Wärmeverlust der Stahlhülse mit dem Thermometer nahm bei einem geringeren Temperaturüberschuß desselben über die umgebende Luft proportional dem letzteren ab.

Es wurde bei diesem Verfahren beobachtet, daß folgende Galvanometerausschläge dem beistehenden Temperaturüberschuß des Thermometers über die Temperatur des umgebenden Wasserbades ( $12^{\circ}\text{ C.}$ ) entsprachen.

Galvanometer.	Thermometer.
215	46,6
170	38
145	32,2
122	28
98	23
78	18,1
54	13,2
34	8,4
15	3,6

Durch Verzeichnung der beobachteten Temperaturüberschüsse als Abscissen und der entsprechenden Galvanometerausschläge als Ordinaten, und Verbindung der Gipfel-

punkte der letzteren durch eine möglichst genau sich anschließende Curve, konnte für jede Temperatur innerhalb der beobachteten Gränzen die entsprechende Ablenkung des Spiegels am Galvanometer bestimmt werden.

Hiernach ergaben sich einander entsprechend:

Die Temperaturüberschüsse des Thermometers über die Umgebung.	Die Ablenkungen des Spiegels am Galvanometer.	Differenzen.
0	0	
5	20	20
10	41,3	21,3
15	63,5	22,2
20	86	22,5
25	109	23
30	132,5	23,5
35	157	24,5
40	181,5	24,5
45	207	25,5

Aus diesen Resultaten folgt, daß die Ausschläge am Galvanometer ein wenig schneller zunehmen, als die Ueberschüsse der Temperaturen des Thermometers über die Umgebung. Während z. B. ein Ansteigen der Temperatur bis 5° über die Umgebung den Stand des Galvanometers um 20,3 ändert, wächst der Ausschlag desselben beim Wachsen des Temperaturüberschusses von 20 bis 25° um 23, von 40 bis 45° um 25,5 Einheiten.

Die Correction, welche hiernach für die beobachteten Zahlen erwächst, ist nur gering.

Indefs sind sämtliche gewonnenen Zahlenresultate auf diese Weise umgerechnet worden, daß an Stelle der Galvanometerablesungen die betreffenden Temperaturen gesetzt wurden.

Es wurden aus den so erhaltenen Reihen von Neuem die Quotienten  $q$ , und aus diesen die relativen Leitungsfähigkeiten  $l$  berechnet, und es ergibt sich demnach:

Metalle.	Für den luftgefüllten Raum.		Für den luftverdünnten Raum.	
	g.	l.	g.	l.
Silber	2,0456	100	2,0145	100
Kupfer	2,062	73,6	2,0195	74,8
Gold	2,086	53,2	2,027	54,8
Messing	2,200	23,1	2,058	25,0
Messing II. (dick)	2,154	24,1	2,051	23,0
Zinn	2,264	14,5	2,076	15,4
Eisen	2,393	11,9	2,144	10,1
Stahl	2,405	11,6	2,1395	10,3
Blei	2,445	8,5	2,149	7,9
Platin	2,597	8,4	2,163	9,4
Neusilber	2,772	6,3	2,201	7,3
Rose's Metall	3,434	2,8	2,441	2,8
Wismuth	4,565	1,8	—	—

Wenngleich diese Zahlen sich mehr der Wahrheit nähern, als die früher angegebenen, so ist doch nicht zu verkennen, daß durch die Vergleichung der Galvanometerauschläge mit den entsprechenden Temperaturüberschüssen manche neue Fehlerquellen in die Beobachtungen eintreten. Die Schwierigkeit, gleichzeitig das Galvanometer und Thermometer mit der größten Genauigkeit abzulesen; die Ungenauigkeiten, welche bei Construction der beide Ablesungen verbindenden Curven nothwendig eintreten müssen, haben gewiß bei der großen Einwirkung jedes Beobachtungsfehlers auf die Berechnung der relativen Leitungsfähigkeiten einen störenden Einfluß, der um so mehr hervortritt, je mehr sich das Thermolement in dem Gange seiner Temperaturangaben von dem gleichzeitigen Gange des Thermometers entfernt.

Daher möchte auch hier den in der Luft angestellten Beobachtungen der Vorzug zu geben seyn, da diese sich innerhalb geringerer Temperaturunterschiede bewegen, und kleine Fehlerquellen der aus ihnen berechneten Werthe, wie oben bemerkt, von geringerer Bedeutung sind.

### §. 8.

Die Frage, ob die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle mit der Temperatur sich ändere, und ob die an den

Metallstangen in gleicher Entfernung beobachteten Temperaturen von einer geometrischen Reihe abweichen, ist durch Langberg bejahend beantwortet worden. Es schien von Wichtigkeit, dieselbe Frage noch einmal der Untersuchung zu unterwerfen.

Da bei den Stangen von Silber, Kupfer, Gold, Messing, Platin, Zinn keine Abnahme der Quotienten bei jeder Beobachtungsreihe stattfindet, könnte man vermuthen, daß bei diesen Stangen die Leitungsfähigkeit mit der Temperatur nicht oder nur sehr wenig geändert wird.

Um indess wenigstens bei einer der besser leitenden Stangen eine directe Controlle für diese Thatsache zu haben, wurde die Kupferstange II untersucht, nachdem das sie umgebende Wasserbad auf  $0^{\circ}$  abgekühlt war.

Es mag die dabei gefundene Reihe mit der unter II, c, im §. 4 aufgestellten bei Anwendung eines Wasserbades von  $12^{\circ}$  C. zusammengehalten werden.

	Wasserbad $= 0^{\circ}$ .	$= 12^{\circ}$ .
0	107,5	107,2
2	82	81,5
4	61	61,5
6	47	45,5
8	35	34
10	26,5	24
12	19	16

Die beiden Reihen weichen so wenig von einander ab, daß wohl hier keine Aenderung der Leitungsfähigkeit zwischen der Temperatur von  $0^{\circ}$  bis  $25^{\circ}$  ( $107,2^{\circ}$  Ausschlag am Galvanometer) vorausgesetzt werden darf.

Bei den übrigen untersuchten Stangen scheint sich ein anderes Verhältniß herauszustellen.

Vergleicht man die beim Eisen und Stahl, Blei, Rose'schen Metall und Wismuth gefundenen Zahlen, so zeigt sich eine unverkennbare Zunahme der Quotienten mit steigender Temperatur; jedoch mit Sicherheit nur bei den im luftgefüllten Raume angestellten Versuchen. Bei den im  
luft-



luftverdünnten Raum erhaltenen Werthen sind die Quotienten so schwankend, daß bestimmte Schlüsse aus ihrem Ab- und Zunehmen nicht zu folgern sind.

Diese Zunahme kann einen doppelten Grund haben. Einmal kann sie aus dem Mangel an Proportionalität zwischen der Wärmeabgabe an die die Stangen umgebende Luft und der Temperatur der letzteren entstanden, dann aber auch durch eine Aenderung der Leitungsfähigkeit der Stangen hervorgerufen seyn. Im ersten Fall müßte sich indeß auch dieselbe Unregelmäßigkeit bei den besser leitenden Stangen zeigen, bei denen sie freilich nicht so hervortreten würde, da die bei diesen erhaltenen Quotienten viel näher an 2 liegen, wie bei den schlechter leitenden Stangen. Ferner müßte die Aenderung der Quotienten bei den im luftverdünnten Raume angestellten Versuchen zum größten Theil verschwinden. Damit scheinen denn auch die Beobachtungsergebnisse bei den meisten Stangen zu stimmen. Berücksichtigt man indeß, daß bei den meisten Stangen die im luftverdünnten Raum erhaltenen Quotienten nicht weit von 2,00 abweichen, so kann auch aus diesen Ursachen die Aenderung derselben nicht mehr zum Vorschein kommen: und es ist doch möglich, daß bei den *sehr* schlecht leitenden Körpern eine solche Aenderung auch im luftleeren Raume hervorträte, und sich dadurch eine Aenderung der Leitungsfähigkeit herausstellte.

Hierfür sprechen die Versuche an der Stange von Rose'schem Metall, bei der wirklich die Quotienten mit zunehmender Temperatur zu wachsen scheinen. Um indeß den fraglichen Punkt noch weiter zu verfolgen, wurde an Stelle der Metallstangen eine Glasstange von 6<sup>mm</sup> Dicke in den Erwärmungsapparat eingesetzt, und ihre Temperatur im luft-erfüllten und luftverdünnten Raum in Abständen von je  $\frac{1}{2}$  Zoll abgelesen.

Hierbei ergab sich:

<i>x.</i>	im luftgefüllten Raume.		Im luftleeren Raume.	
	<i>t.</i>	<i>q.</i>	<i>t.</i>	<i>q.</i>
0	73,5		90,2	
0,5	20	3,97	42	2,62
1	5,5	—	20	2,60
1,5	—	—	10	2,55
2	—	—	5,5	2,45
2,5	—		3,5	

Danach scheint in der That mit zunehmender Temperatur die Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme abzunehmen.

### §. 9.

Vergleicht man die von uns berechneten relativen Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Metalle für die Wärme mit den von Riefs, Becquerel, Lenz u. A. gefundenen relativen Leitungsfähigkeiten derselben Körper für die Elektrizität, so ergibt sich eine merkwürdige Uebereinstimmung.

In der folgenden Tabelle sind die von jenen Beobachtern gefundenen Zahlen mit den unserigen zusammengestellt. Die Leitungsfähigkeit des Silbers ist dabei stets gleich 100 angenommen.

Benennung der Körper.	Leitungs-Fähigkeit			
	nach Riefs.	nach Becquerel.	nach Lenz.	für Wärme.
<i>Silber</i>	100	100	100	100
<i>Kupfer</i>	66,7	91,5	73,3	73,6
<i>Gold</i>	59,0	64,9	58,5	53,2
<i>Messing</i>	18,4	—	21,5	23,6
<i>Zinn</i>	10,0	14,0	22,6	14,5
<i>Eisen</i>	12,0	12,35	13,0	11,9
<i>Stahl</i>	—	—	—	11,6
<i>Blei</i>	7,0	8,27	10,7	8,5
<i>Platin</i>	10,5	7,93	10,3	8,4
<i>Neusilber</i>	5,9	—	—	6,3
<i>Wismuth</i>	—	—	1,9	1,8

Jedenfalls weichen die von uns für die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme gefundenen Resultate nicht weiter von den für die elektrische Leitung beobachteten Werthen ab, wie jene letzteren unter einander.

Kann man daher auch nicht direct behaupten, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektricität und Wärme vollkommen dieselbe sey, so läßt sich doch mit Sicherheit der folgende Schluss ziehen:

*die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektricität und Wärme stehen einander sehr nahe, und sind wahrscheinlich beide gleiche Functionen derselben Gröfse.*

Man hat als Beweis der Unmöglichkeit einer derartigen Uebereinstimmung angeführt, daß die Leitungsfähigkeit des Wassers, bei einem geringen Zusatz von Säure in Bezug auf die Elektricität bedeutend verbessert, in Bezug auf die Wärme nur wenig geändert wird. Dieser Beweis möchte indess nur eben für die Substanzen eine Geltung haben, bei denen die Leitung der Elektricität zugleich mit einer chemischen Zerlegung ihrer Bestandtheile verbunden ist. Bei solchen Körpern ist indess die Fortpflanzung der Elektricität ganz anderer Art, wie ein einfaches Fortschreiten derselben durch homogene unzerlegbare Metalle. — Auch für diejenigen Substanzen, bei denen, wie beim Glase, und den Flüssigkeiten, die Fortbewegung der Wärme nicht in einer directen Mittheilung von Theilchen zu Theilchen erfolgt, sondern auch durch eine auf weitere Strecken sich verbreitende innere Wärmestrahlung in den Körpern stattfindet, läßt sich der oben ausgesprochene Schluss ohne Weiteres nicht feststellen. Für die von uns untersuchten nicht durchstrahligen Körper, glauben wir indess als Schluss unserer Abhandlung den Satz festhalten zu dürfen, „daß die Metalle für Elektricität und Wärme eine nahezu gleiche Leitungsfähigkeit besitzen.“