**6. Über den Einfluß des Druckes auf die thermoelektrische Stellung des Quecksilbers und der eutektischen Kalium-Natrium-Legierung;
von Heinrich Hörig.**

(Gekürzte Leipziger Inaugural-Dissertation 1908.)

Bezeichnungen.

- E.M.K. allgemeine Bezeichnung für elektromotorische Kraft.
 e E.M.K. des Thermoelementes.
 $e(\Delta t, \Delta p)$ Zuwachs der E.M.K. des Thermoelementes durch den Druck.
 e_1 Volt pro mm Galvanometerausschlag („Empfindlichkeit“).
 a_0, A, b, B, c, w Widerstände, vgl. Fig. 4.
 $a = a_0$ + Widerstand des Akkumulators und der Leitungen des diesbezüglichen Stromkreises.
 b_0 der kleinere Wert von b bei Bestimmung von e_1 .
 $N = a b + (a + b)(c + w)$.
 p Überdruck in kg/cm^{-2} über den Atmosphärendruck, schlechthin als Druck bezeichnet.
 p_0 Anfangsdruck.
 p_d der zu dem Galvanometerausschlage d gehörige Druck.
 t Temperatur der heißen Lötstelle des Thermoelementes.
 t_0 Temperatur der kalten Lötstelle des Thermoelementes.
 Δ bezeichnet eine Differenz.
 d_1 Galvanometerausschlag auf wachsende Zahlen.
 d_2 Galvanometerausschlag auf abnehmende Zahlen.
 $d_m = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$.
 $S(p)$ Störungsfunktion, vgl. Fig. 7.
 s die durch $S(p)$ gegebene Korrekptionsgröße d_m .
 $d = d_m + s$.
 τ Zeit in Minuten.
 γ ist definiert durch die Gleichung $e = \gamma \cdot \Delta t \cdot \Delta p$ Volt.
 Indizes I und II deuten die Kommutatorstellungen I und II an.
 V.F.G. Versuchsfehlergrenzen.

„Ausschlagskurven“ = Galvanometerausschlag als Funktion der Zeit τ . (τ horizontal, 1 cm = 1 Min.; Skalenablesung in natürlicher Größe vertikal; vgl. Figg. 5, 6, 7). Je nachdem

die Ausschläge aufgenommen wurden beim Drucke p_0 , p oder bei den Empfindlichkeitsbestimmungen, sind sie bezeichnet mit

$$\left. \begin{array}{l} p_0\text{-} \\ \text{Druck-} \\ \text{Empfindlichkeits-} \end{array} \right\} \text{Ausschlag,}$$

die betreffenden Kurven ebenso mit

$$\left. \begin{array}{l} p_0\text{-} \\ \text{Druck-} \\ \text{Empfindlichkeits-} \end{array} \right\} \text{Kurven.}$$

$\longleftrightarrow p \longrightarrow$ Zeitintervall, in dem p herrscht.

I.

Des Coudres hat in seiner Habilitationsschrift Versuche beschrieben, die er mit Thermoelementen angestellt hat, welche aus unter verschiedenem Drucke befindlichen Hg-Säulen gebildet waren — und zwar ohne Einfügung eines anderen Metalles in der heißen Lötstelle.¹⁾

Innerhalb der V.F.G. war es hier gelungen, ein Thermoelement zu schaffen, das zu jeder Zeit an jedem Orte in genau derselben Weise wieder hergestellt werden konnte.

Agricola²⁾ hat dann auf Des Coudres Anregung die Versuche wiederholt und bestätigt.

Ferner hat, gelegentlich theoretischer Betrachtungen auch A. H. Bucherer³⁾ vorläufige Versuche in dieser Richtung unternommen, die jedoch zunächst nicht mit dem Des Coudreschen Werte übereinstimmten. Nach persönlicher Mitteilung (diese Versuche sind nicht publiziert) hat Hr. Bucherer aber später auch innerhalb der V.F.G. den richtigen Wert bekommen.

Der Verfasser der vorliegenden Arbeit stellte sich die Aufgabe, die Versuche wieder aufzunehmen mit höheren Drucken und einem anderen Metalle.

1) Des Coudres, Über thermoelektrische Eigenschaften des Quecksilbers, Leipziger Habilitationsschrift 1891.

2) Agricola, Die thermoelektromotorische Kraft des Quecksilbers und einiger sehr verdünnter Amalgame in ihrer Abhängigkeit von Druck und Temperatur, Inaug.-Diss. Erlangen 1902.

3) A. H. Bucherer, Thermoelektrizität der Elektrolyte und der Metalle, Leipzig (vgl. Wied. Ann. 59. p. 737. 1896).

Zur klaren Abgrenzung des experimentell zu behandelnden Problems sei folgende kleine Digression gestattet.

Für den Augenblick bezeichne t die Temperaturdifferenz der Lötstellen, p die Druckdifferenz der beiden das Thermoelement bildenden Metallsäulen. Die E.M.K. e stellt sich dann dar als eine Funktion

$$(1) \quad e(t, p)$$

und Aufgabe des Experimentes ist die Ermittlung der Integralkurven, die den beiden der Differentialgleichung

$$(2) \quad de = \frac{\partial e}{\partial t} dt + \frac{\partial e}{\partial p} dp$$

angehörigen Funktionen von t und p

$$(3) \quad \varphi = \frac{\partial e}{\partial t}$$

und

$$(4) \quad \psi = \frac{\partial e}{\partial p}$$

entsprechen; sie seien bezeichnet mit

$$(5) \quad e(t, p)_{p = \text{const.}} = \Phi(t, p),$$

$$(6) \quad e(t, p)_{t = \text{const.}} = \Psi(t, p).$$

Gemäß dieser beiden Gleichungen (5) und (6) hat man also zwei Scharen von Thermoelementen herzustellen, bzw. zwei Scharen von Kurven aufzunehmen. Zur Aufstellung der Gleichungen dieser Kurven wird es vorerst genügen, anzusetzen:

$$(7) \quad \Phi(t, p) = c_1 t + c_2 t^2 + \dots,$$

worin die c noch Funktionen von p (und eventuell auch von t),

$$(8) \quad \Psi(t, p) = k_1 p + k_2 p^2 + \dots,$$

worin die k noch Funktionen von t (und eventuell auch noch von p) sind.

Die Konstruktion der c - bzw. k -Kurven dürfte, von sehr großen Temperatur- und Druckintervallen abgesehen, nur geringe Abweichung von geraden Linien ergeben. —

Zu diesem Programm ist nur noch hinzuzufügen, daß sämtliche Messungen an möglichst vielen verschiedenen Metallen vorzunehmen wären, und es fragt sich nun, wie es mit der Realisierung dieser Aufgabe steht.

Die technischen Schwierigkeiten, die sich einer umfassenden Bearbeitung entgegenstellen, sind ziemlich bedeutend, und man kann im Zweifel sein, ob es ökonomischer ist, in kleinem Druck- und Temperaturintervalle den Effekt an mehreren verschiedenen Metallen zu untersuchen, oder ob es besser sei, die Experimente mit einem einzigen Metall in möglichst weiten Grenzen anzustellen. Im ersteren Falle kann man mit auf Innendruck beanspruchbaren Glaskapillaren arbeiten, wie das Des Coudres und Agricola getan haben. (Auch der Verf. hat Vorversuche in dieser Richtung angestellt.) Im zweiten Falle wird man von vornherein nur von der Druckfestigkeit des Glases Gebrauch machen. Diese Methode liegt den weiter unten beschriebenen Versuchen zugrunde.

Weiterhin ist noch zu erwägen, ob es zweckmäßig ist, mehrere gleiche Thermoelemente hintereinander zu schalten. Des Coudres hat dies Prinzip bei seinem U-Röhrenapparate¹⁾ benutzt, hier war es durchaus am Platze. Ob es aber geraten ist, bei Benutzung von Gas- oder Flüssigkeitsdrucken in dieser Art vorzugehen, erscheint, wenigstens bei dem jetzigen Stande der Experimente, deshalb zweifelhaft, weil mit jeder neuen Lötstelle eine neue Fehlerquelle eingeführt wird. Es darf auch nicht übersehen werden, daß diese Anordnung die Verwendung weiter Druck- und Temperaturgrenzen keinesfalls entbehrlich macht, sondern nur eine prekäre Umgehung der Verwendung eines genügend empfindlichen Galvanometers ist.

Eine fernere Frage ist noch die: wie weit gestattet die Anordnung die Erledigung beider oben skizzierten Aufgaben (Gleichungen (5) und (6))² Die bisher angestellten Versuche gingen im wesentlichen vom zweiten Standpunkte — Gleichung (6) — aus.

Bei der Kleinheit des Effektes (pro kg/cm^{-2} Überdruck und 1° Temperaturdifferenz rund $2 \cdot 10^{-10}$ Volt) ist für die Erforschung der Kurvenform des einem bestimmten Drucke entsprechenden Elementes die Benutzung hoher Drucke durchaus erforderlich.

Angesichts dieser Sachlage wurde in Erwägung gezogen, ob es nicht angängig sei, das unter Atmosphärendruck stehende

1) l. c. p. 10.

Hg des Thermoelementes zu ersetzen durch ein Material, das innerhalb der V.F.G. keine Beeinflussung durch den Druck zeigte. Ein solches Thermoelement konnte dann ganz und gar unter Druck gesetzt werden und für bestimmte Temperaturdifferenzen ergab sich der „Druckeffekt“ des flüssigen Metalles als Superposition über die beim Drucke Null vorhandene E.M.K.

In der Dissertation hat der Verfasser zunächst die Annahme gemacht, daß der „thermoelektrische Druckeffekt“ eines Pt-Drahtes innerhalb der V.F.G. liege, daß also demgemäß die durch den Druck bewirkte Änderung der E.M.K. des Thermoelementes Hg/Pt, bzw. KNa/Pt innerhalb der V.F.G. nur von einer Beeinflussung des flüssigen Metalles herrührt. Die Übereinstimmung des bei Hg erhaltenen Wertes mit den Werten von Des Coudres und Agricola wurde als eine Stütze dieser Annahme betrachtet.

Die über den Effekt bei festen Körpern geplanten umfassenderen Versuche konnten noch nicht in Angriff genommen werden.

Um so erfreulicher ist es, daß nunmehr Hr. E. Wagner¹⁾ Messungen mitgeteilt hat, die in dieser Hinsicht die Versuche des Verfassers in willkommener Weise ergänzen. Wenn bei den im folgenden mitgeteilten Resultaten der von E. Wagner am Pt gemessene Effekt berücksichtigt wird, so ergibt sich für Hg ein Zahlenwert der mit dem von E. Wagner gefundenen innerhalb der V.F.G. vorzüglich übereinstimmt.

Es sei hier noch die Bemerkung gestattet, daß das, was E. Wagner über den Einfluß der Verunreinigungen auf den Druckeffekt sagt²⁾, durchaus den Erfahrungen entspricht, die der Verfasser bei den hier mitzuteilenden Experimenten und verschiedenen Vorversuchen gemacht hat.³⁾

1) E. Wagner, *Ann. d. Phys.* 27. p. 955. 1908.

2) l. c. p. 955, Nr. 3.

3) Agricola gibt (l. c., Zusammenstellung p. 26) auch einige Versuche mit verdünnten Amalgamen an. Für Sn-, Cd-, Sb- und Bi-Amalgam wurde keine Änderung des Druckkoeffizienten konstatiert, und die bei Zn-, Na- und K-Amalgam gefundenen größeren Werte dürften höchstwahrscheinlich auf Kompressionswärmestörungen beruhen, da z. B. bei Zn-Amalgam der für 20 Atm. erhaltene Zahlenwert 0,000474 schon bei 40 Atm. (dem angewandten Maximaldrucke) auf 0,000216, d. h. auf den bei reinem Hg erhaltenen Wert, herabgesunken war. Die Versuche wären unbedingt erst mit höheren Drucken zu wiederholen.

Bezüglich einer Methode, die zur Untersuchung fester Körper angewandt werden könnte, sei auf die Dissertation (p. 11) verwiesen.

Bei den nachstehend beschriebenen Versuchen wurde als flüssiges Metall benutzt: 1. chemisch reines Hg von Kahlbaum, Berlin; 2. die bei gewöhnlicher Temperatur flüssige, eutektische Kalium-Natrium-Legierung von Merck, Darmstadt.

Für Reinheit der Legierung, insbesondere Freiheit von okkludierten Gasen, übernahm die Fabrik keine Garantie.

II.

Zur Erzeugung des Druckes diente eine von Schäffer und Budenberg, Magdeburg-Buckau, bezogene Pumpe für

eine Maximalleistung von 2000 kg/cm^2 . Für diesen Maximaldruck sind die nachstehend beschriebenen Apparate konstruiert worden.

Eine Skizze des zum Drücken des Thermoelementes gebauten Apparates gibt Fig. 1. Die von der Pumpe kommende Druckleitung, Stahlrohr von 6 mm äußerem und 1,5 mm innerem Durchmesser, führt das Druckübertragende Mittel: Paraffinöl vom spezifischen Gewicht 0,88, durch den oberen „Druckverschluß“ in das Innere des 1,5 m langen Strahlrohres ein, das unten in einem bis auf das Ansatzstück der Druckleitung mit dem oberen identischen Verschlusse endet.

Das zu untersuchende Thermoelement befand sich, wie aus der Figur ersichtlich, im unteren Teile des Rohres,

Fig. 1.

die Lötstelle wenig unterhalb der Mitte der Heizspule. Ober- und unterhalb derselben waren Kühlbehälter angeordnet. Der ganze Apparat konnte in einem bis zur Decke des Zimmers reichenden Holzgerüst in der für die Montage des Thermoelementes erforderlichen Weise gehoben und gesenkt werden.

Von der größten Bedeutung für das Gelingen der Versuche war die Wahl eines geeigneten Stahlrohres. Vorversuche hatten gezeigt, daß die gewöhnliche Handelsware: „nahtlos gezogene Stahlrohre“ für den vorliegenden Zweck durchaus nicht brauchbar war.

Aus diesem Grunde wurde schließlich für den hier beschriebenen Apparat Mannesmannrohr gewählt von 8 mm innerem und 14 mm äußerem Durchmesser. Dieses Rohr wurde nebst noch vier anderen solchen „Präzisions-Stahlrohren“ von den Deutsch-Österreichischen Mannesmannröhrenwerken¹⁾ in entgegenkommendster Weise zur Verfügung gestellt. Dafür sei dem Werke auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt.

Das eingebaute Rohr hat bis jetzt Drucken von 1700 kg/cm^{-2} bei einer Erwärmung bis auf etwa 200° standgehalten. — Mit der Temperatur wird man übrigens anstandslos bis ca. 400° gehen dürfen, da die Zugfestigkeit des Stahles nach Versuchen von Martens²⁾ erst oberhalb dieser Grenze wesentlich unter den bei gewöhnlicher Temperatur vorhandenen Wert zurückgeht; zwischen 150 und 200° steigt sie sogar noch beträchtlich.

Der Anschluß des Druckrohres an die beiderseitigen Verschlüsse geschah, wie aus Fig. 2 ersichtlich, mittels Flanschen, in die das Rohr eingeschraubt und hart verlötet³⁾ war.

Die Heizspule bestand aus 1 mm starkem Manganindraht, der über einer Isolationsschicht aus Glimmer unter Verwendung von mit Wasserglas getränkten Asbestzwischenlagen lagenweise in entgegengesetzter Richtung auf das Stahlrohr gewickelt war. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, war sie außen von einer starken Asbestpackung umgeben, die durch einen Weißblechmantel zusammengehalten wurde. An zwei Porzellanrollen war die ganze Spule, noch isoliert am oberen Kühlbehälter, aufgehangen. Da

1) Vertreter für Leipzig: G. Brandt, Schwägerichenstraße 17.

2) Referiert in: Bach, Maschinenelemente, 8. Aufl. p. 72.

3) Kupferschmiederei von Baltz, Leipzig, Gerberstraße.

sich bei solchen Heizrollen zu Anfang des Betriebes recht unangenehme Gase entwickeln, so war sie oben mit einem in einen Gipsdeckel eingesetzten Absaugröhrchen versehen.

Die beiden Blechgefäße zur Aufnahme der Kühlflüssigkeit waren mittels Messingringe auf das Stahlrohr (weich) aufgelötet. Sie besaßen Anschlußstücke für Zu- und Abfluß; es genügte indessen bei den Versuchen, sie einmal aufzufüllen. Bei den Versuchen mit der KNa-Legierung wurde im Interesse der Betriebssicherheit mit Öl gekühlt.

Der das Stahlrohr beiderendig begrenzende Verschluß hatte den folgenden Anforderungen zu genügen:

1. Innerhalb der V.F.G. scharf definierte, leicht zu montierende isolierte Einführung mehrerer Leitungen.
2. Möglichkeit einer Evakuierung des Rohrrinnern zwecks luftblasenfreier Einfüllung des Öles.

Fig. 2 zeigt den ganz in Stahl ausgeführten Verschluß.¹⁾

Die durch den Hals des Verschlußkörpers gehende flachgängige Schraube preßt den Verschlußdeckel, der bei dem oberen Verschlusse, wie im Seitenriß ersichtlich, mit dem Ansatzstück für die Druckzuleitung versehen ist, auf eine plangeschliffene Fläche auf, deren Mittelpunkt in die Achse des unten angeflanschten Stahlrohres und der die Verlängerung desselben bildenden Durchbohrung des Verschlußkörpers fällt. Das Mitgenommenwerden des Deckels beim Anziehen der Schraube wird durch die zwischengelegte Stahlscheibe mit ihren beiden Anschlägen verhindert. Die axiale Durchbohrung des Deckels kann durch die gehärtete Spitze eines Zapfens verschlossen werden, der die Verlängerung der Spindel einer scharfgängigen Schraube bildet, die axial in die flachgängige eingesetzt ist.

Ist diese auf etwa $\frac{2}{3}$ ihrer Länge durchbohrte und am Ende dieser Durchbohrung mit einem kleinen seitlichen Kanal versehene Ventilschraube außer Berührung des Deckels, so kann von dem oben angedrehten Schlauchmundstücke aus das Hochdruckrohr evakuiert, also in leicht verständlicher Weise

1) Dieser Verschluß und die weiter unten beschriebene Luftblasenfalle ist (abgesehen vom Deckel und den Flanschen) ausgeführt von A. Fomm, Maschinenbauanstalt, Leipzig, Sternwartenstraße.

durch den unteren Verschluß Öl angesaugt werden. Die Ventilschraube trägt oben noch eine Mutter nebst Unterlagscheibe zur Einfügung einer Lederpackung beim Evakuieren. Die Berührungsfläche: Druckrohrflansch-Verschlußkörper ist deshalb ziemlich groß gemacht, weil der Stahlguß etwas rissig war.

Fig. 2.

Die großen Dimensionen der Überfangmutter sind in Rücksicht auf ein eventuelles späteres Einsetzen weiterer Rohre gewählt worden.

Zwischen den Deckel und den Verschlußkörper kamen, wie Fig. 3 zeigt, samt ihren aus Pergamentpapier geschnittenen Isolierscheiben die Stromzuführungsbleche (Pt, 0,1 mm) zu liegen. Die Zungen am äußeren Rande wurden mit äußeren

Leitungsdrähten verlötet; die am inneren Rande mit dem Thermoelement verschweißt. Die Mittelpunkte dieser fünf die Reihenfolge Papier, Blech, Papier, Blech, Papier bildenden Scheiben fielen alle in die Achse des Verschlusses. Unter Benutzung eines dem Verschlusse angepaßten, über den Hals übergreifenden schmiedeeisernen Schlüssels wurde dann die

Montage des Thermoelementes.

Fig. 8.

flachgängige Schraube fest angezogen und es ließ sich in der Regel eine Isolation von ca. 100000 Ω zwischen den Pt-Blechscheiben und den Stahlteilen konstatieren. — Selbstverständlich sind nach diesem Prinzip eine beliebige Anzahl von Leitungen durch ein und dieselbe Öffnung einführbar, was bei den verschiedensten Hochdruckuntersuchungen recht wertvoll sein kann.

Das Thermoelement selbst bestand (vgl. Fig. 8) aus einem 75 cm langen Glasrohr (gewöhnlichem Biegerohr) von 4 mm äußerem und 2 mm innerem Durchmesser. Die Einschmelzung des 0,4 mm starken Pt-

Drahtes war am unteren Ende, wie ersichtlich, derartig bewerkstelligt, daß das Glasrohr fest auf die mit diesem Drahtstückchen verschweißte innere Blechzunge aufgesetzt werden konnte. Die obere, seitliche Einschmelzstelle des Pt-Drahtes befand sich 5 cm unterhalb des oberen Rohrendes (vgl. Fig. 1). Der kleine glockenförmige Raum an der unteren Einschmelzstelle (vgl. Fig. 3) war mit Paraffin ausgefüllt. Das ganze Thermoelement wurde durch ein übergestreiftes dünnwandiges Glasrohr (sogenanntes Zylinderrohr) von 7 mm äußerem Durchmesser gegen das Stahlrohr isoliert. Die Füllung des Rohres mit der KNa-Legierung wurde von der in solchen Angelegen-

heiten rühmlichst bekannten Firma Götze in Leipzig prompt ausgeführt. Die Röhre machte einen sehr sauberen Eindruck und glich äußerlich durchaus einer mit Hg gefüllten.

Es erübrigt noch einige Worte über das Einbringen des Thermoelementes in das Hochdruckrohr zu sagen. Zu diesem Zwecke wurde der ganze Apparat so weit emporgezogen, daß der der flachgängigen Schraube samt Deckel entledigte untere Verschluß sich etwa in Tischhöhe befand. Nunmehr führte man, nachdem die Schlifffläche des Körpers mit der durchlochten (in Fig. 3 zu oberst gezeichneten) Papierscheibe bedeckt war, die Röhre durch den (mit Papier ausgekleideten!) Hals in das Druckrohr ein. Die äußeren Pt-Bleczungen mußten dabei nach oben umgebogen werden. Nach Anfügen der unteren, in der Mitte durch mehrere kräftige Nadelstiche durchlochten Papierscheibe kam zwischen diese und den nunmehr samt des Stahlbleches eingesetzten Deckel noch eine in der Mitte siebartig durchlöchernte 0,3 mm starke Cu-Blechscheibe zu sitzen, die der Röhre des Elementes als Fundament diente. Wie schon angedeutet, wurde alsdann der obere Verschluß an eine kräftige Wasserstrahlpumpe angeschlossen, und das zur Füllung dienende Paraffinöl durch den unteren Verschluß eingesaugt. Auf diese Weise konnte es vermieden werden, daß sich an irgendwelchen Stellen Luftblasen festsetzten. Das war, wie noch weiter erörtert werden soll, sehr wichtig.

Um das dem Drucke auszusetzende Ölquantum nicht unnötig groß werden zu lassen und um Zirkulationen zu vermeiden, wurde der oberhalb des Elementes noch im Druckrohr verbleibende Raum durch eine starkwandige Glaskapillare, soweit zugänglich, ausgefüllt.

Die ganze Hochdruckanlage vervollständigte endlich noch eine Luftblasenfalle, die in der Dissertation abgebildet und beschrieben ist und sich gut bewährt hat.

Der Apparat, der bei der Eichung der beiden Thermo-elemente zur Erwärmung der oberen Lötstelle improvisiert wurde, ist in der Dissertation (dort Fig. 5) beschrieben.

Weitere technische Einzelheiten sind, wo dies gerade am Platze, unter III. und IV. erwähnt.

III.

Zu messen waren:

1. die Änderung der E.M.K. des Thermoelementes durch den Druck,
2. der Druck selbst,
3. die Temperaturdifferenz der Lötstellen, und zwar war der Größenordnung nach:

$$\Delta t = 150^{\circ}, \quad \Delta p \text{ bis } 1400 \text{ kg/cm}^{-2};$$

$$e(\Delta t, \Delta p) = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta t \cdot \Delta p \text{ Volt},$$

schwankte bei den Versuchen also zwischen Null und $4,2 \cdot 10^{-5}$ Volt.

Dieser Effekt superponierte sich der thermoelektrischen Kraft beim Drucke Null und diese betrug für das bei den Versuchen herrschende Δt von ca. 150° rund:

beim Element Hg-Pt: $1,5 \cdot 10^{-4}$ Volt,

„ „ KNa-Pt: $5 \cdot 10^{-4}$ Volt.

Eine reine Kompensationsmethode zur Messung der E.M.K. war hier nicht anwendbar, und zwar aus folgenden Gründen. Die Temperatur konnte nicht völlig konstant gehalten werden. Die dadurch gegebene Schwankung der E.M.K. des Thermoelementes wäre innerhalb der zu einer Kompensationsmessung erforderlichen Zeit nicht in zulässigen Grenzen geblieben.

Außerdem aber, und das war mindestens ebenso wichtig, sollte die Möglichkeit vorhanden sein, den Effekt stetig mit dem Auge verfolgen zu können. Eine Ausschlagsmethode, bei der aber natürlich die Ausschläge als Funktion der Zeit notiert werden mußten, erschien hier den Versuchen organischer angepaßt.

Die Apparate waren so aufgestellt, daß der Beobachter zu ihrer Bedienung seinen Platz nicht zu verlassen brauchte. Man konnte also, wenn dies zur qualitativen Orientierung angezeigt erschien, das Handrad der Druckpumpe bedienen, ohne das Auge vom Beobachtungsfernrohr zu wenden.

Aus diesen Gründen wurde vermittels der in Fig. 4 schematisierten Schaltung die beim Drucke Null vorhandene E.M.K. so weit kompensiert, daß der beim Druckgeben erfolgende Galvanometerausschlag in geeigneter Weise die Skala überstrich. Letztere wurde direkt in Volt geeicht. Diese Volt-

empfindlichkeit des Galvanometers ($1 \text{ mm} = e_1 \text{ Volt}$) ist immer kurz als „Empfindlichkeit“ bezeichnet.

Fig. 4.

Zu Fig. 4 seien die folgenden technischen Erläuterungen gegeben. Das Galvanometer, System Du Bois-Rubens¹⁾, war von Keiser & Schmidt, Berlin, bezogen. Von den gelieferten drei Magnetgehängen erwies sich keines als geeignet; es wurde daher ein besser entsprechendes angefertigt, was nach Einsetzung elektrolytischer Dämpfungsplatten in das Hartgummigestell des Galvanometers den für die Experimente gewünschten ruhigen Gang zeigte. Die Schwingungsdauer war so reguliert, daß das Galvanometer während Vornahme der jeweils an den Apparaten nötigen Operationen zur Ruhe kam. Die Stromempfindlichkeit betrug bei ca. 5Ω Galvanometerwiderstand und 2 m Skalenabstand rund $2 \cdot 10^{-6}$ Amp.

Das Galvanometer befand sich, fest mit einer etwa 2 cm dicken Watteschicht umstopft, in einer Kohlrauschschen Aufhängung, die sich ganz vorzüglich bewährte. Der in Fig. 1 skizzierte Hg-Kommutator — übrigens dasselbe Exemplar, das Des Coudres 1890 benutzt hatte — gestattete ein angenehmes sicheres Arbeiten. Er besaß einen Hahn, mit dem der Galvanometerkreis kurz geschlossen werden konnte. Geschah dies, so zeigte das Galvanometer etwa eine Schwankung von 2 mm.

1) Du Bois-Rubens, Wied. Ann. 48. p. 248. 1893.

Die in der Figur angedeuteten Leitungen bestanden aus 5 mm starkem, mit Isolierband umwundenem Pb-Draht. Der Anschluß an die Hg-Leitungen wurde durch Pt-Drahtzwischenstückchen vermittelt. Trotzdem die Thermokräfte zwischen Pt, Hg und Pb bekanntlich recht niedrig sind, wurden alle diese Stellen, ebenso wie die Verlötungen der Pb-Leitungen mit den Galvanometerdrähten und dem Thermoelement sorgfältig in Watte eingepackt. Der Abzweigwiderstand w befand sich samt den dortigen Drahtanschlüssen in einem ebenfalls mit Watte ausgestopften Holzkasten. Der Ballastwiderstand B , desgleichen A , traten nur während des Anheizens des Druckapparates in Funktion. — Diese gesamte Anordnung war durch Paraffinunterlagen bzw. die Galvanometeraufhängung durch in die Tragdrähte eingesetzte Porzellanzwischenstücke isoliert. Die Stahlteile dagegen, d. h. also Pumpe und Hochdruckrohr, waren geerdet. Auf diese Weise wurden Störungen durch Übertritt von Stromfäden aus den im Zimmer liegenden Starkstromleitungen in die Meßanordnung und solche elektrostatischer Art, wie sie sonst durch die Glasteile des Kommutators auftraten, innerhalb der V.F.G. völlig beseitigt. Die einzigen von außen kommenden Störungen waren undefinierbare magnetische Schwankungen. In den Abendstunden jedoch war von einer nennenswerten diesbezüglichen Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit kaum die Rede.

Der Widerstand des Akkumulators betrug $0,04 \Omega$, seine eventuelle Schwankung konnte gegenüber dem noch in diesem Stromkreis liegenden Konstantenwiderstande $a_0 = 121,436 \Omega$ vernachlässigt werden. Die Summe beider (mit den in Betracht kommenden Leitungsdrähten usw. gemessen) wurde der Berechnung als $a = 121,48 \Omega$ zugrunde gelegt. Die Zimmertemperatur betrug bei allen Versuchen etwa $18-20^\circ \text{C}$.

Ist der Widerstand A , wie das bei den Messungen der Fall war, gleich Null, und bezeichnet w_0 den Widerstand des Galvanometerkreises (d. h. Galvanometer + Thermoelement + Pb-Leitungen + Kommutator) und i den durch das Galvanometer fließenden Strom, so gilt für die E.M.K. e des Thermoelementes die Beziehung:

$$(9) \quad e = \frac{e_0 b w}{a b + (a + b)(c + w)} + i \left(w_0 + w \cdot \frac{(a + b)c + a b}{a b + (a + b)(c + w)} \right).$$

Zur Abkürzung sei gesetzt:

$$(10) \quad N = ab + (a+b)(c+w),$$

$$(11) \quad L = \frac{e_0 b w}{N},$$

$$(12) \quad H = w_0 + w \cdot \frac{ab + (a+b)c}{ab + (a+b)(c+w)}.$$

Da nun, wie das weiter unten zahlenmäßig belegt werden soll, für die in Frage kommenden Werte der Widerstände die Funktion H als konstant betrachtet werden darf, und da ferner der Galvanometerausschlag bzw. die Skalenablesung d dem Strome i proportional gesetzt werden kann, so hat man, wenn e_1 den betreffenden Proportionalitätsfaktor bezeichnet:

$$(13) \quad e = L + e_1 d \text{ Volt.}$$

Der Faktor e_1 , der oben schon als „Empfindlichkeit“ bezeichnet wurde, bestimmt sich aus zwei zueinander gehörigen Widerstandssätzen, denen die Indizes 0 und 1 zugeordnet seien, aus:

$$(14) \quad \begin{cases} e = L_0 + e_1 d_0, \\ e = L_1 + e_1 d_1 \end{cases}$$

zu

$$(15) \quad e_1 = \frac{\Delta L}{\Delta d}.$$

Es soll nunmehr an zwei Beispielen, entsprechend den Versuchen mit Hg und mit der Legierung, die genügende Konstanz der Größe H sowie der Einfluß der Variation der einzelnen Widerstände dargetan werden.

Hg-Pt-Druckversuch Nr. 136, Ausschlag Nr. 57:

$$c = 1000, \quad b_0 = 500, \quad b = 1500, \quad d = 125,0;$$

es wird:

$$\Delta H = H(b) - H(b_0) = 2 \cdot 10^{-6} \Omega.$$

KNa-Pt-Druckversuch Nr. 143, Ausschlag Nr. 184:

$$c = 200, \quad b_0 = 240, \quad b = 400, \quad d = 214,0;$$

es wird:

$$\Delta H = H(b) - H(b_0) = 4 \cdot 10^{-6} \Omega.$$

Da in beiden Fällen w_0 rund 9Ω betrug, so war die Konstanz von H also durchaus erwiesen.

Um das Funktionieren der Widerstände zu zeigen, bilden wir:

$$(16) \quad \frac{\partial L}{\partial a} = - \frac{e_0 b w \cdot (b + c + w)}{N^2},$$

$$(17) \quad \frac{\partial L}{\partial b} = \frac{e_0 a w \cdot (c + w)}{N^2},$$

$$(18) \quad \frac{\partial L}{\partial c} = - \frac{e_0 b w (a + b)}{N^2},$$

$$(19) \quad \frac{\partial L}{\partial w} = \frac{e_0 b (a b + (a + b) c)}{N^2}.$$

Diese Ausdrücke führen z. B. zu folgenden Zahlenwerten:

Hg-Pt-Versuch Nr. 136, Ausschlag Nr. 57:

$$c = 1000, \quad a = 121,48, \quad b_0 = 500, \quad e_0 = 2,01;$$

$$\frac{\partial L}{\partial a} = - 3,2 \cdot 10^{-7}, \quad \frac{\partial L}{\partial b} = 5,2 \cdot 10^{-8},$$

$$\frac{\partial L}{\partial c} = - 1,3 \cdot 10^{-7}, \quad \frac{\partial L}{\partial w} = 1,5 \cdot 10^{-8}.$$

KNa-Versuch Nr. 143, Ausschlag Nr. 184:

$$c = 200, \quad a = 121,48, \quad b_0 = 240, \quad e_0 = 2,006;$$

$$\frac{\partial L}{\partial a} = - 1,2 \cdot 10^{-6}, \quad \frac{\partial L}{\partial b} = 4,6 \cdot 10^{-7},$$

$$\frac{\partial L}{\partial c} = - 1,7 \cdot 10^{-7}, \quad \frac{\partial L}{\partial w} = 2,8 \cdot 10^{-8}.$$

Um also, zur Fixierung der Vorstellung, den Effekt für die bei den Versuchen herrschende Temperaturdifferenz von 150° und den Druck von 1000 kg/cm^{-2} , der dann rund $3 \cdot 10^{-5}$ Volt betrug, auf 1 Proz. genau zu messen, hätte man als Fehler zulassen dürfen:

$$da = 1 \, \Omega, \quad db = 5,7 \, \Omega, \quad dc = 2,3 \, \Omega, \quad dw = 2 \cdot 10^{-4} \, \Omega$$

(bei den Versuchen mit Hg);

$$da = 0,3 \, \Omega, \quad db = 0,7 \, \Omega, \quad dc = 1,8 \, \Omega, \quad dw = 1,1 \cdot 10^{-4} \, \Omega$$

(bei den Versuchen mit KNa).

Der Wolffsche Manganinwiderstand hätte sich also um 0,2 Proz. bzw. 0,1 Proz. ändern dürfen, und das war bei diesem Material ausgeschlossen. Sogar bei einem Drucke von 100 kg/cm^{-2} hätte diese Meßmethode betreffs der Genauigkeit der Widerstände die Bestimmung der E.M.K. e bis auf 1 Proz. zugelassen. Die Möglichkeit des Auftretens etwaiger störender

Thermokräfte an der Verbindungsstelle zum Abzweigwiderstand wurde, wie schon erwähnt, auf ein Minimum reduziert.

Die mit dieser Meßanordnung erhaltenen Galvanometerausschläge wurden folgendermaßen als Funktion der Zeit notiert.

Fig. 5 (hierzu Tab. 1).

Bezeichnen I und II die beiden Kommutatorstellungen und ist τ die an der neben dem Fernrohr hängenden Taschenuhr abgelesene Zeit, so war die Reihenfolge der Operationen:

τ , I, τ , II, τ , II, τ , I, τ ... usw.

Die zu den Stellungen I und II gehörigen Zeiten τ_I und τ_{II} wurden als Mittel der beiden einschließenden τ zur Kon-

struktion der Ausschlagskurven benutzt. (Vgl. Fig. 5 und 6 nebst Tab. 1.)

Fig. 6 (hierzu Tab. 1).

Tabelle 1.

Hierzu Fig. 5. Ausschlagskurve Nr. 120.

b	p	τ	II	τ	I		τ_{II}	τ_I
550	12	49,5	34,62	49,2	28,64		49,35	48,95
550	12		34,67	49,8	28,54	50,2	49,65	50,00
550	12	50,8	34,78	50,5	28,50		50,65	50,35
550	12	52,3	35,03	52,5	28,23	52,8	52,40	52,65
550	12	53,5	35,13	53,1	28,18		53,30	52,95
550	250	55,0	30,43	55,4	32,85	55,7	55,20	55,55
550		56,3	30,62	56,0	32,83		56,15	55,85
550			30,65	56,8	32,68	57,1	56,55	56,95
550	242	53,8	30,82	57,5	32,63		57,65	57,30
550	12	59,0	35,75	59,2	27,69	59,6	59,10	59,40
550	12	5 ^h 0,3	35,89	59,8	27,60		0,10	59,70
550	12		35,98	0,6	27,47	0,8	0,45	0,70
550	12	1,6	36,10	1,3	27,30		1,45	1,10
550	12	3,6	36,48	3,8	27,08	4,2	3,70	4,00
550	12	4,8	36,58	4,4	27,00		4,60	4,30

Wie aus den Figg. 5, 6, 7 ersichtlich und bei der Diskussion der Versuche näher erörtert, wurde zur Inter- bzw.

Extrapolation vor und nach jedem Druck- bzw. Empfindlichkeitsausschlage ein größeres Stück der p_0 -Kurve¹⁾ aufgenommen. Das Aufzeichnen und Ausmessen dieser Kurven war natürlich nur ein Notbehelf in Ermangelung eines geeigneten selbstregistrierenden — und vor allem möglichst trägheitslosen — Galvanometers.

Zur Messung des Druckes waren drei Manometer von Schäffer u. Budenberg vorhanden. Eines bis 3000 kg/cm^{-2} , geteilt von 50 zu 50 kg/cm^{-2} , eines bis 300 kg/cm^{-2} , geteilt von 5 zu 5, und eines bis 100 kg/cm^{-2} , in einzelne kg/cm^{-2} geteilt. Sie stimmten sehr gut überein und die Montage gestattete etappenweise ihre Ausnutzung; bei den Versuchen wurde jedoch meist nur das größte Instrument benutzt. — Eine Ablesegenauigkeit von etwa 5 kg/cm^{-2} genügte.

Zur Messung der Temperaturdifferenz diente naturgemäß das Thermoelement selbst. Und zwar wurde hier folgendermaßen verfahren. Das Thermoelement wurde mit dem schon beschriebenen Apparate in genau derselben Meßanordnung geeicht, die bei den Druckversuchen zur Anwendung kam. Die Temperaturdifferenz Δt konnte also, sofern der Druck Null war, direkt aus der hierfür gezeichneten Kurve $\Delta t = f(b)$ entnommen werden (vgl. Fig. 8). War der Anfangsdruck (p_0) nicht Null, so mußte der entsprechende Druckeffekt, umgerechnet in den betreffenden Temperaturwert, berücksichtigt werden. Bei den Versuchen mit der Legierung wurde in gewissen Intervallen vorübergehend auf den Galvanometernullpunkt (Einstellung bei Kurzschluß) kompensiert, aus der daraus berechneten E.M.K. vermöge der Eichkurve $e = f(\Delta t)$ für einige Zeitpunkte das Δt bestimmt und für die den Druckausschlägen entsprechenden Zeiten interpoliert. — Näheres bei den Versuchen (IV.).

IV.

Für die Sauberkeit der Experimente ist von größter Wichtigkeit guter Kontakt zwischen den Zuführungsdrähten und dem flüssigen Metall. Stellt man z. B. die Verbindung in der Weise her, daß man einen Draht so in das Metall ein-

1) Das ist die Kurve $e(\Delta t, \Delta p)$ als Funktion der Zeit bei dem Drucke p_0 , vgl. unter „Bezeichnungen“.

taucht, daß das über dem Metall befindliche Öl die Eintauchstelle bedeckt, so sind kaum saubere Resultate möglich, deshalb wurde die Einschmelzstelle einige Zentimeter unterhalb des Metallspiegels angebracht. Überhaupt ist Sauberkeit dieser Drahteintauchstelle ein Haupterfordernis. Viel weniger — wahrscheinlich auch prinzipiell nur sekundär — kommt die chemische Reinheit des betreffenden flüssigen Metalles in Frage (es wäre also vorerst eigentlich nicht nötig gewesen, chemisch reines Hg von Kahlbaum zu verwenden).¹⁾

Der weitaus wichtigste Punkt war die Fernhaltung von Luft bzw. Gasblasen im Glasrohr des Thermoelementes und im ganzen Druckrohr. Ihrer Beseitigung mußte ein beträchtlicher Teil der gesamten Arbeitszeit gewidmet werden; völlig gelungen ist sie; wie es scheint, überhaupt nicht.

Es ist ohne weiteres klar, daß eine an einer Lötstelle befindliche Gasblase bei den Druckversuchen durch ihre Kompressionswärme Anlaß zu einer kleinen E.M.K. geben muß. Überlegt man sich das näher, so sieht man, daß diese E.M.K. gerade recht unangenehm in die Größenordnung des zu messenden Effektes fällt. Dies mußte also getrennt untersucht werden. Zu Vorversuchen war noch ein etwas einfacherer Apparat vorhanden; mit nur einem Verschuß und einer direkt in den Verschußkörper gelöteten Druckzuleitung. Dies Ding konnte bequem umgekehrt werden. Es wurde, um den Einfluß der Luftblasen möglichst deutlich erkennen zu können, u. a. ein Thermoelement aus Konstantan und Manganin eingesetzt. Es zeigte sich, daß der auftretende Kompressionswärmeeffekt bei Umkehrung des Druckrohres seine Richtung wechselte, die Gasblasen waren vermutlich nach dem anderen Ende des Rohres gestiegen. Diese und ähnliche Versuche (namentlich über das Abklingen dieses Effektes mit der Zeit) haben zu der beschriebenen Konstruktion des Verschlusses geführt, die ein Absaugen der Gasblasen ermöglichte. Wenn trotzdem bei den nachstehenden Versuchsreihen immer noch eine kleine derartige Störung auftrat (vgl. weiter unten die Funktion $S(p)$ und die Größe s), so ist zu bedenken, daß es auch durch die Herstellung eines Vakuums über dem das Element aufnehmenden

1) Man vgl. auch das von E. Wagner l. c. hierüber mitgeteilte.

Öl nicht immer möglich ist, alle Gasbläschen zu beseitigen. Sie sitzen oft recht fest an irgend einem kleinen Vorsprunge usw. Aber auch dann, wenn es einmal gelingen sollte, sie ganz zu beseitigen, werden vermutlich aus den Blasen des leider nicht sehr sauberen Stahlgusses beim Einstellen höheren Druckes neue Störenfriede herausgedrückt.

Fig. 7.

Das Einfachste wäre nun gewesen, jedesmal nach Einstellung des Druckes zu warten, bis der betreffende Störungseffekt in die erlaubte Fehlergrenze abgeklungen war. Bis zu einem gewissen Grade war das auch möglich, ganz aber nicht, weil die p_0 -Kurve dann zu weit zu extrapolieren gewesen wäre, — auch hätte es Schwierigkeiten gemacht, den Druck so lange

(ca. 20 Min.) genügend konstant zu halten. Trotz aller technischen Bemühungen war es aber wünschenswert, dieser Störung bei der Ausmessung der Ausschlagskurven Rechnung zu tragen. Um das zu erläutern, sei zunächst auf die Kurven der Fig. 7 hingewiesen, die in ganz gleicher Weise wie die Ausschlagskurven bei den Druckversuchen gezeichnet sind. Die Ordinaten bedeuten (in natürlicher Größe) die Skalaablesungen, die Abszissen die Zeit; 1 cm = 1 Min. Die Kreuzchen sind die mit Hilfe der Mittellinie von der betreffenden anderen Kommutatorstellung entsprechenden Kurve herübergenommenen Punkte. Die Kurven auf Fig. 7 sind aufgenommen bei nicht geheiztem Druckapparat, in dem sich das Hg-Pt-Element befand. Der diesen Ausschlägen entsprechende Effekt soll kurz „Störungsfunktion“ — $S(p)$ — genannt werden. Während des angedeuteten Zeitintervalles wurde Druck gegeben, 800 bzw. 700 kg/cm⁻². Der Extrapolation der p_0 -Kurve (strichpunktirt) haftet natürlich eine gewisse Unsicherheit an; sie dürfte indessen nach den an dem ganzen, recht reichhaltigen Beobachtungsmaterial gemachten Erfahrungen sich nur sehr wenig von der richtigen Form und Lage entfernen. Qualitativ zuverlässig sind auch noch die beiden (gestrichelten) Ausbuchtungen der Kurve. Das quantitative Angeben des Ausschlages war wegen der Galvanometerträgeit natürlich nicht möglich während der Druckveränderung.

Gleich weit entfernt von den maximalen Ausbuchtungen der Kurven ist der Abstand von der p_0 -Kurve, er sei mit s bezeichnet, wenigstens der Größenordnung nach, derselbe.

Superponiert man nun diese Kurven über die einem Druckausschlage ohne Störungsfunktion $S(p)$ entsprechenden geraden Linien (abgesehen vom Drucken- und -abstieg), so erhält man zwei verschiedene Typen von Kurven, je nachdem $S(p)$ dem Druckeffekt gleich oder entgegengesetzt ist.

Letzteres war bei den Hg-Versuchen, ersterer bei den KNa-Versuchen der Fall. Man sieht auch sofort ein, daß bei dem Hg-Typus, wie er kurz genannt sei, der Ausschlag um so viel zu klein wird, wie in dem entsprechenden folgenden Zeitabstände sich die p_0 -Kurve nach Abstellung des Druckes

von der der Extrapolation entsprechenden p_0 -Kurve (strichpunktiert) unterscheidet.

Bei den Hg-Versuchen lagen diese Verhältnisse im allgemeinen so klar, daß die Größe s Berücksichtigung finden konnte, wenigstens bei den größeren Ausschlägen. Man sehe sich hierzu den Ausschlag Nr. 69 vom Versuch Nr. 136 an auf Fig. 5, die zur Demonstration auch noch zwei andere kleinere Ausschlagskurven enthält.

Weniger günstig lagen die Verhältnisse bei den Versuchen mit der Legierung. Fig. 6 zeigt, daß hier die Funktion $S(p)$ ihrem Betrage nach bedeutend größer war als bei den Hg-Versuchen. Hier mußte man sich auf das Abmessen in einem Zeitpunkte beschränken, in dem $S(p)$ möglichst weit abgeklungen war. Von einer Berücksichtigung der Größe s mußte Abstand genommen werden, weil die Art des Abklingens der Ausschlagsskurve, wie es schien, etwas wellenförmig war und sich dies an dem vorliegenden Material noch nicht genügend verfolgen ließ. — Der Leser wird vielleicht die Frage aufwerfen, weshalb nicht vor Beginn der KNa-Versuche die Funktion $S(p)$ ermittelt worden sei; darauf ist zu erwidern, daß wegen des sehr nahe gleichen spezifischen Gewichtes der Legierung und des verwendeten Öles ein Eindringen von Öl zwischen Glaswand und Metall nicht ausgeschlossen schien und es deshalb vorgezogen wurde, sofort mit dem eigentlichen Druckversuche zu beginnen.

Es ist unmöglich, auf alle die verschiedenen Gesichtspunkte einzugehen, die bei der Ausmessung der Kurven maßgebend waren, auch muß von einer Reproduktion des gesamten recht umfangreichen Kurvenmaterials abgesehen werden. Verfasser hat sich bemüht, dies soweit als möglich durch die Tab. 2 zu ersetzen. Die in der Spalte „Fehler in Proz.“ stehenden Zahlen bedeuten den maximalen Fehler von d , der durch die Unsicherheit der graphischen Inter- und Extrapolation der Kurven zustande kommt. Er dürfte im allgemeinen systematischen Charakters sein, also namentlich den Absolutwert des Resultates beeinflussen; mit der prinzipiellen Frage, ob $S(p)$ durch s geeignet berücksichtigt wird, hat er nichts zu tun.

Aus- schlag- Nr.	Zeit	b_0	b	p_0 -Aus- schlag I	d_1	d_2	d_m	s	d	Fehler in Proz.
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 133. 11. Dezember 1906. $a = 121,48$.										
1	5 ^h 18	390		-12	18,0	16,0	17,0		17,0	6
1a		460	560		30,2	30,2	30,2		30,2	2
2	39	460		+12	18,0	18,0	18,0		18,0	6
2a		400	500		37,9	37,9	37,9		37,9	3
3	53	400		+ 3	16,5	16,5	16,5		16,5	6
4	6 ^h 2	400		+10	15,7	15,7	15,7		15,7	6
5	6	400		+11	15,0	15,0	15,0		15,0	6
5a		400	500		39,0	39,0	39,0		39,0	2,5
6	20	400		+ 6	36,0	38,0	37,0		37,0	6
7	27	400		- 4	35,0	35,0	35,0		35,0	2
8	38	400		0	53,0	53,0	53,0		53,0	5
9	46	400		0	53,0	53,0	53,0		53,0	5
10	54	400		0	72,0	72,0	72,0		72,0	4
11	7 ^h	400		0	70,0	70,0	70,0		70,0	4
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 134. 12. Dezember 1906. $a = 121,48$.										
12	4 ^h 38	400	500		40,0	41,0	40,5		40,5	1
13	48	400	500		41,5	40,0	40,8		40,8	2
14	5 ^h 3	400		0	38,0	37,0	37,5		37,5	5
15	10	400		-15	37,0	38,0	37,5		37,5	3
16	16	500		+10	61,0	61,0	61,0		61,0	3
17	23	500		+ 6	60,0	60,0	60,0		60,0	2
18	30	500		- 9	81,0	80,0	80,5		80,5	2
19	40	500		- 9	82,0	80,0	81,0		81,0	3
20	50	570	1070		76,5	76,5	76,5		76,5	2,5
21	6 ^h 3	640		0	105,0	105,0	105,0		105,0	2
22	10	640		0	107,0	105,0	106,0		106,0	2
23	16	640		0	126,0	124,0	125,0		125,0	2
24	26	640	1040		56,5	56,5	56,5		56,5	1,5
25	33	640		+10	127,0	125,0	126,0	2	128,0	2
26	40	640		+15	144,0	142,0	143,0	3	146,0	3
27	48	640		+20	142,0	142,0	142,0	3	145,0	3
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 135. 15. Dezember 1906. $a = 121,48$.										
29	4 ^h 44	600	900	+22	50,8	50,8	50,8		50,8	1
30	57	480		+22	35,0	35,0	35,0		35,0	2,5
31	5 ^h 8	440		+ 5	35,0	35,0	35,0		35,0	1,5
32	15	440		+ 5	55,0	55,0	55,0		55,0	1
33	23	440		0	75,0	74,0	74,5		74,5	1
34	30	440	740		78,0	77,0	77,5		77,5	0,8

2.

p_0	p	p_a	Δp	Δt	d_{150}	$\gamma \cdot 10^{10}$	Bemerkung
$c = 1000$. Empfindlichkeit: 1 mm = $1,672 \cdot 10^{-7}$ Volt.							
11	100	100	89	144,9	17,6	2,20	Mittelwert: $2,163 \cdot 10^{-10}$
11							
11	100	100	89	145,3	18,6	2,33	
11							
11	100	100	89	142,9	17,3	2,16	
11	100	100	89	141,7	16,6	2,08	
11	100	100	89	141,5	15,9	1,99	
11							
11	200	200	189	142,4	39,0	2,29	
11	200	200	189	141,9	36,9	2,18	
11	300	295	284	142,6	55,7	2,19	
11	300	288	277	142,6	55,6	2,24	
11	400	400	389	142,6	75,7	2,17	
11	400	400	389	142,6	73,7	2,11	
$c = 1000$. Empfindlichkeit: 1 mm = $1,593 \cdot 10^{-7}$ Volt.							
8							Mittelwert: $2,168 \cdot 10^{-10}$
8							
8	200	195	187	143,3	39,2	2,23	
8	200	192	184	145,7	38,6	2,09	
8	300	300	292	148,6	61,6	2,24	
8	300	300	292	149,3	60,3	2,19	
8	400	400	392	151,7	79,7	2,16	
8	400	400	392	153,7	79,2	2,14	
8							
0	500	500	500	156,0	101,0	2,15	
0	500	500	500	156,0	102,0	2,16	
0	600	600	600	156,0	121,0	2,13	
0							
0	600	600	600	154,4	124,3	2,20	
0	700	700	700	153,6	142,5	2,17	
0	700	700	700	152,8	142,3	2,16	
$c = 1000$. Empfindlichkeit: 1 mm = $1,59 \cdot 10^{-7}$ Volt.							
0							
0	200	200	200	145,6	36,2	1,92	
0	200	200	200	145,2	36,2	1,92	
0	300	300	300	145,2	56,8	2,01	
0	400	400	400	146,0	76,5	2,03	
0							

Aus- schlag- Nr.	Zeit	b_0	b	p_0 -Aus- schlag I	d_1	d_2	d_m	s	d	Fehler in Proz.
35	5 ^h 38	440	1030	— 1	95,0	94,0	94,5		94,5	0,5
36	57	490		— 6	118,0	118,0	118,0		118,0	2
37	6 ^h 26	570		— 6	119,0	119,0	119,0		119,0	1
38	36	570		— 12	148,0	148,0	148,0		148,0	1
39	43	570		— 14	146,0	144,0	145,0		145,0	1
40	55	630			56,6	56,6	56,6		56,6	1
41	7 ^h 1	630		— 9	166,0	166,0	166,0	2	168,0	2
42	8	630		— 7	166,0	164,0	165,0	2	167,0	1,5
43	16	630		— 9	187,0	185,0	186,0	2	188,0	1,5
44	41	650		— 3	189,0	187,0	188,0	1,5	189,5	1
45	51	650	2050	— 2	209,0	209,0	209,0	3	212,0	1,5
46	8 ^h 39	650			103,5	103,5	103,5		103,5	
47	45	650		— 5	210,0	206,0	208,0		208,0	1,5
48	58	670		0	200,0	196,0	198,0	3	201,0	1,5
49	9 ^h 4	670	11100	+ 5	199,0	196,0	198,0	4	202,0	1,5
50	16	670			137,5	137,5	137,5		137,5	0,5
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 136. 19. Dezember 1906. $\alpha = 121,48$.										
51	4 ^h 38	700	1700	+ 15	84,5	83,0	83,8		83,8	0,7
52	8	580	1500	+ 3	17,5	17,5	17,5		17,5	6
53	14	580		+ 10	21,0	20,0	20,5		20,5	10
54	25	550		+ 5	63,0	63,0	63,0		63,0	5
55	32	550		+ 6	81,0	81,0	81,0		81,0	2
56	40	550		+ 6	105,0	103,0	104,0	1	105,0	2
57	54	500		— 15	125,5	124,5	125,0		125,0	2
58	6 ^h 4	560		— 5	126,0	127,0	126,5		126,5	1
59	11	560		— 11	127,5	127,7	127,6		127,6	2
60	21	600		— 17	152,0	150,0	151,0		151,0	1
61	28	600		— 18	149,5	148,0	148,8		148,8	1
62	39	500	1500		125,0	125,0	125,0		125,0	0,3
63	53	660	2060	— 5	179,0	176,0	177,5		177,5	0,5
64	7 ^h 1	660		— 3	173,0	172,0	172,5	1,5	174,0	1
55	9	660		— 5	103,0	104,0	103,5		103,5	1
66	19	680		— 10	195,0	195,0	195,0	2	197,0	1
67	28	680	2060	— 12	196,5	194,5	195,5		195,5	1
68		660		— 13	103,0	103,0	103,0		103,0	0,5
69	43	660		— 14	221,5	221,0	221,3	2,5	223,8	1
70	54	660		0	218,0	215,0	216,5		216,5	1
71	8 ^h 35	600		— 2	213,0	210,0	211,5	3	214,5	1,5
72	51	600		— 7	233,0	227,0	230,0	2	232,0	1,5
73	9 ^h	600		0	230,0	227,0	228,5	2	230,5	1,5

(Fortsetzung).

p_0	p	p_d	Δp	Δt	d_{150}	$\gamma \cdot 10^{10}$	Bemerkung
0	500	500	500	146,2	97,1	2,18	Mittelwert: $2,117 \cdot 10^{-10}$
0	600	600	600	150,5	117,8	2,10	
0	600	600	600	154,0	116,0	2,05	
0	700	700	700	154,9	143,5	2,17	
0	700	700	700	155,2	140,3	2,13	
0							
0	800	800	800	157,4	160,2	2,12	
0	800	800	800	157,1	159,5	2,12	
0	900	900	900	157,9	179,0	2,11	
0	900	900	900	157,3	181,0	2,13	
0	1000	1000	1000	157,1	193,0	2,15	
0							
0	1000	1000	1000	157,6	198,0	2,10	
0	950	950	950	157,5	191,2	2,14	
0	960	960	960	156,7	192,1	2,14	
0							
$c = 1000$. Empfindlichkeit: 1 mm = $1,584 \cdot 10^{-7}$ Volt.							
13							Mittelwert: $2,189 \cdot 10^{-10}$
13	100	100	87	153,9	17,1	2,07	
13	100	100	87	152,8	20,1	2,44	
13	300	300	287	152,1	62,2	2,29	
13	400	400	387	152,0	79,8	2,18	
13	500	500	487	152,0	103,5	2,25	
13							
13	600	600	587	154,2	123,0	2,21	
13	600	600	587	155,8	122,7	2,21	
13	715	705	692	157,8	143,5	2,19	
13	700	700	687	159,8	139,8	2,15	
13							
13	800	800	787	158,2	168,5	2,26	
13	800	800	787	157,9	165,3	2,22	
13							
13	900	900	887	160,0	184,7	2,20	
13	900	900	887	160,0	183,2	2,18	
13							
13	1000	1000	987	159,6	210,5	2,25	
50	1050	1050	1000	158,7	205,0	2,16	
50	1050	1050	1000	156,6	205,7	2,16	
0	1100	1100	1100	156,3	223,0	2,14	
0	1100	1100	1100	154,6	223,7	2,14	

Aus- schlag Nr.	Zeit	b_0	b	p_0 -Aus- schlag I	d_1	d_2	d_m	s	d	Fehler in Proz
74	10	600		0	210,0	208,0	209,0		209,0	1,5
75										
76	44	550		+12	229,0	225,0	227,0	3	230,0	1
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 137. 20. Dezember 1906. $\alpha = 121,48$.										
77	7 ^h 56	700		-11	22,0	21,0	21,5		21,5	6
78	8 ^h 2	700		-11	22,0	21,0	21,5		21,5	6
79	10	700		0	21,0	21,0	21,0		21,0	5
80	16	700		+12	21,5	21,5	21,5		21,5	5
81	22	700		+12	42,5	42,5	42,5		42,5	1
82	28	700		+15	66,5	65,5	66,0	2	68,0	3
83	34	700		+18	85,0	84,0	84,5	1,5	86,0	2
84	40	700		+20	85,0	85,0	85,0		85,0	1,5
85	46	700		+22	21,0	21,0	21,0		21,0	3
86	55	700		+23	108,0	107,0	107,5	2	109,5	2
87	9 ^h 1	700		+26	108,0	106,0	107,0	2	109,0	2
88	8	700		+29	126,0	126,0	126,0	2	128,0	2
89		640	11040		151,0	150,0	150,5		150,5	0,8
90	35	640		+25	126,0	125,0	125,5	2	127,5	2
91	41	640		+28	145,0	143,0	144,0	1,5	145,5	1
92	49	640		+30	146,0	144,0	145,0	1,5	146,5	2
93	10 ^h 6	570		+25	166,5	163,5	165,0	3	168,0	2
94	14	570		+26	164,0	161,0	162,5	3,5	166,0	2
95		600	11000		161,0	159,6	159,8		159,8	0,5
96	31	600		+30	186,0	182,5	184,3	3,2	187,5	2
97	39	600		+30	186,0	183,0	184,5	1,5	186,0	1
98	47	600		+30	203,5	198,0	200,8	2,2	203,0	1
Hg/Pt-Druckversuch Nr. 139. 15. Januar 1907. $\alpha = 121,48$.										
117	4 ^h 21	550		-12	8,5	7,5	8,0		8,0	6
118	35	550		-20	17,5	17,5	17,5		17,5	8
119	45	550		-25	28,0	27,0	27,5		27,5	4
120	56	550		-38	49,5	49,0	49,3		49,3	2
121	5 ^h 7	550		-52	71,0	71,0	71,0		71,0	1
122	22	600	11000		143,0	143,0	143,0		143,0	0,3
123	33	600		-72	95,5	95,5	95,5		95,5	0,5
124	45	600		-83	120,0	120,0	120,0	3	123,0	3
125	56	600		-70	139,0	139,0	139,0	2	141,0	3
126	6 ^h 7	600	11000		142,5	142,5	142,5		142,5	1
127	44	600		-65	160,0	157,0	158,5	3	161,5	2
128	54	600		-63	181,0	178,0	179,5	2	181,5	1

(Fortsetzung).

p_0	p	p_d	Δp	Δt	d_{180}	$\gamma \cdot 10^{10}$	Bemerkung
0	1000	1000	1000	154,6	203,0	2,14	
0	1100	1100	1100	151,6	227,8	2,19	
$c = 1000$. Empfindlichkeit: $1 \text{ mm} = 1,62 \cdot 10^{-7} \text{ Volt}$.							
0	100	100	100	160,1	20,1	2,18	
0	100	100	100	160,1	20,1	2,18	
100	200	200	100	161,7	19,5	2,11	
100	200	200	100	159,7	20,1	2,18	
100	300	300	200	159,7	39,9	2,16	
100	400	400	300	159,2	64,1	2,30	
100	500	500	400	158,7	81,3	2,20	
100	500	500	400	158,4	80,5	2,17	
100	0	0	100	158,0	19,9	2,15	
100	600	600	500	157,9	104,0	2,24	
100	600	600	500	157,4	103,9	2,25	
100	700	700	600	156,9	122,3	2,22	
0							Mittelwert: $2,187 \cdot 10^{-10}$
100	700	700	600	155,3	123,3	2,22	
100	800	800	700	154,7	141,3	2,18	
100	800	800	700	154,4	142,2	2,20	
100	900	900	800	152,3	165,6	2,24	
100	900	900	800	152,1	163,8	2,21	
0							
100	1000	1000	900	153,0	183,8	2,21	
100	1000	1000	900	153,0	182,4	2,19	
100	1100	1100	1000	153,0	198,8	2,15	
$c = 1000$. Empfindlichkeit: $1 \text{ mm} = 1,84 \cdot 10^{-7} \text{ Volt}$.							
12	50	50	38	155,1	7,7	2,50	
12	100	97	85	156,6	16,8	2,42	
12	150	147	135	157,6	26,2	2,38	
12	250	246	234	160,1	46,3	2,41	
12	350	345	333	162,7	65,5	2,41	
12							
12	450	450	438	168,4	85,1	2,38	
12	550	550	538	170,5	108,2	2,47	
12	650	650	638	168,1	125,8	2,42	
12							
12	750	750	738	165,3	146,5	2,44	
12	850	850	838	166,7	163,5	2,39	

Aus- schlag Nr.	Zeit	b_0	b	p_0 -Aus- schlag I	d_1	d_2	d_m	s	d	Fehler in Proz.
129	7 ^h 5	600	11000	— 60	179,0	177,0	178,0	3	181,0	1
130	15	600			142,8	142,8	142,8		142,8	0,3
131	24	600		— 60	199,0	196,0	197,5	3	200,5	1
132	34	600		— 58	199,0	196,0	197,5	3	200,5	1
133	45	600		— 55	220,0	216,0	218,0	3	221,0	1
134	56	600	11000	— 53	218,5	216,5	217,5	3	220,5	1
135	8 ^h 26	600			143,0	142,6	142,8		142,8	0,3
136	38	600		— 48	236,0	233,0	234,5	2,5	237,0	1
137	49	600		— 47	236,5	232,5	234,0	1	235,0	1
138	59	600		— 46	256,5	252,5	254,0	1	255,0	1,5
139	9 ^h 12	600	11000	— 48	256,5	253,5	255,5		255,0	0,7
140	29	600		— 49	276,5	273,5	275,0	1,5	276,5	1
141	45	600		— 49	280,0	274,0	277,0	2	279,0	1
142	10 ^h 10	600			144,0	144,0	144,0		144,0	1

Hg/Pt-Druckversuch Nr. 140. 21. Januar 1907. $\alpha = 121,48$.

144	5 ^h 4	600	11000	— 2	76,0	76,0	76,0		76,0	1,5
145	14	600		— 2	74,5	74,5	74,5		74,5	1,5
146	28	600		— 3	76,0	77,0	76,5	2	78,5	2
147	42	600		— 2	148,0	147,0	147,5		147,5	2
148	6 ^h	600		— 8	152,0	149,0	150,5		150,5	3
149	10	600	11000		139,0	138,0	138,5		138,5	0,3
150	20	600		— 20	152,0	150,0	151,0		151,0	0,7
151	32	600		— 27	152,5	151,5	152,0		152,0	0,7
152	42	600		— 34	153,5	152,5	153,0		153,0	0,7
153	7 ^h 39	600		— 49	156,0	156,0	156,0	1,5	157,5	1,5
154	53	600	11000	— 69	214,0	212,0	213,0	4	217,0	1,5
155	8 ^h 5	600		— 65	210,0	208,0	209,0	4	213,0	1,5
156	16	600		— 59	210,0	207,0	208,5	3,5	211,0	1
157	32	600		— 58	210,0	208,0	209,0	3,5	212,5	1,5
158	45	600		— 52	209,0	206,0	207,5	2,5	210,0	1
159	56	600	11000	— 50	207,0	205,0	206,0	3	209,0	1,5
160	9 ^h 12	600		— 110	137,0	136,0	136,5		136,5	0,3
161	24	340		— 130	258,0	256,0	257,0	2	259,0	1,5
162	37	340		— 128	260,0	258,0	259,0	1	260,0	1,5
162a	52	340		— 126	257,0	258,0	257,5	0,5	258,0	2
163	10 ^h 29	340	11000	— 125	258,0	258,0	258,0		258,0	3
164	45	340		— 128	261,0	259,0	260,0	1	261,0	3
165	59	340		— 140	256,0	253,0	254,5	5,5	260,0	3

(Fortsetzung).

p_0	p	p_d	Δp	Δt	d_{150}	$\gamma \cdot 10^{10}$	Bemerkung
12	850	850	838	166,2	163,5	2,39	Mittelwert: $2,345 \cdot 10^{-10}$
12							
12	950	950	938	166,2	181,0	2,37	
12	950	950	938	165,8	181,1	2,37	
12	1050	1050	1038	165,3	200,5	2,37	
12	1050	1050	1038	164,9	200,5	2,37	
12							
12	1150	1150	1138	164,0	216,7	2,33	
12	1150	1150	1138	163,8	215,2	2,32	
12	1250	1250	1238	163,6	234,2	2,32	
12	1250	1250	1238	164,0	233,5	2,31	
12	1350	1350	1338	164,1	252,2	2,32	
12	1350	1350	1338	164,1	255,1	2,34	
12							
$c = 1000$. Empfindlichkeit: $1 \text{ mm} = 1,907 \cdot 10^{-7} \text{ Volt}$.							
3	400	400	397	155,1	73,5	2,35	Mittelwert: $2,210 \cdot 10^{-10}$
3	400	400	397	155,1	72,1	2,31	
3	407	407	404	155,3	75,9	2,38	
3	800	800	797	155,1	145,2	2,27	
3	808	808	805	156,2	144,7	2,28	
3							
3	805	805	802	158,6	142,8	2,26	
3	800	800	797	161,9	140,8	2,25	
3	800	800	797	161,2	142,5	2,27	
3	800	800	797	164,1	144,1	2,29	
2	1100	1100	1098	168,1	193,7	2,19	
0	1100	1100	1100	167,2	191,2	2,21	
0	1108	1108	1108	166,0	190,6	2,19	
0	1100	1100	1100	165,8	192,2	2,22	
0	1100	1100	1100	164,7	191,5	2,21	
0	1100	1100	1100	164,3	190,7	2,21	
0							
0	1400	1380	1380	162,7	239,0	2,19	
0	1400	1400	1400	162,3	240,4	2,18	
0	1400	1400	1400	161,8	239,0	2,17	
0	1400	1400	1400	161,7	239,0	2,17	
0	1400	1400	1400	162,3	241,4	2,19	
0	1400	1400	1400	164,7	237,0	2,15	

Aus- schlag Nr.	Zeit	b_0	b	p_0 -Aus- schlag I	d_1	d_2	d_m	s	d	Fehler i. Proz.
KNa/Pt-Druckversuch Nr. 141. 8. Januar 1908. $\alpha = 121,48$.										
166	5 ^h 23	220	300		103,0	103,0	103,0		103,0	0,3
167		220	400		185,0	184,0	184,5		184,5	0,3
168		220	500		239,0	238,0	238,5		238,5	0,5
169		220	500		239,0	238,0	238,5		238,5	0,5
170	46	220			10,0	10,0	10,0		10,0	
171	56	220			10,0	10,0	10,0		10,0	
KNa/Pt-Druckversuch Nr. 142. 8. Februar 1908. $\alpha = 121,48$.										
172	1 ^h 55	230	400		163,5	162,5	163,0		163,0	0,3
173	59	230			17,0	18,5	17,8		17,8	
174	2 ^h 9	230	400		163,0	163,0	163,0		163,0	0,3
175	12	230			15,5	15,5	15,5		15,5	
176	18	230	400		163,5	163,0	163,2		163,2	0,3
177	22	230			32,0	30,0	31,0		31,0	
178	27	230			44,0	44,0	44,0		44,0	
179	33	230			48,0	50,0	49,0		49,0	
180	39	230	400							
181	50	230			69,0	69,0	69,0		69,0	
182	58	230	500		213,0	213,0	213,0		213,0	0,6
183	3 ^h 4	230			81,0	80,0	80,5		80,5	
184	11	230	500		214,0	214,0	214,0		214,0	0,6
185	17	230			85,0	85,0	85,0		85,0	
KNa/Pt-Druckversuch Nr. 143. 9. Februar 1908. $\alpha = 121,48$.										
186	2 ^h 41	240	400		216,0	215,0	215,5		215,5	0,5
187	47	240	400		216,0	215,0	215,5		215,5	0,5
188	53	240	400		215,5	215,5	215,5		215,5	0,3
189	57	240			13,5	13,5	13,5		13,5	
189 a	3 ^h 1	240	400		215,5	214,5	215,0		215,0	0,5
190	5	240			24,6	25,0	24,8		24,8	
191	15	240			47,0	48,0	47,5		47,5	
192	22	240	400		215,0	214,0	214,5		214,5	0,5
193	29	240			65,0	67,0	66,0		66,0	
194	39	240	400		215,0	214,0	214,5		214,5	0,5
195	44	240			80,0	80,0	80,0		80,0	
196	4 ^h 9	240			107,0	106,0	106,5		106,5	
197	17	240	400		214,0	214,0	214,0		214,0	0,5
198	26	240			130,0	129,5	129,5		129,5	
199	36	240	400		214,0	214,0	214,0		214,0	0,5
200	45	240			148,0	145,0	146,5		146,5	
201	49	240	400		214,0	213,0	213,5		213,5	0,5
202	57	240			187,6	187,0	187,5		187,3	
203	5 ^h 6	240	400		214,0	214,0	214,0		214,0	0,5

(Fortsetzung).

p_0	p	p_d	Δp	Δt	d_{150}	$\gamma \cdot 10^{10}$	Bemerkung	
$c = 400$. Empfindlichkeit: $1 = 2,275 \cdot 10^{-7}$ Volt.								
0							Die Berücksichtigung der Funktion $S(p)$ war bei den sehr unsicheren Ausschlägen Nr. 170, 171 nicht möglich.	
0								
0								
0	100	100	100	92,5		2,46		
5	100	100	95	95,0		2,52		
$c = 400$. Empfindlichkeit: $1 \text{ mm} = 2,352 \cdot 10^{-7}$ Volt (hier: d_{100} statt d_{150}).								
0	250	250	250	89,7	19,8	1,87	Der Funktion $S(p)$ konnte im allgemeinen gut Rechnung getragen werden, aber die Extrapolation der p_0 -Kurven ist unsicher, da die Druckbeobachtungen zu rasch nacheinander angestellt worden sind. (Vgl. Fig. 6.)	
0	250	250	250	90,8	17,1	1,61		
0	400	390	390	91,6	33,8	2,04		
0	600	580	580	92,0	46,8	1,94		
0	600	580	580	92,7	52,9	2,15		
0								Mittelwert:
0	1000	980	980	93,8	73,5	1,76		$1,892 \cdot 10^{-10}$
0	1150	1100	1100	95,4	84,4	1,80		
0	1100	1050	1050	96,5	88,1	1,97		
$c = 200$. Empfindlichkeit: $1 \text{ mm} = 2,342 \cdot 10^{-7}$ Volt.								
0							Die Funktion $S(p)$ konnte gut berücksichtigt werden.	
0								
0	100	100	100	145,3	16,0	2,18		
0	200	200	200	145,8	25,5	1,99		
0	400	390	390	146,2	48,8	1,95		
0							Die Extrapolation der p_0 -Kurven ist am besten möglich bei den Ausschlägen Nr. 189, 193, 195, 198, 203; am schlechtesten bei 191 (weil hier unmittelbar eine Druckbeobachtung vorhergeht) und bei 200 (wegen einer Galvanometerstörung).	
0	500	472	472	146,8	67,3	2,23		
0	600	575	575	147,5	81,3	2,21		
0	800	780	780	148,4	107,6	2,15		
0								
0	1000	960	960	148,5	130,8	2,13		
0								Mittelwert:
0	1200	1150	1150	148,3	148,3	2,01		$2,116 \cdot 10^{-10}$
0								
0	1400	1350	1350	148,0	188,7	2,19		
0								

ist diese Kurve nicht direkt aus den Werten von Δt und den hierzu berechneten e -Werten¹⁾, sondern unter Benutzung von b als Parameter aus den beiden gezeichneten Kurven $\Delta t = f(b)$ und $e = f(b)$ konstruiert worden. Das ermöglicht, noch dazu, da man die Form der e -Kurven kennt (es sind Hyperbeln) und sie demgemäß recht genau interpolieren kann, eine sehr homogene Ausnutzung des Beobachtungsmaterials. Diese Methode dürfte in analogen Fällen oft gute Dienste leisten.

Bei der Eichung des KNa-Elementes ist die $e = f(\Delta t)$ -Kurve direkt nach den zu b bzw. c berechneten e -Werten konstruiert. Die Eichkurve²⁾ zeigt parabolischen Verlauf (vgl. dazu in der Dissertation die Tab. 2). Die Größenordnungen der E.M.K. e sind unter III schon mitgeteilt; die Stromrichtungen waren:

Zur Übersicht sei gleich hier erwähnt, daß bei beiden Elementen die Stromrichtung des Druckeffektes den hier bezeichneten Strömen entgegengerichtet war.

Wie unter III schon erwähnt, mußte zur Temperaturbestimmung für die Hg-Versuche bei den von Null verschiedenen p_0 -Werten die dem betreffenden Ausschlage entsprechende E.M.K. in ihren Temperaturwert umgerechnet werden und diese Größe der dem betreffenden b -Werte entsprechenden Temperaturdifferenz zugefügt werden. Die diesbezüglich berechneten Zahlen sind in Tab. 5 der Dissertation zusammengestellt.

Noch zu bemerken ist zu der Temperaturbestimmung nach den $\Delta t = f(b)$ -Kurven der Fig. 8, daß die Akkumulatorspannung e_0 bei den Versuchen jeweils eine andere war, als die den Kurven zugrunde liegende ($e_0 = 2,00$). Da aber, wie ein Blick auf Fig. 8 lehrt, für das in Frage kommende Δt von ca. 150° innerhalb der V.F.G. zwischen Δt und e Proportionalität bestand, so genügte es vollkommen, diesem Um-

1) Vgl. Tab. 1 in der Dissertation.

2) Vgl. die Taf. 2 in der Dissertation.

3) Vgl. in der Dissertation die Tab. 4 der Empfindlichkeiten.

stande durch eine an den Mittelwerten von γ vorgenommene Reduktion Rechnung zu tragen. (Wenn e_0' die betreffende Akkumulatorspannung war, so mußte γ mit $2,00/e_0'$ multipliziert werden.)

Das Prinzip der Temperaturbestimmung bei den Versuchen mit KNa ist unter III schon erwähnt.

Der den in Rechnung gestellten Δt -Werten anhaftende absolute Fehler dürfte, unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Umstände, im allgemeinen kaum 1 Proz. erreichen, der relative wird noch geringer sein.

Noch ist über Einstellen, Ablesen und in Rechnung stellen des Druckes einiges zu sagen.

Das Paraffinöl war ziemlich kompressibel. Gewissermaßen eine Pseudokompressibilität kam aber noch dadurch zustande, daß bei jedem Drucke, der zum ersten Male eingestellt wurde, sich das Öl in neue mehr oder weniger kapillare Spalten des Apparates — namentlich wohl in den Gußteilen — einpreßte. Man mußte z. B., um nach einem mehrmals benutzten Maximaldrucke von 1100 kg/cm^{-2} zu einem Drucke von 1200 kg/cm^{-2} überzugehen, bei dessen Einstellung zuerst etwa bis 1400 kg/cm^{-2} drücken und dann langsam bis auf 1200 kg/cm^{-2} zurückgehen. Bei einiger Übung konnte man dann für das Zeitintervall des Ausschlages ein — natürlich immer dynamisches — Gleichgewicht herstellen. Erforderlichenfalls mußte beim Druckgeben der Zylinder der Druckschraube durch die, übrigens separat montierte, Hebelpumpe frisch gefüllt werden. Von dem die Pumpe von der Druckleitung scheidenden Ventile wurde bei den höheren Drucken meist Gebrauch gemacht. Vor Niedergang des Druckes konnte man sich dann ein Urteil darüber bilden, wie weit bei geöffnetem Ventil die von selbst erfolgende Druckabnahme durch Undichtheiten der Pumpe oder des Druckapparates erfolgte. Alle die diesbezüglichen Erwägungen fanden bei Angabe des in Tab. 2 mit p_a bezeichneten Druckwertes möglichst Berücksichtigung.

Die Empfindlichkeit (e_1) wurde bei jeder Versuchsreihe mehrmals bestimmt und das Mittel genommen; die Methode der Ausschlagsbeobachtung war natürlich ganz analog der bei den Druckbeobachtungen. Eine Zusammenstellung ist in Tab. 4

der Dissertation gegeben, die einzelnen Ausschläge sind auch in Tab. 2 einzusehen.

Nun zu den Versuchen selbst.

Die Hg-Versuche. — Es ist einigermaßen schwierig, anzugeben, welche von den 7 Versuchsreihen als sicherste zu betrachten ist. Am Schluß des letzten Versuches (Nr. 140) ist die Glasröhre an der oberen Einschmelzstelle gebrochen. Soviel sich noch feststellen ließ, war der Pt-Draht an dieser Stelle im Inneren des Glasrohres ganz vom Hg aufgelöst worden. Die diesbezüglichen Kontaktverhältnisse dürften sich also während der verschiedenen Versuchsreihen langsam geändert haben. Das wird bei dem Totaleindruck, den man von der Zusammenstellung der Hg-Versuche in Fig. 9 gewinnt, zu bedenken sein.

Fig. 9.

Eine weitere allgemeine Bemerkung ist die: zwischen den Versuchsreihen Nr. 137 und Nr. 139 ist der Versuch zur Erforschung von $S(p)$, Nr. 138, angestellt worden. Bei ihm wurde, wie schon erörtert, das Element im ungeheizten Apparate gepreßt. Ob es damit zusammenhängt, daß die Kurve 139 mehr gekrümmt ist als die vorhergehenden, muß dahingestellt bleiben; die Korrektur s ist auch an den vorhergehenden Kurven schon angebracht. Auffällig ist jedenfalls, daß gerade nach dem Versuch Nr. 138 der Wert von γ bei Nr. 139 und Nr. 140 größer geworden ist. Man sehe sich das

in der Tab. 2 an. Dort wird man auch noch finden, daß die einzelnen γ -Werte von Beginn der Nr. 139 an bis zu Ende von Nr. 140 im allgemeinen stetig abnehmen, und wenn man dann noch einen Blick auf Kurve 140 auf Fig. 9 wirft, so wird man sich sagen, daß bei einer Fortsetzung des Versuches der γ -Wert vermutlich seinen letzten innerhalb der V.F.G. mit den Versuchen von Nr. 138 übereinstimmenden geringeren Wert behalten haben würde.

Jedenfalls kann man sich hieraus ein Urteil bilden über den maximalen Fehler, mit dem man vermutlich in Anbetracht nicht genügend scharf definierter Lötstellen rechnen muß.

Von den Versuchsreihen 133—137 eine als die beste zu bezeichnen, hat nicht viel Zweck, sie dürften ziemlich gleichwertig sein und zu der Annahme berechtigen, daß γ innerhalb der V.F.G. als konstant anzusehen ist. Nr. 134 und Nr. 137 könnte man als am zuverlässigsten annehmen. In der Spalte „Bemerkungen“ ist in Tab. 2 der Mittelwert von γ angegeben, wertvoller aber ist wohl der jeweils aus den Kurven ermittelte γ -Wert. Folgende Zusammenstellung gibt (unter Anbringung der schon erwähnten Temperaturkorrektur) die Mittelwerte aus den Tabellen und die Werte aus den geraden Linien (bei Nr. 140 die gestrichelte) der Figur:

Nr.	$\gamma_{\text{Tabelle}} \cdot 10^{10}$	$\gamma_{\text{Fig. 9}} \cdot 10^{10}$
133	2,163	2,119
134	2,168	2,160
135	2,117	2,136
136	2,189	2,180
137	2,187	2,204
139	2,345	2,293
140	2,210	2,140
Mittel: 2,197		2,176

Bei Weglassung der Versuche Nr. 139, 140 würde man erhalten:

$$2,165 \quad \text{und} \quad 2,159.$$

Bei der hier noch vorhandenen Unsicherheit wird man als den wahrscheinlichsten Wert ansetzen:

$$\gamma = 2,18 \cdot 10^{-10}.$$

Der nach bekannten Methoden berechnete mittlere Fehler dieses Mittelwertes wäre $\pm 0,015$, der wahrscheinliche also $\pm 0,006$; doch haben diese Angaben im vorliegenden Falle offenbar nur minimalen Wert. Schätzungsweise ist der wahrscheinliche Fehler des Resultates mit ± 1 Proz. zu veranschlagen.

Dieser Wert von γ mißt den „Druckeffekt“ des Elementes Hg/Pt. Nun gibt E. Wagner in seiner Arbeit¹⁾ für das Pt allein den Wert $18,6 \cdot 10^{-12}$ an, und da die Richtung dieselbe ist wie bei Hg, so ergibt sich für dieses allein:

$$(2,18 + 0,186) \cdot 10^{-10} = 2,366 \cdot 10^{-10}.$$

Wagner erhielt²⁾ für Hg den Wert $2,34 \cdot 10^{-10}$. Das ist eine in Rücksicht auf die Schwierigkeit der beiderseitigen Messungen und die Verschiedenheit der Methoden vorzügliche Übereinstimmung.

Die Werte von Des Coudres³⁾ und von Agricola⁴⁾ sind etwas kleiner, sie stimmen innerhalb der V.F.G. überein:

$$\gamma = 2,14 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Volt}}{\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Grade}};$$

doch ist hier zu bemerken, daß (nach persönlicher Mitteilung) dem Des Coudresschen Werte noch eine, in der zitierten Arbeit noch nicht erkannte, spezielle Unsicherheit dadurch anhaftet, daß die Messung eines Cu-Widerstandes nicht einwandfrei gewesen ist. Einer nach 10 Jahren angestellten Kontrollmessung, die dann für γ den Wert $2,05 \cdot 10^{-10}$ ergeben würde, kann kein Wert beigelegt werden, da Cu-Drähte bekanntlich eine sehr bedeutende Änderung ihres Widerstandes mit der Zeit zeigen.

Die KNa-Versuche. — Es konnten leider nur drei Versuche angestellt werden. Davon ist der erste, Nr. 141, nur als ein Vorversuch zu betrachten. Versuchsreihe Nr. 142 ist in ihrem Werte dadurch beeinträchtigt worden, daß die Drucke

1) l. c. p. 980.

2) l. c. p. 982.

3) l. c. p. 22 $\left(\text{dort angegeben in } \frac{\text{Mikrovolt}}{\text{Megadynen} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{Celsiusgrade}} \right).$

4) l. c. p. 26 $\left(\text{dort angegeben in } \frac{\text{Mikrovolt}}{\text{Atmosphären} \cdot \text{Celsiusgrade}} \right).$

in zu kurzen Zeitintervallen gegeben wurden. Fig. 6 zeigt, daß die Funktion $S(p)$ hier bedeutend größer war als bei den Hg-Versuchen; sie klingt allerdings rasch genug ab, aber es hat, wie schon erwähnt, den Anschein, daß sie oszillierend zurückgeht. Da nun außerdem bei Nr. 142 die Extrapolation der p_0 -Kurve (strichpunktiert) wegen der Nachwirkung des S -Wertes vom jeweils vorhergehenden Ausschlage abhängt, so

Fig. 10.

kann man hier keine große Genauigkeit erwarten. Es ist möglich, namentlich in Hinblick auf den schwach oszillierenden Charakter von $S(p)$, daß die in der Figur angesetzten d -Werte zu klein sind. Zuverlässiger ist die Versuchsreihe Nr. 143, deren Werte sich auch, wie man auf Fig. 10 sieht, besser der durchgezogenen Geraden angliedern. Die aus Tab. 2 und Fig. 10 folgenden Mittelwerte sind:

Nr.	$\gamma_{\text{Tabelle}} \cdot 10^{10}$	$\gamma_{\text{Fig. 10}} \cdot 10^{10}$
142	1,892	1,910
143	2,116	2,128

Die beiden Versuche sind bei verschiedenen Temperaturen gemacht; die V.F.G. sind aber, namentlich bei Nr. 142, so groß, daß man absolut nicht daraus schließen darf, γ sei eine Funktion der Temperatur. Es sei als Resultat betrachtet:

$$\gamma = 2,13 \cdot 10^{-10}.$$

Der wahrscheinliche Fehler kann zu ± 3 Proz. veranschlagt werden.

γ ist innerhalb der V.F.G. konstant.

Bringen wir auch hier wieder den von E. Wagner für Pt gefundenen Wert in Berücksichtigung, so folgt als Druckeffekt am KNa allein:

$$2,316 \cdot 10^{-10}.$$

Zusammenfassung.

1. Ein 70 cm langes Thermoelement aus 0,4 mm starkem Pt-Draht und einer 2 mm starken Hg-Säule zeigte für $\Delta t = 150^\circ$ eine E.M.K. von rund 10^{-6} Volt pro Grad Δt -Zuwachs; die Stromrichtung war:

Hg $\longrightarrow$ heiße Lötstelle $\longrightarrow$ Pt.

Wurde dieses Element bei $\Delta t = 150^\circ$ einem durch Öl übertragenen Drucke ausgesetzt, so erfuhr es pro Grad Δt und pro kg/cm^{-2} Druck eine mit dem Galvanometer gemessene Änderung seiner E.M.K. um

$$2,18 \cdot 10^{-10} \text{ Volt.}$$

Die Richtung des diesem Druckeffekte entsprechenden Stromes war dem gewöhnlichen Thermostrome entgegengesetzt, also:

Pt $\longrightarrow$ heiße Lötstelle $\longrightarrow$ Hg.

Bis zu $p = 1400 \text{ kg/cm}^{-2}$ konnte innerhalb der V.F.G. keine Abweichung von der Proportionalität mit dem Drucke konstatiert werden. Der wahrscheinliche Fehler der Zahl 2,18 dürfte etwa 1 Proz. betragen.

Berücksichtigt man den von E. Wagner für Pt gefundenen Druckeffekt, so stimmt die dann für das Hg allein geltende Zahl innerhalb der V.F.G. sehr gut mit der von Wagner für Hg gefundenen überein.

2. Ein obigem ganz analoges Thermoelement mit eutektischer KNa-Legierung von Merck-Darmstadt wurde genau den gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen unterworfen. Seine (gewöhnliche) thermoelektrische E.M.K. zeigte parabolischen Verlauf und betrug für $\Delta t = 150^\circ$ rund $5 \cdot 10^{-6}$ Volt pro Grad Δt -Zuwachs. Die Richtung war:

KNa $\longrightarrow$ heiße Lötstelle $\longrightarrow$ Pt.

Der unter denselben Bedingungen wie beim Hg-Element gemessene Druckeffekt ergab sich pro Grad Δt und pro kg/cm^{-2} Druck zu

$$2,13 \cdot 10^{-10} \text{ Volt.}$$

Die Richtung des diesem Druckeffekte entsprechenden Stromes war auch hier dem gewöhnlichen Thermostrome entgegengesetzt, also:

Bis zu $p = 1400 \text{ kg/cm}^{-2}$ konnte auch hier eine Abweichung von der Proportionalität mit dem Drucke nicht konstatiert werden. Der wahrscheinliche Fehler der Zahl 2,13 ist mit rund 3 Proz. anzusetzen.

Auch an dieser Stelle möchte der Verfasser seinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Prof. Dr. Th. Des Coudres, in dessen Institut diese Arbeit ausgeführt wurde, aufrichtigsten Dank aussprechen.

Gautsch bei Leipzig, Dezember 1908.

(Eingegangen 2. Dezember 1908.)