**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens
**Band:** 6 (1915)
**Heft:** 10

**Artikel:** Die Weiss'sche Magnetonentheorie
**Autor:** Beck, Karl
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1056336

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 23.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telephon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telephon 6741

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens,
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone 6741

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VI. Jahrgang
VI^e Année

Bulletin No. 10

Oktober
Octobre 1915

## Die Weiss'sche Magnetonentheorie.[1])

Von *Karl Beck,* Assistent für Physik an der E. T. H., Zürich.

Schon lange haben die Physiker angefangen, die Moleküle als Ausgangspunkte für die Erklärung und Berechnung physikalischer Erscheinungen zu wählen (kinetische Gastheorie), und haben in neuerer Zeit diese Methode mit grossem Erfolg immer häufiger angewandt. Sie sahen sich sogar veranlasst, genauere Annahmen über die einzelnen Bestandteile der „unteilbaren" Atome zu machen; so entstanden die Vorstellungen von der atomistischen Struktur der Elektrizität (Elektronen), der Energie (Energiequanten) und des Magnetismus (Magnetonen), auf welch letztere hier näher eingetreten werden soll.

Die Tatsache, dass jedes einzelne Stück eines magnetisierten Eisenstabes, wenn er zerbrochen wird, wieder ein Magnet ist, hatte den Begriff des *Molekularmagneten* erzeugt (Ampère, Weber), welcher seither zwar oft zur qualitativen Beschreibung der Erscheinungen herangezogen, aber erst 1905 von *Langevin* in seiner Theorie des Diamagnetismus und Paramagnetismus[2]) in quantitative Betrachtungen eingeführt wurde.

*P. Weiss* (Zürich) hat dann im Anschluss daran eine Theorie des Ferromagnetismus entwickelt[3]), welche gestattet, nicht nur die Messungen von paramagnetischen, sondern auch die von ferromagnetischen Substanzen zur Berechnung der Momente[4]) ihrer Molekular-

[1]) Der vorstehende Aufsatz wurde Ende Juli 1914 im Auftrag von Herrn Prof. Weiss vom Verfasser für die Schweiz. Chemiker-Zeitung ausgearbeitet. Da diese Zeitschrift in Folge des Krieges einging, und der Verfasser selbst mobilisiert wurde, konnte die Arbeit erst im August 1915 fertig gestellt werden. In der Zwischenzeit wurde nichts Einschlägiges publiziert, sodass das Referat von Weiss in der Revue générale des Sciences vom Frühling 1914 immer noch die letzte Publikation über die Gesamtfrage darstellt.

[2]) Langevin, Journ. de Phys. 1905.

[3]) P. Weiss, Physik. Zeitschr. 1911 und Journ. de Phys. 1911.

[4]) Ein Magnet ist bestimmt, wenn die Stärke m eines jeden seiner beiden Pole und ihr Abstand l gegeben ist. Die Praxis hat gezeigt, dass das Produkt ml, welches das Moment des Magneten heisst, die bequemste Grösse ist, um einen Magneten zu charakterisieren.

oder Atommagnete zu verwerten, und gelangte so zu folgendem Resultat: *Die Atome eines magnetischen Körpers können im Allgemeinen in verschiedenen Zuständen von einander verschiedene, doch jeweils genau bestimmte, magnetische Momente aufweisen; ob diese Momente aber demselben Atom in verschiedenen Zuständen oder verschiedenartigen Atomen angehören, sind sie alle ganze Vielfache eines einzigen Elementarmomentes, des „Magnetons"*.

Die ersten Messungen, die zu solchen Rechnungen verwendet wurden, waren an ferromagnetischen Substanzen bei tiefen Temperaturen vorgenommen worden. Ein ferromagnetischer Körper lässt sich durch ein äusseres magnetisches Feld nur bis zu einer gewissen Grenze (Sättigung) magnetisieren, die dann erreicht ist, wenn alle Molekularmagnete, resp Gruppen von solchen[5]), parallel zum Feld geworden sind. Nun besteht aber die thermische Bewegung der Moleküle nicht nur aus einer Translation, sondern auch aus einer Rotation derselben, sodass z. B. bei gewöhnlicher Temperatur in jedem Augenblick eine Anzahl Moleküle aus ihrer, parallel zum Feld gerichteten, Gleichgewichtslage abgelenkt sein wird. Die Sättigungsintensität einer Substanz bei gewöhnlicher Temperatur ist also unmöglich so gross, wie wenn tatsächlich alle Moleküle parallel gerichtet wären, und zwar wird der Fehler mit der Temperatur abnehmen und schliesslich beim absoluten Nullpunkt verschwinden. *Weiss* und *Kamerlingh Onnes*[6]) haben 1909 durch Messungen bis zu ganz tiefen Temperaturen (flüssiger Wasserstoff = 20° abs. Temp.) die Sättigungsintensitäten[7]) von Eisen und Nickel beim absoluten Nullpunkt bestimmt und für das magnetische Moment des Grammatoms gefunden:

$$\text{Eisen} \quad . \quad . \quad . \quad \sigma_{m,o} = 12\,360 = 11 \times 1123{,}6$$
$$\text{Nickel} \quad . \quad . \quad . \quad \sigma_{m,o} = 3\,370 = 3 \times 1123{,}3$$

Der direkte Schluss auf die Grammatome statt der Grammoleküle ist hier erlaubt, weil ja beim absoluten Nullpunkt die Moleküle keinerlei Bewegung mehr haben sollen. Die beiden $\sigma_{m,o}$ sind also innerhalb der Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler ganze Vielfache einer und derselben Zahl, die im Mittel zu 1123,5 angenommen wird und den Namen *Grammagneton* erhalten hat. Dividiert man diese Zahl durch die Anzahl der Atome im Grammatom N ($6{,}8 \times 10^{23}$, Perrin 1910), so ergibt sich als Wert des magnetischen Moments des Atoms oder des Magnetons selbst

$$16{,}5 \times 10^{-22}.$$

Es ist dies das Moment des Elementarmagneten, der im Nickelatom dreimal, im Eisenatom elfmal enthalten ist.

Weitere Aufschlüsse bekam Weiss durch die Untersuchung der Legierungen von je zwei ferromagnetischen Metallen, die in seinen Laboratorien ausgeführt wurde. Bei den Nickel-Cobalt-Legierungen nimmt nach der Arbeit von *Bloch*[8]) $\sigma_{m,o}$ vom reinen Nickel ausgehend mit dem Cobaltgehalt linear zu (siehe Fig. 1), woraus man schliessen kann, dass die beiden Elemente bei jeder Konzentration feste Lösungen mit einander eingehen. Das reine Cobalt lieferte wegen seiner grossen magnetischen Härte, die mit fallender Temperatur noch zunimmt, keine guten Resultate; Bloch bestimmte deshalb $\sigma_{m,o}$ für reines Cobalt durch Extrapolation aus den Lösungen mit Nickel und fand so eine Zahl, die durch 1123,5 dividiert 8,925 ergab. Berücksichtigt man hier die möglichen Messfehler, so ist der Schluss erlaubt, dass das Cobaltatom neun Magnetonen besitzt. Den gleichen Wert (8,97) fand *Preuss*[9]) durch Extrapolation aus den Eisen-Cobalt-Legierungen. Daneben sind zwei wei-

[5]) Die weiter unten besprochene Hypothese eines molekularen Feldes bedingt die Annahme dieser Gruppen, deren Vorstellung bei der kristallinischen Struktur der ferromagnetischen Körper ja nicht schwer ist.

[6]) P. Weiss et H. Kamerlingh Onnes, Journ. de Phys. 1910.

[7]) Die in einem Körper herrschende Magnetisierungsintensität ist das magnetische Moment pro $cm^3$ desselben und wird gewöhnlich mit I bezeichnet; sie kann natürlich nach Bedürfnis auf irgend eine andere Einheit, so z. B. auf das Grammatom, berechnet werden.

[8]) Bloch, Dissert., Zürich 1912.

[9]) Preuss, Dissert., Zürich 1912.

tere Resultate seiner Arbeit bemerkenswert. Erstens die Existenz einer Verbindung $Fe_2Co$, die in den eisenreicheren Legierungen mit dem Eisen, in den cobaltreicheren mit dem Cobalt feste Lösungen eingeht (siehe Fig. 1). Seine grosse praktische Bedeutung bekommt dieses Ferrocobalt dadurch, dass es pro Molekül 36 Magnetonen enthält (d. h. gleichsam 12 pro Atom), also stärker magnetisierbar ist als das Eisen (Unterschied der beiden Sättigungsintensitäten $I_m$ bei gewöhnlicher Temperatur ca. 10 % zugunsten des $Fe_2Co$). Nachdem es *von Freudenreich* [10]) gelungen war, im Laboratorium Stücke von mehr als 10 Kilo dieser Verbindung herzustellen, wurde sie bereits zur Anfertigung von Polschuhen für die grossen Elektromagnete vom Typus Weiss verwendet, und damit zum ersten Mal eine Feldstärke von über 55 000 Gauss erreicht. — Das zweite auffallende Ergebnis der Preuss'schen Arbeit fand sich bei der Bestimmung von $\sigma_{m,o}$ für reines Eisen als Extrapolation aus den Eisen-Cobalt-Legierungen, indem diese für das Eisenatom den Wert von nur 10,0 Magnetonen ergab. Der magnetische Zustand des Eisens ist somit bei gewöhnlichen und tieferen Temperaturen nicht derselbe, wenn es rein untersucht wird (11 Magnetonen) und in Lösung mit $Fe_2Co$. Eine analoge Messung der Eisen-Nickel-Legierungen von *Weiss* und *Foex* [11]) förderte die Existenz einer Verbindung $Fe_2Ni$ zu Tage mit 30 Magnetonen pro Molekül; die Extrapolation auf reines Nickel und reines Eisen führte auf die Magnetonenzahlen 3 und 11 pro Atom. In Figur 1 [12]) sind alle diese Resultate zusammengestellt, und zwar sind die Atommomente in Magnetonen als Funktionen der Zusammensetzungen aufgetragen; der Einfachheit halber wurden dabei für die Legierungen „kombinierte" Atome angenommen, deren Atomgewichte jeweils der Zusammensetzung der Legierung entsprechen.

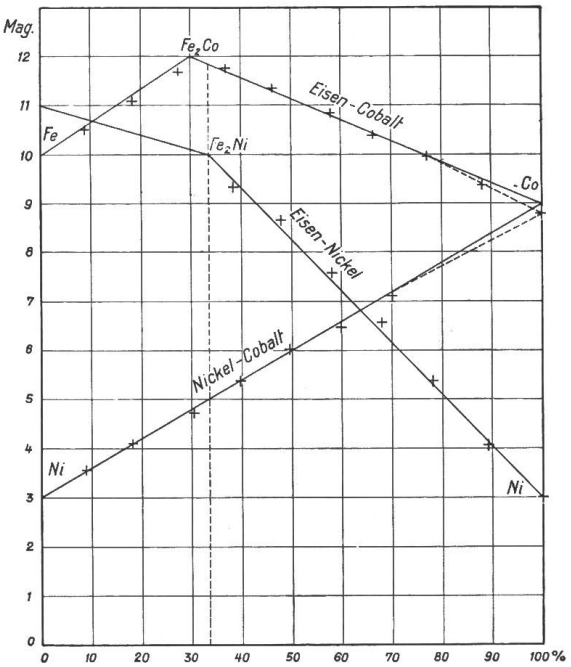


Fig. 1. Anzahl Magnetonen pro „Atom" in Funktion der Zusammensetzung für Legierungen von Eisen-Cobalt, Eisen-Nickel und Nickel-Cobalt.

Es war schon früher bekannt, dass die ferromagnetischen Substanzen bei einer gewissen Temperatur, dem Curie-Punkt (siehe weiter unten), die magnetischen Eigenschaften, die sie bei gewöhnlicher Temperatur haben, verlieren und sich oberhalb desselben ähnlich wie die paramagnetischen Substanzen verhalten, indem ihre Suszeptibilität [13]) sehr klein und vom äusseren Feld unabhängig wird (z. B. Eisen bei 753° C, Nickel bei 376° C). Um zu zeigen, wie man trotzdem hier auch auf eine Sättigungsintensität schliessen kann, ist es nötig, das Prinzip der Theorie von Langevin und Weiss kurz zu skizzieren.

Langevin betrachtet ein paramagnetisches ideales Gas (z. B. Sauerstoff, $O_2$), dessen Moleküle je einen starren Magneten bilden. Auf Grund einer statistischen Rechnung (Maxwell-Boltzmann'sches Gesetz) findet er die Abhängigkeit der momentanen Magnetisierungsintensität pro Grammolekül $\sigma_m$ von ihrem grösstmöglichen Wert $\sigma_{m,o}$ (Sättigung beim absoluten Nullpunkt), von der absoluten Temperatur T und vom äusseren Feld H, nach welcher der Quotient $\frac{\sigma_m}{\sigma_{m,o}}$ für eine bestimmte Temperatur mit wachsendem Feld von Null aus zunimmt und sich schliesslich asymptotisch dem Grenzwert 1 nähert (momentane Intensität

[10]) von Freudenreich, Archives des Sc. phys. et nat., 1914.

[11]) Weiss und Foex, Journ. de Phys. 1911.

[12]) Weiss, Revue génér. des sciences 1914.

[13]) Die Suszeptibilität oder magnetische Durchlässigkeit ist das Verhältnis der Magnetisierungsintensität zum äusseren Feld I/H; bei ferromagnetischen Substanzen ändert sie sich mit dem Feld H und nimmt besonders in mittelstarken Feldern sehr grosse Werte an.

= Sättigungsintensität). Für Felder, wie wir sie erzeugen können, gilt mit sehr grosser Annäherung

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_{m,o}} = \frac{\sigma_{m,o} \cdot H}{3\,R \cdot T}$$

wo R die bekannte Konstante der Gastheorie ist, bezogen auf das Grammolekül ($R = 83{,}155 \times 10^6$ Erg pro Grad). Die momentane Magnetisierungsintensität ist also proportional zum Feld und umgekehrt proportional zur absoluten Temperatur; Abweichungen davon würden sich bei gewöhnlicher Temperatur erst bei Feldern von mindestens 100 000 Gauss bemerkbar machen. Bezeichnet man mit

$$\varkappa_m = \frac{\sigma_m}{H}$$

die Suszeptibilität pro Grammolekül, so ergibt sich das experimentell sehr gut bestätigte *Gesetz von Curie:*

$$\varkappa_m \cdot T = \frac{\sigma^2_{m,o}}{3\,R} = C_m$$

$C_m$ ist eine für jede Substanz verschiedene Konstante, die sog. Curie-Konstante. Kennt man somit für ein Gas $C_m$, so folgt daraus sofort die Kenntnis von $\sigma_{m,o}$.

Weiss macht nun die weitere Hypothese, dass bei einem ferromagnetischen Körper die Moleküle einander beeinflussen, in der Art, dass ihre Wirkung auf ein einzelnes unter ihnen äquivalent ist derjenigen eines homogenen magnetischen Feldes, das der Magnetisierungsintensität proportional und parallel zu ihr ist. Dieses *molekulare Feld* $H_m$[14]) ist folglich definiert durch die Gleichung

$$H_m = I \cdot N$$

wo N eine Konstante und

$$I = \frac{D}{m} \cdot \sigma_m$$

die Magnetisierungsintensität pro Volumeneinheit ist (D = Dichte der Substanz, m = ihr Molekulargewicht).

Gerade das molekulare Feld, das in seiner Wirkung hier der enormen Zahl von mehreren Millionen Gauss gleichkommen muss, ist es jetzt, welches in den ferromagnetischen Substanzen bei gewöhnlicher Temperatur die Magnetisierung der einzelnen, kristallinischen Teilchen hervorruft (spontane Magnetisierung)[15]), und ein äusseres Feld kann nur noch die Molekularmagnete aller dieser Teilchen über den ganzen Körper hin parallel zu sich richten und so die an und für sich schon vorhandene Magnetisierung der Beobachtung zugänglich machen. Die am ganzen Körper bei einer gewissen Temperatur zu beobachtende Sättigungsintensität ist somit gleich gross wie die in seinen kristallinischen Teilchen herrschende spontane Magnetisierung durch das molekulare Feld. Die bisherigen Beobachtungen haben in befriedigender Weise die Theorie bestätigt, so z. B. bei der Abhängigkeit der Sättigungsintensität von der Temperatur, und damit auch die zweite in den hier skizzierten Rechnungen enthaltene Hypothese von Weiss, dass nämlich in einem ferromagnetischen Körper die Moleküle eben so frei drehbar sein sollen wie in einem idealen Gas.

Auf Grund der obigen Ansätze lässt sich nun auch theoretisch für jede ferromagnetische Substanz ein, übrigens aus den Beobachtungen schon früher bekannter, Punkt berechnen, wo die ferromagnetischen Eigenschaften im gewöhnlichen Sinn des Wortes, die

[14]) Eine weiter ausgearbeitete Theorie des molekularen Feldes siehe P. Weiss, Archives des Sc. phys. et nat., 1914.

[15]) Die Theorie zeigt, dass bei den gemachten Annahmen nur zwei Gleichgewichtszustände vorhanden sind, ein labiler mit der Magnetisierung Null und ein stabiler mit der bei der herrschenden Temperatur möglichen Sättigung; diese ist also in den kleinsten Teilchen des Körpers immer vorhanden und entzieht sich nur durch die „konfuse Kristallisation" ohne die Wirkung eines äusseren Feldes der Beobachtung.

mit der spontanen Magnetisierung zusammenhängen, verschwinden, und der als *Curie-Punkt*[16]) bezeichnet wird ($\Theta$). Oberhalb desselben folgt aus der Theorie ein ganz ähnliches Gesetz, wie für die eigentlichen paramagnetischen Substanzen aufgestellt wurde:

$$\varkappa_m \cdot (T - \Theta) = C_m$$

wo $C_m$ genau die gleiche Bedeutung hat wie in den früheren Gleichungen. $(T - \Theta)$ ist dabei der Ueberschuss der Beobachtungstemperatur über den Curie-Punkt.

Das Experiment hat auch für diese weitere Folgerung aus den Weiss'schen Hypothesen ihre Zulässigkeit bestätigt. Eine der ersten ferromagnetischen Substanzen, die oberhalb des Curie-Punktes untersucht wurde, ist das Magnetit ($Fe_2O_3$)[17]). Trägt man $1/\varkappa$[18]) als Funktion der Temperatur auf, so sollte man nach der letzten der obigen Gleichungen eine Gerade erhalten. Das Resultat der Messungen ist durch die folgende Figur dargestellt:

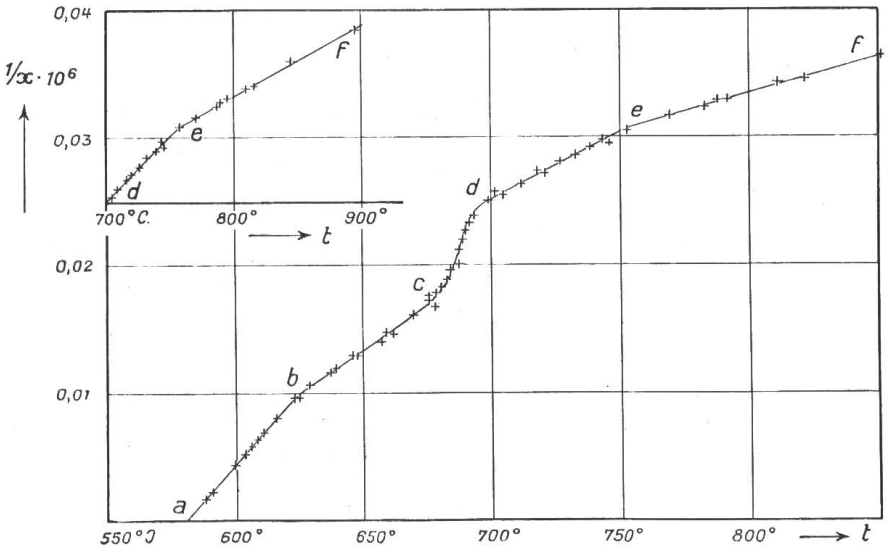


Fig. 2. $1/\varkappa \cdot 10^6$ in Funktion der Temperatur für Magnetit oberhalb des Curie-Punktes.

Merkwürdigerweise trat hier aber nicht nur eine Gerade auf, sondern deren vier (ab, bc, de, ef), welchen sich nach früheren Beobachtungen von Curie noch eine fünfte anschliesst bei Temperaturen über 900°. Diesen fünf Geraden entsprechen fünf verschiedene Curie-Konstanten, und es stellte sich nun die Frage, welche der verschiedenen Grössen, die in den Konstanten enthalten sind, sich bei den Knicken b, c, f und der Uebergangsregion cd geändert haben. Der nächstliegende Gedanke war der an eine Polymerisation[19]). Um ihn rechnerisch zu verfolgen, wurden die Curie-Konstante und die maximale Sättigungsintensität pro Masseneinheit bestimmt (C und $\sigma_0$), die durch die Gleichung

$$C = m \cdot \frac{\sigma^2_0}{3R}$$

miteinander verbunden sind, wo m die Molekularmasse bedeutet. Es wurde nun $\sigma_0$ als konstant angenommen und zu jedem C das entsprechende m berechnet, wobei für die Region ab m = 1 gesetzt wurde. Da beim Legen der Geraden immer eine gewisse, wenn auch minime Willkür vorhanden ist, wurden die Bestimmungen von Weiss und Foex getrennt durchgeführt; die Ergebnisse waren folgende:

---

[16]) Weiss und Kamerlingh Onnes, Comm. phys. Labor. Leyden, 1910.

[17]) Weiss und Foex, Journ. de Phys. 1911, und Weiss, Journ. de Phys. 1911 und Physik. Zeitschr. 1911.

[18]) $\varkappa$ ist hier die Suszeptibilität pro Masseneinheit und ist, solange das Molekulargewicht konstant bleibt, zu $\varkappa_m$ proportional; die Messungen gestatteten keine sichere Reduktion auf das Grammolekül (siehe weiter unten).

[19]) Veränderung der Molekularmasse bei gleicher prozentualer Zusammensetzung der Substanz aus den Elementen; so wäre z. B. $H_4O_2$ ein Polymeres von $H_2O$. Bei allen beobachteten Polymerisationen nimmt das Molekulargewicht mit steigender Temperatur ab.

| Intervall | Weiss | | Foex | |
|---|---|---|---|---|
| | C | m | C | m |
| 581°—622° | 0,00445 | 1,00 | 0,00444 | 1,00 |
| 622°—680° | 0,00663 | 1,49 | 0,00682 | 1,532 |
| 710°—770° | 0,01025 | 2,30 | 0,0105 | 2,36 |
| 770°—900° | 0,01776 | 4,00 | 0,0180 | 4,05 |
| > 900° (Curie) | 0,028 | 6,32 | 0,028 | 6,32 |

Die Molekularmasse würde somit in vollem Widerspruch zu den Regeln der Polymerisation mit wachsender Temperatur zunehmen, und zudem ist es nicht möglich, die einzelnen Werte von m durch einfache ganze Vielfache einer einzigen Zahl auszudrücken. Weiss fasste deshalb die andere Möglichkeit ins Auge, dass sich nicht m, sondern $\sigma_0$ ändere, und fand so, indem für die erste Region $\sigma_0 = 1$ gesetzt wurde, die folgenden Zahlen:

| Intervall | Weiss | | Foex | | Einfache Verhältnisse |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | $\sigma_0$ | C | $\sigma_0$ | |
| 581°—622° | 0,00445 | 1,000 | 0,00444 | 1,000 | 1,0 |
| 622°—680° | 0,00663 | 1,22 | 0,00682 | 1,238 | 1,25 |
| 710°—770° | 0,01025 | 1,513 | 0,0105 | 1,535 | 1,5 |
| 770°—900° | 0,01776 | 1,995 | 0,0180 | 2,013 | 2,0 |
| > 900° (Curie) | 0,028 | 2,515 | 0,028 | 2,515 | 2,5 |

Die Sättigungsintensitäten pro Masseneinheit, und daher, weil jetzt die Molekularmasse als konstant angenommen wurde, auch diejenigen pro Grammolekül, verhalten sich also innerhalb der möglichen Fehlergrenzen wie

$$4 : 5 : 6 : 8 : 10$$

Bei diesen Messungen wurde zum ersten Mal die Erscheinung beobachtet, die schon beim Eisen unterhalb des Curie-Punktes erwähnt wurde, dass ein und dasselbe Molekül verschiedene magnetische Momente aufweisen kann, die unter sich in einem einfachen rationalen Verhältnis stehen. Was die absoluten Werte pro Grammolekül betrifft, so eignen sich diese Messungen an Magnetit nicht gut zu deren Berechnung, da verschiedene Korrekturen an denselben noch nicht angebracht worden sind; so findet man für die erste Region 8,23 Magnetonen, (offenbar statt 8), eine Abweichung, die von der Grössenordnung der vernachlässigten Korrekturen ist. Es sind nunmehr neue Messungen im Gange, die mit grösserer Genauigkeit ausgeführt werden, und die auch Anhaltspunkte darüber zu geben scheinen, nach was für Gesetzen sich die Magnetonenzahlen ändern.

Für das Verständnis der folgenden Resultate muss zunächst noch auf die Definition des Moleküls für diese Messungen eingetreten werden. Bei der Bestimmung von $\sigma_{m,o}$ aus Messungen bei tiefen Temperaturen, wo sowieso alle Molekularmagnete parallel gelagert werden, und keine thermische Bewegung mehr vorhanden ist, konnte man einfach mit Hülfe der Molekular- und Atomgewichte die Momente pro Grammolekül und Grammatom bestimmen. Sobald man aber die kinetische Theorie anwendet, müssen, damit die Rech, nungen gültig sind, die magnetischen Atome, die zusammen einen Molekularmagneten bilden starr mit einander verbunden sein; die Bindung mit eventuell anderen, nicht magnetischen, Atomen ist dabei ohne Einfluss. Sind dagegen in einem chemischen Molekül zwei magnetische Atome so aneinander gefesselt, wie wenn sie durch ein Universalgelenk miteinander verbunden wären, so muss jedes derselben als einzelnes magnetisches Molekül auf-

gefasst werden. Fast alle folgenden Rechnungen über die paramagnetischen Substanzen und die ferromagnetischen oberhalb des Curie-Punktes wurden unter der Annahme geführt, dass jedes magnetische Molekül nur durch ein magnetisches Atom dargestellt sei, und es scheint dies nach den Resultaten bis auf wenige Ausnahmen auch tatsächlich der Fall zu sein.

Die Figur 3 stellt die Messungsergebnisse von *Preuss*[20]) für die Eisen-Cobalt-Legierungen oberhalb des Curie-Punktes dar, und zwar ist wieder $1/\varkappa$ in Funktion der absoluten Temperatur aufgetragen. Man sieht daraus, wie gut sich das Gesetz des linearen Zusammenhangs zwischen $1/\varkappa$ und T durch die Beobachtungen bestätigt; die verschiedenen Zustände der Substanzen sind hier noch deutlicher als beim Magnetit, zum Teil sogar durch eigentliche Sprünge von einander getrennt. Es ist hier ferner noch zu erwähnen, dass die verschiedenen Geraden einer Substanz, wenn man sie nach rückwärts bis zum Schnitt mit

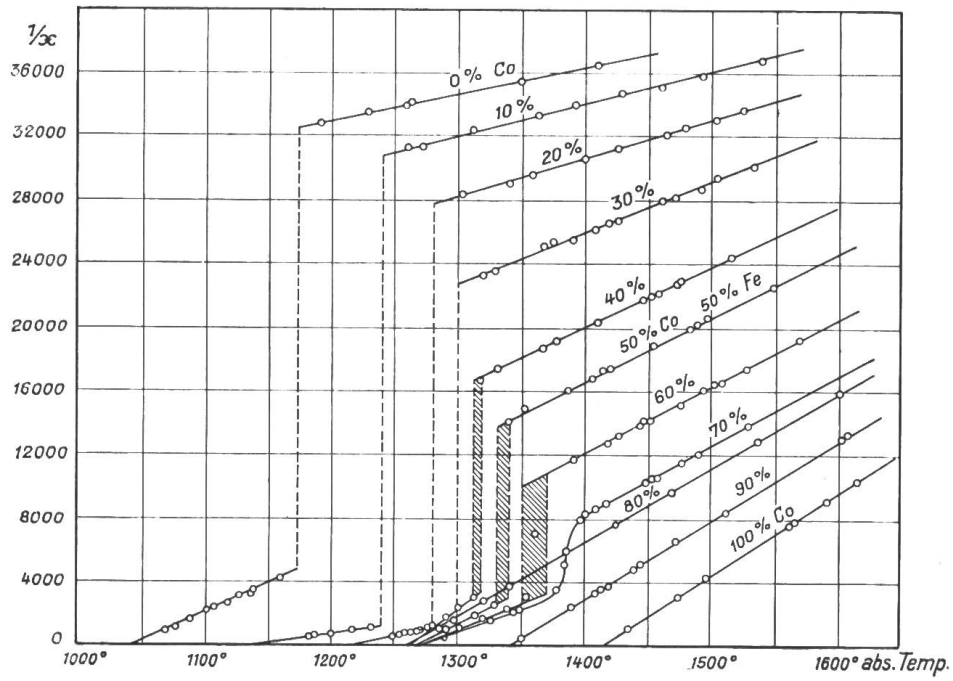


Fig. 3. $1/x$ in Funktion der absoluten Temperatur für die Eisen-Cobalt-Legierungen oberhalb des Curie-Punktes.

der Temperaturaxe verlängert, verschiedene Curie-Punkte liefern, und zwar liegen in der Regel die letzteren um so tiefer, je höher der Temperaturbereich liegt, zu dem die Gerade gehört. Man muss daraus schliessen, dass sich jeweils mit der Curie-Konstanten C auch die Konstante N des molekularen Feldes ändert.[21])

Man bezeichnet die ferromagnetischen Metalle oberhalb des Curie-Punktes mit dem Index $\beta$, und unterscheidet die verschiedenen Zustände in dieser Region mit steigender Temperatur der Reihe nach durch $\beta_1$, $\beta_2$ u.s.w. So hat man beim reinen Nickel einen Zustand $\beta_1$ von 380°—900° C mit acht Magnetonen, der bei 900° C in den Zustand $\beta_2$ mit deren neun übergeht[22]), einen Zustand, den es z. B. in einer Legierung mit 10 % Eisen schon gleich nach dem Curie-Punkt einnimmt, also bei einer etwa 500° niedrigeren Temperatur. Komplizierter sind die Verhältnisse beim Eisen, wo oberhalb des $\beta$-Zustandes noch ein $\gamma$- und ein $\delta$-Zustand nachgewiesen sind, und zwar soll beim $\beta$-Eisen das magnetische Molekül $Fe_3$, beim $\gamma$-Eisen $Fe_2$, und beim $\delta$-Eisen Fe sein. Man ist zu einer

[20]) Preuss, Dissert., Zürich 1912.

[21]) Für reines Eisen ist z. B. für die obere Gerade $\theta = -740°$ abs. Temp. und daher $ND = -1,252 \times 10^4$. Da D = Dichte der Substanz positiv ist, so ist N negativ, also das molekulare Feld ein entmagnetisierendes.

[22]) Bloch, Dissert., Zürich 1912 und Renker, Dissert., Zürich 1913.

solchen Annahme gezwungen, weil sich nur so die gefundenen Werte von $\sigma_{m,o}$ mit guter Genauigkeit als ganze Vielfache des Grammagnetons darstellen lassen. Die nachstehende Tabelle gibt einen Teil der für ferromagnetische Metalle über dem Curie-Punkt ausgeführten Bestimmungen der Anzahl Magnetonen pro Atom wieder und erlaubt zudem einen Einblick in die Genauigkeit, mit der sich dabei ganze Zahlen ergeben.

| Substanz | Magnetonen pro Atom | Beobachter |
|---|---|---|
| $\beta_1$-Eisen | 12,08 (12) | Weiss und Foex |
| | 11,98 (12) | Renker |
| $\beta_2$-Eisen | 10,00 (10) | Preuss |
| | 10,05 (10) | Renker |
| $\gamma$-Eisen | 19,95 (20) | Weiss und Foex |
| $\beta_1$-Nickel | 7,99 (8) | Bloch |
| | 8,03 (8) | Weiss und Foex |
| $\beta_2$-Nickel | 8,96 (9) | Block |
| | 8,93 (9) | Renker |
| $\beta$-Cobalt | 15,01 (15) | Bloch |
| | 14,99 (15) | Preuss |

Es sei schliesslich noch eine Arbeit aus dem Weiss'schen Laboratorium von *Renker*[23]) erwähnt, der wegen der Unterschiede zwischen den reinen und den legierten Metallen und wegen einiger thermischer Irreversibilitäten einige spezielle Gruppen von Eisen-Legierungen untersucht hat, leider ohne dass es ihm gelungen ist, klare Vorstellungen über diese Vorgänge zu schaffen.

Um den, hauptsächlich materiellen, Zusammenhang mit den eingangs besprochenen, theoretisch einfachsten Messungen an ferromagnetischen Körpern bei tiefen Temperaturen zu wahren, wurden hier zunächst die Resultate der Langevin-Weiss'schen Theorie besprochen. Nun ist aber in neuester Zeit auch die einfache Langevin'sche Theorie praktisch verwertet worden. *Piccard* unterzog den eigentlichen Gegenstand derselben der Messung,[24]) indem er die Suszeptibilität der zwei paramagnetischen Gase $O_2$ und NO bestimmte[25]). Unter der Annahme, die durch thermodynamische Ueberlegungen gefördert wird, dass je zwei Sauerstoffatome zusammen einen starren Magneten, also ein magnetisches Molekül bilden, findet er für das einzelne Atom 7,007 Magnetonen[26]). Für das Molekül NO ergeben sich 9,039 Magnetonen[27]).

Eine weitere direkte Anwendung der Langevin'schen Rechnungen erlauben die Lösungen paramagnetischer Salze in Wasser. Messungen von *Pascal*[28]) wurden von Weiss zuerst verarbeitet, und in der Tat liessen sich die berechneten Werte der Molekularmomente ziemlich befriedigend als ganze Vielfache des Magnetons darstellen. Allein die neueren Mes-

[23]) Renker, Dissert., Zürich 1913.

[24]) Piccard, Dissert., Zürich 1913.

[25]) $O_3$, das dritte paramagnetische Gas, konnte wegen seiner Instabilität bis jetzt noch nicht gemessen werden.

[26]) Unter Annahme einer gelenkartigen Verbindung der beiden Atome bekäme man 9,91 Magnetonen pro Atom, welche Abweichung von einer ganzen Zahl weit grösser ist als der hier mögliche Messfehler; es scheinen sich also hier Thermodynamik und Magnetonentheorie gegenseitig zu stützen.

[27]) Weiss und Piccard, Comptes Rendus Acad. Sc., 1913.

[28]) Pascal, Ann. de Chim. et Phys., 1909 und 1910.

sungen der diamagnetischen Suszeptibilität des Wassers von *Piccard*[29]) und *Sève*[30]), sowie die Arbeiten von *Cabrera* und *Moles*[31]) über Lösungen von verschiedener Konzentration haben gezeigt, dass an den Pascal'schen Resultaten verschiedene Korrekturen anzubringen sind, deren Grösse aber in den meisten Fällen noch unbekannt ist. Es sollen deshalb im Folgenden nur die Messungen von Cabrera näher besprochen werden, die einen ersten Einblick in die offenbar recht komplizierte Frage dieser Lösungen gegeben haben.

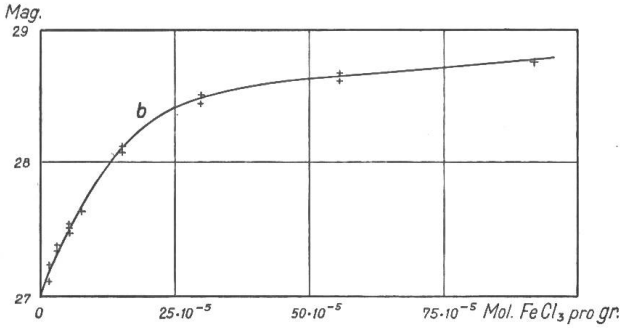


Fig. 4. Anzahl Magnetonen in Ferrichlorid in Funktion der Konzentration einer wässerigen Lösung.

Die Figur 4 zeigt die Anzahl Magnetonen von Ferrichlorid ($FeCl_3$) in Funktion der Konzentration[32]). Störungen wie Jonisation, Hydrolyse, in gewissen Fällen vielleicht auch ein molekulares Feld, verändern das mittlere Moment pro Molekül in hohem Masse. So ist der Grenzwert für unendliche Verdünnung (vollständige Hydrolyse) 27 Magnetonen, der Grenzwert für starke Konzentration 29 Magnetonen[33]); in den beobachteten Verdünnungen hat man es also sehr wahrscheinlich mit Mischungen von Molekülen mit 27 und solchen mit 29 Magnetonen zu tun. Um die Hydrolyse zu vermindern, wurde nun den einzelnen Lösungen Salzsäure (HCl) zugefügt, und die Kurve der Fig. 5 gibt Aufschluss über ihren Einfluss auf die Lösung, die durch den Punkt b der Fig. 4 dargestellt ist. Sie stellt die Anzahl Magnetonen pro Molekül $FeCl_3$ in Funktion des HCl-Gehaltes dar. Bei einem Zusatz von etwa 0,15 Mol HCl pro Mol $FeCl_3$ ist die Hydrolyse offenbar vollständig aufgehoben, und die Kurve zeigt dort einen scharfen Knick in der Nähe von 29 Magnetonen. Bei stärkerem Zusatz von Salzsäure fährt das mittlere Molekularmoment in einer Art zu wachsen fort, die nicht weiter verfolgt wurde; die rückwärtige Verlängerung der Kurve auf 0 Mol HCl ergibt aber mit grosser Genauigkeit den Wert 29 Magnetonen. Neben weiteren Eisensalzen haben Cabrera und Moles seither noch einige Nickelsalze untersucht und bei allen für das Nickelatom 16 Magnetonen gefunden ohne irgend eine Abhängigkeit von der Konzentration[34]). Es sollen hier einige ihrer Zahlen wiedergegeben werden, wobei m die Anzahl Kilogramm des Salzes pro Kilogramm Lösung, n die Anzahl der Magnetonen pro Molekül d. h. pro Nickelatom bedeutet.

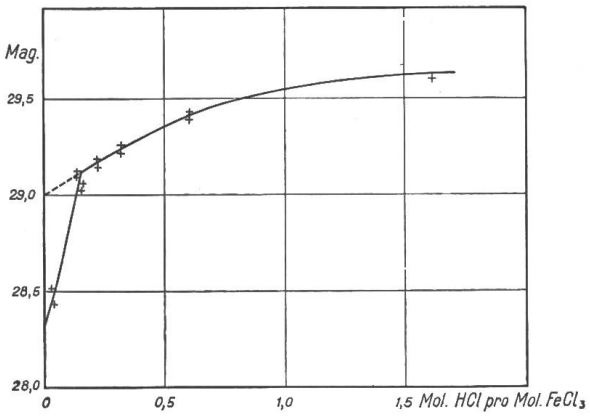


Fig. 5. Anzahl Magnetonen in Ferrichlorid (Lösung von 0,0002 Mol $FeCl_3$ pro gr) in Funktion des Zusatzes von Salzsäure.

Lösungen von Nickelsulfat ($NiSO_4$):

| | | | |
|---|---|---|---|
| m = 0,00950 | n = 16,09 | m = 0,17406 | n = 16,06 |
| 0,01967 | 16,00 | 0,21750 | 15,89 |
| 0,07174 | 16,14 | 0,22040 | 16,18 |

[29]) Piccard, Dissert., Zürich 1913.

[30]) Sève, Thèse, Paris 1912 und Journ. de Phys., 1913.

[31]) Cabrera et Moles, Archives des Sc. phys. et nat., 1913.

[32]) Die Konzentration ist angegeben in Grammolekül (Mol) $FeCl_3$ pro Gramm Lösung.

[33]) Wenn man den oberen Teil der Kurve als Hyperbelbogen betrachtet, findet man als Grenzwert 28,9; Feytis (siehe unten) fand für festes $FeCl_3$ 29 Magnetonen.

[34]) Cabrera, Moles et Guzman, Archives des Sc. phys. et nat., 1914.

Lösungen von Nickelchlorür ($NiCl_2$):

| | | | |
|---|---|---|---|
| m = 0,02208 | n = 16,00 | m = 0,23760 | n = 16,19 |
| 0,08355 | 15,94 | 0,34630 | 15,96 |

Lösungen von Nickelnitrat ($Ni(NO_3)_2$):

| | | | |
|---|---|---|---|
| m = 0,01805 | n = 16,00 | m = 0,12190 | n = 16,07 |
| 0,04515 | 16,01 | 0,24700 | 16,02 |

Ueber die möglichen Zusammenhänge dieser komplizierten Verhältnisse mit der Art der chemischen Verbindungen, vielleicht auch den Valenzen, sind gegenwärtig im Laboratorium von Weiss und andern Orts neue Messungen im Gange.

Schliesslich hat Weiss auch noch versucht, Messungen von Frl. *Feytis*[35]) an paramagnetischen Salzen in festem Zustand nach Langevin rechnerisch zu verwerten, musste dabei wie bei den ferromagnetischen Körpern aber die Annahme machen, dass die Rotationsmöglichkeiten der Moleküle noch die gleichen seien wie in einem idealen Gas, und ferner, dass der Einfluss der Kristallstruktur auf das magnetische Verhalten vernachlässigt werden könne. Diese ersten Versuche zeigten indessen keine sehr gute Uebereinstimmung mit der Magnetonenhypothese; dagegen haben neuere Messungen von Weiss und Foex das Vorhandensein eines molekularen Feldes in den Kristallen dieser Salze nachgewiesen, das in den verschiedenen Axenrichtungen verschiedene Werte annehmen kann, und Weiss hat darauf theoretisch nachgewiesen, dass nur in gewissen Spezialfällen dessen Einfluss vernachlässigt werden darf. Ueber Beobachtungen, die von diesem neuen Gesichtspunkt aus unternommen und durchgerechnet wurden, liegt noch keine ausführliche Publikation vor, doch erklärte Weiss in einer seiner jüngsten Mitteilungen[36]), dass die vorläufigen Resultate seine Auffassung der Erscheinungen rechtfertigen und auch wieder auf ganze Vielfache des Magnetons als Molekularmomente zu führen scheinen.

Das sind in ganz kurzen Zügen die Hypothesen und Beobachtungen, auf die die Weiss'sche Magnetonentheorie sich heute stützt. Ueberall dort, wo die Verhältnisse ordentlich abgeklärt sind, schliessen sich die Beobachtungen sehr gut der Annahme an, dass den Erscheinungen des Ferro- und des Paramagnetismus ein elementares magnetisches Moment, das Magneton, zu Grunde liegt. Zu erforschen, wie nun gleichartige oder verschiedene Moleküle und Atome z. B. auf die Anzahl Magnetonen einwirken können, die zusammen in einem Atom oder Molekül den Molekularmagneten bilden, bleibt weiteren Arbeiten vorbehalten.

[35]) Feytis, Comptes Rendus, 1911.
[36]) Weiss, Revue génér. des sciences, 1914.

# Die Stellung der schweizerischen elektrotechnischen Industrie auf dem Weltmarkte.

Von Dipl. Ing. *P. Gurewitsch.*

Die schweizerische elektrotechnische Industrie hat auf dem Weltmarkte hauptsächlich mit dem Wettbewerb Deutschlands, Englands und der Vereinigten Staaten zu rechnen. Die Ausfuhr von elektrotechnischen Fabrikaten aus diesen Ländern, die als Hauptlieferanten der Welt in elektrotechnischen Erzeugnissen angesehen werden können, stellte sich in dem letzten normalen Jahre (1913) vor dem Kriege, nach der amtlichen Statistik, im Vergleich mit der Schweiz, wie folgt: