©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bestimmung der Magnetisirungszahlen von Flüssigkeiten und deren Änderung mit der Temperatur

(I. Mittheilung)

Prof. Dr. **Gustav Jäger** und Dr. **Stefan Meyer.**

(Mit 7 Textfiguren.)

Aus dem physikalischen Institut der k. k. Universität in Wien.

Nach einigen Messungen mehr qualitativer Natur Plücker's[1] hat zuerst G. Wiedemann[2] sich mit der quantitativen Bestimmung der magnetischen Eigenschaften einer grossen Reihe von Substanzen beschäftigt. Er bediente sich hiebei der als Torsionsmethode bekannten Versuchsanordnung. Dieselbe Methode haben nach ihm eine grössere Zahl von Forschern, wie Schuhmeister,[3] Henrichsen,[4] Plessner,[5] zum Theil in verfeinerter Form angewandt.[6]

Ausser diesem Verfahren kommt hauptsächlich noch ein zweites in Betracht, das von Quincke[7] herrührt und gewöhnlich als Manometermethode bezeichnet wird. Nach dieser Methode liegen ausser von Quincke noch Beobachtungen von Wähner,[8] H. E. J. G. du Bois[9] und Anderen vor.

Pogg. Ann. 74, S. 321.

Pogg. Ann. 126, S. 8 und 135, S. 177.

Diese Sitzungsber. (2), 83, S. 45.

Wied. Ann. 22, S. 121; 34, S. 180; 45, S. 38.

Wied. Ann. 39, S. 336.

Ein ähnliches Verfahren hat auch Curie, C. 115, p. 805 und 116, p. 136 benützt.

Wied. Ann. 24, S. 347

Diese Sitzungsber. (2), 96, S. 94.

9 Wied. Ann. 35, S. 137

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Übereinstimmung der für die Susceptibilität gefundenen Zahlen ist aber eine äusserst geringe und fordert zu einer Neubearbeitung des Gebietes heraus.

Bei der Torsionsmethode ergeben sich, wie G. Wiedemann selbst hervorhebt, Fehlerquellen in Folge der nur schwer zu vermeidenden Luftströmungen. Für schwach magnetische Substanzen ist es auch ungünstig, dass man ihren Magnetismus neben dem dann stark ins Gewicht fallenden des Einschlussgefässes additiv erhält. Ferner ist zu beachten, dass bei absoluten Messungen die Stärke des Feldes, welches bei Anwendung bloss eines Poles ziemlich inhomogen ausfällt, nur schwer genau bestimmt werden kann.

Quincke's Manometermethode schliesst nicht aus, dass bei grösseren Steighöhen der für die Messung massgebende Flüssigkeitsmeniscus an Stellen verschiedener Feldstärke gelangt, so dass daraus bei Annahme eines Mittelwerthes derselben Fehler resultiren würden. Auch waren die meisten Forscher genöthigt, um ein starkes magnetisches Feld zu erhalten, mit den Polen nahe aneinander zu rücken, weshalb ihnen nur ein geringer Raum zur Einführung der Flüssigkeit zur Verfügung stand. Dies bedingt die Verwendung verhältnissmässig enger Capillarröhren, welche die leichte Beweglichkeit und die genaue Temperaturermittlung der Flüssigkeit sehr beeinträchtigen. Je enger ferner ein Capillarrohr ist, desto genauer muss es calibrirt sein, wenn der Steighöhenunterschied von der Capillaritätsconstanten der Flüssigkeit nicht beeinflusst werden soll.

Alle diese Fehlerquellen haben wir in dem im Folgenden beschriebenen Apparate vermieden.

Der Apparat.

Es stand uns ein ringförmiger Elektromagnet von derartigen Dimensionen zur Verfügung, dass wir ein homogenes cylindrisches Feld mit der vertical liegenden Grundfläche vom Durchmesser $= 60\,mm$ und der Seite $= 18\,mm$ und magnetische Intensitäten bis über 17.000 C. G. S. erhielten.[1]

[1] Siehe auch J. C. Beattie, diese Sitzungsber. 104, S. 653 (1895).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mit diesem waren die übrigen Theile des Apparates, wie es Fig. 1 zeigt, vereinigt.

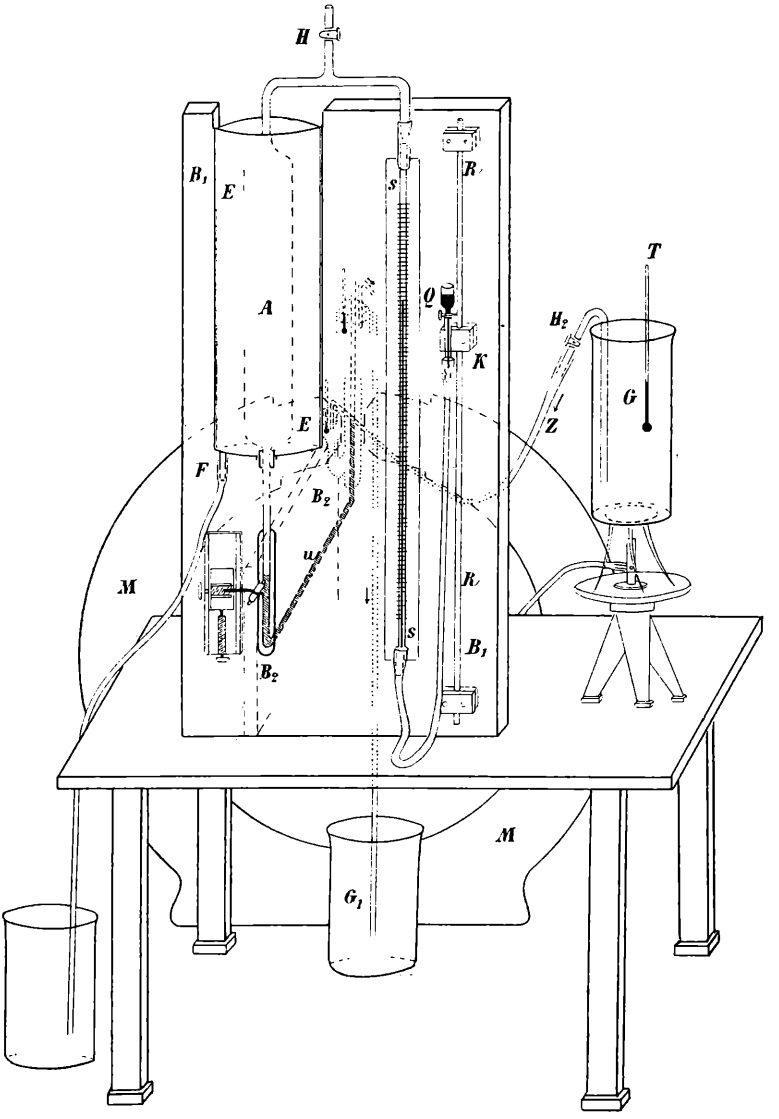

Fig. 1.

Das Wesentlichste daran ist das U-förmige Rohr *(U)*, vom äusseren Durchmesser $d = 8$ *mm* und der lichten Weite

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

$= 6 \cdot 5$ *mm*, das sich mittelst Kautschukverbindung in einen grösseren Glascylinder *(A)* fortsetzt. Dieser communicirt vermittelst des Hahnes *(H)* mit der Luft und steht mit einem über einer Spiegelscala *(s)* befindlichen Capillarrohr in Verbindung. Unten steckt diese Capillare in einem Kautschukschlauch, dessen Ende mit einem auf einem Brettchen befestigten Quecksilberbehälter *(Q)* verbunden ist, welcher sich auf dem Messingrohr *(R)* verschieben lässt. Der Apparat, auf den zwei zu einander senkrechten Brettern (B_1), (B_2) montirt, steht auf einem Tisch vor dem grossen Elektromagneten von circa 1 *m* Durchmesser und wird so nahe angeschoben, dass der aufsteigende offene Ast des Rohres genau in die Mitte des Feldes kommt.

Das *U*-Rohr selbst ist behufs leichterer Auseinandernahme zum Zwecke der Entleerung und Reinigung bei *a* (Fig. 2) unterbrochen. Ein kurzer Kautschukschlauch verbindet die beiden Rohrenden.

Vorstehende Anordnung findet ihre Begründung in folgender Überlegung:

Wir wollen mit V das Volumen von A einschliesslich der Verbindungsstücke, welches durch den Flüssigkeitsmeniscus im *U*-Rohre einerseits und den Quecksilbermeniscus in der Capillare anderseits begrenzt wird, und mit P den äusseren Luftdruck bezeichnen. Wird der Hahn *(H)* geschlossen und sodann der Magnet erregt, so tritt ein Druck, respective Zug p auf, und die Flüssigkeit wird in dem vorderen Schenkel von U steigen, beziehungsweise fallen. Verschieben wir nun den Quecksilberbehälter *(Q)* so lange, bis die Flüssigkeit wieder ihren früheren Stand hat, so haben wir das Volumen V um v verändert. Es gilt dann bei constanter Temperatur die Beziehung

$$PV = (P+p)(V+v)$$

und mit Vernachlässigung von pv gegen pV und vP

$$p = -\frac{v}{V} P. \tag{I}$$

Nachdem das Volumen V ein für allemale gegeben ist, den Luftdruck P das Barometer anzeigt und v nach Calibrirung der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Capillare an der Scala abgelesen werden kann, so ist p hieraus bestimmbar.

Zur Erzielung grosser Genauigkeit ist sonach V recht gross zu wählen und vor Allem dafür Sorge zu tragen, dass keinerlei Temperaturänderungen in diesem grossen Luftvolumen platzgreifen können. Zu dem Zwecke ist A von einem cylindrischen

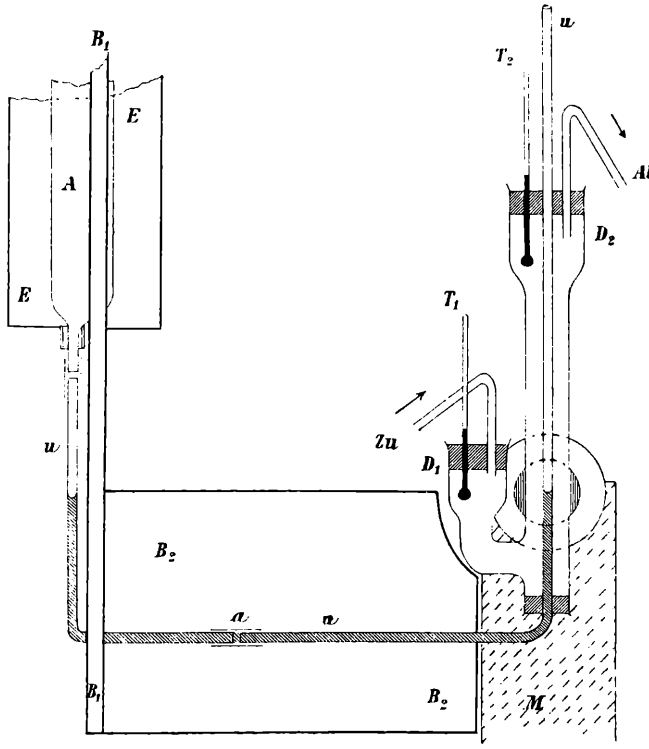

Fig. 2.

Blechgefäss *(E)* umgeben, das mit gestossenem Eis angefüllt wird und einen Abfluss *(F)* für das Schmelzwasser hat.

Um entsprechende Scalenausschläge zu erhalten, muss die Capillare s dem Drucke p angemessene Lumina haben und daher für magnetisch stark verschiedene Substanzen ausgewechselt werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist nach dem Gesagten die Einstellung des Flüssigkeitsmeniscus auf ein und denselben

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Punkt. Dies wird erreicht durch ein Mikroskop mit Fadenkreuz, welches vor dem vorderen Schenkel des U-Rohres angebracht ist und mittelst Mikrometerschrauben sowohl horizontal, als vertical verschoben werden kann. Die Beleuchtung des Meniscus geschah durch eine seitwärts stehende Glühlampe, deren Licht ein kleiner Spiegel durch einen im Brette (B_1) befindlichen Schlitz von rückwärts auf das U-Rohr warf.

Um die Substanzen bei verschiedenen Temperaturen beobachten zu können, steckt, wie aus Fig. 2 ersichtlich, das U-Rohr in einem weiteren Rohre, das eben noch im Felde Platz hat. Dieses trägt einen Ansatz D_1, ist oben in analoger Form D_2 erweitert und mittelst Korken wasserdicht abgeschlossen.

Das im Gefässe G (Fig. 1) durch einen Bunsenbrenner angewärmte oder durch Eis abgekühlte Wasser wird durch einen mit Hahn (H_2) versehenen Heber in den Ansatz D_1 (Fig. 2) zugeleitet und läuft aus D_2 in ein am Boden stehendes Gefäss (G_1) ab. Die Temperatur wird an den beiden Thermometern T_1 und T_2 abgelesen und das Mittel aus den Ablesungen in Rechnung gesetzt.

Zur Erregung des Elektromagneten wurde der von der Centrale gelieferte Gleichstrom verwendet.

Gebrauch des Apparates.

Die zu untersuchende Flüssigkeit wurde mit Hilfe eines Scheidetrichters bei geöffnetem Hahne (H) in den offenen Schenkel des U-Rohres eingefüllt, bis der Meniscus in der Mitte des magnetischen Feldes sich befand.

Die Beobachtungen konnten erst begonnen werden, nachdem das gestossene Eis bereits durch längere Zeit im Behälter E war. Auf die Constanterhaltung der Temperatur muss besondere Sorgfalt verwendet werden, denn ist z. B. wie in unserem Falle das grosse Volumen $= 604\ cm^3$ und der Querschnitt der Capillare, wie bei den Messungen an Wasser, $1\ mm^2$, so entspricht schon einem Temperaturunterschied von $0 \cdot 0045°$ eine Verschiebung des Quecksilbermeniscus um $1\ cm$.

Wie gegen Temperaturänderungen, ist der Apparat auch gegen plötzliche Luftdruckänderungen sehr empfindlich. Das

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Öffnen und Schliessen von Thüren bewirkt daher bereits ein lebhaftes Schwanken des Flüssigkeitsmeniscus um seine Ruhelage, und bei windigem Wetter muss man überhaupt auf genaue Messungen verzichten.

Sobald die Flüssigkeit im U-Rohre die gewünschte Temperatur angenommen hat — man schliesst dies aus der nahen Übereinstimmung der Angaben beider Thermometer T_1, T_2 — wird bei offenem Hahne *(H)* das Fadenkreuz des Mikroskopes auf den Meniscus eingestellt und gleichzeitig der Behälter *(Q)* so lange verschoben, bis der Quecksilbermeniscus auf eine angenommene Anfangslage einspielt. Nun wird der Hahn *(H)* geschlossen, der Magnet erregt, durch Verschieben des Gefässes *(Q)* der Druck, respective Zug compensirt, was man an der scharfen Einstellung des Flüssigkeitsmeniscus auf das Fadenkreuz erkennt. Der neue Stand des Quecksilbermeniscus wird notirt, sodann der Strom geöffnet, abermals auf das Fadenkreuz eingestellt und der Stand des Quecksilbers wieder abgelesen. Bei völliger Constanz der Temperatur der eingeschlossenen Luft und Flüssigkeit müsste das Quecksilber in die ursprüngliche Stellung zurückkehren. Dies tritt aber nicht immer genau ein, weshalb man den Mittelwerth beider Stellungen als Quecksilberstand bei nicht erregtem Magnetismus annimmt, was eine völlig ausreichende Correctur ergibt.

Vor und nach dieser Operation musste die Spannung des magnetisirenden elektrischen Stromes an einem Voltmeter abgelesen werden, da Änderungen derselben im Laufe der Zeit auftraten.

Auch ist von Zeit zu Zeit der Barometerstand zu beobachten.

Unsere Gleichung (I) zur Berechnung des p basirt auf der Annahme, dass der Vorgang der Compression, beziehungsweise Dilatation der Luft im Gefässe A isotherm vor sich gehe. Dass dies wirklich bei unseren Messungen der Fall war, ergab sich aus drei übereinstimmenden Beobachtungen, die derart durchgeführt wurden, dass einmal zwischen den einzelnen Einstellungen je $^1/_2$ Minute, das zweitemal je 1 und das drittemal je $1^1/_2$ Minuten gewartet wurde.

Der angeführte Beobachtungsgang dürfte sich von einem Einzelnen nur schwer ausführen lassen. Wir theilten uns derart

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in die Arbeit, dass der eine den magnetisirenden Strom schloss, mittelst Mikroskopes die Einstellung des Meniscus auf das Fadenkreuz beobachtete und die Temperaturablesung übernahm, während der andere den Hahn *(H)* schloss und öffnete, den magnetischen Druck, respective Zug durch Verschiebung des Quecksilberbehälters compensirte, die Wassercirculation am Hahne H_2 regulirte und den Stand des Voltmeters und des Barometers ablas.

Nachdem auf diese Weise der Werth des magnetischen Druckes p gewonnen ist, erhält man die Magnetisirungszahl $\varkappa$ aus der Gleichung

$$\varkappa = \frac{2gp}{M^2}, \qquad \text{(II)}$$

wobei g die Beschleunigung der Schwere und M die Feldstärke bedeutet.

Zur Bestimmung der letzteren haben wir eine für unseren Zweck besonders bequeme Methode ausgearbeitet.

Messung der Feldstärke.

Wir liessen ein kleines Rechteck *(R)* aus Kupferdraht in dem magnetischen Felde derart schwingen, dass die Kraftlinien

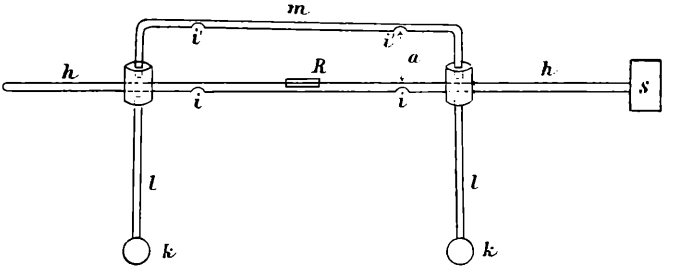

Fig. 3.

von den Längsseiten des Rechteckes senkrecht geschnitten wurden. Die dabei auftretende Dämpfung wurde beobachtet und daraus die Feldstärke bestimmt.

Der von uns verwendete Apparat (Fig. 3) bestand aus einer circa 90 *cm* langen Glasröhre *h*, die an einem Ende einen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Spiegel s trug, während in einem Abstand von etwa 24 *cm* von den Enden zwei grosse Korke aufgeschoben waren. Diese trugen einerseits die Glasröhren l mit den Messingkugeln k, anderseits das zweimal rechtwinkelig umgebogene Glasrohr m. Die lange Glasröhre h und das Rohr m besitzen je zwei Eindrücke i und i', welche eine leicht bewegliche Aufhängung auf Stahlspitzen ermöglichen. Auf der Mitte der Röhre h ist das Rechteck R horizontal aufgesiegelt. Dieses wurde aus einem Kupferdraht von etwa 0·8 *mm* Stärke hergestellt, dessen Enden zusammengelöthet wurden. Die Rechtecksseiten hatten die Längen 4·26 *cm* und 1·40 *cm*.

Die Schwingungsgleichung unseres Pendels ist

$$K\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\alpha\varphi - \beta\frac{d\varphi}{dt}, \qquad \text{(III)}$$

wobei β der dämpfenden Kraft entspricht, welche bei nicht erregtem Magnetismus lediglich vom Luft- und Reibungswiderstand abhängt, während bei vorhandenem magnetischen Feld die Dämpfung in Folge der im Rechteck inducirten Ströme noch hinzutritt.

In der Ruhelage verlaufen die magnetischen Kraftlinien parallel zu den kurzen Seiten des Rechteckes, mithin auch parallel zur Rechtecksebene, das heisst durch die Fläche *(F)* desselben gehen keine Kraftlinien. Wird das Pendel um den Winkel φ aus seiner Ruhelage gebracht, so erhalten wir in Folge der Feldstärke M auf unser Rechteck ein magnetisches Potential

$$W = FM \sin\varphi.$$

Die Änderung von W erzeugt im Rechteck eine elektromotorische Kraft

$$e = \frac{dW}{dt} = FM \cos\varphi \frac{d\varphi}{dt}.$$

Es wird demnach der Kupferdraht von einem Strom durchflossen, dessen Stärke i

$$i = \frac{e}{w} = \frac{FM}{w} \cos\varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ist, wobei w den elektrischen Widerstand des Stromkreises bedeutet.

Dieser Strom erzeugt ein magnetisches Moment m senkrecht zur Rechtecksfläche

$$m = iF = \frac{F^2 M}{w} \cos \varphi \frac{d\varphi}{dt}.$$

Es sucht demnach das magnetische Feld das Rechteck mit einem Drehungsmoment

$$Mm \cos \varphi = \frac{F^2 M^2}{w} \cos^2 \varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

entgegengesetzt der Schwingungsrichtung zu drehen.

Für kleine Schwingungen kann $\cos \varphi = 1$ gesetzt werden; in Gleichung (III) wird demnach

$$\beta = \beta_1 + \frac{F^2 M^2}{w}.$$

Ist uns also das logarithmische Decrement unseres Pendels im magnetischen Feld und ausserhalb desselben nebst dem Trägheitsmoment K bekannt, so sind uns alle Stücke zur Berechnung des Quadrates der Feldstärke gegeben.

Die Versuche wurden in der Weise angestellt, dass von einer Bogenlampe durch einen verticalen Spalt, über welchen ein dünner Draht als Marke gespannt war, unter Anwendung einer Linse ein Bild auf dem Spiegel s entworfen und von diesem auf eine in etwa 4 m Entfernung befindliche Scala reflectirt wurde. Der Apparat, mit den Einkerbungen i auf die Stahlspitzen gebracht, wurde dann in Schwingungen versetzt und an einer Stop-Uhr die Zeit abgelesen, welche das Pendel brauchte, damit die von der Marke angezeigte Amplitude auf der Scala von 40 *cm* auf 20 *cm* abgenommen hatte.

Das Trägheitsmoment *(K)* der Vorrichtung (Fig. 3) wurde nach Abmessung der Distanz a aus den zwei Schwingungsdauern gefunden, die sich ergeben, wenn einmal die Vertiefungen i, das anderemal diejenigen des Rohres m (i') auf die Stahlspitzen aufgesetzt wurden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Messung der Feldstärkenquadrate wurde für verschiedene Stromstärken des magnetisirenden Stromes vorgenommen und aus den Ergebnissen eine Curve aufgezeichnet.

Da wir die Substanzen unter Einwirkung verschieden starker Felder untersuchten, haben wir die Widerstände, die der Magnetisirungswicklung und den einzelnen Stellungen des vorgeschalteten Rheostaten entsprachen, ein für allemale gemessen und aus der variablen Spannung, die bei den Einzelversuchen abgelesen wurde, auf die Stärke des magnetisirenden Stromes geschlossen, welche dann mittelst der oben erwähnten Curve direct die Grösse M^2 angab.

Die Messungen.

Es schien uns wichtiger, für einige wenige Substanzen möglichst genaue absolute Zahlen der Susceptibilität angeben zu können, als das Beobachtungsmaterial auf Kosten der Zuverlässigkeit zu häufen. Wir geben deshalb in dieser Mittheilung lediglich die Resultate wieder, welche uns das Wasser und Eisenchloridlösungen ergaben und gedenken in einer weiteren Arbeit unsere Untersuchungen auf eine grössere Reihe von Flüssigkeiten auszudehnen.

Dabei ist zu bemerken, dass zur Reduction unserer Zahlen auf das Vacuum noch der Magnetismus der umgebenden Luft abzuziehen wäre.

A. Das Wasser.

Wir benützten für diese Messungen eine Capillare *s* (Fig. 1) vom Querschnitte $0 \cdot 01\ cm^2$, welche bei der grössten Feldstärke eine Verschiebung des Quecksilbermeniscus um circa 6 *cm* erforderte.

Zur Beurtheilung der Genauigkeit, mit der unser Apparat functionirte, geben wir die Versuche am Wasser in ausführlicher Weise wieder.

Dasselbe wurde bei vier verschiedenen Feldstärken und vier Temperaturen zwischen 3° und 90° C. untersucht. Die benützten Feldstärkenquadrate betrugen, bei Anwendung von Stromstärken bis zu 24 Ampère, rund

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

100.10^6 C. G. S.
150.10^6 C. G. S.
230.10^6 C. G. S.
300.10^6 C. G. S.

und wurden der Reihenfolge nach als die Stellungen I bis IV bezeichnet. Der genaue Werth derselben findet sich fallweise in den folgenden Tabellen. Diese enthalten der Reihe nach die Temperatur, den Stand des Quecksilbermeniscus bei fehlendem und vorhandenem Magnetismus und den daraus berechneten Ausschlag s in Centimetern. Darunter befindet sich die Angabe des Luftdruckes P, des Mittelwerthes des Quadrates der Feldstärke M^2 und die daraus berechnete Magnetisirungszahl $\varkappa$.

Stellung IV

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
3°	40	34·0	40·5	6·25
3	40	33·8	39·8	6·1
	40	33·8	39·8	6·1
2·3	40	33·7	39·7	6·15
2·3	40	33·9	39·5	5·85
	40	39·6	39·8	6·3
	40	34·0	40·0	6·0
2·2	40	34·3	40·5	5·95
2·3	40	34·5	40·8	5·9
2·3				
Mittel 2°39				6·06

$P = 73 \cdot 95\ cm$ Quecksilbersäule
$M^2 = 304.10^6$ (C. G. S.)
$\varkappa = -0 \cdot 652.10^{-6}$ (C. G. S.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stellung I.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
14°	40	38 0	40·0	2·0
14	40	38·3	40·0	1·7
14	40	38·1	39·9	1·85
14	40	38·0	40·0	2·0
14	40	38·2	40·0	1·8
14	40	38 1	40 0	1·9
14	40	38·0	39·9	1·95
14				
Mittel 14°				1·9

$P = 75 \cdot 38$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 107.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 597.10^{-6}$ (C. G. S.)

Stellung II.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
13°5	40	36·8	40·0	3·2
13·5	40	36·8	39·8	3·1
13·6	40	37·0	40·7	3·3
13·7	40	37·1	40·0	2·9
13·9	40	37·0	40·0	3·0
14·0	40	37·1	39·8	2·8
14·1	40	37·0	39·9	3·0
14·1	40	37·1	40·0	2·9
14·2	40	37·2	40·3	2·9
14·3	40	37·2	40·5	3·0
14·0				
Mittel 13°9				3·01

$P = 75 \cdot 4$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 156.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 643.10^{-6}$ (C. G. S.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stellung III.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
15°	40	35·3	39·9	4·65
15	40	35·5	40·0	4·5
15	40	35·6	40·0	4·4
15	40	35·5	39·9	4·45
15	40	35·6	39·9	4·35
15	40	35·5	40·1	4·55
15				
Mittel 15°				4·5

$P = 75 \cdot 38$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 231.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 652.10^{-6}$ (C. G. S.)

Stellung IV

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
14°2	40	34·0	39·9	6·0
14·2	40	34·3	40·0	5·7
14·2	40	34 0	39·6	5·8
14·2	40	34·0	39·9	6·0
14·3	40	34·3	39·9	5·7
14·3	40	34·0	39·7	5·9
14·3	40	33·9	39·9	6·0
14·3	40	34·3	39·8	5·6
14·3	40	34·1	39·6	5·7
14·4	40	34·2	40·0	5·8
14·4				
Mittel 14°3				5·82

$P = 75 \cdot 4$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 304.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 638.10^{-6}$ (C. G. S.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stellung IV

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
53°	40	34·3	39·2	5·3
52·9	40	34·3	39 5	5·5
52·5	40	34·5	39·7	5·3
52·1	40	34·6	39·9	5·4
52	40	34·7	40·1	5·3
52	40	34·0	39·3	5·7
53	40	34·5	39·7	5·4
53·5	40	34·6	40·2	5·5
53·6	40	34·8	40·0	5·2
53·2	40	34·6	39·8	5·3
53·2	40	34·7	40·2	5·4
52·6	40	34·3	39 4	5·4
52·5	40	34·7	39·9	5·3
53	40	34·5	39·7	5·4
53·4				
Mittel 52°8				5·38

$P = 73 \cdot 95$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 303.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -580.10^{-6}$ (C. G. S.)

Stellung I.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
90°	40	38·4	40·2	1·7
89·8	40	38·4	40·1	1·7
89·7	40	38·2	40·0	1·8
89·5	40	38·6	40·0	1·4
89·5	40	38·3	40·0	1·7
89·4	40	38 4	40·0	1·6
89·5	40	38·2	40·0	1·8
89·3	40	38·1	40·0	1·9
89·3	40	38·3	40·0	1·7
89·4	40	38·3	40·0	1·7
89·3				
Mittel 89°5				1·7

$P = 75 \cdot 35$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 107 \cdot 5.10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 539.10^{-6}$ (C. G. S.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stellung II.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
88°	40	37·0	39·7	2·9
87·8	40	37·3	39·9	2·7
88·8	40	37·3	39·8	2·6
89	40	37·3	40·0	2·7
89	40	37·4	40·0	2·6
89·5	40	37·4	40·0	2·6
90·2	40	37·5	40·2	2·6
90·8	40	37·3	40·0	2·7
90·6	40	37·3	40·0	2·7
90·4	40	37·2	39·9	2·8
90·1				
Mittel 89°5				

$P = 75 \cdot 35$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 155 . 10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 577 \ 10^{-6}$ (C. G. S.)

Stellung III.

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
89°	40	36·0	40·0	4·0
89·5	40	36·4	40·0	3·6
89·3	40	36·1	40 0	3·9
89·3	40	36·0	40·0	4·0
89	40	36·0	40·0	4·0
88·9	40	36·1	39·9	3·9
88·9	40	36·1	40·0	3·9
88·6	40	36·0	40·1	3·9
88·2	40	36·0	40·0	4·0
88	40	35·9	39·9	4 1
87·8				
Mittel 88°8				3·93

$P = 75 \cdot 35$ *cm* Quecksilbersäule

$M^2 = 230 . 10^6$ (C. G. S.)

$\varkappa = -0 \cdot 572 . 10^{-6}$ (C. G. S.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stellung IV

Temperatur in Celsiusgraden	Anfangsstellung vor dem Versuche	Schlussstellung	Anfangsstellung nach dem Versuche	Scalentheile in Centimetern s
86	40	34·8	39·9	
87	40	34·8	40·0	5·2
87·5	40	35·0	40·0	5·0
87·5	40	35·0	39·8	4·9
87·6	40	34·5	39·4	
88	40	35·0	40·0	5·0
88	40	35·0	40·2	5·1
88·5	40	34·8	40·0	
88	40	35·0	39·7	4·9
89	40	34·9	40·0	5·1
89				
Mittel 87°9				5·08

$$P = 75 \cdot 35\ cm \text{ Quecksilbersäule}$$
$$M^2 = 304 \,.\, 10^6 \text{ (C. G. S.)}$$
$$\varkappa = -0 \cdot 558 \,.\, 10^{-6} \text{ (C. G. S.)}$$

Die Resultate der vorhergehenden Tabellen finden sich in der folgenden Zusammenstellung der Susceptibilität $\varkappa$ mit den zugehörigen Temperaturen T und Feldstärken M.

Die mit * bezeichneten Daten beziehen sich auf eine Versuchsreihe, welche, nachdem inzwischen verschiedene andere Flüssigkeiten der Messung unterzogen worden waren, etwa einen Monat später als die anderen vorgenommen wurde. Diese zuletzt erzielten Resultate fügen sich so gut den früher erhaltenen ein, dass wir darin einen glänzenden Beweis für die Zuverlässigkeit unseres Apparates erblicken können.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$-\varkappa . 10^6$	Mittel
2°39	2°39	304	0·652*	0·652
14·3	14·0	107	0·597	0·632
	13·9	156	0·643	
	15·0	231	0·652	
	14·3	304	0·638	
52·8	52·8	303	0·580*	0·580
88·9	89·5	107·5	0·539	0·562
	89·5	155	0·577	
	88·8	230	0·572	
	87·9	304	0·558	

Vergleichen wir unsere Ergebnisse mit jenen anderer Forscher, so finden wir, dass dieselben, wie aus der folgenden Nebeneinanderstellung zu ersehen ist, eine Mittelstellung einnehmen.

Es fanden:

H. E. J. G. du Bois[1].	$-\varkappa . 10^6 = 0·861$
Quincke[2].	0·837
Curie	0·79
Henrichsen[3]..	0·75
Wähner	0·541
Schuhmeister	0·436

Schuhmeister und Quincke glaubten eine Änderung, und zwar eine Abnahme, von $\varkappa$ mit der Feldstärke annehmen zu sollen. Wir konnten eine solche nicht finden.

Hingegen ist es recht auffallend, dass es keinem der genannten Forscher[4] gelungen ist, die doch bei uns deutlich

---

Aus den Angaben von du Bois berechnet für Luft als umgebendes Medium.

[2] Aus der Quincke'schen Constanten Q umgerechnet.

[3] Von Henrichsen aus seinen Werthen für Eisenchlorid bestimmt.

[4] Curie, C. r. 116, p. 137 hat sogar ein Temperaturintervall von 15° bis 189° beobachtet.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in die Augen springende Abhängigkeit von der Temperatur direct nachzuweisen.

Wir haben dieselbe in Fig. 4, allerdings in Folge der sehr gross aufgetragenen $\varkappa$ in etwas verzerrter Form, wiedergegeben. Berechnet man unter Annahme eines linearen Verlaufes aus

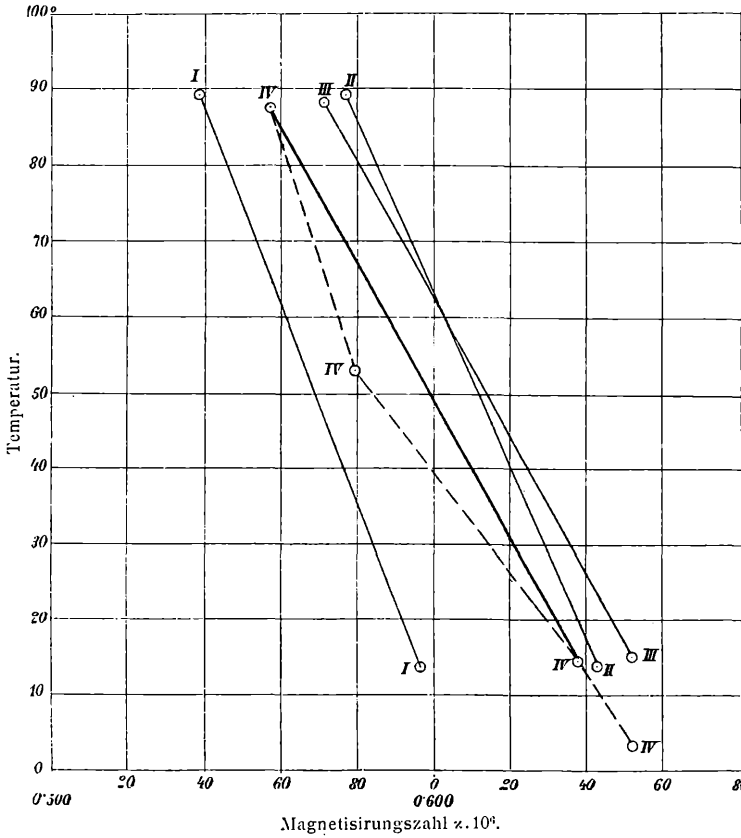

Fig. 4.

den sichersten Werthen (Stellung IV und III) die Temperaturcoëfficienten, so erhält man für die Formel

$$\varkappa = \varkappa_0 (1 + \varepsilon t)$$

$$\varepsilon_{IV} = -0 \cdot 00166$$

$$\varepsilon_{III} = -0 \cdot 00162$$

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

im Mittel $\varepsilon = -0 \cdot 00164$, welcher Werth in genügender Übereinstimmung mit dem von Henrichsen als Mittelwerth für eine Reihe organischer Substanzen angegebenen $\varepsilon_v = -0 \cdot 00134$ steht.

B. Eisenchloridlösungen.

Wegen der Wichtigkeit der physikalischen Constanten des Wassers haben wir in ausführlichen Tabellen unsere diesbezüglichen Messungen aufgezeichnet. Bei den nun folgenden Ergebnissen für Eisenchloridlösungen beschränken wir uns auf die Angabe der Hauptresultate, hätten wir doch andernfalls nicht weniger als circa 4000 Zahlen zu notiren.

Bei diesen Lösungen mussten drei verschiedene Capillaren s (Fig. 1) verwendet werden, deren Querschnitte 0·112, 0·0416 und 0·010 cm^2 betrugen.

Die folgenden Tabellen enthalten die gefundenen Magnetisirungszahlen $\varkappa$ der Lösung wiederum in Zusammenstellung mit den entsprechenden Temperaturen T und Feldstärken M, nebst der Angabe des Procentgehaltes an wasserfreiem Salz (Proc.), des specifischen Gewichtes (γ) und der Zahl der bei 17·5° im Liter gelösten Gramm-Moleküle (g. m.). Das Salz wurde als monomolecular mit der Formel $FeCl_3$ angenommen.[1]

Lösung 1.

Proc. = 42·3% $FeCl_3$,
$\gamma_{17 \cdot 5} = 1 \cdot 390$,
g. m. = 3·62.

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	10^6	Mittel
1°7	1°6	110	43·41	44·23
	2·0	145	44·48	
	2·0	235·5	44·27	
	1·2	307	44·77	

[1] Die Berechtigung hiezu leiten wir aus einer Arbeit von P. Th. Müller C. r. 118, p. 644—646 her, welcher das Moleculargewicht des Eisenchlorids in alkoholischer und ätherischer Lösung bestimmte.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$\varkappa . 10^6$	Mittel
11°4	10°3	108	42·46	42·68
	11·3	143	42·52	
	12·0	235·5	42·78	
	12·0	307	42·95	
53°7	52·8	108	37·59	37·93
	53·4	143	37·74	
	53·9	232·5	37·97	
	54·7	303·5	38·42	
81°9	82·2	107·5	34·53	35·18
	81·7	142	35·62	
	81 5	232·5	35·60	
	82·1	305	34·97	

Lösung 2.

Proc. = 29·0 % $FeCl_3$,
$\gamma_{17\cdot5}$ = 1·246,
g. m. = 2·23.

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$\varkappa . 10^6$	Mittel
2°1	1°9	109	28·61	29·27
	2·4	142·5	29·35	
	2·2	232	29·57	
	1·9	270·5	29·55	
	12·2	108·5	28·10	25·56
	12·0	143	28·72	
	12·3	233	28·86	
	12·5	261	28·57	
32·2	32·5	108	26·80	27·27
	32 7	141	26·95	
	31·4	229·5	27·83	
	32·2	270·5	27·51	
50·1	50·5	108	25·90	26·15
	49·8	141	25·95	
	48 1	230	26·69	
	52·2	269	26·05	
70·1	69·8	108	25·16	24·88
	69·4	143	24·83	
	70·8	231	24·85	
	70·4	272	24·66	
88·7	87·9	106·5	24·20	24·06
	87·1	141	23·96	
	89·4	232·5	24·09	
	90·4	269·5	24·01	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lösung 3.

Proc. = 23·92 % $FeCl_3$,
$\gamma_{17\cdot5}$ = 1·194
g. m. = 1·76

Mittel	T	$M^2.10^{-6}$	$\varkappa.10^6$	Mittel
3°1	2°8	107	21·92	22·41
	2·9	142	22·45	
	3·1	231	22·65	
	3·4	303	22·62	
16·8	16·0	108·5	21·19	21·66
	16·7	141·5	21·47	
	17·2	232	21·96	
	17·4	303	21·92	
34·1	34·1	109	20·28	20·66
	33·6	143	20·69	
	34·2	234	20·96	
	34·3	305	20·70	
52·95	53·0	106	19·23	19·41
	52·3	140·5	19·50	
	52·3	230	19·57	
	54·2	303	19·35	
71·75	70·7	106	18·40	18·43
	72·0	141	18·80	
	71·9	230	18·81	
	72·4	303	18·53	
89·6	87·3	109	18·49	18·15
	86·5	143	18·39	
	91·1	232	17·79	
	89·7	303	17·93	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lösung 4.

Proc. = 18·54% $FeCl_3$,
$\gamma_{17\cdot5}$ = 1·144,
g. m. = 1·31.

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$\varkappa . 10^6$	Mittel
3°6	2°6	109	15·74	16·11
	3·9	143	16·02	
	4·1	233	16·41	
	4·0	304·5	16·26	
15·0	14·2	108	15·35	15·46
	15·0	143	15·68	
	15·3	232·5	15·84	
	15·6	299	15·89	
35·1	34·6	102	14·61	14·93
	35·7	137·5	14·82	
	35·0	229	15·28	
	35·0	301·5	15·03	
52·0	52·3	106	13·92	14·14
	52·0	141	14·29	
	51·5	232	14·33	
	52·3	302	14·03	
70·9	70·9	105	13·86	13·69
	71·7	141	14·02	
	70·2	230·5	13·47	
	70·9	301	13·43	
89·1	89·5	104	13·12	12·99
	88·7	139·5	13·24	
	89·2	230	12·93	
	89·4	301	12·66	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lösung 5.

Proc. = 11·8% $FeCl_3$,
$\gamma_{17\cdot5}$ = 1·088,
g. m. = 0·79.

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$\varkappa . 10^6$	Mittel
2°4	3°1	105	9·51	9·58
	2·0	140	9·67	
	2·2	231	9·55	
	2·2	301	9·53	
12·1	12·0	105	9·22	9·25
	12·0	140	9·20	
	12·0	230	9·37	
	12·3	301·5	9·22	
36·5	38·0	104·5	8·50	8·50
	36·0	139·5	8·55	
	36·3	230	8·60	
	35·8	301	8.37	
54·4	54·7	106	7·94	7·97
	55·0	141	7·96	
	54 0	230	8·00	
	53·9	302	7·97	
71·6	72·6	106	7·54	7·66
	71·8	141	7·65	
	71·1	231	7·78	
	71·0	302	7·66	
91·4	89·6	104·5	7·17	7·03
	91·5	139·5	6·95	
	92·4	229	7·12	
	92·2	300·5	6·89	

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lösung 6.

Proc. = 6·2 % $FeCl_3$,
$\gamma_{17\cdot5}$ = 1·045,
g. m. = 0·40.

Mittel	T	$M^2 . 10^{-6}$	$\varkappa . 10^6$	Mittel
13°	13°	106·5	3·99	3·87
	13	108	3·94	
	13	143	3·90	
	13	233	3·95	
	13	305	3·56	
55·45	53·7	108	3·30	3·43
	55·4	143	3·53	
	56·8	232	3·49	
	55·9	304	3·42	
79·95	78·6	108·5	3·09	3·08
	81·0	141	3·19	
	79·6	230	3·04	
	80·6	302	3·07	

Die Änderung der Magnetisirungszahl mit wechselnder Feldstärke erweist sich, wie aus sämmtlichen Tabellen zu entnehmen ist, unregelmässig und so gering, dass wir sie als innerhalb der Beobachtungsfehler liegend betrachten und deshalb auch nur den Mittelwerth als massgebend ansehen können.

Um eine leichtere Übersicht über den Gang der Susceptibilität mit der Concentration zu gewinnen, sind in einer graphischen Darstellung in der Fig. 5 der Gang des $\varkappa$ mit dem Procentgehalt, in Fig. 6 mit dem Moleculargehalt zusammengestellt.

Selbstverständlich muss mit abnehmender Concentration der Werth des $\varkappa$ sich demjenigen für reines Wasser nähern. Es

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

zeigt dies auch unsere Figur, in welcher die Concentrationen nebst den zugehörigen $\varkappa$ für die drei Temperaturen 0°, 40° und 80° eingetragen sind. Die erhaltenen Curven sind schwach convex gegen die Abscissenaxe. Sie verlieren jedoch ihre Krümmung vollständig, wenn wir statt des Procentgehaltes den Moleculargehalt einführen, wie es in Fig. 6 ersichtlich ist.

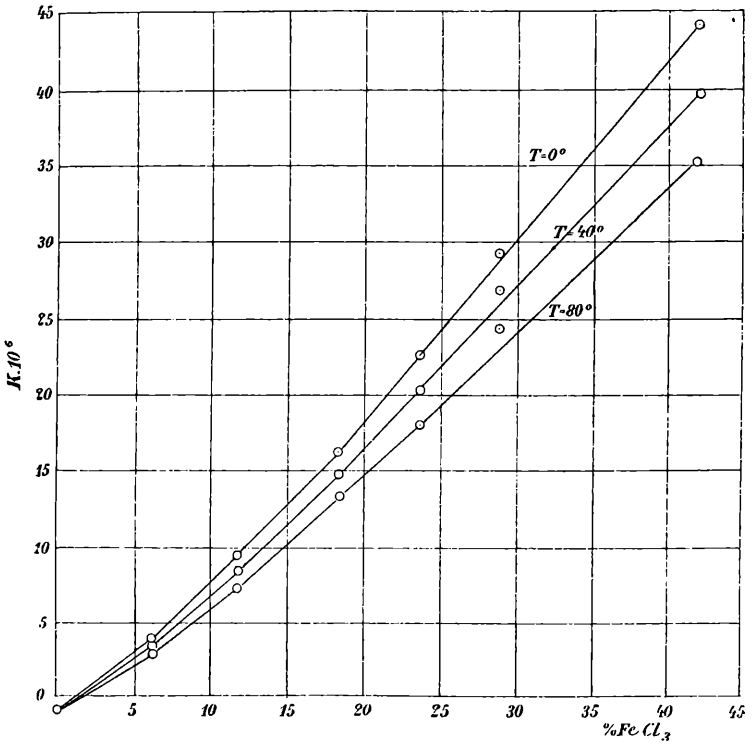

Fig.

Wir erlauben uns daraus den Schluss zu ziehen, dass die Magnetisirungszahlen lediglich von der im Liter gelösten Salzmenge abhängig sind, hingegen völlig indifferent gegenüber Constitutionsänderungen der gelösten Substanz, wie sie durch Dissociation, Umlagerung etc. eintreten.

Ein Vergleich mit den Resultaten anderer Forscher lässt sich nur schwer vornehmen, da sich diese meist nur auf

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

concentrirte Lösungen beschränken und hierin sehr grosse Abweichungen untereinander aufweisen.[1]

Die Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit des $\varkappa$ von der Temperatur bei den verschiedenen Concentrationen. In Übereinstimmung mit bereits bekannten Messungen ergibt sich eine Abnahme

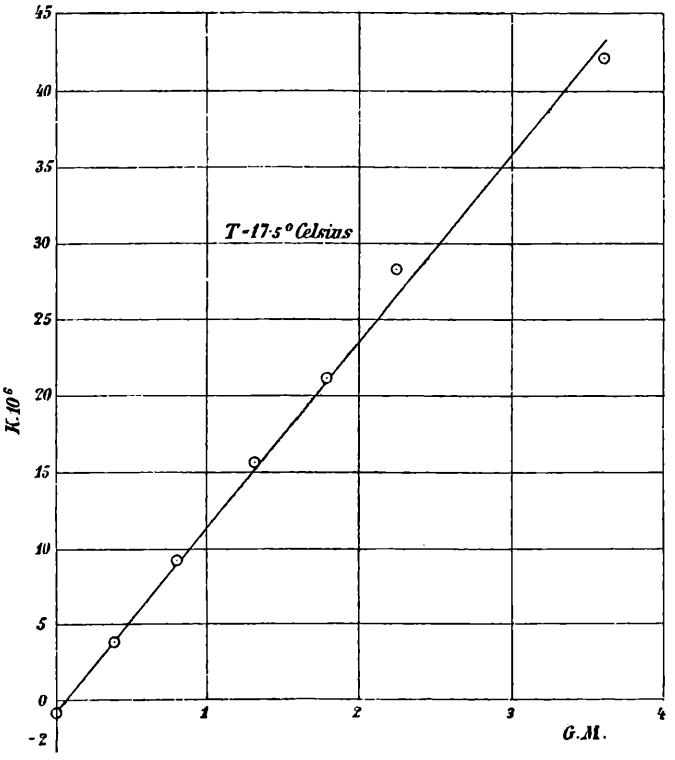

Fig. 6.

der Magnetisirungszahl mit wachsender Temperatur, und es kann wiederum dieser Gang als ein geradliniger aufgefasst werden.

Die aus der graphischen Darstellung gewonnenen Temperaturcoëfficienten sind für die Formel

$$\varkappa = \varkappa_0 (1 + \varepsilon t)$$

[1] Siehe die Zusammenstellung in Winkelmann, Handbuch der Physik, III, 2, S. 206.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

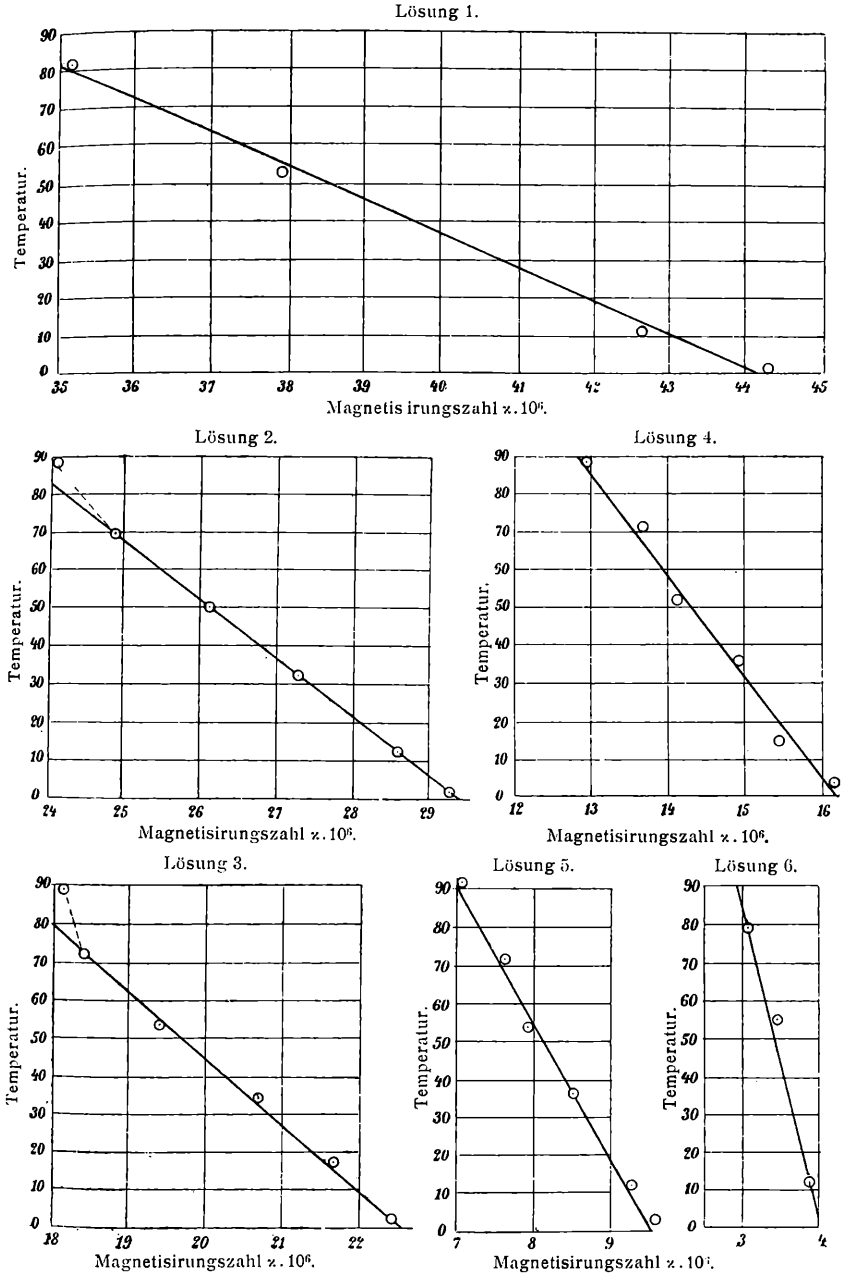

Fig. 7

Lösung 1	$\varepsilon_1 = -0 \cdot 00252$
Lösung 2.	$\varepsilon_2 = -0 \cdot 00219$
Lösung 3.	$\varepsilon_3 = -0 \cdot 00254$
Lösung 4.	$\varepsilon_4 = -0 \cdot 00232$
Lösung 5.	$= -0 \cdot 00290$
Lösung 6.	$\varepsilon_6 = -0 \cdot 00274$
Reines Wasser	$\varepsilon = -0 \cdot 00164$

Eine gesetzmässige Abhängigkeit des Temperaturcoëfficienten von der Concentration ergibt sich demnach aus unseren Messungen nicht. Dies ist nicht auffällig, da überhaupt sämmtliche Zahlen für denselben zwischen den engen Grenzen 0·00290 und 0·00164 gefunden wurden.

In guter Übereinstimmung befinden sich unsere Resultate mit dem Werthe des Temperaturcoëfficienten einer sehr concentrirten Eisenchloridlösung, welchen Quincke zu —0·00290 angibt. Wir halten uns daher für berechtigt, die Werthe von G. Wiedemann: —0·00325 und Plessner: —0·00356 für etwas zu gross anzusehen.

Als allgemeine Ergebnisse unserer bisherigen Untersuchungen können wir nach dem Gesagten Folgendes aufstellen:

1. Es kann die Magnetisirungszahl des Wassers dargestellt werden durch die Formel:

$$\varkappa = -0 \cdot 647 (1 - 0 \cdot 00164 t)\, 10^{-6}.$$

2. Sie ist unabhängig von der Stärke der Magnetisirung.

3. Die Magnetisirungszahlen der Eisenchloridlösungen, welche ebenfalls keine Abhängigkeit von der Stärke des magnetischen Feldes erkennen lassen, verlaufen linear mit dem Moleculargehalt der Lösung.

4. Es nimmt die Susceptibilität derselben mit wachsender Temperatur in geradlinigem Verhältnisse ab.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: 106_2a

Autor(en)/Author(s): Jäger Gustav, Meyer Stefan

Artikel/Article: Bestimmung der Magnetisirungszahlen von Flüssigkeiten und deren Änderung mit der Temperatur. 594-622