**9. Magnetochemische Untersuchungen.
Messung der absoluten Suszeptibilität des Wassers;
von W. J. de Haas und P. Drapier.**

(Aus dem Bosscha-Laboratorium.)

§ 1. Bei dem gegenwärtigen Stande der Magnetochemie ist die möglichst genaue Kenntnis der absoluten Suszeptibilität verschiedener Lösungsmittel, insbesondere derjenigen des Wassers, von Bedeutung. Bekanntlich herrschte darüber im Gegensatz zu den Relativwerten noch große Unsicherheit und schwankten die Angaben zwischen 0,51 und 0,83 Millionstel; das gleiche gilt für den Temperaturkoeffizienten, der nach Curie unmerklich sein soll, während er nach anderen Autoren — 1 bis — 2,5 bzw. + 0,12 Promille pro Grad beträgt. Dabei sah sich Hr. du Bois in 1900 genötigt, als provisorischen abgerundeten Mittelwert von acht Messungen (vgl. Tab. 1) — 0,75 Millionstel bei 18° gegen Vakuum bzw. gegen ein indifferentes Gas vorzuschlagen, derart, daß die hierauf bezogenen Zahlen dann nachträglich korrektionsfähig bleiben sollten. Bekanntlich waren die ganzen Zahlen der Weiss'schen Magnetonentheorie ursprünglich teilweise aus den Messungen des Hrn. Pascal berechnet, nachdem an diesen Messungen eine sehr wesentliche Korrektur angebracht worden war bezüglich der Suszeptibilität des Lösungsmittels bzw. des Wassers; die von Hrn. Pascal benutzte Zahl ist die oben erwähnte. Genauere Bestimmungen mehrerer Beobachter mittels verschiedener Methoden erschienen nach alledem sehr wünschenswert. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen chronologischen Überblick über die im Laufe der Zeit gemessenen Werte¹⁾ der spezifischen

1) M. Faraday, Exp. Res. **3**. p. 502; E. Becquerel, Ann. de chim. et phys. (3) **44**. p. 223. 1855; D. Schumacher, Wien. Ber. **83**. [2] p. 46. 1881; Th. Wöhner, Wien. Ber. **96**. [2] p. 94. 1887; G. Quincke, Wied. Ann. **24**. p. 404. 1885; H. du Bois, Wied. Ann. **35**. p. 167. 1888; **65**. p. 38. 1898; Rapp. Congr. Int. Phys. **2**. p. 504, Paris 1900; S. Henriksen, Wied. Ann. **34**. p. 180. 1888; **45**. p. 53. 1892; P. Curie, Ann. chim. phys.

Suszeptibilität χ des Wassers in Millionsteil gegen Luft bzw. Vakuum, wo nötig auf letzteres reduziert, indem für Luft $\chi_{18} = +0,027 \cdot 10^{-6}$, $\chi_{24} = +0,026 \cdot 10^{-6}$ gesetzt wurde. Die seit 1900 angestellten vier Messungen schwanken um $-0,73$ als Mittelwert; die letzten drei genaueren Zahlen werden weiter unten noch näher besprochen.

Tabelle 1.

Jahr	Beobachter	Methode	Höchstfeld (Kilogauss)	Tem- peratur	Gegen Luft	Gegen Vakuum	Bemer- kungen
1852	Faraday	Torsionswage	—	—	-0,69	-0,66	—
1880	E. Becquerel	„	—	—	-0,66	-0,63	—
1881	Schumeister	Schwingungen	0,27	—	-0,55	-0,52	Max. Werte
1888	Wähner	Steigrohr	8	15°	-0,56	-0,53	0,2 mm
1885	Quincke	„	12,5	20°	-0,84	-0,81	0,7 mm
1888	du Bois	Geneigt. Steigrohr	9,6	15°	-0,86	-0,83	4,4 mm
1892	Henrichsen	Torsionswage	0,18	—	-0,75	-0,72	—
1895	Curie	„	1,8	15°	-0,82	-0,79	Mittel:
1897	Townsend	Induktion	0,005	10°	-0,77	-0,74	-0,755
1898	Fleming u. Dewar	Wage	3	20°	—	-0,74	—
1898	Koenigsberger	Steigrohr	5	18°	-0,81	-0,78	indirekt
1899	Jäger u. Meyer	Versch. Meth.	17	13°	-0,67	-0,64	—
1902	Piaggese	Steigrohr	8,5	23°	-0,78	-0,75	0,3 mm
1903	Stearns	Wage	8,3	22°	-0,73	-0,70	Mittel:
1904	Wills	„	15,5	22°	-0,72	-0,69	-0,73
1905	Scarpa	„	7,5	22°	-0,80	-0,77	—
1912	Sève	Depression	17	24°	-0,746	-0,720	1,1 mm
1913	de Haas u. Drapier	Hydrost. Nullm.	40	21°	-0,747	-0,721(H ₂)	6 mm
1913	Weiss u. Piccard	Steigrohr	21	20°	-0,748	-0,719(H ₂)	1,6 mm

(7) 5. p. 289. 1895; J. S. Townsend, Proc. Roy. Soc. **60**. p. 186. 1896; J. A. Fleming u. J. Dewar, Proc. Roy. Soc. **63**. p. 321. 1898; J. Koenigsberger, Wied. Ann. **66**. p. 703. 1898; Ann. d. Phys. **6**. p. 515. 1901; G. Jäger u. St. Meyer, Wied. Ann. **67**. pp. 427, 707. 1899; Ann. d. Phys. **6**. p. 870. 1901; G. Piaggese, Nuov. Cim. (5) **4**. p. 247. 1902; Phys. Zeitschr. **4**. p. 347. 1903; Beibl. **27**. p. 473. 1903; H. D. Stearns, Phys. Rev. **16**. p. 10. 1903; Beibl. **27**. p. 673. 1903; A. P. Wills, Phys. Rev. **20**. p. 188. 1905; O. Scarpa, Nuov. Cim. (5) **10**. p. 155. 1905; P. Sève, Thèse (A) Nr. 703, Paris 1912; Journ. de Phys. (5) **3**. p. 8. 1913; W. J. de Haas u. P. Drapier, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **14**. p. 761, 1912; **15**. p. 92. 1913; P. Weiss u. A. Piccard, Compt. Rend. **155**. p. 1234. 1912; A. Piccard, Arch. Sc. phys. et nat. (4) **35**. pp. 211, 344, 458. 1913.

Soweit möglich sind die benutzten Maximalfelder und gegebenenfalls die zugehörigen ungefähren Kuppenverschiebungen angegeben. Man darf jetzt wohl annehmen, daß sich der richtige Wert wenig von $-0,72$ unterscheiden dürfte; von den älteren Autoren fand nur Henrichsen eben diese Zahl.¹⁾

Während unserer Vorversuche erschien die angeführte Arbeit des Hrn. Sève, in der die Methoden und Zahlenwerte kritisch gesichtet und wertvolle meßtechnische Beiträge zur Lösung der Frage geliefert werden.

Hr. Sève hat seine definitiven Bestimmungen ausgeführt nach einer neuen Methode. Er bestimmt in einem Vertikalfelde die Vertiefung, welche in einer größeren Wasserfläche entsteht. Er erreicht nun durch ein über eine größere Oberfläche gleichförmiges Feld eine wirklich flache Depression und eliminiert in dieser Weise die Schwierigkeiten, welche von der Kapillarität herrühren.

Bei der Weiss-Piccardschen Bestimmung, welche 1912/13 publiziert wurde, handelt es sich wesentlich um die gewöhnliche Quinckesche Methode; jedoch ist ein Benetzungs- und Reinigungsverfahren durchgeführt und das Meßrohr durch ein Thermostatrohr geschützt worden. Durch viele Ablesungen sind genauere Resultate erhalten. Es ist jedoch ohne weiteres anzunehmen, daß bei den älteren Formen der Quinckeschen Methode ebenso genaue Resultate herauskommen müssen, wenn man nur genügend viele Ablesungen macht. Diese Autoren finden bei Zimmertemperatur einen Temperaturkoeffizienten von nur $+0,12$ Promille.

§ 2. *Die Fehlerquellen* seien hier der Reihe nach diskutiert.

a) Das Wasser. Auf Grund der großen Abweichungen in obiger Tabelle 1 könnte man vielleicht vermuten, daß Unreinheit des Wassers eine große Rolle spielt. Jedoch ließen sich hierdurch nur die zu kleinen Werte erklären, da diamagnetische Verunreinigungen kaum ins Gewicht fallen. Obgleich nun die verschiedenen Bestimmungen sehr abweichen, können die relativen Werte als ziemlich genau angesehen werden; trotzdem fanden Koenigsberger, Jäger und Meyer und Stearns keinen Unterschied zwischen Leitungswasser und destilliertem Wasser.

1) Vgl. Landolt-Börnstein, Tabellen. 4. Aufl. p. 1245. 1912; und Recueil de Const. Phys. Soc. Franc. de phys. p. 669. Paris 1913.

Da die Suszeptibilität des Ferrichlorids diejenige des Wassers etwa hundertfach übertrifft, wäre ein sehr geringer Gehalt dieses Salzes schon von Einfluß. Mittels der Rhodanreaktion läßt sich indessen noch ein Millionstel davon nachweisen, und dies liegt weit unterhalb der Fehlergrenze. Bei sorgfältiger Destillation des Wassers ist diese Fehlerquelle und à fortiori eine Verunreinigung mit anderen para- oder diamagnetischen Salzen wohl kaum zu befürchten. Wir haben bei doppelter Destillation des von uns benutzten Wassers dies unter Zusatz von KMnO_4 ein wenig alkalisch gemacht, um mögliches flüchtiges Ferrichlorid zurückzuhalten. Überdies haben wir das Wasser durch ein Magnetfeld tropfen lassen. Ferromagnetischer Staub, welcher in einer Großstadt leicht in das Wasser geraten kann, wird dann herausgezogen. Übrigens werden bei Benutzung der Quinckeschen Steighöhenmethode Stäubchen durch das Feld aus der Flüssigkeit gezogen und mit der Wand verklebt. Es ist dies ein Vorteil jener Methode, welcher von Hrn. Sève, der a. a. O. die Brauchbarkeit der Steighöhenmethode ausführlich diskutierte, am höchsten angeschlagen wurde. Schließlich sind alle benutzten Gefäße längere Zeit mit doppelt destilliertem, genügend luftfreiem Wasser ausgelaugt worden.

b) Feldmessung. Verschiedene abweichende Werte sind wohl zu erklären durch falsche Feldmessungen, so die niedrigen Werte der Herren Wähner und Jäger und Meyer einerseits, die hohen der Herren Quincke und du Bois andererseits. Bei letzteren mußte vor 25 Jahren das Feld mit einem Leduceschen „Magnetometer“ gemessen werden; die Proportionalität zwischen dessen Steighöhe und dem Felde erscheint nach neueren Messungen von Williams¹⁾ zweifelhaft. Diese wurde ferner reduziert auf die magnetische Drehung in Schwefelkohlenstoff für Natriumlicht; seither stellte sich aber heraus, daß diese in hohem Maße vom benutzten Lichtfilter beeinflusst wird. Somit können die Feldmessungen wohl mit einem Fehler von etwa 5 Proz. behaftet, das Feldquadrat also um etwa 10 Proz. gefälscht sein; da das Leducesche Instrument nicht mehr vorhanden ist, war eine nachträgliche Kalibrierung leider ausgeschlossen. Gegen die Methode des geneigten Steigrohrs an sich ergibt sich daraus kein Einwand.

1) S. R. Williams, Amer. Journ. Sc. **34**, p. 302. 1912.

Bei den heutzutage verfügbaren viermal stärkeren und durchaus gleichförmigen Feldern benötigt man aber einer solchen Vergrößerung der Kuppenverschiebung kaum mehr. Ohne auf weitere Einzelheiten einzugehen, sei noch erwähnt, daß bei Messungen des Zeemaneffekts, der magnetischen Doppelbrechung usw. Beispiele von Differenzen aufgeführt werden können, welche wohl kaum anders als durch ungenaue Feldmessungen zu erklären sind. Hr. Cotton hat eine Zusammenstellung derartiger Fälle gegeben.¹⁾ Auch die Ungleichförmigkeit des Feldes kann zu Ungenauigkeit Anlaß geben.

c) Kapillarität. Zwar ist es nach den Untersuchungen der Herren Quincke²⁾, Liebknecht und Wills³⁾ und Piccard⁴⁾ sehr unwahrscheinlich, daß sich die Kapillarkonstante irgendwie magnetisch ändert, jedoch kann in einem ungleichförmigen Felde im allgemeinen eine Deformation des Meniskus durch rein translatorische Kräfte eintreten, deren Einfluß schwer zu berechnen ist und daher bei Präzisionsmessungen am besten ganz vermieden wird, was jetzt ein Leichtes ist.

Ein prinzipieller Nachteil der Quet-Quinckeschen Versuchsanordnung ist, daß die kapillare Steighöhe meistens verschiedene Male größer ist als die beobachtete magnetische Depression. Dieser Nachteil ist nicht zu umgehen durch Benutzung weiterer Rohre, da alsdann die Feldstärke entsprechend herabgesetzt wird. Es gehen also immer die Kapillarfehler mit einem Faktor 2 bis 3 und mehr multipliziert in die Resultate der Messungen ein, und da die genauere Bestimmung der Kapillarsteighöhen meistens als eine schwierige Aufgabe betrachtet worden ist, gilt dieses Bedenken hier à fortiori. Hr. Sève ist zum Schluß gekommen, daß man die Genauigkeit der Methode auf 1 Proz. schätzen kann, während die Herren Weiss und Piccard sie einer höheren Präzision fähig erklären. Wir hatten uns dagegen von vornherein entschlossen, die übliche Quinckesche Anordnung nicht zu benutzen, sondern eine Nullmethode mit flachem Meniskus auszuarbeiten.

1) A. Cotton, Journ. de Phys. (5) 2. p. 97. 1912.

2) G. Quincke, Pogg. Ann. 160. p. 586. 1877; Wied. Ann. 24. 375. 1885.

3) O. Liebknecht u. A. P. Wills, Ann. d. Phys. 1. p. 183. 1900.

4) A. Piccard, Arch. Sc. phys. et nat. (4) 35. p. 467. 1913.

§ 3. *Prinzip der Methode.* — Durch geeignete Einstellung des Gasdrucks auf den Wasserspiegel im weiten Schenkel eines U-Rohres wurde an dem eben abgeschliffenen Ende des Kapillarschenkels ein fast ebener Flüssigkeitsmeniskus gebildet. Oberhalb des Meniskus war eine Einfadenglühlampe, zur Hälfte mit rotem Glas abgedeckt, aufgestellt. In dem kleinen Meniskusspiegel betrachtete man das rotweiße Bildchen der Einfadenlampe, und zwar wurde nun der Gasdruck derart reguliert (§ 4), daß die Umkehr des Bildes rotweiß in weißrot jedesmal in abwechselnder Folge geschah. Es wurde sodann zu gleicher Zeit der Gasdruck im weiten Ende des U-Rohres manometrisch abgelesen.

Die Beobachtung der Bildumkehr geschah mittels einer fest aufgestellten Lupe von ziemlich großer Hauptbrennweite (15 cm), deren Rand abgeblendet war. Das Ende der Kapillare befand sich weit innerhalb dieser Brennweite. Sobald das von dem Meniskus entworfene Bild der Lampe den Hauptbrennpunkt der Lupe passierte, kehrte es sich um. Es hatte dann der Meniskus einen Krümmungsradius von 10 cm, der bei einer Kapillarkonstante des Wassers von 7,7 mg-Gew./mm einer Depression von nur 0,15 mm entsprach. Die benutzten Glaskapillaren hatten eine lichte Weite von 0,8 bis 2,5 mm. Die Felder variierten von ca. 30 bis 40 Kilogauss, die Steighöhen von $-3,5$ bis -6 mm. Es ist einleuchtend, daß die Verhältnisse hier vorteilhafter liegen und Kapillarfehler viel weniger zu befürchten sind. Immerhin hat man für eine reine Meniskusoberfläche Sorge zu tragen. Es empfiehlt sich ferner, die Wasserkuppe möglichst wenig zu stören, also Felderregung und Druckvergrößerung im weiten Schenkel des U-Rohres allmählich vor sich gehen zu lassen.

§ 4. *Versuchsanordnung.* — Zwischen den Polspitzen eines Halbringmagnets *M* des größten Modells befand sich eine dünnwandige Kapillare; das obere Ende (Fig. 1) war genau eben abgeschliffen und poliert. Der geschliffene Rand zeigte unverzerrte Spiegelbilder. Das untere Ende war mittels eines in destilliertem Wasser ausgekochten engen Gummischlauchs mit den übrigen Teilen *B* und *C* eines Quinckeschen Steigrohres verbunden, dessen weiter Schenkel *C* einen Durchmesser von 30 mm hatte. Das Ganze war auf einer Holzleiste und einem festen Stativ aufgebaut.

Der die magnetische und kapillare Depression kompensierende Gasdruck in *C* wurde mittels kleiner Verschiebungen eines Kolbens *St* in einem mit Wasser gefüllten U-Rohre hervorgerufen, während die feinere Nachregulierung mittels eines Quetschhahns *Q*₁ erfolgte, der auf einem dünneren Gummischlauch angebracht war. Druckvariationen von 0,01 mm Wasser gelangten am Meniskus leicht zur Beobachtung. Der Druck, welchen das Gas in *C* ausübte, wurde mit einem Kathetometer der Société genevoise an einem Wassermanometer *Ma* abgelesen. Die Schenkel dieses Manometers, deren Durch-

Fig. 1.

messer etwa 25 mm betrug, waren behufs deutlicher Beobachtung der Kuppen mit einer Schalkwyschen Ablesevorrichtung versehen.¹⁾

Um die Polspitzen war eine kleine Messingkammer *K* gebaut, welche oben und zur Seite luftdicht mittels leicht abnehmbarer Glasplatten verschlossen war. Das obere Ende der Kapillare war an einen Schlitten gekittet, welcher luftdicht auf der Unterseite der Kammer hin und her geschoben werden konnte. Mittels dieser Vorrichtung war es leicht möglich, die Suszeptibilität gegen verschiedene Gase zu messen; nachdem die Kapillare aus dem Felde hinausgeschoben und die obere Glasplatte entfernt worden war, konnte gleich das Feld mit einer Probespule bestimmt werden.

1) J. C. Schalkwyk, Diss. Amsterdam 1902.

Bei den ersten Messungen war die Kammer ebenso wie das Manometer mittels der Schläuche Sl_1 , Sl_2 , Sl_3 und des Dreiweghahns G_2 noch mit einer Kamerlingh-Onnesschen künstlichen Atmosphäre verbunden.¹⁾ Später haben wir es vorgezogen, nur bei ruhiger Witterung zu beobachten. Es war das ganze System dann gegen die Atmosphäre durch einen Wasserverschluß ab und ein U-Rohr U , das an Stelle der Kamerlingh-Onnesschen Flasche trat, abgeschlossen; da die Schenkelweiten dieses U-Rohrs sehr verschieden waren, diente es zugleich als Schutzrohr gegen kleine Barometerschwankungen. Immerhin war es doch recht schwierig, Gasströmungen im Apparat gänzlich zu vermeiden, und es ist dies ein Nachteil bei der Druckübertragung mittels eines Gases.

Die Schläuche Sl_2 und Sl_3 zwischen den Glashähnen G_1 , G_2 und dem Manometer Ma , welche von gleichem Durchmesser und Länge waren, wurden umeinandergewickelt und ebenso wie das Manometer sorgfältig in Wolle eingepackt. Diese Anordnung war getroffen, damit nach Einstellung des Gasdrucks ein einziger Beobachter die Hähne G_1 , G_2 schließen und den Druck ablesen konnte. Kleine Temperaturschwankungen während des Ablesens verursachten keine Fehler, da die Volume der beiden Schenkel des Manometers bis an die Glashähne einander gleich waren. Nachdem der Quetschhahn Q_2 und der Schlauch Sl_7 geschlossen und die Glashähne G_1 und G_2 in den richtigen Stand gebracht waren, war das ganze System ziemlich unabhängig von atmosphärischen Barometerschwankungen.

Hr. du Bois hatte im Jahre 1888 die Begrenzung des Meniskus durch eine indifferente feuchte Atmosphäre angewandt; auch jetzt wurden nicht nur Messungen gegen Luft gemacht, sondern auch solche, welche sich auf feuchten Stickstoff oder Wasserstoff bezogen. Dazu wurde ein langsamer Stickstoffstrom käuflichen Gases aus einer Bombe durch die Schläuche Sl_7 und Sl_1 der Kammer K zugeführt, aus welcher durch den Schlauch Sl_6 und den Wasserabschluß ab der Stickstoff entwich. Während der Messungen selbst wurde der Stickstoffstrom abgestellt. Da jedoch der Stickstoff vermutlich etwas Sauerstoff enthielt, wurden auch Messungen

1) H. Kamerlingh Onnes u. M. Boudin, Comm. of the Phys. Lab. Leiden 60. p. 10. 1900; W. J. de Haas u. P. Drapier, l. c. 14. p. 762. 1912.

mit einer Wasserstoffatmosphäre angestellt. Der Wasserstoff wurde in einem Kippschen Apparat hergestellt aus Zinkstangen (I zu forens. Zwecken von Kahlbaum) mit arsenfreier 20proz. Salzsäure. Der Wasserstoff wurde der Reihe nach weitergeführt durch reines Kaliumpermanganat mit Schwefelsäure angesäuert, durch konzentrierte Kalilauge, über Kalilauge in Stangen und schließlich durch eine Wasserflasche mit destilliertem Wasser. Die Zuleitung geschah ebenfalls durch die Schläuche Sl_7 , Sl_1 .

Bei der Nullmethode darf das Ende der Kapillaren sich durch Erregung des Feldes oder durch Temperatureinflüsse nicht verschieben gegen das Wasserniveau im weiten Schenkel des U-Rohres. Daher wurden kleine Verschiebungen der Kapillaren bei der Felderregung jedesmal kathetometrisch gemessen. Die Zimmertemperatur wurde innerhalb $0,2^0$ konstant gehalten. Damit Wärmeausdehnung des Magnetkörpers nicht störte, war in die konisch ausgebohrten Holme ein von der Außenluft durch Watte abgeschlossenes Thermometer gesteckt, das die Temperatur des Eisens angab. Durch Regulierung der Wasserzirkulation, welche die Eisenkerne umfließt, konnte die Temperatur des Eisens innerhalb $0,5^0$ konstant gleich der Zimmertemperatur gehalten werden, während die Temperatur des Interferrums als innerhalb $0,2^0$ konstant zu betrachten war. Schließlich war die Einfadenlampe durch einen Wassermantel von dem ganzen Apparate abgeschirmt.

Jedoch ist bei dieser Methode eine neue Fehlerquelle zu beachten, nämlich die von den Einstellfehlern am Meniskus herrührende. Es muß bemerkt werden, daß diese Fehler hauptsächlich als zufällige auftreten. Sehr störend waren bei unseren Messungen die Erschütterungen des Gebäudes, und zwar ließen sich an verschiedenen Tagen Messungen kaum durchführen; vielfach wurde nachts beobachtet.

§ 5. *Messung und Topographie des Feldes.* — Der Magnet, mit dem die Messungen ausgeführt sind, ist anderweit ausführlich beschrieben worden.¹⁾ Der Abstand der Polspitzen konnte mittels eines Zwischenfutters genau reguliert und beibehalten werden. Der Erregerstrom betrug 28 Amp. und wurde auf einem Präzisionsamperemeter abgelesen. Die Feldmessung wurde ballistisch mittels eines Drehspulgalvanometers

1) H. du Bois, Zeitschr. f. Instrumentenk. 31. p. 362, 1911.

der Firma Siemens & Halske mit variablem magnetischem Nebenschluß ausgeführt, welches auf den aperiodischen Grenzfall eingestellt war.¹⁾ Die Galvanometerskala war geeicht mit einem im Laboratorium vorhandenen Normalsolenoid, während die Messung des Eichstromes mit einem Siemens-Halskeschen Präzisionsamperemeter erfolgte, das an der benutzten Stelle mit einem Diesselhorstschen Kompensationsapparat²⁾ kontrolliert worden war. Das erwähnte ältere Normalsolenoid wurde überdies verglichen mit einem mir von Hrn. Geh. Rat Gumlich³⁾ und Dr. Steinhaus in der P. T. Reichsanstalt freundlichst zur Verfügung gestellten; die Übereinstimmung war eine befriedigende.

Die Probespule hatte mit ca. 50 Windungen eine Gesamtwindungsfläche von 1,534 qcm und war mit einer sorgfältig gemessenen Normalspule (Q) aus Phosphorbronzeband auf geschliffenem Glase verglichen. Die mittleren Durchmesser dieser Glasscheibe, mit einem Zeißschen Dickenmesser, wie auch mit einem Dickenmesser der Société genevoise an verschiedenen Stellen gemessen, lieferten die Zahlen 14,526 und 14,534 mm. Diese Zahlen sind Mittelwerte aus je acht an verschiedenen Stellen gemessenen Durchmessern. Sie ergeben einen mittleren Halbmesser von 7,27 mm und eine Windungsfläche der einen Windung von 1,661 qcm. Alle Drähte der ballistischen Meßvorrichtung waren möglichst induktionsfrei gewickelt, während die Fläche des Ansatzes der Zuleitungen an der Normalprobespule gänzlich zu vernachlässigen war. Die Genauigkeit der Feldmessungen schätzen wir auf 2 Promille; also für das Feldquadrat auf 4 Promille.

Die Polspitzen und die Distanz ihrer Stirnflächen wurden so gewählt, daß ein möglichst gleichförmiges Feld erzeugt wurde; die theoretischen Bedingungen hierfür sind jetzt völlig bekannt⁴⁾ und es läßt sich bei einer bestimmten Distanz leicht erreichen. Die Messung des Feldes mit der immerhin ziemlich großen Wismutspirale gibt zu bedenklichen Fehlern Anlaß.

1) H. Diesselhorst, Ann. d. Phys. 9. 458. 1902.

2) H. Diesselhorst, Zeitschr. f. Instrumentenk. 28. p. 1. 1908.

3) Vgl. E. Gehrcke u. M. v. Wogau, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 11. p. 675. 1909; 13. p. 468. 1911.

4) H. du Bois, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 14. p. 759. 1912; 15. p. 293. 1913; vgl. auch P. Sève, l. c. p. 63.

Auch läßt sich die Cottonsche Wage wohl schwierig zu einer genaueren Topographie des Feldes verwenden. Bei unseren Versuchen wurde die Topographie ballistisch ermittelt, und zwar mit einer sehr winzigen Probespule aus Draht von 0,016 mm (Durchmesser 1,3 mm, 90 Windungen, Windungsfläche 0,510 qcm). Der Gleichförmigkeitsgrad des Feldes läßt sich nach diesen Messungen auf 0,1 Proz. angeben. Sowohl bei der Messung wie auch bei der Bestimmung der Topographie des Feldes war die Probespule an einem fest aufgebauten Messinggerüst befestigt, welches es ermöglichte, die Spule genau senkrecht zu den Kraftlinien zu stellen und bei einer jedesmaligen um 1 mm verschobenen Einstellung im Felde weit aus dem Felde herauszuziehen.

§ 6. *Versuchsergebnisse.* — Die spezifische Suszeptibilität χ berechneten wir mittels der Gleichung

$$\chi = \frac{\kappa}{D_w} = \frac{(2 D_m - 2 D_l - D_g) g a}{D_w \S^2};$$

darin bedeutet κ die Suszeptibilität, $\S$ den Feldwert, a die Manometerablesung, D_w , D_m , D_l , D_g die Dichten des Wassers, der Manometerflüssigkeit, der Luft und des begrenzenden Gases bei der entsprechenden Beobachtungstemperatur. Das Quadrat des remanenten Feldes war völlig zu vernachlässigen.

Im Juli 1912 fanden wir den vorläufigen Wert $\chi = -0,725$, der auf $-0,73$ abgerundet wurde. Eine genauere Versuchsreihe¹⁾ lieferte für eine Kapillarweite von 0,8 mm und ein Feld von 30 Kilogauss folgende Zahlen, bei 22° gegen Luft gemessen:

$$\chi = -0,746^6, -0,749^6, -0,747^6, -0,747^6 \cdot 10^{-6}.$$

$$\text{Mittel } \chi = -0,747^8 \cdot 10^{-6}.$$

Eine zweite Beobachtungsreihe ergab ferner (Kapillarweite 2,2 mm, Feld 30 Kilogauss) gegen Luft:

1) W. J. de Haas u. P. Drapier, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 14. p. 763. 1912; 15. p. 92. 1913. Auch fanden wir (Kapillarweite 0,8 mm, Feld 30 Kilogauss) bei 22° gegen Bombenstickstoff:

$$\chi = -0,725, -0,723, -0,724, -0,726 \cdot 10^{-6}.$$

$$\text{Mittel } \chi = -0,725 \cdot 10^{-6}.$$

Da das Gas etwas Sauerstoff enthalten haben dürfte, legen wir auf diese Zahlen weniger Gewicht.

Bei 20° 22° 21° 20° 20,5° 20°
 $\chi = -0,747^3, -0,745^7, -0,745^5, -0,741^3, -0,748^9, -0,744^8 \cdot 10^{-6},$
Mittel $\chi = -0,745^6 \cdot 10^{-6}.$

Der Barometerstand ist hierbei auf 760 mm reduziert worden.
Wir nehmen als Endergebnis den Wert

$$\chi = -0,747 \cdot 10^{-6} \text{ gegen Luft bei } 21^\circ.$$

Hr. Sève betrachtet in seiner letzten Veröffentlichung (l. c. p. 29) als genauesten Wert

$$\chi = -0,746 \cdot 10^{-6} \text{ gegen Luft bei } 24^\circ.$$

Schließlich finden die Herren Weiss und Piccard

$$\chi = -(0,719^3 + 0,029^4) \cdot 10^{-6} = -0,748^7 \cdot 10^{-6} \text{ gegen Luft bei } 20^\circ.$$

Die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Beobachtern, Methoden und Apparaten darf jetzt wohl als recht gut gelten.

Sodann fanden wir (Kapillarweite 0,8 mm, Feld 40 Kilogauss) bei 21° gegen Wasserstoff:

$$\chi = -0,720, -0,722 \cdot 10^{-6}.$$

$$\text{Mittel } \chi = -0,721 \cdot 10^{-6} \text{ gegen Wasserstoff bei } 21^\circ.$$

Dagegen fanden die Herren Weiss und Piccard

$$\chi = -0,719 \cdot 10^{-6} \text{ gegen Wasserstoff bei } 20^\circ.$$

Die Übereinstimmung ist hier etwas weniger gut, aber immerhin befriedigend und innerhalb unserer von vornherein auf 0,5 Proz. veranschlagten Fehlergrenze.

Nach alledem liegen die drei Endwerte sehr nahe um $-0,72$ Millionstel, d. h. 4 Proz. weniger als der provisorische runde Mittelwert $-0,75$. Darauf fußende provisorische Bestimmungen und Berechnungen sind um den gleichen Betrag zu korrigieren, z. B. diejenigen der Herren Liebknecht und Wills, du Bois und Liebknecht, Weiss, Pascal. Letztere sind inzwischen überholt von Messungen der Herren Cabrera und Moles¹⁾, sofern es sich dabei um eine Grundlage der Magnetonentheorie handelt.

1) B. Cabrera u. E. Moles, Arch. Sc. Phys. et Nat. (4) **35**, p. 425. 1913.