Kupfer, Messing, Neusilber, Eisen und Zink
und ergeben für das Verhältniss $k/\varkappa$ die Werthe[1]):

17,5 19,8 19,9 18,9 17,1.

Als entsprechende Werthe von c benutzt Hr. Weber:

0,83 0,80 0,80 0,84 0,67.

Für die vier ersten Metalle setzt er nun $k/\varkappa$ und c gleich den Mittelwerthen 19,05 und 0,82 und berechnet aus diesen und den für Zink angegebenen Zahlen a und b. Er findet so $a = 8,4$, $b = 13,0$, woraus er schliesst $b/a = 1,545$. Berechnet man aber rückwärts mit diesen Werthen von a und b das Verhältniss $k/\varkappa$ für die fünf Metalle, so ergibt sich:

19,2 18,8 18,8 19,3 17,1.

Bei der Grösse der Differenzen zwischen diesen Zahlen und den von Hrn. Neumann gefundenen ist auf die Uebereinstimmung der Verhältnisse 1,545 und 1,550 ein Gewicht nicht zu legen. Aus den eigenen Versuchen hat Hr. Weber die Werthe von a und b nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet; behandelt man die Neumann'schen Versuche ebenso, so ergibt sich aus ihnen $b/a = 0,84$ statt $= 1,550$.

III. *Ueber das Leitungsvermögen der Metalle für Wärme und Electricität; von L. Lorenz in Kopenhagen.*

Die theoretischen Betrachtungen, welche der einen der beiden Methoden, durch welche ich das Leitungsvermögen verschiedener Metalle für die Wärme zu bestimmen versucht habe, zu Grunde liegen, sind folgende.

Man denke sich eine Stange an dem einen Ende erwärmt. In einer von einem willkürlichen Punkte innerhalb der Stange gerechneten Entfernung x sei die variable Temperatur u_x, wobei der Nullpunkt der Temperaturscala von

1) Dieses ist die Angabe von Hrn. Weber; statt der Zahl 17,5 steht in der Abhandlung des Hrn. Neumann 17,6, und die Division der dort angeführten Leitungsfähigkeiten gibt 17,8.

der constant angenommenen Temperatur der Umgebungen gerechnet ist. So sind u_o, u_l, ... u_{nl} die Temperaturen in $n + 1$, um die Länge l voneinander entfernten Punkte der Stange.

Derjenige Theil der Stange, welcher zwischen zwei $x = \frac{1}{2}l$ und $x = (n - \frac{1}{2})\,l$ entsprechenden Schnitten gelegen ist, wird von der einen Seite durch Leitung in der Zeiteinheit die Wärmemenge $kq(u_o - u_l)/l$ empfangen, wenn k das Leitungsvermögen für die Wärme und q der Querschnitt der Stange ist, während zur anderen Seite die Wärmemenge $kq(u_{(n-1)l} - u_{nl})/l$ abgeleitet wird. Wenn also:

$$u_o - u_l - u_{(n-1)l} + u_{nl} = \varDelta$$

gesetzt wird, so ist $kq\varDelta$ die von dem betrachteten Theile der Stange in jeder Zeiteinheit empfangene Wärmemenge, welche theils zur Erwärmung des Metalles verbraucht, theils zu den Umgebungen abgeleitet wird.

Das betrachtete Stück der Stange hat die Länge $(n-1)l$ und kann in $n - 1$ gleich grosse Theile zerlegt gedacht werden. Die Erwärmung eines jeden dieser Theile um einen Grad erfordert $c\delta q\,l$ Wärmeeinheiten, wenn durch c die Wärmecapacität und durch δ die Dichtigkeit des Metalles bezeichnet wird, und da die der Zeiteinheit entsprechende Temperaturerhöhung in dem Mittelpunkt jedes dieser Theile gleich du_l/dt, du_{2l}/dt, ... $du_{(n-1)l}/dt$ ist, so wird die in der Zeiteinheit zur Erwärmung der $n - 1$ Theilchen erforderliche Wärmemenge durch $c\delta q\,l\,(d\Sigma/dt)$ ausgedrückt werden können, wenn:

$$u_l + u_{2l} + \ldots u_{(n-1)l} = \Sigma$$

gesetzt wird.

Die an die Umgebung abgegebene Wärmemenge ist eine Funktion der Temperatur, und annähernd kann dieselbe als eine Funktion der mittleren Temperatur $\Sigma/(n-1)$ betrachtet werden, wenn vorausgesetzt wird, dass die Temperaturen der verschiedenen Theilchen nicht sehr verschieden sind.

Wir erhalten demnach die Gleichung:

$$\frac{kq}{l}\varDelta = c\delta q l \frac{d\Sigma}{dt} + f(\Sigma). \tag{1}$$

Wenn also zunächst die Stange an dem einen Ende erwärmt wird, während man den zeitlichen Verlauf von $\varDelta$ und Σ unmittelbar (mittelst thermoelectrischer Elemente) beobachtet, und wenn man nachher mit der Erwärmung aufhört, wodurch $\varDelta$ bald in einen anderen sehr kleinen Werth $\varDelta'$ übergeht, während Σ aufs neue die früher beobachteten Werthe rückwärts durchläuft, so wird für die letztere Beobachtungsreihe die Gleichung:

$$\frac{kq}{l}\varDelta' = c\delta q\, l\frac{d\Sigma'}{dt} + f(\Sigma')$$

erhalten. Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich durch Subtraction für $\Sigma' = \Sigma$:

$$\frac{kq}{l}(\varDelta - \varDelta') = c\delta q\, l\left(\frac{d\Sigma}{dt} - \frac{d\Sigma'}{dt}\right),$$

wo $d\Sigma/dt$ positiv und $d\Sigma'/dt$ negativ ist. Es wird also aus einer einzelnen Beobachtungsreihe eine Reihe Bestimmungen von $(c\delta/k)\, l^2$ hervorgehen.

Diese Methode kann noch ein wenig genauer gemacht werden. Um dieses nachzuweisen, und um zugleich Einsicht in die Grösse der Fehler, welche aus den nur annähernd richtigen Voraussetzungen der obigen Berechnung entspringen mögen, zu erlangen, wird es indessen nothwendig sein, zu der Differentialgleichung für die Wärmebewegung in einer Stange zurückzugehen, nämlich:

$$\frac{d}{dx}kq\frac{du}{dx} = c\delta q\frac{du}{dt} + phu, \tag{2}$$

wo p der Perimeter der Stange und h der Coëfficient der äusseren Wärmeleitung ist. Alle Coëfficienten müssen hier als Functionen von u betrachtet werden, allein wenn die Temperatur u und deren Aenderungen als klein vorausgesetzt werden, so wird mit genügender Annäherung gesetzt werden können:

$$\frac{c\delta}{k} = a_0(1+\alpha u),\quad \frac{ph}{kq} = b_0(1+\beta u),\quad kq = k_0 q_0 e^{\gamma u},$$

indem diese neu eingeführten Coëfficienten als constant betrachtet werden. Die Differentialgleichung wird alsdann:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = a_0(1+\alpha u)\frac{du}{dt} + b_0(1+\beta u)u - \gamma\left(\frac{du}{dx}\right)^2, \tag{3}$$

Man sieht leicht, dass:

$$\int_0^{(n-1)l} dx \int_x^{x+l} dx \frac{d^2u}{dx^2} = u_0 - u_l - u_{(n-1)l} + u_{nl} = \varDelta$$

ist. Ferner ergibt sich für eine beliebige Function f:

$$\int_0^{(n-1)l} dx \int_x^{x+l} dx f(x) = l^2 \big(f(l) + f(2l) + \ldots f((n-1)l)\big)$$

$$+ \frac{l^2}{12} \big(f(nl) - f((n-1)l) - f(l) + f(0)\big) + \cdots.$$

wo der Ausdruck rechter Hand auch in:

$$l^2 \big(f(\tfrac{13}{12}l) + f(2l) + \ldots f((n-2)l) + f((n-\tfrac{13}{12})l)\big) + \cdots$$

umgebildet werden kann.

Mit einer kleinen Aenderung der früheren Bedeutung von Σ, nämlich in:

$$(4) \qquad \Sigma = u_{\frac{13}{12}l} + u_{2l} + \ldots u_{(n-2)l} + u_{(n-\frac{13}{12})l},$$

erhalten wir demnach aus (3) durch die angegebene doppelte Integration annäherungsweise:

$$(5) \quad \varDelta = a_0 l^2 \frac{d\Sigma}{dt} + b_0 l^2 \Sigma + \int_0^{(n-1)l} dx \int_x^{x+l} dx \left(a_0 \alpha u \frac{du}{dt} + b_0 \beta u^2 - \gamma \left(\frac{du}{dx}\right)^2\right).$$

Das letztere Integral wird, wenn die Werthe von u nur klein sind, als eine gegen die übrigen Glieder der Gleichung sehr kleine Grösse betrachtet werden können. Die Berechnung dieses Integrals kann deshalb mit genügender Annäherung mittelst der einfachen Differentialgleichung:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = a_0 \frac{du}{dt} + b_0 u$$

ausgeführt werden, indem diese Gleichung unter den bei den Versuchen stattfindenden Bedingungen integrirt wird. Es muss dabei bemerkt werden, dass die Erwärmung der Stange so geleitet wird, dass $\varDelta$ sich während der Messungen nahezu constant hält. Diese Bedingung wird durch ein Integral von der Form:

$$u = A e^{x\sqrt{b_0}} + B e^{-x\sqrt{b_0}} + C e^{-\frac{b_0}{a_0}t}$$

befriedigt sein, und wenn schon auch andere Formen von Integralen hier möglich sind, so darf doch angenommen werden, dass der obige Ausdruck im wesentlichen den Temperaturzustand der Stange während der Messungen wird darstellen können.

Der Anfangspunkt, in welchem die Temperatur u_0 gemessen, ist in der Entfernung $\frac{1}{2}l$ vom Stabende gelegen. Da die Wärmeabgabe am Ende der Stange nur klein ist, wird deshalb annähernd $du/dx = 0$ für $x = -\frac{1}{2}l$ gesetzt werden können.

Man kann jetzt die Constanten eliminiren, wonach man findet:

$$\int_0^{(n-1)l} dx \int_x^{x+l} dx\, u^2 = l^3 \frac{\Sigma^2}{n-1} + l^2 \Delta^2 f,$$

$$\int_0^{(n-1)l} dx \int_x^{x+l} dx \left(\frac{du}{dx}\right)^2 = \Delta^2 g,$$

indem f und g gewisse, allein von $l^2 b_0$ abhängige Zahlen sind.

Für:

$l^2 b_0 =$	0,01	0,0225	0,04	0,09	0,16

erhalten f und g die folgenden Werthe:

$f =$	11,08	9,34	7,66	4,86	3,05
$g =$	3,13	2,78	2,40	1,76	1,33,

welche Werthe sehr nahe durch die empirischen Formeln:

$$f = \frac{68}{5 + 100\, l^2 b_0}, \quad g = \frac{34}{10 + 100\, l^2 b_0}$$

ausgedrückt werden können.

Wird ferner:

$$f b_0 l^2 \beta - g\gamma = \eta, \quad a_0\left(1 + \frac{\Sigma}{n-1}\alpha\right) = a, \quad b_0\left(1 + \frac{\Sigma}{n-1}\beta\right) = b$$

gesetzt, indem also a und b die der mittleren Temperatur $\Sigma/(n-1)$ entsprechenden Werthe von $c\delta/k$ und ph/kq sind, so erhält die Gleichung (5) die einfache Form:

$$\Delta(1 - \eta\Delta) = a l^2 \frac{d\Sigma}{dt} + b l^2 \Sigma. \tag{6}$$

Da alle die in η eingehenden Grössen aus den Versuchen selbst hergeleitet werden können, habe ich die in dem Gliede $\eta\Delta$ enthaltene Correction für alle meine Versuche berechnen können, und es hat sich alsdann gezeigt, dass für alle besser leitende Metalle diese Correction ohne Belang ist. Dasselbe gilt auch für das schlecht leitende Neusilber, indem hier γ ausnahmsweise einen positiven Werth annimmt, dagegen beträgt die Correction für Antimon bei meinen Versuchen gegen 5 Procent, und für Wimuth sogar gegen 10 Procent, um welchen Bruchtheil der gefundene Werth von a kleiner gemacht werden muss.

Indem also $\eta \Delta$ gleich 0 gesetzt wird, erhalten wir, wenn die Versuche wie oben angegeben ausgeführt werden, zur Berechnung von a die Gleichung:

$$a\, l^2 = \frac{\Delta - \Delta'}{\frac{d\Sigma}{dt} - \frac{d\Sigma'}{dt}}\,. \tag{7}$$

Es muss noch bemerkt werden, dass aus den Versuchen die Werthe von $d\Sigma/dt$ nicht unmittelbar hervorgehen. Die Versuche sind so angestellt, dass die, gegebenen Werthen von Σ, wie Σ_0, Σ_1, Σ_2, ..., entsprechenden Zeitmomente t_0, t_1, t_2, ... bestimmt werden, indem die Σ mit constanten Differenzen zu- oder abnehmen. Wenn t der dem $\Sigma = (\Sigma_{m-1} + \Sigma_m)/2$ entsprechende Zeitmoment ist, so hat man:

$$\frac{d\Sigma}{dt} = \frac{\Sigma_m - \Sigma_{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \left(l + \frac{1}{12} \frac{b^2}{a^2} (t_m - t_{m-1})^2 + \ldots \right), \tag{8}$$

wo schon das zweite Glied der Reihenentwickelung in meinen Versuchen nur einen äusserst kleinen Werth erreicht. Dasselbe wird doch immer mit in Rechnung gezogen werden.

Die zu meinen Untersuchungen verwendeten Metalle waren: Kupfer, Magnesium, Aluminium, Cadmium, Eisen, Zinn, Blei, Antimon und Wismuth, und von Legirungen rothes und gelbes Messing und Neusilber. Aus diesen Metallen liess ich cylindrische Stangen verfertigen, die 30 cm in der Länge und 1,5 cm im Durchmesser hielten. Diese Stangen wurden mit einer Reihe von sehr feinen, nur 0,4 mm weiten Löchern durchbohrt, von welchen eins, das besonders für die Messungen der electrischen Widerstände bestimmt war, 1 cm von dem einen Ende der Stange entfernt war, während in derselben Entfernung vom anderen Ende der Stange eine Reihe von 9, um 2 cm von einander entfernten, ähnlichen Löchern anfingen, welche Löcher ich durch 0, 1, 2, ... 8 bezeichnen werde. Alle diese Löcher waren parallel und durch die Mitte der Stange gebohrt. Ausserdem war noch ein Loch zwischen 0 und 1, $\frac{1}{8}$ cm von 1 entfernt, sowie zwischen 7 und 8, $\frac{1}{8}$ cm von 7 entfernt, senkrecht zu den anderen Löchern und ein wenig excentrisch gebohrt. Ich werde diese beiden Löcher mit 1′ und 7′ bezeichnen.

In diesen Löchern wurden die Thermoelemente angebracht. Sie bestanden in der Regel aus einem 0,1 mm dicken Kupferdraht und einem 0,3 mm dicken Neusilberdraht. Die Löthstelle war mit einigen von der Seide des übersponnenen Kupferdrahtes abgewickelten Fäden umwickelt, während der dickere Uebergang des Neusilberdrahtes, wenn der Kupferdraht durch das Loch hindurch gezogen war, einen Vorsprung bildete, wodurch die Löthstelle gerade mitten in der Stange festgehalten wurde. Das Thermoelement war von der Stange vollständig isolirt, was jedesmal besonders untersucht wurde.

Zu den beiden Löchern 0 und 1, sammt 7 und 8, wurden thermoelectrische Doppelelemente benutzt, welche aus kurzen, mit den beiden Enden an Kupferdrähten angelötheten Neusilberdrähten bestanden. Diese Doppelelemente gaben also die Temperaturdifferenzen der Löcher 0 und 1, 7 und 8 an. Ausserdem wurden noch die von 0 und 7 kommenden Kupferdrähte dieser Elemente zusammengelöthet, sodass die thermoelectrische Differenz der beiden von 1 und 8 kommenden Kupferdrähte der in der obigen Rechnung durch Δ bezeichneten Temperaturdifferenz entspricht.

Ferner wurden sieben Thermoelemente in den sieben Löchern 1′, 2, 3 ... 6, 7′ angebracht und zu einer Kette verbunden, in der Weise, dass alle ausserhalb der Stange befindlichen Löthstellen während der Versuche in einem besonderen Raum, welcher auf der Temperatur der Umgebung gehalten wurde, angebracht waren. Die electrische Differenz der Endpunkte dieser Kette entsprach also der in der Gleichung (4) durch Σ bezeichneten Temperatursumme.

Die beiden von 8 und 1′ kommenden Kupferdrähte waren an einen 1 mm dicken Kupferdraht G (Taf. III Fig. 1) angelöthet, während der von 1 kommende Kupferdraht mit dem Drahte D und der von 7′ kommende Neusilberdraht mit S verbunden war. Die electrischen Differenzen zwischen G und D und zwischen G und S entsprachen also den zu messenden Temperaturgrössen Δ und Σ.

Die Stange wurde danach in den in der Figur dargestellten Erwärmungsapparat eingesetzt. Derselbe bestand aus einem geschlossenen Cylinder A (47 cm lang, 10,5 cm im Durchmesser), durch welchen ein an beiden Enden offenes, 4,3 cm weites Rohr B hindurch ging, alles aus Messing und mit starken Wanddicken. Dieser Apparat wurde entweder durch einen von a nach b gehenden Wasserstrom auf der Temperatur der Wasserleitung gehalten oder durch einen von b nach a geleiteten Dampfstrom auf 100° erwärmt. Die Stange war in das innere Rohr mittelst zwei Korkpfropfen eingesetzt, ein dritter, nicht dicht schliessender Korkpfropfen diente als Schirm und nöthigte die von dem erwärmten Ende e der Stange kommende Luft, dicht an den Röhrenwänden vorbeizustreichen. Die Thermoelemente waren durch kleine Löcher in dem an das andere Ende der Stange angebrachten Korkpfropfen hindurchgezogen, in der Weise, dass alle diejenigen Löthstellen der Thermoelemente, welche auf der Temperatur des Erwärmungsapparates gehalten werden sollten, sich in dem Raume e befanden, wo sie von lockerer Baumwolle umgeben waren. Die drei oben erwähnten Kupferdrähte D, G und S führten durch einen dicht schliessenden Korkpfropfen nach aussen.

Die electromotorischen Kräfte der Thermoelemente wurden in folgender Weise gemessen. Auf einem Tische war ein 1 mm dicker und über 5 m langer Kupferdraht so befestigt, dass das erste halbe Meter des Drahtes über einen in Millimeter eingetheilten Maassstab ausgespannt war, während der übrige Theil des Drahtes bei jedem halben Meter, vom Nullpunkte des Maassstabes an gerechnet, an dem

Tisch festgemacht war und hier einen kleinen Bügel bildete. Dieser Draht war mit einem Daniell'schen Element, einem Siemens'schen Rheostaten und einer Sinusbussole zu einer Kette verbunden.

Von dem Drahte G des Erwärmungsapparates führte eine Leitung nach einem genügend astatisch gemachten Wiedemann'schen Spiegelgalvanometer und von da ab zu dem Nullpunkt des oben beschriebenen Messdrahtes. Von den beiden anderen Drähten D und S führten zwei Leitungen zu dem am Messtische sitzenden Beobachter. Wenn eine dieser Leitungen mit einem Punkte des Messdrahtes in Berührung gebracht wird, so geht sowohl der thermoelectrische als der vom Messdrahte abgeleitete Strom durch das Galvanometer, und wenn diese beiden in dem Stromkreise erregten electromotorischen Kräfte gleich gross und entgegengesetzt sind, so wird der Galvanometerspiegel keinen Ausschlag geben. In dieser Weise waren alle Galvanometerbeobachtungen auf Nullpunktsbeobachtungen zurückgeführt, und man hat in den abgelesenen Millimetern des Messdrahtes ein Maass der electromotorischen Kräfte $\varDelta$ und $\varSigma$; und zwar wird $\varDelta$ mittelst der von D kommenden Leitung auf dem über den Maassstab ausgespannten Theil des Messdrahtes gemessen, während $\varSigma$ mittelst der Leitung von S auf dem übrigen, nur in halbe Meter eingetheilten Theil des Messdrahtes gemessen wird.

Alle Drahtleitungen, der Galvanometerdraht und der Messdraht mit einbegriffen, bestanden aus einem 1 mm dicken Kupferdraht von einer und derselben Drahtrolle, und überall, wo zwei Drahtenden durch Klemmschrauben verbunden waren, waren die Drähte selbst in unmittelbare Berührung miteinander gebracht. Die Drahtenden, welche an dem Messtische bewegt werden sollten, waren auf hölzernen Handhaben befestigt. Die Messungen wurden bei Lampenlicht, gegen welches das Galvanometer durch einen Schirm geschützt war, ausgeführt, das Tageslicht war nur sparsam und Sonnenschein gar nicht ins Beobachtungszimmer eingelassen. Das Daniell'sche Element wurde immer eine Stunde, bevor die Messungen anfingen, in die Stromkreise eingeschaltet, wodurch ein sehr constanter Strom während der Messungen erhalten wurde. Endlich waren auch die electrischen Widerstände der verschiedenen Theile des Messdrahtes genau verglichen.

Durch obige Vorsichtsmaassregeln gelang es, alle thermoelectrischen Wirkungen von den äusseren Leitungen fernzuhalten. Wenn die in dem Erwärmungsapparat angebrachte Stange nach gehöriger Zeit die Temperatur des Apparats angenommen hatte, wurden auch bei den bei gewöhnlicher Temperatur angestellten Versuchen sowohl Δ als Σ gewöhnlich gleich 0 gefunden. War dagegen der Apparat durch Wasserdampf erwärmt, so war dieses nicht mehr der Fall, und Δ und Σ mussten alsdann von den Punkten des Maassstabes gerechnet werden, welche die Messungen bei dem stationären Temperaturzustande ergeben hatten. Diese constanten thermoelectrischen Kräfte rührten zum Theil von der einseitigen Erwärmung der drei in den Erwärmungsapparat führenden dicken Kupferdrähte her, in welchen wegen der Erwärmung beim Löthen ein merkbarer thermoelectrischer Unterschied an den beiden Enden entstanden war.

Bei dem Beginn eines Versuchs ist das Rohr des Erwärmungsapparats an c mit einem Korkpfropfen verschlossen, bis die Stange die constante Temperatur des Apparats erreicht hat. Alsdann wird der Pfropfen entfernt und eine im Voraus erwärmte Stange, in der Regel die Kupferstange, wird von aussen an c geführt, und die Erwärmung der äusseren Stange wird noch während des Versuches mittelst einer kleinen Lampe um ein wenig gesteigert. Diese Erwärmung muss so geleitet werden, dass die thermoelectrische Differenz Δ schnell steigt und sich dann in einiger Zeit einigermassen constant hält. Um mit Sicherheit die Erwärmung leiten zu können, muss für eine vollständige metallische Berührung der beiden Stangen gesorgt werden, weshalb die Endfläche der äusseren Stange immer frisch amalgamirt war. Im übrigen kann ich keine allgemeine Regel für die Erwärmung geben, sie erfordert nur einige Uebung zum Gelingen des Versuches. Mehrere rationelle Erwärmungsmethoden habe ich zwar versucht, aber sie wieder verwerfen müssen. Die schlecht leitenden Stangen von Antimon und Wismuth habe ich, um die richtige Erwärmung zu erlangen, um etwas kürzer machen müssen.

Sobald die Messungen ergeben, dass Δ sich der Constanz nähert, sucht man Σ zu bestimmen, das heisst, man bringt die Spitze des von S kommenden Drahtes in tastende Berührung mit einem der am Messdraht angebrachten kleinen Bügel, die in 500, 1000, bis 5000 mm Entfernung von dem Nullpunkte angebracht sind, und beobachtet alsdann mittelst einer Pendeluhr den Zeitmoment, wo die Berührung eines dieser Bügel keinen Strom erzeugt. Dann wird Δ genau bestimmt, und wiederum wird der Zeitmoment, wenn Σ die nächste Theilung passirt, beobachtet und so fort weiter, bis entweder Δ sich nicht mehr genügend constant erhält, oder bis der höchste Punkt, 5000 mm, des Maassstabes erreicht ist. Die Erwärmung wird alsdann unterbrochen, das Rohr des Erwärmungsapparates wird wieder mit dem Korkpfropfen verschlossen, und Δ nimmt jetzt rasch ab und nähert sich dem Nullpunkte. Die Beobachtungen werden alsdann bei abnehmender Σ wie früher fortgesetzt, bis man zu der zuerst notirten niederen Grenze für Σ zurückgekommen ist. Die Berechnung einer solchen Versuchsreihe wird dann mittelst der Gleichungen (7) und (8) ausgeführt.

Um mich über die Richtigkeit der gewonnenen Resultate zu vergewissern und die möglichen Fehlerquellen zu entdecken, habe ich, bevor ich meine endlichen Messungen anfing, eine grosse Menge, in verschiedenen Weisen variirter Versuche (über 100 Beobachtungsreihen) angestellt. Es wurden Versuche theils mit dem oben beschriebenen Erwärmungsapparat, der bei den endlichen Messungen angewendet wurde, theils mit einem anderen, theils auch in freier Luft ausgeführt. In einigen Versuchen war die Stange mit Baumwolle oder Eiderdaunen umgeben. Ferner wurden Versuche bei sehr verschiedenen Erwärmungsgraden angestellt. indem der in den Stromkreis des Messdrahtes eingeschaltete Widerstand von 300 bis 50 Siemens-Einheiten variirte. Ausser den gewöhnlich benutzten Thermoelementen von Kupfer- und Neusilberdraht wurden auch Elemente von

Kupfer- und Eisendraht geprüft. Da die electromotorische Kraft der ersteren Elemente mit wachsender Temperatur grösser, bei den letzteren Elementen dagegen kleiner wird, sodass die Temperaturangaben dieser Elemente zu entgegengesetzten Seiten von der gewöhnlichen Temperaturscala abweichen, sind diese Versuche nicht ohne Interesse, weshalb ich im Folgenden eine mit Kupfer-Eisendraht ausgeführte Beobachtungsreihe mittheilen werde. Endlich habe ich auch bei den Eisen-, Neusilber- und Wismuthstangen Kupferdrähte allein, die in leitender Verbindung mit der Stange in die Löcher eingesetzt wurden, als Thermoelemente angewendet. Ich beschränke mich in Bezug auf alle diese Voruntersuchungen darauf, anzugeben, dass durchaus keine erheblichen Differenzen in den bei den verschiedenen Messungen erhaltenen Resultaten wahrgenommen wurden.

Nach Beendigung dieser sehr zeitraubenden Voruntersuchungen konnten die endlichen Messungen, die ich im Folgenden vollständig mittheilen werde, ziemlich schnell zu Ende geführt werden, da in der That die Versuche an und für sich nach einiger Uebung keine besonderen Schwierigkeiten darbieten.

Das electrische Leitungsvermögen habe ich für alle Stangen unmittelbar in absolutem Maasse bei 0° und bei 100° durch die in diesen Annalen[1]) beschriebene Methode bestimmt, durch welche Methode die Messungen kleiner Widerstände sich leicht und genau ausführen lassen. Die Stangen waren theils in Eis, theils in siedendes Wasser gebracht. Nur die Magnesiumstange und die Aluminiumstange wurden allein in dem Erwärmungsapparat auf 100° erwärmt. Auch wurden einige Beobachtungen bei der Temperatur des Zimmers gemacht, wobei die Stange allein von der Luft umgeben war. Bei gegebener Temperatur waren die Resultate ganz die nämlichen, mochte die Stange von Luft oder von Wasser umgeben sein.

Bei diesen Versuchen habe ich allein von der äusseren Drahtrolle meines Apparates Gebrauch gemacht, mit welcher

1) Lorenz, Pogg. Ann. **149.** p. 251. 1873.

Rolle ich auch einige Bestimmungen des Leitungsvermögens des Quecksilbers angestellt habe. Die Resultate stimmten mit den von mir früher gefundenen überein, indem ich wiederum einen um 2 Proc. kleineren Werth als das Committee der British Association für den absoluten Widerstand des Quecksilbers gefunden habe. Ein dazwischen liegender Werth ist von Hrn. Rowland[1]) gefunden, allein es muss dabei bemerkt werden, dass dieser und andere Beobachter nicht den Widerstand des Quecksilbers unmittelbar bestimmt haben, sondern allein den Widerstand der Siemens'schen Copien, welche durch Vergleichung mit verhältnissmässig dünnen Quecksilbersäulen erhalten sind.

Ich benutze diese Gelegenheit zu einem kleinen Zusatz zu meiner oben citirten Abhandlung, wo ich (p. 262) einfach eine eigenthümliche Inductionswirkung auf die Galvanometernadel ohne Erklärung notirt habe. Diese Induction rührt von der Wirkung der Drahtrolle auf den nächstliegenden Theil der zum Galvanometer führenden Leitung her. Wenn diese Leitung zu der Drahtrolle senkrecht auf deren Windungen geführt wird, so hört die besagte Wirkung auf.

Die Bestimmungen der specifischen Gewichte wurden bei gewöhnlicher Temperatur ausgeführt, und indem ich die Ausdehnungscoëfficienten als bekannt voraussetzte sind danach die specifischen Gewichte bei 0° und 100° berechnet. Diese Versuche sowie die nächstfolgenden wurden mit 6 cm langen, von den Stangen abgeschnittenen Stücken ausgeführt.

Endlich habe ich auch alle Wärmecapacitäten bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Der für diese Versuche eingerichtete Erwärmungsapparat bestand aus einem 156 mm hohen, 55 mm im Durchmesser haltenden Cylinder aus Kupfer, in dessen Deckel ein unten verschlossenes, 128 mm langes, 27 mm weites Rohr befestigt war. Der Cylinder enthielt Aethylalkohol oder Amylalkohol, der in stetigem Sieden gehalten wurde, indem die Dämpfe in einem spiralförmigen Glasrohre verdichtet wurden, und die

1) Rowland, Sill. Journ. **15.** p. 281. 1878.

Flüssigkeit zum Cylinder zurückkehrte. Das zu untersuchende Stück einer der Stangen wurde in das innere Rohr eingebracht und in dieser Weise auf nahezu 78 oder 131° erwärmt. Endlich wurde auch in demselben Apparate, durch Einsetzung desselben in eine Kältemischung von Eis und Kochsalz, die kleine Stange bis auf die Temperatur desselben abgekühlt. Wenn eine constante Temperatur erreicht war, wurde der Erwärmungsapparat mittelst einer Handhabe zu dem Calorimeter geführt, in welches die kleine Stange schnell gestürzt wurde. Im übrigen wurde in gewöhnlicher Weise verfahren. Da die Temperatur des Zimmers bei diesen Messungen nahezu 20° betrug, waren die den gefundenen Wärmecapacitäten entsprechenden mittleren Temperaturen sehr nahe 0°, 50°, 75°. Bei jeder dieser drei Temperaturen wurden wenigstens zwei Beobachtungen gemacht. Die gefundenen mittleren Werthe werden in dem Folgenden mitgetheilt.

Aus diesen Beobachtungen habe ich die Wärmecapacitäten c_0 und c_{100} bei 0 und 100° durch die Formeln:

$$c_0 = c + 0{,}45\,\varepsilon - 0{,}30\,\varepsilon' \qquad c_{100} = c + 0{,}20\,\varepsilon + 1{,}20\,\varepsilon'$$

berechnet, indem durch c, $c+\varepsilon$, $c+\varepsilon'$ die mittleren Werthe der den Temperaturen 0°, 50°, 75° entsprechenden beobachteten Wärmecapacitäten bezeichnet werden. Die obigen Formeln sind mittelst der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, wobei die Gewichte der gefundenen Werthe von c, $c+\varepsilon$ und $c+\varepsilon'$ bezüglich gleich 1, 2 und 3, 4 geschätzt wurden.

In den folgenden Tabellen habe ich die Resultate der ausgeführten Messungen in der Reihenfolge zusammengestellt, in welcher die Beobachtungen über die Wärmeleitung angestellt wurden. ϑ ist die Temperatur des Erwärmungsapparates, die in erster Linie angegebenen Werthe von Δ und Σ sind die auf den Messdraht in Millimetern gemessenen constanten Temperaturen beim Anfange des Versuches, W ist der Widerstand im Stromkreise des Messdrahtes. Dieser Widerstand betrug gewöhnlich 102 S.-E., wobei 1° C. 48 mm des Messdrahtes bei 0° und 58,5 mm bei 100° entspricht. Die erste verticale Reihe der Tabelle enthält die mittleren Werthe $\frac{1}{2}(\Sigma_{m-1} + \Sigma_m)$ von zwei nacheinander folgenden beobachteten Werthen von Σ, die zweite Reihe enthält die zwischen diesen beiden Beobachtungen verflossene Anzahl Secunden (t), durch welche die in der dritten Reihe angegebenen Werthe von $d\Sigma/dt$ mittelst der Gleichung (8) berechnet sind, welche Gleichung bis auf eine kleine Correction $d\Sigma/dt = 500/t$ gibt. Die vierte Verticalreihe enthält die beobachteten Werthe von Δ. Die drei folgenden Reihen enthalten die entsprechenden, bei der nachfolgenden Erkältung gefundenen Grössen, wobei Σ dieselben Werthe rückwärts durchläuft. Endlich enthält die achte Verticalreihe die mittelst der Gleichung (7) berechneten Werthe von al^3, wo $l = 2$, während in der letzten Reihe die Werthe von $10^5 b/a$ mittelst der Gleichung:

$$\frac{b}{a} = -\frac{\frac{d\Sigma'}{dt}}{\Sigma} + \frac{\Delta'}{4a\Sigma}$$

berechnet sind. Es mag bemerkt werden, dass hier Δ und Σ von den beim Anfange der Beobachtungen bestimmten festen Punkten gerechnet werden müssen, während die Werthe von a von diesen Punkten unabhängig sind. Als absolute Einheiten sind hier überall das Gramm als Masseneinheit, das Centimeter als Längeneinheit und die Secunde als Zeiteinheit angenommen worden.

Zinn.

1. $\vartheta = 6{,}0°$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
1250	153	3,27	45	513	0,99	0	10,56	79
1750	187	2,67	44	376	1,34	1	10,72	82
2250	247	2,05	43	308	1,64	5	10,30	94
2. $\vartheta = 6{,}4°$,			$\Delta = 0$,		$\Sigma = 0$,		$W = 102$ S.-E.	
3250	109	4,59	82	178	2,82	5	10,39	102
3750	116	4,31	85	155	3,23	5	10,61	99
4250	114	4,40	90	141	3,55	9	10,19	105
3. $\vartheta = 8{,}2°$,			$\Delta = 0$,		$\Sigma = -30$,		$W = 102$ S.-E.	
2250	98	5,10	73	265	1,90	−2	10,71	76
2750	105	4,76	72	213	2,36	−3	10,53	76
3250	114	4,39	70	183	2,74	−3	10,24	75
3750	130	3,85	71	153	3,27	−3	10,39	79
4250	130	3,85	74	147	3,41	0	10,19	80

4. $\vartheta = 100^0$, $\Delta = 22$, $\Sigma = 700$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a} \cdot 10^5$
2250	120	4,17	88	320	1,57	22	11,54	101
2750	135	3,71	90	258	1,95	23	11,84	100
3250	160	3,18	90	214	2,34	25	11,88	102
3750	216	2,32	87	198	2,53	30	11,75	106
5. $\vartheta = 100^0$,	$\Delta = -27$,		$\Sigma = 1500$,		$W = 102$ S.-E.			
3750	61	8,20	93	218	2,31	−27	11,42	103
4250	68	7,35	97	170	2,95	−27	12,02	108
4750	70	7,14	96	170	2,95	−22	11,70	104

Die drei Beobachtungsreihen 1, 2 und 4 sind mit thermoelectrischen Elementen von Kupfer-Eisendraht ausgeführt, während bei den anderen sowohl als bei allen folgenden Beobachtungen Elemente von Neusilber-Kupferdraht angewendet sind. Als Mittel aus den Reihen 1, 2 und 3 ergibt sich:

$$4a = 10{,}44 \text{ bei } 16^0 \text{ C.},$$

und aus den Reihen 4 und 5:

$$4a = 11{,}74 \text{ bei } 106^0 \text{ C.}$$

Die hieraus berechneten, den Temperaturen 0 und 100^0 entsprechenden Werthe von $4a$ sind:

$$4a_0 = 10{,}21, \qquad 4a_{100} = 11{,}64.$$

Die beobachteten Wärmecapacitäten sind:

bei 0^0 0,05368, bei 50^0 0,05534, bei 75^0 0,05643,

woraus mittelst der Gleichungen (9):

$$c_0 = 0{,}05360, \qquad c_{100} = 0{,}05731$$

erhalten wird.

Die 0 und 100^0 entsprechenden Dichtigkeiten sind:

$$\delta_0 = 7{,}276, \qquad \delta_{100} = 7{,}226,$$

woraus: $c_0\delta_0 = 0{,}3900$, $c_{100}\delta_{100} = 0{,}4141$.

Die Wärmeleitungsvermögen bei 0 und 100^0 sind demnach:

$$k_0 = \frac{c_0\delta_0}{a_0} = 0{,}1528, \qquad k_{100} = \frac{c_{100}\delta_{100}}{a_{100}} = 0{,}1423, \qquad \frac{k_0}{k_{100}} = 1{,}074.$$

Die bei 0 und 100^0 beobachteten electrischen Leitungsvermögen sind:

$$\varkappa_0 = 9{,}346 \,.\, 10^{-5}, \qquad \varkappa_{100} = 6{,}524 \,.\, 10^{-5}, \qquad \frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}433,$$

woraus:

$$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1635, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2181, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}334.$$

Eisen.

1. $\vartheta = 9{,}8^0$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 114$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
2250	86	5,81	141	553	0,91	2	20,62	40
2750	84	5,95	144	440	1,14	2	20,03	41
3250	90	5,56	144	366	1,37	2	20,50	42
3750	90	5,56	146	308	1,62	2	20,06	43
4250	94	5,32	149	268	1,87	4	20,17	46
4750	99	5,05	151	240	2,08	8	20,06	50
2. $\vartheta = 100^0$,		$\Delta = -13$,		$\Sigma = 300$,		$W = 62$ S.-E.		
2750	180	2,78	77	510	0,98	−8	22,60	49
3250	202	2,48	79	393	1,27	−6	22,67	54
3750	238	2,10	79	347	1,44	−2	22,88	56
4250	290	1,72	79	308	1,62	+3	22,35	59

Mittel aus 1: $4a = 20{,}24$ bei 19^0.
Mittel aus 2: $4a = 22{,}73$ bei 114^0.
Hieraus: $4a_0 = 19{,}74$, $4a_{100} = 22{,}34$.

Die Wärmecapacitäten sind:
bei 0^0 0,1050, bei 50^0 0,1107, bei 75^0 0,1136,
woraus: $c_0 = 0{,}1050$, $c_{100} = 0{,}1165$.

Ferner sind:

$\delta_0 = 7{,}828$, $\delta_{100} = 7{,}799$, $c_0\delta_0 = 0{,}8219$, $c_{100}\delta_{100} = 0{,}9086$,

$k_0 = 0{,}1665$, $k_{100} = 0{,}1627$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 1{,}023$,

$\varkappa_0 = 10{,}374 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 6{,}628 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}565$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1605$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2455$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}530$.

Neusilber.

1. $\vartheta = 9{,}6^0$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 240$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
2750	157	3,18	194	425	1,18	4	43,58	51
3250	167	2,99	193	375	1,33	6	43,29	49
3750	176	2,84	192	340	1,47	8	42,69	47
4250	202	2,48	191	320	1,56	20	42,33	51
2. $\vartheta = 10{,}3^0$,		$\Delta = 5$,		$\Sigma = 100$,		$W = 102$ S.-E.		
2750	146	1,42	207	442	1,13	13	42,64	50
3250	140	3,57	222	396	1,26	18	42,24	50
3750	159	3,14	221	380	1,32	30	42,83	50

3. $\vartheta = 100^0$, $\varDelta = -29$, $\Sigma = 350$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3750	73	6,85	269	392	1,28	−15	34,93	49
4250	73	6,85	281	345	1,45	−13	35,42	49
4750	74	6,76	288	275	1,82	−11	34,85	53
4. $\vartheta = 100^0$,		$\varDelta = -21$,		$\Sigma = 1100$,		$W = 102$ S.-E.		
3750	276	1,81	94	432	1,16	−13	36,03	52
4250	298	1,68	96	400	1,25	−7	35,15	52
4750	362	1,38	100	386	1,30	+3	36,19	53

Mittel aus 1 und 2: $4a = 42,80$ bei 19^0.
Mittel aus 3 und 4: $4a = 35,43$ bei 108^0.
Hieraus: $4a_0 = 44,37$, $4a_{100} = 36,09$.

Die Wärmecapacitäten sind:
bei 0^0 0,09153, bei 50^0 0,09292, bei 75^0 0,09401,
woraus: $c_0 = 0,09141$, $c_{100} = 0,09467$.

Ferner sind:

$\delta_0 = 8,499$, $\delta_{100} = 8,457$, $c_0\delta_0 = 0,7769$, $c_{100}\delta_{100} = 0,8006$,

$k_0 = 0,07004$, $k_{100} = 0,08874$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 0,7893$,

$\varkappa_0 = 3,766\,.\,10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 3,632\,.\,10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1,037$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1858$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2443$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1,314$.

Kupfer.

1. $\vartheta = 11,2^0$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = 50$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
1250	186	2,69	15	985	0,52	1	4,36	64
1750	162	3,09	18	680	0,74	2	4,18	72
2250	156	3,21	22	512	0,98	3	4,54	75
2750	154	3,25	24	406	1,24	4	4,45	79
3250	150	3,34	27	334	1,50	5	4,55	81
3750	156	3,21	29	288	1,74	6,5	4,55	86
4250	153	3,27	32	246	2,04	8,5	4,43	94
4750	150	3,34	35	224	2,23	10,5	4,40	98
2. $\vartheta = 100^0$,		$\varDelta = 3$,		$\Sigma = 150$,		$W = 52$ S.-E.		
3250	99	5,05	39	287	1,75	7,5	4,63	88
3750	101	4,95	40	250	2,01	8	4,60	86
4250	107	4,68	41	220	2,28	9	4,60	87

Mittel aus 1: $4a = 4,43$ bei 19^0.
Mittel aus 2: $4a = 4,61$ bei 117^0.

Hieraus: $4a_0 = 4,40$, $4a_{100} = 4,58$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0° 0,08988, bei 50° 0,09169, bei 75° 0,09319,

woraus: $c_0 = 0,08970$, $c_{100} = 0,09421$.

Ferner:

$\delta_0 = 8,827$, $\delta_{100} = 8,783$, $c_0\delta_0 = 0,7918$, $c_{100}\delta_{100} = 0,8274$,

$k_0 = 0,7198$, $k_{100} = 0,7226$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 0,996$,

$\varkappa_0 = 45,74 . 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 33,82 . 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1,352$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1574$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2137$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1,358$.

Blei.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	4a	$\frac{b}{a} \cdot 10^5$
1. $\vartheta = 11,0°$,		$\varDelta = 0$,		$\Sigma = -50$,		$W = 102$ S.-E.		
1750	84	5,95	136	273	1,84	4	16,94	115
2250	86	5,81	140	211	2,38	5	16,48	116
2750	99	5,05	145	175	2,86	8	17,30	118
2. $\vartheta = 12,1°$,		$\varDelta = 0$,		$\Sigma = 0$,		$W = 102$ S.-E.		
2250	142	3,53	105	210	2,39	5,5	16,81	121
2750	149	3,36	114	174	2,88	8	16,99	122
3250	162	3,09	120	146	3,43	11	16,71	126
3750	183	2,74	129	126	3,97	17	16,68	133
3. $\vartheta = 100°$,		$\varDelta = -35$,		$\Sigma = 500$,		$W = 102$ S.-E.		
1750	111	4,51	78	380	1,33	−30	18,49	129
2250	132	3,79	79	263	1,91	−24	18,05	145
4. $\vartheta = 100°$,		$\varDelta = -35$,		$\Sigma = 630$,		$W = 102$ S.-E.		
3250	233	2,16	76	112	4,47	−42	17,80	156
3750	273	1,84	84	94	5,32	−44	17,88	155

Mittel aus 1 und 2: $4a = 16,84$ bei 19°.

Mittel aus 3 und 4: $4a = 18,05$ bei 105°.

Hieraus: $4a_0 = 16,57$, $4a_{100} = 17,98$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0° 0,03067, bei 50° 0,03092, bei 75° 0,03071,

woraus: $c_0 = c_{100} = 0,03077$.

Ferner:

$\delta_0 = 11,257$, $\delta_{100} = 11,163$, $c_0\delta_0 = 0,3464$, $c_{100}\delta_{100} = 0,3435$.

$k_0 = 0{,}08362$, $k_{100} = 0{,}07642$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 1{,}094$,

$\varkappa_0 = 5{,}141 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 3{,}602 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}427$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1627$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2122$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}304$.

Messing (rothes).

1. $\vartheta = 12{,}7^0$, $\Delta = 0$, $\Sigma = -42$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a} \cdot 10^5$
2250	110	4,55	70	558	0,90	3	12,29	50
2750	111	4,50	73	406	1,24	4	12,02	56
3250	108	4,63	77	348	1,44	5	11,86	56
3750	114	4,39	80	284	1,76	6	12,03	59
2. $\vartheta = 100^0$,		$\Delta = -14{,}5$,		$\Sigma = -273$,		$W = 102$ S.-E.		
1750	90	5,56	65	460	1,10	−12	11,56	65
2250	86	5,81	68	318	1,58	−14	11,10	64
2750	83	6,02	72	194	2,58	−21	10,81	65
3250	80	6,25	77	131	3,82	−30	10,63	67

In der letzteren Beobachtungsreihe ist die Erkältung der Stange durch eine kurzdauernde Berührung mit einer kalten Stange beschleunigt.

Mittel aus 1: $4a = 12{,}05$ bei 21^0.

Mittel aus 2: $4a = 11{,}02$ bei 107^0.

Hieraus: $4a_0 = 12{,}29$ $4a_{100} = 11{,}10$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0^0 0,08991, bei 50^0 0,09224, bei 75^0 0,09396,

woraus: $c_0 = 0{,}09005$, $c_{100} = 0{,}09396$.

Ferner:

$\delta_0 = 8{,}395$, $\delta_{100} = 8{,}348$,

$c_0\,\delta_0 = 0{,}7559$, $c_{100}\,\delta_{100} = 0{,}7844$,

$k_0 = 0{,}2460$, $k_{100} = 0{,}2827$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 0{,}8704$,

$\varkappa_0 = 15{,}75 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 13{,}31 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}183$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1562$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2123$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}360$.

Messing (gelbes).

1. $\vartheta = 12{,}0^\circ$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 173$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3250	65	7,69	143	324	1,56	11	14,27	76
3750	66	7,58	147	264	1,90	16	13,82	86
4250	67	7,46	150	204	2,46	18	13,31	93
2. $\vartheta = 10{,}3^\circ$,	$\Delta = 0$,	$\Sigma = 120$,	$W = 102$ S.-E.					
2250	304	1,66	44	505	1,00	8	13,53	75
3. $\vartheta = 100^\circ$,	$\Delta = -6$,	$\Sigma = 550$,	$W = 102$ S.-E.					
2750	170	2,94	47	367	1,37	−5	12,05	66
3250	192	2,61	48	307	1,63	−3	12,03	69
3750	226	2,22	48	266	1,88	0	11,71	74
4250	275	1,82	48	255	1,96	4	11,64	76

Mittel aus 1 und 2: $4a = 13{,}73$ bei 20°.
Mittel aus 3: $4a = 11{,}86$ bei 107°.
Hieraus: $4a_0 = 14{,}16$, $4a_{100} = 12{,}01$.

Die Wärmecapacitäten sind:
bei 0° 0,08833, bei 50° 0,09218, bei 75° 0,09265,
woraus: $c_0 = 0{,}08876$, $c_{100} = 0{,}09428$.

Ferner:

$$\delta_0 = 8{,}140,\quad \delta_{100} = 8{,}090,\quad c_0\,\delta_0 = 0{,}7225,\quad c_{100}\,\delta_{100} = 0{,}7627,$$

$$k_0 = 0{,}2041\quad k_{100} = 0{,}2540,\quad \frac{k_0}{k_{100}} = 0{,}8035,$$

$$\varkappa_0 = 12{,}625\,.\,10^{-5},\quad \varkappa_{100} = 11{,}00\,.\,10^{-5},\quad \frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}148,$$

$$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1617,\quad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2309,\quad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}428,$$

Magnesium.

1. $\vartheta = 10{,}9^\circ$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 210$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3750	63	7,94	56	153	3,27	2	4,82	104
4250	66	7,58	59	132	3,79	3	4,93	109
4750	63	7,94	61	115	4,35	4	4,64	115
2. $\vartheta = 10{,}8^\circ$,	$\Delta = 0$,	$\Sigma = 50$,	$W = 102$ S.-E.					
1250	121	4,13	23,5	514	0,99	0	4,59	82
1750	118	4,24	24,5	368	1,37	0	4,37	81
2250	124	4,03	26,5	268	1,88	0,5	4,40	90
2750	132	3,79	28	226	2,22	1	4,51	90
3250	137	3,65	30	190	2,64	2	4,45	97
3750	150	3,34	32	152	3,30	2	4,52	101

3. $\vartheta = 100^\circ$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = -20$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
2750	184	2,72	28,5	173	2,89	1,5	4,81	114
3250	204	2,45	30	145	3,45	2,5	4,66	121
3750	235	2,13	31,5	124	4,03	3	4,63	123
4250	273	1,83	30,5	122	4,10	4,5	4,38	119
			4. $\vartheta = 100^\circ$, $\varDelta = -2$, $\Sigma = 0$, $W = 52$ S.-E.					
3250	81	6,17	44	148	3,38	−2	4,82	104
3750	96	5,21	40,5	125	4,00	−2	4,61	107
4250	129	3,88	38	119	4,20	−1,5	4,89	101
4750	166	3,01	35,5	105	4,76	+1,5	4,38	117

Die letztere Beobachtungsreihe ist nicht bei Erwärmung, sondern mittelst Erkältung ausgeführt, indem die äussere Stange nur bis auf 80° erwärmt war und während des Versuches frei in der Luft erkaltete. Der Strom im Messdrahte war deshalb hier umgekehrt.

Mittel aus allen Beobachtungen: $4a = 4{,}612$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0° 0,2456, bei 50° 0,2519, bei 75° 0,2509,

woraus: $c_0 = c_{100} = 0{,}2503$.

Ferner: $\delta_0 = 1{,}739$, $\delta_{100} = 1{,}725$, $c\delta = 0{,}4335$,

$$k_0 = k_{100} = 0{,}3760$$

$$\varkappa_0 = 24{,}47 \,.\, 10^{-5}, \qquad \varkappa_{100} = 17{,}50 \,.\, 10^{-5}, \qquad \frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}398,$$

$$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1537, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2149, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}398.$$

Aluminium.

1. $\vartheta = 13{,}7^\circ$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3750	61	8,20	72	202	2,48	3,5	6,41	81
4250	63	7,94	73	181	2,76	3,5	6,31	85
			2. $\vartheta = 14{,}0^\circ$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 120$ S.-E.					
2750	85	5,88	52	303	1,65	2	6,64	71
3250	88	5,68	54	243	2,06	3	6,59	77
3750	94	5,32	55	212	2,36	4	6,64	79
4250	96	5,21	57	164	3,05	4,5	6,35	88
4750	97	5,15	58	180	2,78	7,5	6,37	83

3. $\vartheta = 100^\circ$, $\Delta = -15$, $\Sigma = 220$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3750	94	5,32	41	209	2,37	−11	6,76	84
4250	92	5,43	44	181	2,76	−10	6,59	87
4750	92	5,43	47	167	2,99	− 9	6,65	86
4. $\vartheta = 100^\circ$, $\Delta = -5,5$, $\Sigma = 320$, $W = 52$ S.-E.								
3250	221	2,27	23,5	216	2,32	− 5,5	6,32	79
3750	290	1,73	23,5	191	2,62	− 5	6,55	79
4250	388	1,30	23	177	2,83	− 4	6,44	78

Mittel aus allen Beobachtungen: $4a = 6{,}517$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0° 0,2055, bei 50° 0,2088, bei 75° 0,2144,

woraus: $c_0 = 0{,}2043$, $c_{100} = 0{,}2168$.

Ferner:

$\delta_0 = 2{,}739$, $\delta_{100} = 2{,}720$, $c_0\,\delta_0 = 0{,}5596$, $c_{100}\,\delta_{100} = 0{,}5897$,

$k_0 = 0{,}3435$, $k_{100} = 0{,}3619$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 0{,}9489$,

$\varkappa_0 = 22{,}46 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 17{,}31 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}297$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1529$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2091$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}367$.

Cadmium.

1. $\vartheta = 13{,}3^\circ$, $\Delta = -1$, $\Sigma = -70$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
1250	67	7,46	71	566	0,90	−1	8,61	68
1750	71	7,04	74	396	1,27	−1	9,03	70
2250	71	7,04	76	303	1,66	−1	8,85	72
2750	72	6,94	78	245	2,05	−1	8,79	73
3250	74	6,76	81	200	2,50	−1	8,86	75
3750	74	6,76	85	178	2,81	0	8,88	77
4250	75	6,67	88	156	3,21	1	8,81	80
2. $\vartheta = 14{,}7^\circ$, $\Delta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 52$ S.-E.								
1750	68	7,35	78	385	1,30	0	9,02	74
2250	74	6,76	78	286	1,75	0	9,16	78
2750	81	6,17	75	228	2,19	0	8,97	80
3250	98	5,10	71	197	2,54	2	9,03	85
3750	123	4,07	67	181	2,76	5	9,08	88
3. $\vartheta = 14{,}8^\circ$, $\Delta = 0$, $\Sigma = -40$, $W = 102$ S.-E.								
1250	88	5,68	58	548	0,93	0	8,77	72
1750	95	5,26	59	378	1,33	0	8,98	74
2250	114	4,39	56	287	1,75	0,5	9,04	78
2750	140	3,57	52	235	2,13	1	8,95	80

4. $\vartheta = 100^0$, $\Delta = -33{,}5$, $\Sigma = 1100$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3250	67	7,46	55	290	1,73	−33,5	9,63	80
3750	60	8,33	62	236	2,12	−33,5	9,14	80
4250	65	7,69	64	196	2,55	−33,5	9,52	81
4750	67	7,46	69	153	3,27	−33,5	9,55	90
5. $\vartheta = 100^0$.	$\Delta = -17$,		$\Sigma = 550$,		$W = 52$ S.-E.			
3250	133	3,76	39,5	215	2,33	−17	9,28	86
3750	149	3,36	42,5	185	2,70	−15,5	9,57	89
4250	187	2,67	43	163	3,07	−13	9,76	94

Mittel aus 1, 2 und 3: $4a = 8{,}927$ bei 24^0.
Mittel aus 4 und 5: $4a = 9{,}493$ bei 110^0.

Hieraus: $4a_0 = 8{,}769$, $4a_{100} = 9{,}427$.

Die Wärmecapacitäten sind:
bei 0^0 0,05562, bei 50^0 0,05643, bei 75^0 0,05607,
woraus:

$$c_0 = 0{,}05585, \qquad c_{100} = 0{,}05632.$$

Ferner:
$\delta_0 = 8{,}638$, $\delta_{100} = 8{,}556$, $c_0\delta_0 = 0{,}4824$, $c_{100}\delta_{100} = 0{,}4819$,

$$k_0 = 0{,}2200, \qquad k_{100} = 0{,}2045, \qquad \frac{k_0}{k_{100}} = 1{,}076,$$

$$\varkappa_0 = 14{,}41 \,.\, 10^{-5}, \qquad \varkappa_{100} = 10{,}18 \,.\, 10^{-5}, \qquad \frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}415,$$

$$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1527, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2009, \qquad \frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}315.$$

Antimon.

1. $\vartheta = 16{,}5^0$, $\Delta = 0$, $\Sigma = -60$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	Δ	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	Δ'	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
1750	138	3,63	174	274	1,84	0	31,81	102
2250	162	3,09	179	195	2,57	0	31,63	111
2750	192	2,61	181	165	3,04	2	31,68	112
2. $\vartheta = 15{,}1^0$,	$\Delta = 0$,		$\Sigma = 180$,		$W = 102$ S.-E.			
2750	89	5,62	278	156	3,21	0	31,47	125
3250	93	5,38	294	138	3,63	5	32,07	123
3750	100	5,00	304	115	4,35	8	31,64	129
4250	112	4,47	308	107	4,68	16	31,93	127

3. $\vartheta = 100^0$, $\varDelta = -2$, $\Sigma = 800$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
3250	133	3,77	257	121	4,14	−15	34,38	154
3750	141	3,56	276	107	4,68	−11	34,84	150
4250	168	2,99	291	90	5,56	− 6	34,73	160
4750	197	2,55	301	87	5,75	+12	34,78	158

Mittel aus 1 und 2: $4a = 31,75$ bei 24^0.

Mittel aus 3: $4a = 34,68$ bei 108^0.

Hieraus: $4a_0 = 30,91$, $4a_{100} = 34,40$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0^0 0,05162, bei 50^0 0,05174, bei 75^0 0,05070,

woraus: $c_0 = c_{100} = 0,05120$.

Ferner:

$\delta_0 = 6,673$, $\delta_{100} = 6,653$, $c_0\delta_0 = 0,3417$, $c_{100}\delta_{100} = 0,3406$,

$k_0 = 0,04421$, $k_{100} = 0,03961$, $\frac{k_0}{k_{100}} = 1,116$,

$\varkappa_0 = 2,199 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 1,522 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1,445$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 2011$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2603$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1,294$.

Wismuth.

1. $\vartheta = 16,1^0$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 102$ S.-E.

Σ	t	$\frac{d\Sigma}{dt}$	$\varDelta$	t	$-\frac{d\Sigma'}{dt}$	$\varDelta'$	$4a$	$\frac{b}{a}\cdot 10^5$
2300	96	5,22	577	180	2,79	14	70,3	130
2800	112	4,47	583	150	3,34	28	71,1	133
2. $\vartheta = 15,8$, $\varDelta = 0$, $\Sigma = 0$, $W = 102$ S.-E.								
2400	105	4,77	551	178	2,82	12	71,0	125
2900	133	3,77	547	134	3,74	16	70,7	137
3400	181	2,78	528	109	4,60	0	71,5	135
3900	310	1,64	511	88	5,69	−10	71,1	142
3. $\vartheta = 100^0$, $\varDelta = -4$, $\Sigma = 340$, $W = 102$ S.-E.								
1900	159	3,16	440	169	2,98	−30	76,5	169
2400	196	2,57	453	126	3,98	−48	77,0	164
4. $\vartheta = 100^0$, $\varDelta = -4$, $\Sigma = 380$, $W = 102$ S.-E.								
1900	176	2,85	408	223	2,26	21	75,7	170
2400	244	2,07	421	178	2,82	43	77,3	169
2900	424	1,22	422	152	3,30	70	77,9	166

Mittel aus 1 und 2: $4a = 70{,}95$ bei 25^0.
Mittel aus 3 und 4: $4a = 76{,}88$ bei 105^0.

Hieraus: $4a_0 = 69.10$, $4a_{100} = 76{,}51$.

Die Wärmecapacitäten sind:

bei 0^0 0.03013, bei 50^0 0,03066, bei 75^0 0,03090,

woraus: $c_0 = 0.03014$, $c_{100} = 0{,}03116$.

Ferner:

$\delta_0 = 9{,}746$, $\delta_{100} = 9{,}707$, $c_0\delta_0 = 0.2937$, $c_{100}\delta_{100} = 0{,}3025$,

$k_0 = 0{,}01700$ $k_{100} = 0{,}01581$. $\frac{k_0}{k_{100}} = 1{,}071$,

$\varkappa_0 = 0.9293 \,.\, 10^{-5}$, $\varkappa_{100} = 0{,}6299 \,.\, 10^{-5}$, $\frac{\varkappa_0}{\varkappa_{100}} = 1{,}475$,

$\frac{k_0}{\varkappa_0} = 1830$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} = 2510$, $\frac{k_{100}}{\varkappa_{100}} : \frac{k_0}{\varkappa_0} = 1{,}372$.

(Fortsetzung im nächsten Hefte.)

IV. *Die specifische Wärme flüssiger organischer Verbindungen und ihre Beziehung zu deren Moleculargewicht; von M. A. von Reis.*

(Habilitationsschrift.)

Die physikalischen Eigenschaften der chemischen Verbindungen nehmen mehr und mehr die Aufmerksamkeit der Forscher in Anspruch, es sind besonders die organischen Verbindungen, deren Untersuchung Thatsachen von grossem Werthe für die theoretische Chemie zu Tage gefördert haben.

Die Frage über die Constitution der organischen Verbindungen tritt immer mehr in den Vordergrund, man ist zur Einsicht gekommen, dass diese wichtige Frage nicht auf rein chemischem Wege gelöst werden kann. Hier stellt sich nun die Physik dem Forscher hülfreich zur Seite, und zeigen die in letzterer Zeit recht zahlreichen physikalisch-chemischen Arbeiten, dass man anfängt, diese Hülfe zu würdigen.

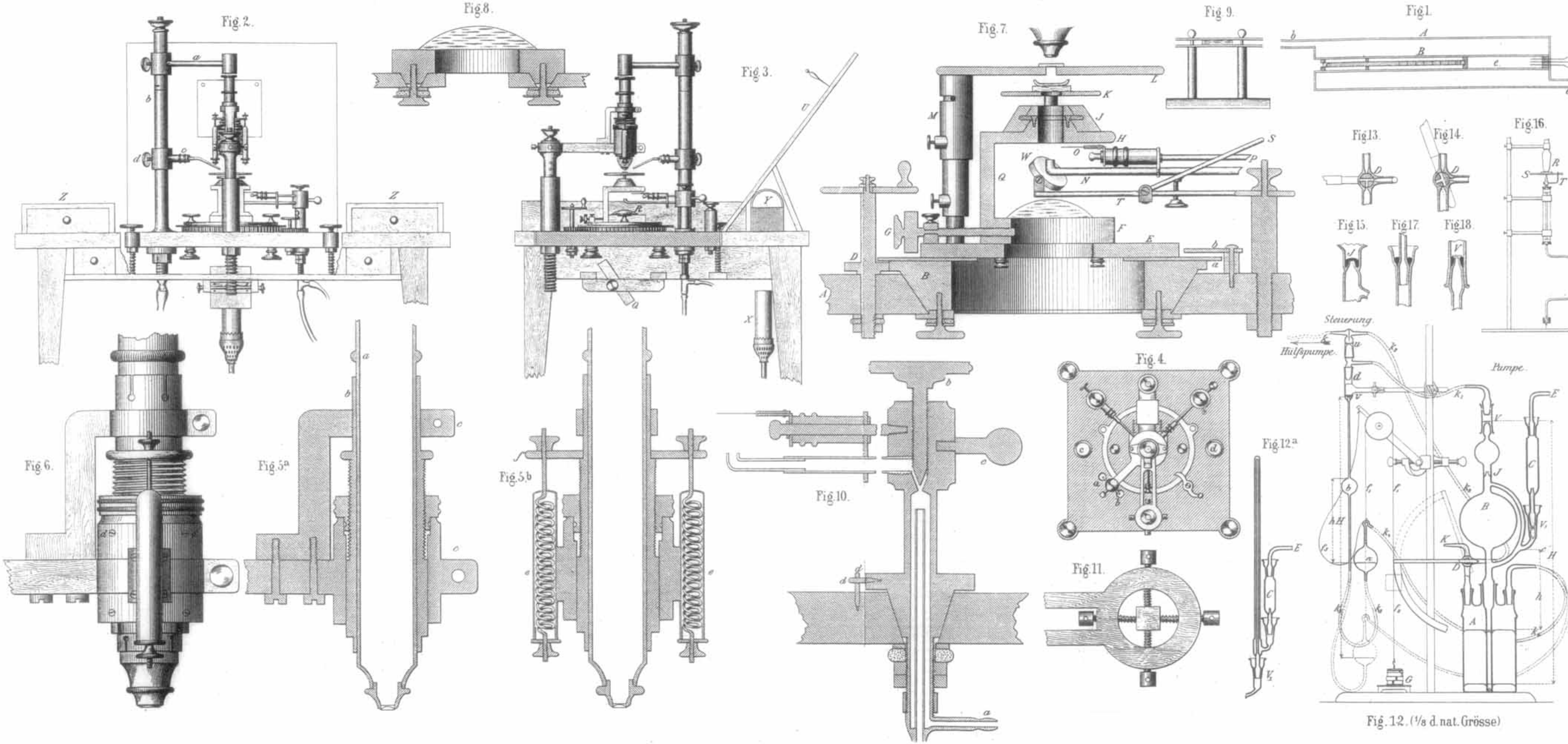

Fig. 12. (1/8 d. nat. Grösse)

L. Lorenz Fig. 1. O. Lehmann Fig. 2-11. A. Schuller Fig. 12-18.