

**IX. Ueber die Magnetisirbarkeit cylindrischer  
Eisenröhren in verschiedenen Richtungen;  
von Hermann Herwig.**

---

In den letzten Jahren haben unsere Kenntnisse von der Magnetisirbarkeit des Eisens durch mehrere gründliche Arbeiten eine wesentliche Erweiterung erfahren. Zu den zum Theil schon älteren Bestimmungen über die Magnetisirung von Ellipsoïden und Stäben sind namentlich die von Hrn. Stoletow<sup>1)</sup> und ziemlich gleichzeitig von Hrn. Rowland<sup>2)</sup> ausgeführten Bestimmungen über die Magnetisirung von Ringen hinzugetreten. Diese, sowie alle neueren Untersuchungen haben die große Veränderlichkeit der sogenannten Magnetisirungsfunction mit der magnetisirenden Kraft ergeben und gezeigt, daß im großen Ganzen der Gang dieser Veränderlichkeit überall derselbe ist. Im Speciellen aber variiren die Werthe der Magnetisirungsfunction so sehr mit dem Material, daß sich niemals von den an einem Körper gemachten Messungen auf die eines andern ein sicherer Schluß ziehen läßt und besonders eine Vergleichung der für Ellipsoïde und für Ringe gefundenen Magnetisirungsfunction nicht thunlich erscheint. Ich habe deshalb, wenigstens in erster Annäherung, die *Magnetisirungen eines und desselben Eisenkörpers in verschiedenen Richtungen* zu bestimmen gesucht und gebe im Folgenden die Resultate wieder, welche ich an einer Anzahl cylindrischer *Eisenröhren* bei *circularer* (im Sinne der Querschnittskreise des Cylinders) und bei *axialer* (im Sinne der Axe des Cylinders) Magnetisirung gewonnen habe. Ich habe dabei gleichzeitig auf die remanenten Magnetismen Rücksicht genommen und waren es gerade die eigenthümlichen Erscheinungen, die ich im weiteren Verfolg

1) Diese Ann. Bd. 146, S. 439.

2) *Philos. mag.* t. 46, p. 140.

meiner Untersuchungen<sup>1)</sup> über circular magnetisirtes Eisen betreffs des remanenten Magnetismus beobachtete, welche mich zuerst zu einer Vergleichung der für verschiedene Richtungen geltenden Magnetisirbarkeit von Röhren veranlaßten.

Das Arrangement der in einem großen Kellerraume angestellten Versuche bedarf keiner weiteren Erklärung; ich will nur einiges hinzufügen über Vorsichtsmaßregeln und über angewandte Correctionen für die Berechnung der magnetischen Momente und der äußeren magnetisirenden Kräfte. Die circulare Magnetisirung wurde bewirkt durch einen in der Axe der Röhre verlaufenden stromleitenden Kupferdraht, das erreichte Moment ließ sich durch den ein entferntes feines Spiegelgalvanometer umfließenden Inductionsstrom messen, der in einer engen den Kupferdraht unmittelbar, aber isolirt umschließenden Messingröhre inducirt wurde. Beides, Kupferdraht und Messingröhre, ragten noch eine weitere Strecke in gerader Linie aus der Eisenröhre hervor. Für die Messingröhre durfte bei der Berechnung ein gleichfalls in der Axe verlaufender Leiter substituirt werden, wie sich einfach daraus ergab, daß ein und derselbe den Kupferdraht und die Messingröhre hintereinander in umgekehrter Richtung durchfließender kräftiger Strom die Eisenröhre absolut nicht magnetisirte.

Wenn durch den Kupferdraht der magnetisirende Strom von der Stärke  $i$  fließt, so kann derselbe bei der angegebenen Längsausdehnung des Kupferdrahtes über die Eisenröhre hinaus als unendlich langer geradliniger Strom für jedes Eisentheilchen wirksam angesehen werden. Erfüllt das Theilchen den Raum

$$dL \cdot \rho \, d\varphi \cdot d\varrho$$

(wo  $L$  längst der Cylinderaxe,  $\rho$  als Entfernung von der Axe [und  $\varphi$  als Polarwinkel gerechnet wird), so ist die darauf wirkende Kraft also

$$\frac{2i}{\rho} \cdot dL \cdot \rho \, d\varphi \cdot d\varrho.$$

1) Diese Ann. Bd. 153, S. 115.

Die durchschnittlich auf die Volumeinheit Eisen wirkende Kraft ist also

$$\frac{2i \int_0^L dL \int_0^{2\pi} d\varphi \int_r^R d\varrho}{L\pi(R^2 - r^2)} = \frac{4i}{R+r},$$

wenn  $L$  die Länge der Eisenröhre,  $R$  und  $r$  äußerer und innerer Halbmesser derselben sind.

Bei einigen der Röhren war, um die stärkeren Magnetisirungen zu erreichen, ein mehrmaliges Hindurchführen des primären Stromes erforderlich. In diesen Fällen habe ich den Ausdruck der Kraft nicht einfach mit der Anzahl der Hindurchführungen multiplicirt, weil hier die Führung des Stromes eher zu kleinen Abweichungen Anlaß geben konnte, sondern empirisch die dann jedesmal herrschenden Kräfte auf die bei einfacher Stromführung reducirt, indem die Stromstärke bei dem ersten Versuche mit mehreren Stromeswindungen stets soweit kleiner genommen wurde, als bei dem zuletzt vorhergehenden Versuche mit einfacher Führung, daß die Magnetisirung genau dieselbe blieb. Das gab dann die genaueren Reductionszahlen, die allerdings stets sehr angenähert die Multiplicationszahlen der Windungen waren.

Die Zurückführung des Stromes wurde immer parallel der Zuführung in genügender Entfernung von der Eisenröhre eingerichtet. Der hierbei noch restirende Einfluß des primären Stroms auf das Galvanometer ist stets abgerechnet, er war aber immer äußerst klein, da abgesehen von der parallelen Stromesführung der primäre Strom mehrere Meter Distanz von dem Galvanometer hatte.

Die das circulare Moment messenden Inductionsströme verliefen ganz oder zu einem genau bestimmten Bruchtheile stets denselben Schließungskreis. Die Angaben des Galvanometers verhielten sich also, wie die elektrischen Kräfte der Induction. Natürlich wurden die kleinen von dem Kupferdraht auf die Messingröhre direct inducirten Ströme stets controllirt und in Anrechnung gebracht.

Für die axialen Magnetisirungen hatte ich eine Anzahl von weiten Kupferdrahtspiralen mit überall nur einer Lage von Drahtwindungen gleichmäßig aufgewickelt, welche um die Röhren gesteckt dieselben mit weiterem Zwischenraum umgaben. Da die längste der Röhren fast 2 Meter Länge hatte, so reichte mein Vorrath von Spiralen nicht, um noch über diese Länge hinaus zu gehen, und habe ich deshalb in gleicher Behandlung aller Röhren stets gerade so viel Spirallänge zum Magnetisiren benutzt, als die jedesmalige Röhrenlänge betrug. Die magnetisirende Kraft berechnet sich für diese Verhältnisse folgendermaßen: Die Eisenmasse der Röhre kann in die Axe verlegt gedacht werden, so daß ein Längenelement  $dx$  derselben die Masse des Raumes

$$dx \cdot \pi (R^2 - r^2)$$

vertritt. Ein Theilchen der primären Stromspirale, welches um  $\rho$  von dem Elemente  $dx$  absteht und mit der Axe den Winkel  $\vartheta$  bildet, übt dort bei der Intensität  $i$  die Kraft aus

$$\frac{i \sin \vartheta}{\rho^2} \cdot dx \cdot \pi (R^2 - r^2) = \frac{i \sin \vartheta d\vartheta}{a} \pi (R^2 - r^2),$$

wenn  $a$  der Halbmesser der Spirale ist. Die eine Spirallwindung, der das magnetisirende Stromestheilchen angehört, übt daher auf die ganze Röhre, von deren einer Endebene diese Windung um  $c$  entfernt seyn möge, die Kraft aus

$$\begin{aligned} \cos \vartheta &= -\frac{L-c}{\sqrt{(L-c)^2+a^2}} \\ &\int_0^c 2i\pi^2 \sin \vartheta d\vartheta (R^2 - r^2) = \\ \cos \vartheta &= \frac{c}{\sqrt{c^2+a^2}} \\ &= 2i\pi^2 (R^2 - r^2) \left\{ \frac{(L-c)}{\sqrt{(L-c)^2+a^2}} + \frac{c}{\sqrt{c^2+a^2}} \right\}. \end{aligned}$$

An der betrachteten Stelle sitzen nun bei  $n$  überhaupt vorhandenen Spirallwindungen  $n \cdot \frac{dc}{L}$  Windungen, so daß nunmehr die Gesamtwirkung ist

$$2ni\pi^2 \frac{R^2 - r^2}{L} \int_{c=0}^{c=L} \left\{ \frac{L-c}{\sqrt{(L-c)^2 + a^2}} + \frac{c}{\sqrt{c^2 + a^2}} \right\} dc =$$

$$= 2ni\pi^2 \frac{R^2 - r^2}{L} \left\{ 2\sqrt{L^2 + a^2} - 2a \right\}.$$

Für die practisch eingehaltenen Verhältnisse genügt es statt dessen zu schreiben

$$4ni\pi^2 (R^2 - r^2) \left(1 - \frac{a}{L}\right).$$

Der gegenüber der Wirkung einer unendlich lang gedachten Spirale hinzutretende Correctionsfactor  $\left(1 - \frac{a}{L}\right)$  störte nicht zu sehr, da  $a = 21^{\text{mm}}$  war, während sich  $L$  bei den verschiedenen Röhren zwischen 946 und 1899 bewegte.

Die durchschnittlich auf die Volumeinheit wirkende Kraft ist nunmehr

$$\frac{4ni\pi}{L} \left(1 - \frac{a}{L}\right).$$

Die axialen Momente wurden auf zweierlei Weise gemessen, einmal durch Ablenkungen, dann durch Inductionsströme, beides am Galvanometer beobachtet. Die Röhren lagen hier, wie immer, senkrecht zur magnetischen Meridianebene so, daß ihre Verlängerung den Magnet des Galvanometers getroffen haben würde. Die Mitte der Röhren war dabei stets  $4550^{\text{mm}}$  vom Galvanometer entfernt. Handelte es sich also um Ablenkungen (an dem stromlosen Galvanometer), so waren darin direct die Verhältnisse der Momente gegeben, wenn noch die Correction für die verschiedenen Längen der Röhren (wobei die Poldistanz stets zu 0,8 der Röhrenlänge gerechnet wurde) hinzugenommen wurde.

Bei Messungen mit einer secundären Inductionsspirale wurde in großer Entfernung von der Eisenröhre durch eine weitere in den primären Strom eingeschaltete Spirale ein anderer Eisenstab so magnetisirt, daß die definitiven Ablenkungen am Galvanometer ganz compensirt waren. Mit einer ebensolchen weiteren Spirale, aber ohne Eisenkern wurde auch für den Fall der Ablenkungsmessungen

die directe Wirkung der eigentlichen Magnetisirungsspirale auf das Galvanometer compensirt. Dadurch, daß die Beobachtung der Ablenkungen und der Inductionsströme ausgedehnt parallel durchgeführt wurde, waren die Inductionsströme auf die Ablenkungen bei jeder Röhre genau reducirt. Ebenso konnten alsdann unter Berechnungen, die sich nach dem vorigen von selbst verstehen, die Inductionsströme bei circularer Magnetisirung auf Ablenkungen reducirt werden, indem die Widerstände des Inductionsschließungskreises für beide Fälle (in dem einem Falle war an die Stelle der Messingröhre die secundäre Spirale getreten) scharf mit einander verglichen waren.

Auf diese Art waren also alle Momente durch Ablenkungen am Galvanometer ausdrückbar. Und der absolute Werth dieser Ablenkungen wurde wiederholt mit einem permanenten Stahlmagnete, dessen absolutes Moment mehrfach gemessen wurde, festgestellt. Daß ferner das Galvanometer selbst nicht im Laufe der Versuche irgend erhebliche Aenderungen erfuhr, wurde durch fortwährende Beobachtung der Schwingungsdauer constatirt.

Ich theile nun die Zahlen mit, welche zunächst an 7 verschiedenen Röhren gewonnen wurden; einige weitere zu besonderen Zwecken bestimmte Röhren bespreche ich erst nachträglich. Die sämmtlichen Röhren waren für Gasleitungen fabricirte Röhren, die bekanntlich aus recht gleichmäßigem, weichem Walzeisen gezogen werden. Ihre Verhältnisse sind in der Tabelle I enthalten.

Tabelle I.

Röhre	Gewicht in Grammen	Länge $L$	Aeußerer Durchmesser $2R$	Innerer Durchmesser $2r$
		mm	mm	mm
1	1280	1476	16,3	11
2	2673	1574	27	21,2
3	1941	946	26,3	19,6
4	2563	1899	21	14,8
5	1135	1565	16,6	12,5
6	699	994	16,6	12,6
7	546	1000	13	9

- In den folgenden Tabellen II bis VIII ist verzeichnet:  
 In der ersten Colonne die Versuchsnummer;  
 in der zweiten Colonne die Tage  $t$ , an welchen die Versuche angestellt wurden, wobei für jede Röhre die Zählung selbständig mit 1 beginnt;  
 in der dritten Colonne die äusseren magnetisirenden Kräfte  $Y$  für Circularmagnetisirung;  
 in der vierten Colonne die durch diese Kräfte hervorgerufenen circularmagnetischen Momente  $m$  (der doppelte Werth derselben wurde gemessen durch die bei der raschen Umkehr des primären Stromes inducirten secundären Ströme und es ist, wofern nicht der veränderliche Gang dieser Ströme durch Anführung des Anfangs- und Endwerthes der Momente angegeben ist, unter  $m$  stets der constante Werth zu verstehen, welcher bei einer Anzahl aufeinanderfolgender Umkehrungen regelmässig erhalten wurde);  
 in der fünften Colonne die jedesmal zurückbleibenden remanenten Magnetismen  $P$  in Procenten der zugehörigen Werthe  $m$  ausgedrückt (diese Werthe wurden gewonnen durch Vergleichung der eben genannten Umkehrungsströme mit den noch hinzugefügten Oeffnungs- und Schliessungsströmen, die in mehrfacher Wiederholung in demselben Sinne angewandt wurden. Nur bei wenigen Versuchen unterblieb die Beobachtung dieser Ströme);  
 in der sechsten bis achten Colonne die entsprechenden Werthe  $X$   $m_1$  und  $P_1$  für axiale Magnetisirung;  
 in der neunten und zehnten Colonne die Werthe  $\frac{m}{Y}$  und  $\frac{m_1}{X}$ .

Die Werthe  $Y$   $m$   $X$  und  $m_1$  beziehen sich sämmtlich auf die Volumeinheit von 1 Cubikmillimeter und sind in dem *Gauß'schen absoluten Maaße* (mit Zugrundelegung der Secunde, des Milligramm und des Millimeter) ausgedrückt.

(Hier folgt Tabelle II bis VIII.)

Die Schlüsse, welche sich aus den vorstehenden Resultaten über die Magnetisirung des Eisens ziehen lassen, sind mannichfaltig und zum Theil überraschend. Ich will die wichtigsten anführen und sie durch Hinzufügung noch mehrerer Details der Versuche, welche in die Tabellen nicht gut aufgenommen werden konnten, ergänzen. Dabei beziehen sich sämmtliche Angaben, die nicht speciell für axiale Magnetisirungen gemacht sind, auf circulare Magnetisirungen. Die Letzteren habe ich den Tabellen gemäß überhaupt als die bisher weniger untersuchten viel ausführlicher studirt und von den ersteren nur soviel herausgezogen, als zur Vergleichung mit den circularen Magnetisirungen diene.

1. Der erste Versuch bei jeder Röhre ist jedenfalls frei von dem Einflusse der immer sehr starken remanenten Magnetismen. Bei diesem ersten Versuche hat sich nun stets beim allerersten Schlusse des primären Stromes genau die Hälfte der Wirkung von den demnächst bei gleicher magnetisirender Kraft vorgenommenen Umkehrungsströmen ergeben. Das ist nicht nur bei schwächeren, sondern auch bei starken anfänglichen Magnetisirungen der Fall, wie die Röhren 1, 6 und 7 für die absichtlich sofort groß gewählten Kräfte ergeben haben. Die doppelte Wirkung von dem ersten Schlusse erhält man alsdann in der ersten Versuchsreihe durch Umkehrungsströme nicht nur dann, wenn man sie unmittelbar dem ersten Schlusse folgen läßt, sondern auch dann, wenn man zunächst nach dem ersten Schlusse eine Anzahl von Oeffnungen und Schließungen des primären Stromes in demselben Sinne vorgenommen hat. Diese wiederholten Oeffnungen und Schließungen geben denselben Werth, wie die Oeffnungen und Schließungen nach vorher öfters durchgeführter Umkehr des primären Stromes. (Nur sind in beiden Fällen die Oeffnungen und Schließungen mehrfach mit einer anfangs in ganz geringem Maasse abnehmenden Stärke bis zu constanten Endwerthen verlaufend.) Die remanenten Magnetismen bilden sich also sofort nach der Wirkung des ersten Stromschlusses aus. Die Wirkung derselben magnetisiren-



den Kraft in demselben oder in entgegengesetztem Sinne ist indessen hierdurch nicht beeinflusst. Daraus ist zu schliessen, daß man, so oft man nach zwischenliegenden schwächeren Magnetisirungen zu der ersten stärkeren zurückkehrt, einen gleichen Effect erwarten darf. Das ist im Ganzen und Großen wohl auch zu erkennen, indessen sind auch deutlich ausgesprochene Fälle vorhanden, wo im Laufe der Zeit die Magnetisirbarkeit unter denselben äußeren Umständen einen ganz bestimmten Veränderungsgang durchmacht und zwar ist derselbe mit einziger Ausnahme der Röhre 2 dann durchweg im Anfang ein steigender (im Falle der Röhre 2 ebenso bei den späteren starken Magnetisirungen). Man könnte vermuthen, daß in diesen Fällen durch lange fortgesetztes Bewegen der Eisenmolecule (vom Standpunkt der Theorie der drehbaren Molecularmagnete aus gedacht) die Beweglichkeit derselben zunähme. Aus demselben Grunde dürfte es zu erklären seyn, wenn eine lange Pause in den Versuchen anfänglich eine generelle Abschwächung der Magnetisirbarkeit zur Folge zu haben scheint, wie es z. B. bei der Röhre 1 nach 36-tägiger Pause in den Versuchen 12 bis 14 angedeutet ist.

2. Die Beobachtung der ersten Schlüsse bei Magnetisirungen, die stärker sind, als alle vorangegangenen, hat unter möglichster Berücksichtigung der vorhandenen remanenten Magnetismen ergeben, daß hier gleichfalls, wenigstens sehr angenähert diejenigen Wirkungen von den Kräften erzielt werden, welche durch dieselben Kräfte beim allerersten Magnetisiren erreicht seyn würden. Es liefs sich namentlich bei großen Sprüngen in der Stärke der angewandten Kräfte in dieser Richtung mit ziemlicher Sicherheit beobachten und darf deshalb wohl einfach angenommen werden, daß die aufwärts steigenden Reihen der Kräfte in den Tabellen unter einander direct vergleichbare Werthe der Magnetisirungen für die verschiedenen Kräfte enthalten.

3. Ganz anders verhalten sich dagegen Magnetisirungen, die schwächer sind, als bereits vorausgegangene. War die zuletzt vorausgegangene Magnetisirung selbst eine

stärkere, so führt zunächst ein dem remanenten Magnetismus entgegengesetzter erster Schluß, resp. eine so gerichtete erste Umkehr des primären Stromes stets zu sehr viel lebhafteren Wirkungen, als weitere Schlüsse und Umkehrungen. Es wird also ein beträchtlicher Theil des remanenten Magnetismus durch diese erste entgegengesetzte Kraft aufgehoben. Aber weiter befolgt auch bei den jetzt folgenden Umkehrungen die Wirkung noch einen ausgesprochen abnehmenden Gang, gleichgültig, ob sie im Sinne des vorangegangenen remanenten Magnetismus oder entgegengesetzt gerichtet sind. Erst nach öfterer Stromesumkehr werden constante Werthe erzielt. Ganz denselben Gang der Inductionsströme erhält man, wenn eine mäßige circuläre Magnetisirung einer kräftigen axialen folgt. Für beides sind in den Tabellen einige Beispiele angeführt (stets mit Ausschluß der den früheren remanenten Magnetismus zerstörenden ersten Umkehr), während an vielen andern Stellen der Tabellen einfach die nach öfterer Umkehr schließlichen erreichten constanten Werthe notirt sind. Man muß also eine vorübergehende leichtere Beweglichkeit der Eisenmolecule in Folge vorausgegangener sehr lebhafter Bewegung annehmen, wobei die Richtung dieser Bewegung gleichgültig zu seyn scheint.

Die Erscheinung ist, soweit sie bisjetzt besprochen wurde, analog dem Einflusse einer kräftigen mechanischen Erschütterung auf die Magnetisirbarkeit. Auch für diesen Einfluß, der sich ganz erheblich herausstellt, habe ich einige Beispiele in die Tabellen aufgenommen. Dabei will ich bemerken, daß das kräftige Schlagen der Röhren nicht nur, wie es bei den notirten Beispielen der Fall war, im Augenblick des Stromschließens oder Umkehrens selbst sich wirksam erweist, sondern auch, wenngleich weniger stark, nachdem die erste Magnetisirung schon vorüber ist und der primäre Strom constant fortfließt.

Von Bedeutung ist das Resultat, welches sich ferner betreffs der schließlichen constanten Wirkungen solcher schwächeren Magnetisirungen nach vorausgegangenen stärkeren herausgestellt hat. Der anfangs von den schwächeren

Kräften aufgehobene remanente Magnetismus ist stets nur ein gewisser Bruchtheil des überhaupt vorher herrschenden remanenten Magnetismus, und so geschehen die ganzen definitiven Bewegungen der Eisenmolecule durch die schwächeren Kräfte nicht um die neutrale Gleichgewichtslage herum, sondern um eine Lage, die selbst bereits ein magnetisches Moment repräsentirt. Hierbei ist es sogar in stärkeren Fällen sehr deutlich zu constatiren gewesen, daß selbst die dem restirenden permanenten Magnetismus entgegengesetzt gerichteten Magnetisirungen die Molecule nicht bis zur neutralen Lage zurückzubringen vermögen, so daß dort ein Moment resultirt, welches den umgekehrten Sinn der äußern magnetisirenden Kraft befolgt. Bei diesen Bewegungen nun um eine neue Gleichgewichtslage herum ist durchgehend an den vielen in den Tabellen dafür gegebenen Fällen zu sehen, daß die schließliche *Magnetisirbarkeit* durch die schwächeren Kräfte *größer ist, als in der ursprünglichen neutralen Lage, wenn das von der früheren starken Magnetisirung herrührende restirende Moment nicht zu groß ist, dagegen kleiner, als in der neutralen Lage, wenn dieses Moment groß ist.* Dieses gilt in ausgesprochener Weise nur dann, wenn die vorgehenden starken Magnetisirungen circulare waren; nach axialen Magnetisirungen sind zwar mehrfach auch entschiedene Beeinflussungen zu bemerken, deren Sinn jedoch nicht so bestimmt auftritt.

Das hier besprochene Verhalten findet eine weitere Bestätigung darin, daß ein erster Schluß, der für schwache Magnetisirungen nach vorausgegangenen recht starken im Sinne des remanenten Magnetismus der letzteren vorgenommen wird, einen schwächeren Inductionsstrom erzeugt, als die nach erfolgter Stromesumkehr vorgenommenen Schlüsse und Oeffnungen, für welche also bereits ein erheblicher Theil des früheren remanenten Magnetismus zerstört ist.

In einer ähnlichen Lage, wie schwächere Magnetisirungen, die stärkeren unmittelbar folgen, befinden sich nun auch magnetisirende Kräfte, welche zwar unmittelbar an schwächere sich anschließen, mittelbar jedoch an überhaupt vorausgegangene stärkere. Solche Kräfte sind ganz,

wie die vorhin besprochenen, im Stande, einen weiteren Theil des früheren starken remanenten Magnetismus der großen Kräfte aufzuheben, und zeigen qualitativ überhaupt dieselben Verhältnisse, so daß eine Berücksichtigung der nicht neutralen Lage, um welche die Bewegungen der Eisenmoleculc erfolgen, bei allen nicht in der aufsteigenden Reihe enthaltenen magnetisirenden Kräften erforderlich ist.

4. Der remanente Magnetismus der circularen Magnetisirungen macht im Ganzen, in Procenten der von den magnetisirenden Kräften jedesmal erzielten temporären Magnetismen ausgedrückt, einen steigenden Verlauf durch und erreicht ganz überraschend hohe Werthe. Dabei ist zu bemerken, daß diese Magnetismen durchaus als permanente angesehen werden dürfen, indem ihre völlig constante Haltung wenigstens mehrere Wochen hindurch in mehreren Fällen beobachtet ist. So hat z. B. der remanente Magnetismus in No. 57 der Tabelle III, der also ein absolutes Moment von etwa 6500 Einheiten per Cubikmillimeter besaß, d. h. soviel, als an den besten Stahlmagneten der gewöhnlichen Stabform niemals permanent zu erhalten ist, sich bei einer 13 Tage später angestellten Beobachtung noch voll vorgefunden.

5. Dem gegenüber ist der remanente Magnetismus der axialen Magnetisirungen erheblich geringer und macht in Procenten, wie oben, ausgedrückt nur im Anfange einen steigenden und alsdann einen entschieden abfallenden Gang durch. Uebrigens kommen auch bei den axialen Magnetisirungen Werthe des remanenten Magnetismus vor, die durchaus frappant sind. Dabei ist gegenüber älteren Beobachtungen indessen daran zu erinnern, daß namentlich die längeren hier untersuchten Röhren, bei denen sich die starken remanenten Magnetismen am ausgeprägtesten vorfinden, eine für solche Untersuchungen ungewöhnliche Länge besaßen. Des Weiteren wird aber auch, wie es scheint, die Röhrenform dieses Verhalten begünstigen, da wenigstens ein massiver Stab (1550<sup>mm</sup> lang, 14<sup>mm</sup> Durch-

messer) von geringerer Eisengüte, an demselben Apparate untersucht, entschieden kleinere remanente Magnetismen aufwies.

6. Wenn man nur die Versuche der aufwärtssteigenden Magnetisirungen (gemäß No. 2) berücksichtigt, so machen in diesen die Quotienten  $\frac{m}{Y}$  für circulare und  $\frac{m_1}{X}$  für axiale Magnetisirung den durch alle neueren Untersuchungen constatirten anfangs lebhaft steigenden und nach Passiren eines Maximums wieder abfallenden Gang durch. Das Maximum tritt bei Momenten ein, die zwischen 4000 und 6000 liegen, ohne daß es einem ganz bestimmten Werthe des Momentes anzugehören scheint. Ein ausgeprägter Unterschied in der Lage des Maximums für circulare und für axiale Magnetisirungen ist nicht zu erkennen.

7. Die Werthe  $\frac{m}{Y}$  und  $\frac{m_1}{X}$  unter einander verglichen, ergeben das Resultat, daß beide bei schwachen Momenten nicht zu sehr verschieden, für stärkere Momente ganz bedeutend differiren; die Curve der Werthe  $\frac{m}{Y}$  steigt sehr viel steiler an. Bei diesem wichtigsten Punkte ist es nothwendig, auf diejenige Theorie des Magnetisirens etwas einzugehen, welche am meisten ausgebildet ist. Es ist das die bekannte, zunächst auf die Scheidungshypothese gestützte Theorie Poisson's<sup>1)</sup>. Nach Poisson's Theorie wird der magnetische Zustand irgend eines Molecules eines Eisenkörpers bestimmt durch das Gleichgewicht unter folgenden Kräften:

- a) der äußeren magnetisirenden Kraft;
- b) den Kräften, welche aus dem Potential des ganzen nicht zur unmittelbaren Nachbarschaft des Molecules gehörenden magnetisirten Eisenkörpers resultiren (wofür auch die Einwirkung einer Oberflächenvertheilung substituirt werden kann);
- c) den Widerständen im Molecule selbst. Unberücksichtigt bleiben dagegen die unmittelbar dem Molecule

1) *Mémoires de l'Académie, tome V, p. 247. Paris 1826.*

benachbarten Parthieen, soweit ihr magnetischer Zustand als homogen gedacht werden darf.

Magnetisirungsfuction wird jetzt diejenige Gröfse genannt, deren reciproker Werth mit dem Momente des Moleculs multiplicirt den unter *c*) genannten Widerstand darstellt. Die Magnetisirungsfuction ist also bei dem angegebenen Gleichgewicht der Kräfte gleich dem Quotienten aus dem magnetischen Momente und der algebraischen Summe der unter *a*) und *b*) genannten Kräfte.

Daraus folgt, daß für den vorliegenden Fall  $\frac{m}{Y}$  direct der Mittelwerth der Magnetisirungsfuction für die circulare Magnetisirung ist, da in diesem Falle nur die Kraft *a*) das heißt *Y*, nicht aber Kräfte *b*) existiren. Dagegen ist  $\frac{m_1}{X}$  weder die Magnetisirungsfuction für die axiale Magnetisirung, noch auch läßt sich für diese Magnetisirung bei einem Hohlcyliner (oder auch bei einem an dessen Stelle gedachten Hohllellipsoide) die Magnetisirungsfuction nach dieser Theorie bis jetzt überhaupt berechnen. Trotzdem kann man aus den vorliegenden Versuchen einen wichtigen Schluß in Betreff derselben ziehen.

Nach Hrn. Neumann<sup>1)</sup> ist nämlich die Magnetisirungsfuction *k* bei axialer Magnetisirung eines massiven Rotationsellipsoides (und unter die Form des Rotationsellipsoides läßt sich auch mit genügender Annäherung ein längerer cylindrischer massiver Stab einbegreifen) gegeben durch

$$k = \frac{\frac{m_1}{X}}{1 - \frac{m_1}{X} A},$$

worin

$$A = 4\pi\sigma(\sigma^2 - 1) \left\{ \frac{1}{2} \log \frac{\sigma + 1}{\sigma - 1} - \frac{1}{\sigma} \right\}$$

1) Crelle's Journal Bd. 37, S. 21.

und  $\frac{1}{\sigma}$  gleich der numerischen Excentricität des Ellipsoides ist <sup>1)</sup>).

Ein massiver Stab magnetisirt sich aber nach bekannter Erfahrung der Länge nach schwieriger, als eine gleich lange und gleich schwere Röhre. Ersetzt man deshalb die Röhren in der Rechnung durch gleich lange und gleich schwere massive Stäbe, so sind die nach Hrn. Neumann's Formel berechneten Magnetisirungsfunktionen allesammt zu groß und man gewinnt so gewisse Grenzen für die übrigens unbekanntenen Mittelwerthe der axialen Magnetisirungsfunktionen der vorliegenden Versuche. Ich führe in dieser Richtung nur die Zahlen für jedesmal den größten Werth  $\frac{m_1}{X}$  bei jeder Röhre an und setze daneben die größten Werthe von  $\frac{m}{Y}$ .

Röhre	Größtes $\frac{m_1}{X}$	obere Gränze für $k$	Größtes $\frac{m}{Y}$
1	124,05	232,6	201,94
2	72,18	128	130,57
3	39,37	117	119,23
4	95,01	143	273,61
5	98,82	138	187,81
6	84,48	182	183,31
7	84,81	143	171,09

Dafs die Gränzen für  $k$  entschieden zu hoch angegeben sind, ergibt sich am besten daraus, dafs bei der Röhre 1 dieselbe über dem höchsten Werthe  $\frac{m}{Y}$  liegt. Zwar sind diese Maximalwerthe von  $\frac{m_1}{X}$  und  $\frac{m}{Y}$  nur in der Nähe des

- 1) Anmerk.: In dem Falle eines einigermaßen gestreckten Ellipsoides darf man natürlich nicht mehr eine Vereinfachung des Ausdruckes für  $A$  durch Vernachlässigung der höheren Potenzen von  $\frac{1}{\sigma}$  zu gewinnen suchen, wie es in einer erst dieser Tage in meine Hände gelangten Abhandlung (diese Annal. Bd. 154, S. 336) Hr. Börnstein ohne Reserve thut.

wirklichen Maximums gelegen, da die Versuche zum Theil erhebliche Sprünge in den Magnetisirungen aufweisen; aber ein Ueberblick über die Gesammtheit der Versuche zeigt doch, daß gerade in weiter Umgebung des Maximums eine geringere Veränderlichkeit der Quotienten  $\frac{m_1}{X}$  und  $\frac{m}{Y}$  herrscht, so daß man die so eben zusammengestellten Maximalwerthe in der That annähernd als solche ansehen darf. Obschon nun die Gränzwerte von  $k$  ganz entschieden zu hoch liegen, so befinden sie sich doch bei dreien von den 7 Röhren bedeutend unter den Werthen  $\frac{m}{Y}$ . Dieses Resultat würde man durch eine Berechnung sämmtlicher Fälle der axialen Magnetisirungen unzweideutig bestätigt finden, ich halte es aber für überflüssig, all diese Zahlen mitzutheilen.

Man darf deshalb aus allem vorstehenden wohl den Schluß ziehen, daß dasselbe, was bei Beginn der gegenwärtigen Nummer über die Quotienten  $\frac{m}{Y}$  und  $\frac{m_1}{X}$  gesagt wurde, auch für die circularen und axialen Magnetisirungsfunktionen selbst gilt; die *Curve der circularen Functionen steigt von ungefähr demselben Ausgangspunkt mit der Curve der axialen Functionen beginnend später bedeutend steiler an*; nur sind natürlich quantitativ die Differenzen für die Functionen nicht so groß, als für die Quotienten, da die axialen Magnetisirungsfunktionen jedesmal über den zugehörigen Quotienten  $\frac{m_1}{X}$  liegen.

Dieses Resultat ist von besonderer Wichtigkeit. Es macht die im Sinne der Poisson'schen Theorie genommene Magnetisirbarkeit abhängig von der Richtung, worin die Magnetisirung erfolgt. In Poisson's Theorie selbst war die hier betrachtete Magnetisirungsfunktion überhaupt eine Constante, von Hr. Kirchhoff<sup>1)</sup> ist dieselbe alsdann im Anschlusse an neuere Erfahrungsthatfachen als Function der magnetisirenden Kräfte (d. h.  $a + b$ ) in der obigen

1) Crelle's Journal Bd. 48, S. 348.



Auseinandersetzung) behandelt worden. Nunmehr ergibt sich also das weitere Resultat, daß die *Magnetisirungsfunction in ein und demselben Eisenkörper* auch *Function* ist von dem Verlaufe der magnetischen Linien, nach welchen die Kräfte wirken.

Wenn es nun schon vordem eine complicirte Vorstellung war, sich eine von der Größe der magnetisirenden Kräfte abhängig: Magnetisirungsfunction zu denken, so erscheint es bei der jetzt festgestellten Sachlage keinesfalls mehr thunlich, noch weitere Variabilitätsbedingungen in den Begriff der Magnetisirungsfunction hineinzutragen. Vielmehr müssen die Ausgangspunkte der Poisson'schen Theorie geändert werden. Die Poisson'sche Theorie stützt sich, wie gesagt, zunächst auf die Scheidungshypothese, der gegenüber die Hypothese der drehbaren Molecularmagnete viel wahrscheinlicher ist; indessen ist das, wenn man von den stärkeren in der Nähe der Sättigung gelegenen Magnetisirungen, wofür die Scheidungstheorie überhaupt nicht mehr gilt, absieht, für die vorliegende Frage nicht gerade wesentlich. Das in der Theorie angewandte Grundprincip ferner, aus dem Gleichgewicht aller wirkenden Kräfte den magnetischen Zustand ableiten zu wollen, ist ebenso unzweifelhaft, wie die Berechnung der wirklich berechneten Kräfte. Der fragliche Punkt scheint mir dagegen der zu seyn, daß die in der Nähe eines Moleculs gelegenen magnetischen Theile, soweit sie homogen gedacht werden dürfen, als im Ganzen unwirksam aufgefaßt sind. Ein solches Verhalten ist nicht nur unerwiesen, indem der von Poisson dafür beigebrachte Beweis<sub>1)</sub> außer einer gewissen Uebertragung der Fernwirkungsgesetze auf moleculare Verhältnisse strenggenommen auch eine ganz bestimmte hypothetische Voraussetzung über die Körperconstitution involvirt, sondern im Gegentheil dürften einige neuere experimentelle Arbeiten das umgekehrte Verhalten entschieden andeuten. Das gilt besonders

1) Man sehe in der oben citirten Abhandlung S. 272.

von den Versuchen des Hrn. Holz<sup>1)</sup>, wonach geringe Dichtigkeitsveränderungen die permanenten magnetischen Momente von Stäben ganz erheblich alteriren<sup>2)</sup>.

Aus den bisherigen Versuchen dieser Art liefs sich aber nur der Schluss ziehen, dafs die benachbarten Theilchen auf einander wirken, während der Sinn der Wirkung bei der für diese Verhältnisse complicirten Stabform der Magnete nicht erkennbar war. Es würde in der That durchaus ungerechtfertigt seyn, aus der Thatsache, dafs bei kurzen axial magnetisirten Stäben die Magnetisirbarkeit für gröfsere Distanz der einzelnen Eisentheilchen gröfser wird, schliessen zu wollen, die Wechselwirkung der benachbarten Theilchen sey überhaupt der äufseren Magnetisirung entgegengerichtet. Ich möchte vielmehr aus dem gesammten Verlaufe meiner Versuche, speciell auch mit Berücksichtigung der remanenten Magnetismen, schliessen, dafs *benachbarte Theilchen, die entfernt von den Enden einer magnetischen Axe liegen, im Sinne des resultirenden Momentes auf einander einwirken.*

Wie dieses für die ganze Anschauung der Sache fundamentale Resultat der Beobachtungen vom Standpunkte der ja wohl wahrscheinlichsten Hypothese der drehbaren Molecularmagnete aus verständlich gemacht werden könnte, das läfst sich wenigstens andeuten. Denke man sich in der Nachbarschaft eines zu betrachtenden centralen Molecularmagnetes, die übrigen Molecularmagnete deren Einflufs auf den centralen untersucht werden soll, mit einem bestimmten Momente nach einer Seite gerichtet. Man kann dann für den Zweck der beabsichtigten Durchschnittsrechnung an Stelle dieser Nachbarmolecule andere magnetisch gleichwerthige *ganz* nach der betreffenden Seite gerichtete Molecularmagnete substituiren. Wir wollen von denselben ein symmetrisch gelegenes Paar herausnehmen, für welches die Verbindungslinie der Mittelpunkte gleichzeitig den Mit-

1) Diese Annal. Bd. 154, S. 67.

2) Anmerk.: Auch vergleiche man die schon in früherer Anmerkung citirte Arbeit des Hrn. Börnstein.

telpunkt des centralen Molecularmagnetes enthält. Die Länge des Molecularmagnetes (von Pol zu Pol gerechnet) sey  $l$ , die Mittelpunkte des beeinflussenden Paares seyen je um  $f$  in der Längsrichtung der magnetischen Gesamtaxe gegen den Mittelpunkt des centralen Magnetes verschoben und je um  $g$  seitlich in einer zu der vorigen Richtung senkrechten. Der centrale Magnet sey in der Ebene, welche alle drei gemeinsam enthalten möge, um den Winkel  $\alpha$  gegen die magnetische Gesamtaxe geneigt. Ist dann  $F$  das für die Einheiten der Lage geltende Drehmoment, so gewinnt man das von dem Paare auf den centralen Magnet ausgeübte Drehmoment durch den nach  $\alpha$  genommenen Differentialquotienten der Function

$$\frac{4Fl}{l} \left\{ \frac{1}{\sqrt{g^2 + \left(f + \frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 - l\left(f + \frac{l}{2}\right) \cos \alpha - gl \sin \alpha}} \right. \\ \frac{1}{\sqrt{g^2 + \left(f - \frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 - l\left(f - \frac{l}{2}\right) \cos \alpha - gl \sin \alpha}} \\ + \frac{1}{\sqrt{g^2 + \left(f - \frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + l\left(f - \frac{l}{2}\right) \cos \alpha + gl \sin \alpha}} \\ \left. \frac{1}{\sqrt{g^2 + \left(f + \frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + l\left(f + \frac{l}{2}\right) \cos \alpha + gl \sin \alpha}} \right\},$$

wenn man die allerdings ganz und gar hypothetische Voraussetzung macht, daß die bekannten Fernwirkungsgesetze auch hier Gültigkeit haben.

Die stabile Gleichgewichtslage, welche der centrale Magnet unter dem ausschließlichen Einflusse dieses Paares einnehmen würde, ist durch denjenigen Winkel  $\alpha$  gegeben, für welchen die vorstehende Function zu einem Minimum wird. Eine Discussion der Function in diesem Sinne würde nun leicht erkennen lassen, daß es außer von dem gegenseitigen Verhältnisse von  $f$  und  $g$ , d. h. von der mehr vorliegenden oder mehr nebenliegenden Stellung der einwirkenden Nachbarmagnete, wesentlich auch von dem

Verhältnisse beider Gröſen  $f$  und  $g$  zu  $l$  abhängt, wie diese Gleichgewichtslage ausfällt, und daß es unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller möglichen Paare von Nachbarmagneten sehr wohl angeht, solche Verhältnisse zu denken, unter denen der Gesamteffect vorwiegend im Sinne der von den äußern Kräften angestrebten magnetischen Axe gerichtet wäre.

Solchen Bedingungen müssen nun die Molecule unterworfen seyn an allen Stellen einer circular magnetisirten Röhre. Ganz anders verhält es sich aber bei einem axial magnetisirten Stabe oder bei einer ebenso magnetisirten Röhre. Dort treten zunächst an den Enden ausschliesslich nebenliegende Molecularmagnete wirksam auf und der Effect ist ein der äußern Magnetisirung scharf entgegengerichteter. Man übersieht dann auch leicht, wie durch die Störung der Magnetisirung an den Enden weiterhin Schicht für Schicht von den Enden aus an der günstigen Einwirkung der vorliegenden Molecule einbüßt. Die axiale Magnetisirung ist deshalb, auch wenn man schon die aus dem Potential des ganzen Magnetes hervorgehenden abschwächenden Kräfte in Abzug gebracht hat, erheblich schwieriger, als die circulare.

Wenn nicht die Vergleichung verschiedener Eisenkörper rücksichtlich ihrer Magnetisirbarkeit so sehr unsicher wäre, wie schon in der Einleitung bemerkt wurde, so könnte man wohl auch die von Hrn Stoleto w graphisch nebeneinander verzeichneten Resultate <sup>1)</sup> über die Magnetisirungsfunktionen seines Ringes und der von Hrn. Quintus von Icilius untersuchten Stäbe den hier besprochenen an die Seite stellen.

8. Ein weiterer Punkt, der allerdings dieselbe so eben erwähnte Unsicherheit bietet, darf doch nicht ganz übergangen werden. Es ist das der Umstand, daß diejenigen beiden Röhren (2 und 3), welche allein eine erheblich größere Weite hatten, als die anderen, sich für circulare Magnetisirung ausgesprochen ungünstiger zeigten. Bei

1) Diese Annal. Bd. 146. Taf. VI, Fig. 13.

mehr gekrümmten magnetischen Axenlinien würde man also eine stärkere Wirkung der Nachbarmagneten auf irgend einen Molecularmagnet annehmen müssen. Aehnliche Betrachtungen, wie die vorhin angedeuteten, würden nun in diesem Falle ergeben, daß bereits die günstige Einwirkung von Molecularmagneten, die sich in vorliegender Stellung befinden, bei einem gewissen Verhältnisse von  $f$  zu  $l$  stärker ausfallen kann für mehr gekrümmte Linien. Andererseits aber wird auf alle Fälle die ungünstige Wirkung der nebenliegenden Molecüle bei stärkerer Krümmung der magnetischen Linien abnehmen müssen, weil alsdann in den aufeinanderliegenden immer größer werdenden Kreisen im Eisenkörper das Nebeneinanderfolgen der in gleichen Distanzen gedachten Molecüle nicht so regelmäsig seyn kann, wie in Richtung irgend einer geraden Linie.

Die theoretischen Andeutungen der letzten beiden Nummern habe ich schon aus dem Grunde hier nicht weiter durchführen zu sollen geglaubt, weil ihre Ausgangspunkte doch zu hypothetisch sind. Vor allem ist es gänzlich willkürlich, mit Gesetzen, die für Fernwirkungen allein erkannt sind, in molecularen Distanzen rechnen zu wollen. Ich möchte dem gegenüber auf die Hypothese des Hrn. Lamont <sup>1)</sup> verweisen, welcher unter Anderem für die anstoßenden Molecüle Wirkungen aufeinander annimmt, die unverhältnißmäsig größer sind, als sie nach den Fernwirkungsgesetzen berechnet seyn würden. Vielleicht dürfte erst eine derartige Annahme eine befriedigende Erklärung der gefundenen Beziehungen enthalten. Etwas Bestimmtes in dem Gebiete der molecularen Kräfte zu sagen, ist überhaupt schwer. Als das wesentliche Resultat der vorgeführten Untersuchung mag deshalb nur der Schluß festgehalten werden, daß man es hier mit solchen molecularen Kräften zu thun hat und daß gleichfalls der Sinn ihrer Wirkung mit größter Wahrscheinlichkeit festgestellt erscheint.

Von der größten Bedeutung für die Magnetisirung ist dem Vorangehenden gemäß der Verlauf der mag-

1) Handbuch d. Magnetismus, Leipzig 1867, S. 177.

netischen Linien. Führen dieselben zu Enden, so ist dort sofort für erhebliche Abschwächungen Veranlassung geboten und zwar muß das im Sinne alles Angeführten bereits geschehen, wenn die Enden der Linien auch nur kurze (im Sinne von Fernwirkungen) Unterbrechungen bedeuten. Jede Unterbrechung der Continuität einer Eisenmasse, welche die magnetischen Linien trifft, muß sich also sehr bemerkbar machen. Um diesen ja in einigen allgemeinen Zügen nicht mehr unbekanntem Punkt scharf in Zahlenwerthen festzustellen und damit eventuell einige Anhaltspunkte für weitere Speculationen zu geben, habe ich nun noch ein paar Röhren von specieller Beschaffenheit in derselben Weise untersucht und theile in den folgenden Tabellen, die nach dem Früheren direct verständlich sind, die Resultate mit, welche den außerordentlich großen Einfluß solcher Discontinuitäten in der Eisenmasse in überraschender Weise darthun.

Tabelle IX. Röhre 8.

Die Röhre wog 1200 Gramm, war 898<sup>mm</sup> lang, hatte einen äußern Durchmesser von 20,6<sup>mm</sup> und einen inneren von 14,4<sup>mm</sup>. Nach einer Reihe von Versuchen wurde sie vermittelt plötzlich ins Gefrieren gebrachten Wassers der Länge nach aufgeschlitzt, der entstandene Riß war schmal. Es sind nur circulare Magnetisirungen an ihr gemessen.

No.	$t$	$Y$	$m$	$\frac{m}{Y}$	Bemerkungen
236	1	6,64	202,24	30,46	
237	1	10,84	560,75	51,74	
238	2	16,26	2092,85	128,73	
239	17	11,11	704,77	63,44	
240	17	13,79	1280,84	92,87	
241	17	16,26	1991,73	122,51	
242	33	10,69	44,15	4,13	von jetzt ab aufgeschlitzt
243	33	16,41	73,14	4,46	
244	34	16,41	76,85	4,69	ein dünnes Eisenblech in die Fuge geprefst
245	36	16,41	76,85	4,69	
246	36	16,41	92,36	5,63	

No.	$t$	$Y$	$m$	$\frac{m}{Y}$	Bemerkungen
247	36	16,41	80,55	4,91	ohne Eisenblech
248	38	15,45	72,62	4,7	
249	72	17,48	98,04	5,61	
250	72	29,36	180,79	6,16	
251	72	19,78	113,37	5,73	

Es kommen hier also in Folge des Aufschlitzes Reductionen der Magnetisirbarkeit auf etwa  $\frac{1}{30}$  des früheren Werthes vor.

Tabelle X. Röhre 9.

Die Röhre wog 4620 Gramm, war 907<sup>mm</sup> lang, hatte einen äußern Durchmesser von 60<sup>mm</sup> und einen inneren von 52,6<sup>mm</sup>. Nach einer Reihe von Versuchen gleichfalls der Länge nach aufgeschlitzt. Nur circular magnetisirt.

No.	$t$	$Y$	$m$	$\frac{m}{Y}$	Bemerkungen
252	1	3,37	54,87	16,29	Von jetzt ab aufgeschlitzt Eisenblech in die Fuge geprefst Ohne Eisenblech
253	44	5,095	118,89	23,33	
254	44	3,40	60,71	17,84	
255	46	3,32	28,78	8,66	
256	46	5,24	50,85	9,70	
257	46	5,24	70,14	13,38	
258	46	5,24	50,85	9,70	
259	48	4,325	44,45	9,21	
260	83	5,30	55,88	10,54	
261	83	5,38	55,88	10,4	
262	83	9,90	137,17	13,86	

Tabelle XI. Röhre 10.

Die Röhre war durch eine Drahtmasse von weichem Eisen gebildet, die um eine Glasröhre eng im Sinne der Querschnittskreise aufgewickelt war. Die Discontinuitäten fanden sich also wesentlich in axialer Richtung vor. Länge 937<sup>mm</sup>, durchschnittlicher äußerer Durchmesser 22<sup>mm</sup>, innerer 11<sup>mm</sup>. Da die folgenden Zahlen, wie immer, für die Raumeinheit angegeben sind, so ist dabei zu berücksichtigen,

sichtigen, daß in Folge der nicht compacten Raumausfüllung die Dichte des Eisens statt wie sonst 7,79 hier durchschnittlich 3,89 (berechnet aus den Dimensionen und dem Gewicht) betrug.

No.	$l$	circular		axial		$\frac{m}{Y}$	$\frac{m_1}{X}$
		Y	m	X	$m_1$		
263	1	13,13	85,96			6,54	
264	2	11,24	71,50			6,36	
265	2	16,02	119,71			7,47	
266	35			71,13	23,72		0,33
267	35			97,97	47,44		0,49
268	35	17,22	174,58			10,14	
269	35	21,58	274,35			12,71	

Tabelle XII. Röhre 11.

Die Röhre war durch Drähte gebildet, die der Länge nach um eine Glasröhre herum angebracht waren. Die Discontinuitäten fanden sich also wesentlich in circularer Richtung vor. Länge 1205<sup>mm</sup>, durchschnittlicher äußerer Durchmesser 20<sup>mm</sup>, innerer 11<sup>mm</sup>. Dichte 6,67 statt 7,79.

No.	$l$	circular		axial		$\frac{m}{Y}$	$\frac{m_1}{X}$
		Y	m	X	$m_1$		
270	1	12,53	10,69			0,85	
271	1	18,70	14,30			0,76	
272	3	18,36	14,30			0,78	
273	5	12,24	12,32			0,92	
274	5	17,38	14,62			0,84	
275	37			16,01	350,53		21,89
276	37			55,10	2927,37		53,13
277	37	22,98	23,58			1,03	

Tabelle XIII. Röhre 12.

Um eine Glasröhre war mehrmals ein Eisenband von 1<sup>mm</sup> Dicke und 41<sup>mm</sup> Breite schraubenförmig unter einen Steigwinkel von ungefähr 50° mit der Längsaxe aufgewickelt. Länge der so gebildeten Eisenröhre 710<sup>mm</sup>.



Aeußerer Durchmesser 20<sup>mm</sup>, innerer 12<sup>mm</sup>. Dichte 4,97 statt 7,79.

No.	$t$	circular		axial		$\frac{m}{Y}$	$\frac{m_1}{X}$
		Y	$m$	X	$m_1$		
278	1	15,80	438,29			27,74	
279	1	11,06	216,14			19,55	
280	19	6,89	108,07			15,69	
281	19	11,32	231,15			20,42	
282	19	12,05	240,16			19,93	
283	19	29,95	1501		240	50,12	
284	19	34,92	1951,3		382	55,89	
285	19	40,49	2431,62		420	60,05	
286	21	39,27	2371,58		402	60,39	
287	21	11,77	240,16			20,41	
288	21	39,36	2341,56		402	59,49	
289	21	20,91	930,62		150	44,50	
290	21	19,41	762,51		141	39,27	
291	31			48,86	833,54		17,06
292	31			85,51	1901,88		22,24
293	31			120,94	2770,64		22,91

Die für die circularen Magnetisierungen gleichzeitig verzeichneten axialen Momente  $m_1$  geben die Längspolaritäten an, welche hier bei stärkeren circularen Magnetisierungen jedesmal unverkennbar auftraten.

Für die Theorie der Magnetisierung ist also aus der vorliegenden Untersuchung das Resultat abzuleiten, daß man aufer den bisher in Betracht gezogenen Kräften noch weitere moleculare magnetische Kräfte zu beachten hat, die von der allergrößten Bedeutung sind. Dieselben wirken innerhalb einer magnetischen Linie im Sinne der Gesamtmagnetisierung, an Unterbrechungsstellen einer magnetischen Linie entgegengesetzt. Möglicherweise sind sie ferner von der Krümmung der magnetischen Linien abhängig. Geht man also von der Hypothese der drehbaren Molecularmagnete aus, so ist in der von Hrn. Weber <sup>1)</sup> für diese Hypothese gegebenen theoretischen Entwicklung aufer auf die magnetisirenden Kräfte, die Hr. Weber mit X bezeichnet (worunter aber durchaus nur die alge-

1) Elektrodynamische Maafsbestimm., insbes. Diamagnetismus S. 570.

braische Summe der äußern Kräfte und der aus dem Potential des Magnetes hervorgehenden Kräfte zu verstehen ist und nicht etwa die äußern Kräfte allein), und auf die von Hrn. Weber *D* genannten molecularen Widerstandskräfte noch ferner auf derart beschaffene moleculare magnetische Kräfte Rücksicht zu nehmen.

Es liegt auf der Hand, wie eine solche Theorie namentlich auch zur Erklärung der in den Nummern 3, 4 und 5 zusammengefaßten Thatsachen beitragen würde, indem sie nothwendigerweise die Magnetisirung von den verschiedenen Ausgangslagen der Molecularmagnete abhängig machen, sowie das Einhalten neuer Gleichgewichtslagen nach Aufhören der äußeren magnetisirenden Kräfte bei Fortwirkung der molecularen magnetischen Kräfte erfordern muß.

Zu einer weiteren Ausführung dieser Theorie dürften jedoch, wie gesagt, vorläufig die Ausgangspunkte noch zu wenig bestimmt seyn.

Ich bitte zum Schlusse es mit meiner Uebersiedelung von Aachen hierher entschuldigen zu wollen, wenn ich weder ein meinen Wünschen mehr entsprechendes reichlicheres Beobachtungsmaterial ansammeln konnte, noch auch zu einer frühern Publication der bereits im März (schon in der Februarsitzung der naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Aachen machte ich vom Hauptinhalte dieser Arbeit Mittheilung) soweit vollendeten Versuche gelangte.

Darmstadt, den 26. Juni 1875.

---