**3. Ueber die Verwendung des Quadrant-
elektrometers zur ballistischen Messung der mag-
netischen Feldstärke und über die Susceptibilität
des Wassers;
von J. Koenigsberger.**

Die bei der Induction im ungeschlossenen Stromkreise entstehende Potentialdifferenz ist, wie im Folgenden gezeigt wird, durch dasselbe Gesetz gegeben, durch welches nach Faraday-Maxwell die Induction im geschlossenen Stromkreise bestimmt ist.

Diese Potentialdifferenz kann bei Verwendung des Quadrantelektrometers als ballistisches Instrument eine sehr genaue Feldstärkemessung ermöglichen; denn die in die Rechnung eingehenden Grössen lassen sich ohne Schwierigkeit auf $\frac{1}{2000}$ ihres Wertes ermitteln. In Verbindung mit dieser Messung wurde nach der Steighöhenmethode von Hrn. Quincke die Susceptibilität des Wassers und einer Eisenchloridlösung möglichst genau bestimmt.

Bekanntlich zeigen auch die neueren Bestimmungen der Susceptibilität des Wassers Unterschiede von mehr als 20 Proc., und deshalb schien mir eine abermalige Messung derselben unter möglichster Berücksichtigung aller Fehlerquellen von Interesse zu sein.

Theorie.

Ein Condensator der Capacität c ist mit der Elektrizitätsmenge e_0 zur Potentialdifferenz V_0 geladen; alle Grössen seien im elektromagnetischen Maasssystem gemessen. Die eine Platte desselben ist mit einem Drahtende eines im magnetischen Felde befindlichen Solenoids verbunden. Die Capacität dieses Solenoids sei klein gegen die des Condensators, und Rückstandswirkungen seien nicht vorhanden. Wird jetzt die Verbindung des anderen Drahtendes mit der zur Erde abgeleiteten Condensatorplatte hergestellt, so gleicht sich die Potential-

differenz der Platten aus, und die Ladung fliesst durch das Solenoid zur Erde.

Aus der Uebereinstimmung der Werte der Grösse „ v “, die von Weber und Kohlrausch, von Hrn. Himstedt und von Hrn. Klemenčič erhalten wurden, mit den Werten, die sich aus der Methode von Thomson ergaben, folgt, dass die zeitliche Aenderung einer elektrischen Ladung¹⁾ in einem Leiter, der sogenannte Entladungsstrom eines Condensators, gleich starke ponderomotorische Wirkungen auf eine Magnetnadel hervorbringt wie der Strom eines geschlossenen Kreises. Umgekehrt wird auch auf ein von einem Entladungsstrom durchflossenes Solenoid mit der Windungszahl n und der Fläche q in einem Magnetfeld der Stärke H ein Drehungsmoment ausgeübt von der Grösse, dass die während der Zeit dt von dem System abgegebene Energie gleich

$$n \frac{dN}{dt} \cdot \frac{de}{dt} \cdot dt$$

ist. Hierin bedeutet N die Anzahl der die Fläche durchsetzenden Kraftlinien gleich $H \cdot q$, und de/dt die Stärke des Entladungsstromes. Der Gewinn an ponderomotorischer Arbeit muss einen Verlust an andersartiger Energie herbeiführen und, da nach der Entladung des Condensators die ganze elektrische Energie in Wärme umgesetzt wird, muss die letztere kleiner sein, als dies bei Nichtleistung mechanischer Arbeit der Fall wäre.

Nach den Versuchen von Riess, Knochenhauer und nach dem Princip von der Erhaltung der Energie ist die gesamte Wärmemenge gleich $\frac{1}{2} c V^2$, wobei c die Capacität des Systems bedeutet. In der Zeit dt wird also die Wärme

$$c \cdot V \cdot \frac{dV}{dt} dt = V \cdot \frac{de}{dt} dt$$

erzeugt; V ist das mittlere Potential in der Zeit dt . Wird gleichzeitig ponderomotorische Arbeit geleistet, so muss die Wärme um eine bestimmte Grösse vermindert werden. Diese Grösse kann gleich $V' \cdot (de/dt) dt$ gesetzt werden, wobei V' die Verminderung der elektromotorischen Kraft, die sogenannte inducirte elektrische Kraft, und de/dt die wirklich vorhandene

1) In elektromagnetischem Maass gemessen.

Stromstärke in der Zeit dt bedeuten. Nach dem ersten Hauptsatz ist dann

$$V' \frac{de}{dt} dt = n \cdot \frac{de}{dt} \frac{dN}{dt} dt,$$

wobei de/dt auf beiden Seiten die wirklich vorhandene mittlere Stromstärke ist, oder

$$V' = n \frac{dN}{dt}$$

und

$$\int V' dt = n \cdot (N - N_0).$$

Wird das Solenoid nicht gedreht, sondern aus dem magnetischen Feld entfernt, oder wird das Feld geändert, so gilt, wie man durch einen Kreisprocess nachweisen kann, der gleiche Ausdruck für die ponderomotorische Arbeit, und man erhält denselben Satz, der demnach für offene wie für geschlossene in Leitern fließende Ströme gilt. Beachtenswert ist, dass für stationäre Aenderung von N , d. i.

$$\frac{dN}{dt} = \text{const.},$$

keine Dämpfung und kein Energieverbrauch stattfindet.

Befindet sich die Spule erst im Felde der Stärke H_0 , dann im Felde H , so erhält man aus der obigen Gleichung

$$H - H_0 = \frac{\int V dt}{n \cdot q}.$$

Das $\int V dt$ lässt sich mit einem Quadrantelektrometer gerade so messen, wie $\int idt$ mit einem ballistischen Galvanometer. Solange die Ablenkungen proportional V sind, ist

$$\int V dt = A \cdot \frac{\tau}{\pi} \cdot a,$$

wobei A der Reductionsfactor für 1 Sct., a die Anzahl der Scalenteile und τ die Schwingungsdauer der Nadel bedeuten. Zeigt das Instrument, wie dies bei allen Quadrantelektrometern stattfindet, merkliche, aber nahezu constante Dämpfung, so muss der Ausdruck noch mit

$$k^{1/\pi \operatorname{arctg}\left(\frac{\pi}{l \cdot k}\right)}$$

multiplicirt werden. Folgende Constanten sind also zu messen: am Quadrantelektrometer Empfindlichkeit, Schwingungsdauer,

Dämpfungsverhältnis, an der Inductionsspule Windungsfläche und Windungszahl. Von den elektromagnetischen Grössen geht nur die elektromotorische Kraft in die Rechnung ein, und diese ist dank der sorgfältigen Untersuchungen über Normalelemente ohne Schwierigkeit auf etwa $\frac{1}{2000}$ ihres absoluten Wertes angebbar.

Magnetfeld und Inductionsspule.

Das magnetische Feld wurde zwischen den Flachpolen eines Ringelektromagneten nach Du Bois, dessen Spulen von 2,4 Ohm Widerstand hintereinander geschaltet waren, erzeugt. Es war, wie Versuche zeigten, innerhalb des Bereichs der Inductionsspule bis auf etwa 1—2 Tausendstel der Gesamtfeldstärke homogen.

Der Abstand der Polschuhe war bei diesen Versuchen meist 3,5 cm, der magnetisierende Strom 10—18 Amp., die Feldstärke 3500—5000 Einheiten.

Die Inductionsspule wurde aus Kupferdraht von 0,34 mm Drahtdicke (mit doppelter Umspinnung 0,39 mm dick) auf einer Ebenholzspindel von 4,977 cm Durchmesser, die sorgfältig abgedreht war, möglichst gleichmässig gewickelt. Hr. Mechaniker H. Elbs hatte die Freundlichkeit, die schwierige Arbeit selbst auszuführen. Mit einem Caliber, an dem $\frac{5}{100}$ mm noch geschätzt werden konnte, wurde der äussere Durchmesser jeder Windungslage an verschiedenen Stellen bestimmt und an einem Tourenzähler die Windungszahl jeder Lage abgelesen. Die Zahl der Lagen war 10, die der Windungen einer Lage 58. Die gesamte Windungsfläche ergab sich zu 13040. [cm²]. Der äussere Durchmesser der fertigen Spule betrug 5,8 cm, die Dicke derselben 3 cm.

Solch grosse Dimensionen der Spule wie die hier angegebenen sind aber durchaus nicht notwendig. Der Kupferdraht kann, da der Widerstand gleichgültig ist, viel dünner und die Anzahl der Lagen zwei- oder dreimal grösser genommen und dadurch die Breite der Spule auf $\frac{1}{5}$ und noch weniger herabgesetzt werden.¹⁾ Bei dem entsprechenden ge-

1) Homogenität der Spule ist nicht erforderlich, da das Inductionsgesetz die Form des Leiters nicht enthält. Nur für die galvanische Ausmessung der Windungsfläche ist es wünschenswert, dass die Spule nicht allzu ungleichmässig ist.

ringeren Abstand der Polschuhe ist das magnetische Feld fast doppelt so stark, und dies ist für viele Messungen vorteilhafter. Der Verfasser nahm die Spule breit und den Draht dick, in der Hoffnung, die im Folgenden angegebene galvanische Ausmessung der Windungsfläche durch die geometrische zu controliren. Jedoch betrug der Unterschied infolge Einsinkens der oberen Lagen 0,3 Proc., sodass schliesslich doch nur die galvanische Ausmessung als richtig angenommen und auf die geometrische von vornherein verzichtet werden kann. Auch der Durchmesser der Spule und damit die Querdimensionen des Feldes könnten bei Anwendung der Multiplicationsmethode auf etwa $\frac{2}{3}$ ihres Wertes beschränkt werden. Die Windungsfläche wurde darauf nach der Methode von Hrn. F. Kohlrausch¹⁾ 14 Tage nach beendigter Wickelung bestimmt. Hr. Prof. Himstedt war so gütig, für diesen Zweck die von ihm construirte und beschriebene²⁾ Tangentenboussole zu leihen.

Der Draht, welcher eine Windungslage bildet, ist um einen abgeschliffenen Glasring gelegt, der Radius beträgt 24,712 cm. Der durch die Zuleitung bewirkte Fehler ist durch coaxiale Anordnung beseitigt. Die Genauigkeit, mit der die Messung nach Kohlrausch ausgeführt werden kann, ist bekanntlich eine sehr hohe. Ich erhielt an zwei Tagen Resultate, die nur um 0,02 Proc. differirten. Die Längenmessungen wurden mit einem Normalmaassstab ausgeführt. Die Correctionen, die häufig erhebliche Werte erreichen, waren für meine Spule gering (der erhaltene Wert war mit 1,0064 zu multipliciren). Die Windungsfläche ergab sich zu 13007; der wahrscheinliche Fehler dürfte kaum mehr als ± 5 betragen. Die Abweichung von der geometrischen Ausmessung beträgt demnach, wie oben erwähnt, 0,3 Proc., sie lässt sich aber durch das Einsinken der zehn übereinander gewickelten Lagen erklären.

Für die Messungen wurde der Wert 13010 zu Grunde gelegt.

Um die Induction hervorzurufen, wurde die Spule rasch aus dem Felde heraus- oder in dasselbe hineingezogen. Eine Führung von Glasröhren sorgte für Verschiebung senkrecht

1) F. Kohlrausch, Wied. Ann. 18. p. 513. 1883.

2) F. Himstedt, Wied. Ann. 49. p. 589. 1893.

zu den Kraftlinien. Häufig wurde auch der magnetisierende Strom geöffnet oder geschlossen¹⁾, während die Spule sich im Felde befand.

Quadrantelektrometer.

Zur Messung der Potentialdifferenz auf ballistischem Wege wurde ein nach Angaben von Hrn. F. Himstedt construirtes und von ihm beschriebenes Quadrantelektrometer verwandt.²⁾ Die vier Aluminiumnadeln sind an einem Wollastondraht aufgehängt, der keine merkbare elastische Nachwirkung zeigte. Die Nadelladung wurde von 100 Daniell-Elementen (Kupfer-Zink in Magnesiumsulfat) geliefert.

Das eine Quadrantenpaar, sowie das eine Drahtende der im Magnetfeld befindlichen Inductionsspule werden zur Erde abgeleitet. Das zweite Quadrantenpaar wurde zur Messung der Inductionswirkung mit dem anderen Draht der Spule verbunden, und war somit auch zur Erde abgeleitet. Isolationsfehler oder Ausstrahlung der Elektrizität können daher keine Störung verursachen. — Zur *Bestimmung der Empfindlichkeit* wurde das eine Quadrantenpaar mit einer Klemme eines stromdurchflossenen Präcisionsrheostaten, der an verschiedenen Stellen zur Erde abgeleitet werden konnte, verbunden. Das stromgebende Trockenelement wurde mit 4000 Ohm geschlossen, und je nach Bedarf wurde von $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{8}$ dieses Widerstandes abgezweigt. Die Spannung an den beiden Endklemmen des Rheostaten wurde dann bei verminderter Empfindlichkeit des Elektrometers mit Normalelementen verglichen. Es zeigte sich, dass das *Trockenelement* mehrere Wochen bei einem Gesamtverbrauch von $\frac{1}{500}$ Ampèrestunden *seine elektromotorische Kraft um weniger als* $\frac{6}{10000}$ änderte und von 20—25° von der Temperatur fast unabhängig war. Als Normalelemente dienten zwei genau nach Vorschrift der Physik.-Techn. Reichsanstalt hergestellte Westonelemente, die beide auf 0,1 Millivolt übereinstimmten. Der absolute Wert ihrer elektromotorischen Kraft wurde nach den neuesten Messungen³⁾ zu 1,0186 Volt bei 20° angenommen.⁴⁾

1) Vgl. p. 513.

2) F. Himstedt, Wied. Ann. 50. p. 752. 1893.

3) Vgl. F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys. p. 351. Leipzig 1901.

4) Ein Clarkelement mit Thonzelle von R. Fuess zeigte keine genügende Uebereinstimmung mit den Westonelementen. Nach der in der

Die Empfindlichkeit des Elektrometers änderte sich nur wenig, 1 mm der Scala entsprach bei 2300 mm Scalenabstand etwa 0,004 Volt. Vor und nach jedem Versuch wurde eine Aichung vorgenommen.

Das *Dämpfungsverhältnis* wurde in der üblichen Weise auf $1\frac{1}{2}$ Tausendstel genau festgestellt. Innerhalb des hier allein verwandten Scalenausschlages von 0—100 mm nimmt dasselbe um etwa ein Tausendstel zu. Bei grösseren Ausschlägen, für die auch keine strenge Proportionalität mit der Potentialdifferenz vorhanden ist, wächst die Dämpfung und ist für Ausschläge von 200 bereits um ein Hundertstel grösser und steigt dann schnell. Eine Constanz der Dämpfung war wegen der complicirten Verhältnisse — die ruhenden und die schwingenden Scheiben haben Schlitze und die Luftmasse ist seitlich begrenzt — von vornherein nicht zu erwarten. Es muss aber hervorgehoben werden, dass Unregelmässigkeiten, wie sie die Dämpfung bei den Quadrantelektrometern mit Schwefelsäurezuleitung zeigt, bei der Aufhängung am Platindraht nicht vorkommen; ich erhielt an verschiedenen Tagen stets denselben Wert. Das Dämpfungsverhältnis kann demnach gerade so genau ermittelt werden wie beim ballistischen Galvanometer. Die *Schwingungsdauer* wurde mit Hipp'schen Chronoskop, das mit einer Normaluhr verglichen wurde, bestimmt. Da die Dämpfung nicht gross war, konnte die Dauer von fünf halben Schwingungen gemessen werden. Die Dauer einer halben Schwingung betrug im Mittel 6 Sec. mit einem Fehler von etwa $\pm 0,001$ Sec. Da aber das Dämpfungsverhältnis für Ausschläge von 0—100 Sct. um $1\frac{1}{2}$ Tausendstel wächst, so ist die für das gleiche Intervall geltende Schwingungsdauer auf etwa $\frac{2}{3}$ Tausendstel, also 0,004, unsicher.

Versuche.

Die Induction kann entweder durch Heraus- oder Hineinziehen der Spule aus dem magnetischen Felde oder durch

Physik.-Techn. Reichsanstalt gütigst vorgenommenen Aichung war die elektrische Kraft in der That um den aussergewöhnlich hohen Betrag von 4,5 Millivolt niedriger als normal, was auch annähernd zu der vor dem Transport vorgenommenen Vergleichung mit den Westonelementen stimmt.

Schliessen des magnetisirenden Stromes bewirkt werden. Erstere Methode giebt gute und einwandsfreie Resultate, aber es darf die Spule nicht zu rasch bewegt werden; denn sonst werden die Ausschläge bisweilen um 2—4 Proc. grösser und für die beiden Feldrichtungen unsymmetrisch. Bei rascher Bewegung der Spule ($\frac{1}{4}$ Sec.) wird nämlich die Strecke der Hauptabnahme der Kraftlinien (etwa 70 Proc.) in $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ Sec. durchlaufen und dadurch eine Potentialdifferenz von über 10 Volt erzeugt. Ist jedoch das Quadrantelektrometer vollkommen in Ordnung, was von uncontrolirbaren Zufälligkeiten abhängt, so ist der Ausschlag auch für ganz rasche Bewegung nur sehr wenig verschieden von dem für normale Geschwindigkeit (1 Sec.). Im allgemeinen ist eine mässig rasche Bewegung vorzuziehen.

Wird die Spule nicht weit vom Elektromagneten entfernt, so muss noch das Feld an der betreffenden Stelle gemessen werden, was durch Schliessen des Stromes im Elektromagnet mit genügender Genauigkeit geschehen kann. Um ein Drehen der Spule zu verhindern und eine stets gleichmässige Lage $\perp$ zu den Kraftlinien zu sichern, wurde eine Führung aus Glasröhren angebracht.

Die Induction beim Schliessen des Stromes lässt sich ohne solche Vorrichtungen beobachten, aber man kann einwenden, dass infolge der grossen Selbstinduction des Elektromagneten die Gesamtänderung mehr Zeit beansprucht als bei der kurzen Schwingungsdauer der meisten ballistischen Instrumente zulässig wäre. Die Beobachtungen zeigten mir, dass bei dem Du Bois'schen Elektromagneten des hiesigen physikalischen Institutes dieser Umstand nur wenig stört. Mit Berücksichtigung des remanenten Magnetismus ergab sich nämlich das Verhältniss des Inductions ausschlages beim Herausziehen zu dem beim Oeffnen 1,005. Durch directe Beobachtung des Feldanstieges wurde dies bestätigt. Das magnetische Feld besass nach $\frac{1}{5}$ Sec. 60 Proc. seiner Gesamtstärke, nach $\frac{1}{3}$ Sec. 78 Proc., nach 1 Sec. 98 Proc., nach $1\frac{1}{2}$ Sec. seine volle Stärke. Die schliessliche Stromstärke war hierbei gleich 10—17 Amp., die Feldstärke 3000—5000 Einheiten. Ein inductionsfreier Widerstand war nicht vorgeschaltet. Man wäre also wohl berechtigt, wenn man einmal die Correction ermittelt hat, stets die Induction beim Schliessen der Messung

zu Grunde zu legen. Die Induction beim Oeffnen lässt sich nicht so gut verwerten; sie giebt zu kleine Werte.

Zur Beurteilung der Genauigkeit in der Messung des Inductions ausschlages seien folgende Zahlen (Ausschlag in Scalenteilen) angegeben:

74,0, 74,3, 74,2, 74,2; Mittel: 74,18

auf etwa 1 Tausendstel genau.¹⁾ Die Bedingung dafür, dass das Mittel den richtigen Wert giebt, ist natürlich die Constanz des magnetisirenden Stromes. Deshalb wurde der Strom immer nur auf kurze, stets gleiche Zeit durch Eintauchen von amalgamirten Kupferbügeln in Quecksilbercontacte geschlossen. Die benutzte Accumulatoren batterie erwies sich bei dem geringen Ampèrestundenverbrauch als constant. Die aus diesen Beobachtungen sich ergebende Feldstärke setzt sich aus Grössen zusammen, die wie *Schwingungsdauer*, *Dämpfungsverhältnis*, *Empfindlichkeit des Elektrometers* und *Windungszahl der Spule* ohne grosse Schwierigkeiten auf $\frac{1}{2}$ Tausendstel genau bestimmt werden können. Der *Inductions ausschlag* dagegen besitzt einen Fehler von etwa 1 Tausendstel, doch ist dies, wie ich glaube, hauptsächlich der Inconstanz des magnetischen Feldes zuzuschreiben. Durch Vorschalten eines inductionsfreien Widerstandes (im Petroleumbad) und Anwendung einer Potentialdifferenz von etwa 200 Volt, wie Du Bois¹⁾ es vorgeschlagen hat, liesse sich diese Fehlerquelle wohl vermeiden.

Die Vorzüge der hier beschriebenen Methode vor der üblichen Messung mit dem *ballistischen Galvanometer* bestehen, wie ich glaube, erstens in der *Unabhängigkeit von magnetischen Störungen*²⁾, zweitens darin, dass die *einzige* Grösse des elektromagnetischen Systems, die der Messung zu Grunde liegt, leicht mit Hilfe der Normalelemente auf $\frac{1}{2000}$ genau erhalten werden kann. Stromstärke und Widerstand bez. Horizontalintensität auf $\frac{1}{1000}$ ihres absoluten Wertes zu ermitteln, er-

1) Du Bois, Magnetische Kreise p. 281. Berlin. 1894.

2) Bei Benutzung eines Galvanometer nach d'Arsonval dürfte wegen der grossen Dämpfung die Bestimmung der Schwingungsdauer und des Dämpfungsverhältnisses auf 1 Tausendstel kaum möglich sein.

fordert jedenfalls weit mehr Zeit. Dass die elektromotorische Kraft der Normalelemente nur auf etwa $\frac{1}{2}$ Tausendstel des absoluten Wertes sicher bekannt ist, kommt nicht in Betracht, da die Schwierigkeit, Strommessungen und Widerstandsmessungen oder Bestimmungen der Horizontalintensität genauer auszuführen, bekanntlich gross ist. Dass die Dimensionen der Spule bei dieser Methode grösser sein müssen, ist nur von Nachteil, wenn es sich um kleine magnetische Felder handelt; denn sonst lässt sich wegen des grösseren Abstandes von der Tangenteboussole die Windungsfläche besser bestimmen, wie an einer kleinen Spule. Die geometrische Messung einer kleinen Spule genau auszuführen, erfordert wohl noch mehr Zeit.

Für kleine magnetische Felder könnte vielleicht bei Anwendung des Quadrantelektrometers in der von Dolezalek und Nernst¹⁾ angegebenen Form, welche *et. par.* etwa die 30fache Empfindlichkeit haben, auch eine sehr kleine Spule benutzt werden.

Die Empfindlichkeit der Elektrometer kann in bequemer Weise durch die Nadelladung in weiten Grenzen geändert werden.

Bestimmung der magnetischen Susceptibilität des Wassers.

Für die Susceptibilität des Wassers und der anderen schwach dia- oder paramagnetischen Substanzen haben sich bekanntlich auch nach den neueren Messungen Werte ergeben, die um mehr als 20 Proc. verschieden sind. Die Ursache dieser Abweichungen kann entweder in einem uns noch unbekannten Verhalten der Flüssigkeiten oder in unrichtiger Bestimmung der Feldstärke gesucht werden. Für das Verhältnis der Susceptibilität zweier Flüssigkeiten sind nach den verschiedensten Methoden von allen Forschern Zahlen erhalten worden, die sich nur wenig voneinander unterscheiden. Insbesondere aber haben die Messungen von G. Jäger und St. Meyer²⁾, welche nach drei verschiedenen Methoden die Susceptibilität des

1) F. Dolezalek u. W. Nernst, Zeitschr. f. Instrumentenk. 17. p. 565—577. 1897.

2) G. Jäger u. St. Meyer, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 106. p. 104. 1897; Wied. Ann. 67. p. 707. 1899.

Wassers bestimmten, die Feldstärke aber stets auf die gleiche Art maassen, gezeigt, dass besondere Eigenschaften der Flüssigkeiten nicht vorhanden sein können. Demnach ist wohl die Bestimmung der Feldstärke die Ursache der Abweichungen, und das ist um so wahrscheinlicher, weil das Quadrat derselben für die ponderomotorischen Wirkungen auf die Flüssigkeiten maassgebend ist. Zum Teil mögen die Fehler durch die Unmöglichkeit, stets das gleiche Magnetfeld wiederherzustellen, hervorgerufen sein, zum Teil aber auch durch die Schwierigkeit der genauen absoluten Bestimmung der in die Rechnung eingehenden Grössen, wie Horizontalintensität oder Stromstärke und Widerstand bei den ballistischen Methoden oder Windungsfläche und Widerstand der kleinen schwingenden Spule bei der Dämpfungsmethode. Die Messung des magnetischen Feldes durch die Drehung der Polarisationssebene im Schwefelkohlenstoff oder in Glas, an sich wohl die rascheste und genaueste Methode, lässt nur den Schluss auf die Feldstärke in der Axe der Durchbohrung zu, und die ausserhalb kann um 10 Proc. grösser sein.

Um von der zuerst genannten Fehlerquelle frei zu sein, wurden Suszeptibilität und Feldstärke in etwa 10 Sec. nacheinander ohne Aenderung des magnetisirenden Stromes bestimmt; die Feldstärke in der oben angegebenen Weise durch Herausziehen der Spule aus dem Felde, die Suszeptibilität nach Quincke's Steighöhenmethode. Die Reihenfolge beider Operationen wurde häufig gewechselt, ohne dass Unterschiede bemerkbar waren. Die Glasröhren zur Messung der Steighöhe wurden immer nur 10 Min. lang benutzt und standen dann 6—10 Stunden lang mit Chromsäure gefüllt. Zur Beurteilung der Genauigkeit sei im Folgenden eine Bestimmung mit allen Correctionen wiedergegeben.

Vor den Versuchen wurde die *Schwingungsdauer* der Elektrometernadel in der auf p. 512 angegebenen Weise bestimmt. Die Dauer von fünf Schwingungen war = 148,48 Einheiten des Hipp'schen Chronoskopes, der mittlere Fehler jeder der neun Messungen beträgt 0,24 Einheiten, der wahrscheinliche des Resultates also 0,06. Da 148,55 Einheiten = 30 Sec. normal waren, so ist die Dauer einer Schwingung = 5,9994. Eine Messung nach Beendigung der folgenden Versuche ergab 6,0011 Sec. Der

Reductionsfactor auf unendlich kleine Bögen beträgt schon für die erste der fünf Schwingungen nur 0,00002, ist also zu vernachlässigen. Das *Dämpfungsverhältnis* war $= 1,5415$; der wahrscheinliche Fehler dieses Resultates 0,0008 ist kleiner als der systematische durch Inconstanz der Dämpfung bedingte; die Aenderung derselben beträgt vom Ausschlag 80 Sct. bis 0 Sct. etwa 0,0013. Zu Grunde gelegt wurde $k = 1,5410$ für den Inductionsausschlag von etwa 70 Sct.

Die *Aichung* des Elektrometers ergab für $\frac{1}{4}$ der elektrischen Kraft eines Trockenelementes 95,43 Sct.; die gesamte elektrische Kraft des Elementes bei derselben Stromentnahme wurde durch Vergleich mit Weston-Elementen $= 1,447$ Volt gefunden.

Der *Inductionsausschlag* war als Mittel von sieben Messungen (vier vor der Bestimmung der Steighöhe, drei nach derselben) $= 73,36$ Sct.; der mittlere Fehler einer Messung war $= 0,16$ Sct., der wahrscheinliche des Resultates 0,04. Der Correctionsfactor für das nicht vollständige Herausziehen aus dem Felde beträgt 1,0084; denn das Feld an der betreffenden Stelle war das 0,0084fache von dem zwischen den Polen. Der corrigirte Inductionsausschlag beträgt also 73,97. Die Windungszahl der Spule war früher zu 13010 bestimmt worden (vgl. p. 510). Aus diesen Daten berechnet sich die Feldstärke $= 4964,1$ mit einem wahrscheinlichen Fehler von 6 Einheiten, wie sich aus der Addition der Einzelfehler ergibt. Den grösstmöglichen Fehler schätze ich auf etwa ± 10 Einheiten.

Die Steighöhe einer Eisenchloridlösung vom spec. Gew. 1,2715 bei 15° war in diesem Felde 2,97 cm; der Fehler dürfte etwa $\pm 0,01$ cm betragen. Die einzelnen Ablesungen, an der gleichen Röhre unmittelbar hintereinander vorgenommen, stimmen zwar viel genauer überein, aber je nach Dauer der Reinigung mit Chromsäurelösung geben die Röhren verschiedene Werte von 2,91—2,975. Der höchste Wert dürfte indes unstreitig der richtige sein, denn er wurde übereinstimmend erhalten mit Röhren, die 8 und 24 Stunden mit Chromsäurelösung gefüllt gestanden hatten. Dieser Wert ist noch zu corrigiren. Erstens, weil der Durchmesser der engen Röhre 0,27 gegen den der weiten 0,78 nicht vernachlässigt werden darf; der

Correctionsfactor beträgt 1,0212. Zweitens, weil nach Unterbrechung des magnetisirenden Stromes die Röhre sich in dem durch remanenten Magnetismus verursachten Felde befindet; dieser Correctionsfactor ist indes sehr klein = 1,00001. Drittens, weil das ausserhalb des Elektromagneten gelegene Rohr bei Erregen desselben nicht im Felde 0 liegt; dies bedingt einen Correctionsfactor von 1,0012. Die corrigirte Steighöhe ist demnach = 3,042. Aus der Formel

$$K' = \frac{2g \cdot h}{H^2}$$

erhält man die spezifische Suszeptibilität, das ist das Product von magnetischer Suszeptibilität und specifischem Gewicht = $23,94 \cdot 10^{-6}$ bei 21° gegen Luft.

Aehnliche Resultate wurden auch nach neuer Aufstellung des Elektrometers und Veränderung der Empfindlichkeit erhalten. Bei einer Schwingungsdauer von 6,295 Sec. und einem Dämpfungsverhältnis von 1,585 ergab sich bei einer Feldstärke von 4642 K' zu **24,29**.

In der folgenden Tabelle sind weitere Resultate zusammengestellt und auf gleiche Temperatur 22° corrigirt; der Temperaturcoefficient ist zu $-0,003$ angenommen worden.

H	K'	H	K'
4964	23,93	3976	24,15
4642	24,29	4530	24,08
4534	24,23	4510	24,12

Im Mittel ist $K' = 24,13 \cdot 10^{-6}$ bei 22° mit einem wahrscheinlichen Fehler des Resultates von $\pm 0,036$.

Aus der vom Verfasser früher ermittelten Formel für die spezifische Suszeptibilität der Eisenchloridlösung ergibt sich $K' = 24,7 \cdot 10^{-6}$ bei 20° . Das Verhältniß der specifischen Suszeptibilität der Eisenchloridlösung zu der des Wassers wurde in verschiedenen Feldern gemessen und gleich 30,00 mit einem wahrscheinlichen Fehler von 0,03 gefunden.

Daher ist die *specifische Suszeptibilität K' des Wassers bei 22° gegen Luft* = $0,804 \cdot 10^{-6}$, während der Verfasser sie

früher¹⁾ bei 21° direct = 0,803 gemessen hatte. Gegen das Vacuum bei 18° ist danach die magnetische Susceptibilität **$K = 0,781$** .

Die Formel für die specifische Susceptibilität einer Eisenchloridlösung vom Procentgehalt p bei 18° gegen Vacuum lautet daher

$$\mathbf{K' = 87,9 \cdot p - 0,781 (1 - p).}$$

Freiburg i. B., Physikalisches Institut, Juli 1901.

1) J. Koenigsberger, Wied. Ann. **66**. p. 703. 1893.

(Eingegangen 1. August 1901.)