

Über magnetische Nachwirkung

von

Ignaz Klemenčič.

Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität in Innsbruck.

(Mit 1 Textfigur.)

Ewing¹ hat zuerst die Thatsache beobachtet, dass lange Drähte aus weichem Eisen in einem Magnetfelde nicht sogleich nach Erregung desselben ihren vollen Magnetismus annehmen, sondern dass die Magnetisirungsintensität nach und nach wächst und oft erst in einigen Minuten den vollen Werth erreicht. Die gleiche Beobachtung hat auch Lord Rayleigh² bei seinen Untersuchungen über das Verhalten von Eisen und Stahl in schwachen magnetischen Feldern gemacht. Diese Erscheinung, welche bis jetzt nur bei Anwendung schwacher magnetischer Felder constatirt wurde, hat Lord Rayleigh als »Kriechen«, Ewing als »zähe Hysteresis« bezeichnet. Ewing gebraucht jedoch auch schon den Ausdruck »magnetische Nachwirkung«, ein Ausdruck, der auch im Folgenden zur Bezeichnung dieses eigenthümlichen Verhaltens weicher Eisendrähte benützt werden soll.

Die Gesetze der magnetischen Nachwirkung sind noch wenig erforscht. Bisher hat nur Ewing³ in einer längeren Untersuchung mehrere Beobachtungen über den quantitativen Verlauf dieser Erscheinung gemacht. Viele Fragen über die

¹ Phil. Transact. 1885, p. 569.

² Phil. Mag. 1887, 23, p. 225.

³ Proc. Royal Soc. Juni 1889. Auch Ewing, Magnetische Induction in Eisen und verwandten Metallen. Deutsche Ausgabe, S. 120.

magnetische Nachwirkung sind bisher noch unerledigt. So ist der Verlauf der magnetischen Nachwirkung insbesondere in der ersten Zeit nach Schliessung des magnetisirenden Stromes noch unbekannt. Ewing's Beobachtungen geben den Gesamtbetrag der Nachwirkung nach 5 Secunden. Diese Frage wird wohl nur mit Hilfe eines photographischen Verfahrens unter Anwendung einer ausserordentlich leichten, sehr gut gedämpften Magnetometernadel zu lösen sein. Eine weitere Frage bezieht sich auf die Abhängigkeit der Nachwirkung von der Dimension der Stäbe. Sodann wäre es von grossem Interesse zu wissen, bis zu welchen Feldstärken sich noch eine Nachwirkung constatiren lässt. Ferner ist noch unbekannt, ob diese Eigenschaft den weichen Eisendrähten dauernd anhaftet, oder ob sie mit der Zeit schwindet und ob sie nicht etwa durch heftige Erschütterungen oder starkes Magnetisiren verändert oder ganz aufgehoben werden kann.

Im Nachfolgenden beschreibe ich einige Versuchsergebnisse, welche zur Lösung der soeben genannten Fragen einen Beitrag liefern sollen. Die meisten Versuche wurden nach der magnetometrischen Methode gemacht. Das verwendete Magnetometer hatte eine ziemlich leichte Nadel, die aber erst nach 4 Secunden zur Ruhe kam, so dass das Anwachsen der Magnetisirungsintensität erst von diesem Momente an beobachtet werden konnte. Meine Angaben über die magnetische Nachwirkung beziehen sich daher nur auf einen Theil des Gesamtbetrages, nämlich auf den Theil, der sich von 4 Secunden an nach Schliessung des magnetisirenden Stromes bis zum Ablauf einer Minute entwickelt. Trotz der Unvollkommenheit meines Apparates liessen sich doch über mehrere Fragen Aufschlüsse erhalten; nur über den Verlauf der Nachwirkung in der ersten Zeit waren Beobachtungen nicht möglich. Um auch in dieser Richtung wenigstens einen qualitativen Aufschluss zu erhalten, habe ich Messungen nach der magnetometrischen und nach der ballistischen Methode combinirt. Die Beobachtungen nach der ballistischen Methode geschahen zu diesem Zwecke wieder in zweierlei Art. Bei der ersten Art wurde die das Galvanometer enthaltende Secundärleitung geschlossen gehalten und der Primärstrom commutirt; bei der zweiten wurde der Primär-

strom und nach einer kurzen gemessenen Zeit hierauf die Secundärleitung ebenfalls geöffnet. Diese letzteren Beobachtungen wurden an drei gleich langen und dicken Drähten gemacht, wovon jedoch nur einer eine magnetische Nachwirkung zeigte.

A. Gleichzeitige Versuche nach der magnetometrischen und ballistischen Methode.

Zu diesen Versuchen diente: 1. Ein Stab *Em* aus weichem Eisen (sogenanntes steirisches Frischeisen), vor den Versuchen im Ofen auf Kohlengluth ausgeglüht. 2. Ein Stab *En* aus weichem Eisen, von derselben Provenienz wie *Em*, jedoch nicht weiter ausgeglüht. 3. Ein Stab *St* aus Werkzeugstahl. Die Dimensionen der Drähte waren bei allen gleich. Ihre Länge betrug 50 und ihre Dicke 0·6 *cm*.

a) Die Versuche nach der magnetometrischen Methode.

Das Magnetometer bestand aus einer leichten, auf einem Coconfaden aufgehängten, mit Spiegel versehenen Nadel. Die Nadel befand sich in einem Holzgehäuse; ein an die Nadel befestigter Aluminiumdraht tauchte zum Theile in Paraffinöl, wodurch eine schnelle Dämpfung erreicht wurde. Die Schwingungsdauer der Nadel betrug ungefähr 1 Sec. Die Dämpfung war so gross, dass die Nadel nach einer Ablenkung um ungefähr 200 Scalentheile in 4 Sec. vollkommen zur Ruhe gelangte. Da man bei Flüssigkeitsdämpfungen immer vorsichtig sein muss, so überzeugte ich mich durch eigene Versuche, dass die Nadel den ablenkenden Kräften pünktlich folgte. Ablenkungen, hervorgerufen durch Einwirkung der blossen, vom Strom durchflossenen Spirale zeigten, dass die Einstellung der Nadel sicher und ohne Kriechen geschah.¹

Die Magnetisirungsspule war 68 *cm* lang und hatte 15 Windungen pro Längeneinheit; sie war entweder in der ersten Hauptlage oder vertical aufgestellt; im letzteren Falle war das

¹ In gleicher Weise wurde auch die Proportionalität zwischen Ablenkung und ablenkender Kraft constatirt.

eine Spulenende nahezu in gleicher Höhe mit der Magnetometernadel angebracht.

Die Einwirkung des Stromes der Magnetisirungsspule wurde in bekannter Weise durch eine Galvanometerrolle und durch einen Zweig des Stromes compensirt.

Die Beobachtung der Nachwirkung geschah immer in folgender Weise: In einem bestimmten Momente wurde der Strom der Magnetisirungsspule geschlossen und hierauf 1 Minute lang gewartet. Sodann wurde der Strom commutirt und nach 4 Secunden die Stellung der Nadel notirt. 1 Minute nach dem Commutiren wurde der Stand der Nadel abermals abgelesen und dann sofort wieder commutirt und die Ablesungen so wie vorher gemacht. Im Ganzen wiederholte ich dieses Verfahren 6mal, um bessere Mittelwerthe zu bekommen. Auf diese Weise bekommt man durch die Ablesungen nach 4 und 60 Secunden Werthe der Ablenkungen, die der Intensität des temporären Magnetismus nach 4 und 60 Secunden proportional waren. Beim Stab *Ev* war ein allmähiges Anwachsen der Magnetisirungsintensität sehr ausgeprägt und deutlich wahrzunehmen. Bei den beiden anderen Stäben stellte sich die Nadel nach 4 Secunden auf eine gewisse Ruhelage ein und blieb dort stehen.

Ewing hat in der Weise beobachtet, dass er die der momentan auftretenden Magnetisirung entsprechende Ablenkung compensirte, ein Verfahren, welches schon von Lord Rayleigh (l. c.) geübt wurde. Er konnte also den Betrag der Nachwirkung schon für die ersten 5 Secunden angeben. Dabei ist immerhin zu bedenken, dass es mit Rücksicht auf die Eigenschwingungen der Nadel schwer ist, zu entscheiden, wie gross denn eigentlich die Ablenkung in Folge der momentan auftretenden Magnetisirung ist. Nach meinem Vorgehen wurde also nur die nach 4 Secunden auftretende Nachwirkung beobachtet; ein grosser Theil der Nachwirkung entging auf diese Weise der Beobachtung; doch lässt sich auch aus der Beobachtung dieses Theiles mancher Schluss über den qualitativen und quantitativen Verlauf der Nachwirkung ziehen.

Nachfolgend wird der Betrag der Nachwirkung in Procenten angegeben, und zwar erscheint der Zuwachs der

Ablenkung in der Zeit von 4 auf 60 Secunden in Procenten der Ablenkung nach 4 Secunden ausgedrückt.

Ich gebe nun zunächst einige Daten über die Verhältnisse der Ablenkungen für die drei Stäbe, wie sie einmal in der ersten Hauptlage bei zwei verschiedenen Entfernungen des Stabendes von der Galvanometernadel und sodann bei vertical gestellter Spule erhalten wurden. Im letzteren Falle wurde die Spule mit dem Stab in die Stellung gebracht, bei welcher die Einwirkung auf die Magnetnadel ein Maximum war. Alle Verhältnisse sind in Theilen der Ablenkungen durch den Stahlstab ausgedrückt. Für Ew sind die nach 60 Secunden beobachteten Werthe genommen.

a) Magnetisirungsspule in der ersten Hauptlage:

Entfernung des näheren Stabendes von der Magnetometer-
nadel = 25 *cm*.

Feldstärke = 0·164 abs. E. Feldstärke = 0·047 abs. E.

$$\frac{Ew}{St} = 2\cdot56, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot79 \qquad \frac{Ew}{St} = 2\cdot21, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot50.$$

Entfernung des näheren Stabendes = 13 *cm*.

Feldstärke = 0·164 Feldstärke = 0·047

$$\frac{Ew}{St} = 2\cdot39, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot75 \qquad \frac{Ew}{St} = 2\cdot07, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot57$$

β) Magnetisirungsspule vertical:

Entfernung des näheren Stabendes von der Nadel = 25 *cm*.

Feldstärke = 0·164 Feldstärke = 0·047

$$\frac{Ew}{St} = 2\cdot70, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot86 \qquad \frac{Ew}{St} = 2\cdot33, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot63.$$

In den Tabellen I und II sind diese Werthe übersichtlich zusammengestellt. Dabei bedeutet H die Feldstärke, Spv = Spirale vertical, $Sp h_1$ = Spirale horizontal, Stabende 25 *cm* entfernt; $Sp h_2$ ebenso, Stabende 13 *cm* entfernt.

Tabelle I. $\frac{Ew}{St}$

<i>H</i>	<i>Spv</i>	<i>Sph₁</i>	<i>Sph₂</i>
0·164	2·70	2·56	2·39
0·047	2·33	2·21	2·07

Tabelle II. $\frac{En}{St}$

<i>H</i>	<i>Spv</i>	<i>Sph₁</i>	<i>Sph₂</i>
0·164	1·86	1·70	1·75
0·047	1·63	1·50?	1·57

Nimmt man für *Ew* die nach 4 Secunden beobachteten Ablenkungen, so ergeben sich für $\frac{Ew}{St}$ folgende Werthe:

$$H = 0\cdot164, \quad \frac{Ew}{St} = 2\cdot17, 2\cdot12, 2\cdot00$$

$$H = 0\cdot047, \quad \frac{Ew}{St} = 1\cdot72, 1\cdot65, 1\cdot61.$$

Die Reihenfolge ist hier so wie in den Tabellen.

Diese Daten zeigen, dass sich der Pol je nach der Intensität der Magnetisirung verschiebt. Nur so ist es erklärlich, dass die Verhältnisse bei den verschiedenen Stellungen der Spule für die gleiche Feldstärke ungleich gross ausfallen. In unserem Falle werden jedenfalls die Werthe, welche bei verticaler Stellung der Magnetisirungsspule erhalten wurden, dem wahren Verhältnisse der Magnetisirungsintensitäten am besten entsprechen. Die Verschiebung der Pole ist eine Thatsache, welche Beobachtungen nach der magnetometrischen Methode, insbesondere in schwachen Feldern, in ungünstiger Weise beeinflusst und in die Messung eine beträchtliche Unsicherheit bringt.

Die Bestimmung der magnetischen Nachwirkung bei *En* ergab nun folgende Werthe:

<i>H</i> = 0·164 <i>Spv</i> ,	Magnetische Nachwirkung = 25% ₀ .
<i>Sph₁</i>	21
<i>Sph₂</i>	20
<i>H</i> = 0·047 <i>Spv</i>	35
<i>Sph₁</i>	34
<i>Sph₂</i>	28

Der Stab zeigte also in allen Lagen bei der kleineren Feldstärke die grössere Nachwirkung. Überdies drückt sich auch in diesen Daten eine Verschiebung des Poles durch den in Folge der Nachwirkung auftretenden temporären Magnetismus aus.

Wenn man von dem Werth 1·50 der Tabelle II absieht, welcher jedenfalls mit einem grösseren Beobachtungsfehler behaftet ist, so stimmen die verschiedenen Verhältnisse für $\frac{En}{St}$ weit besser als jene für $\frac{Ev}{St}$.

b) Die Versuche nach der ballistischen Methode.

Als ballistisches Galvanometer wurde ein solches von du Bois-Rubens verwendet. Das Nadelsystem hatte eine einfache Schwingungsdauer von 3 Secunden. Mit Rücksicht auf jene Versuche, bei welchen die Secundärleitung bald nach Öffnung des Primärstromes unterbrochen wurde, wo sich also der Einfluss etwa vorhandener thermoelektrischer Kräfte bemerkbar machen konnte, wurde für die Secundärspulen ein feiner Draht mit vielen Windungen gewählt. Dementsprechend wurden auch beim Galvanometer feindrahtige Spulen in Parallelschaltung verwendet. Der Widerstand des Galvanometers betrug bei dieser Schaltung 485 Ohm.¹ Als Magnetisirungsspule diente hier eine 1·2 m lange, auf Glas gewickelte Spule mit 10·5 Windungen pro Längeneinheit. Ferner wurden zwei auf Glasröhren gewickelte Secundärspulen verwendet. Die grössere² hatte eine Länge von 40·5 cm, einen Widerstand von 81 Ohm und bestand insgesamt aus 9400 Windungen. Bei der kürzeren waren die entsprechenden Werthe 5·5 cm, 9·8 Ohm und 969 Windungen. Bei den Beobachtungen lag die Mitte der Secundärspule über der Mitte des zu untersuchenden Drahtes.

Es wurde zunächst der Galvanometerausschlag beim Commutiren des primären Stromes gemessen. Dabei ergaben sich

¹ Eine Untersuchung der Proportionalität zwischen Galvanometerausschlag und $\int idt$ ergab ein vollkommen befriedigendes Resultat.

² Diese Spule ist leider vorzeitig gebrochen worden.

folgende Werthe für die Verhältnisse der Magnetisierungsintensität zwischen Ew , En und St .

Lange Secundärspule:

Widerstand der Galvanometerleitung = 485 + 81 + 5000 Ohm.

Feldstärke = 0·164

Feldstärke = 0·047

$$\frac{Ew}{St} = 2\cdot19, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot87 \quad \frac{Ew}{St} = 1\cdot81, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot67$$

Kurze Secundärspule:

Widerstand in der Galvanometerleitung = 485 + 81 Ohm

Feldstärke = 0·164

Feldstärke = 0·047

$$\frac{Ew}{St} = 2\cdot38, \quad \frac{En}{St} = 2\cdot00 \quad \frac{Ew}{St} = 1\cdot87, \quad \frac{En}{St} = 1\cdot75$$

Durch Beobachtung der Induction bei einfacher Unterbrechung des primären Stromes konnte die Intensität der remanenten Magnetisierung bestimmt werden. Es wurden dafür folgende Werthe, ausgedrückt in Procenten der temporären Intensität, gefunden:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Feldstärke} & = & 0\cdot164, & Ew & 20\%_0, & En & 12\%_0, & St & 2\%_0 \\ & & & & & & & & \\ & & & = & 0\cdot047, & 5 & 3 & 0 \end{array}$$

Schliesslich untersuchte ich den temporären Magnetismus der drei Stäbe in noch schwächeren Feldern und erhielt folgende Daten (Tabelle III).

Tabelle III.

Feldstärke	α			rem. Magnetism. in Proc.		
	Ew	En	St	Ew	En	St
0·0481	471·0	378·9	234·5	4·5	3	0·4
0·0101	92·4	75·5	48·8	1·1	1	0
0·00129	11·7	9·3	6·3	0	0	0

α bedeutet hier den Galvanometerausschlag beim Commutiren.

Nach Lord Rayleigh (l. c.) verläuft in schwachen Feldern die Magnetisirungsintensität proportional der Feldstärke. Für Ew und En tritt das bei Feldstärken unter $0\cdot01$ abs. E. ein; für Stahl gilt die Proportionalität auch schon von $H=0\cdot048$ abwärts. In diesem Gebiete bleibt kein Magnetismus remanent; auf diese Thatsache hat ebenfalls Lord Rayleigh aufmerksam gemacht; sie wird auch durch die Daten der Tabelle III bestätigt. Eine Auswerthung der Galvanometerconstante mit Hilfe eines Inductors gestattete auch die Berechnung der Permeabilität und Susceptibilität für die drei Eisensorten. Für Ew und $H=0\cdot0481$ wurde $\mu=179$ und $\kappa=14$ gefunden. Die Werthe für die anderen Feldstärken und Stäbe ergeben sich leicht aus den angeführten Daten.

Schliesslich wurde der Ablauf der magnetischen Induction bei den drei Stäben mit dem von Hiecke¹ construirten Fallapparat bei einer Feldstärke von $0\cdot047$ E. untersucht. Das Wesen des Apparates besteht darin, dass ein fallendes Gewicht zwei Contacte öffnet; davon ist ein Contact fix aufgestellt, der andere mittelst einer Schraube in verticaler Richtung verschiebbar, so dass der Abstand der beiden Contacte und damit die Zeit zwischen der Öffnung derselben variirt werden kann. Es wurde nun durch die Öffnung des ersten Contactes der magnetisirende Strom und durch die Öffnung des zweiten die Galvanometerleitung unterbrochen. Die Unterbrechung des primären Stromes war momentan, da bei den schwachen Strömen kaum ein nennenswerther Funke auftreten konnte. Der beobachtete Galvanometerausschlag gibt ein Maass des Ablaufes der temporären magnetischen Induction für die Zeit, welche vom Öffnen des primären Stromes bis zum Öffnen der Galvanometerleitung verflossen ist. Es wurde auch der Galvanometerausschlag beobachtet in dem Falle, wo der primäre Strom mit der Hand unterbrochen wurde, wobei die Galvanometerleitung geschlossen blieb. Diese Galvanometerausschläge sind mit b bezeichnet. Das logarithmische Decrement des Galvanometers war bei geschlossener Leitung $= 0\cdot510$ (brigg.); bei offener $= 0\cdot339$.

¹ Diese Sitzungsber., Bd. 96, S. 134, 1887

Dementsprechend sind die angeführten Werthe corrigirt und beziehen sich auf $\lambda = 0.339$.

Der Anfangspunkt der Zeit t sollte dort liegen, wo die beiden Contacte gleichzeitig geöffnet werden. In unserem Falle liegt der Nullpunkt etwas höher, daher haben wir für $t = 0$ bereits kleine Ausschläge zu verzeichnen.

Tabelle IV.

Beobachtete Galvanometerausschläge.

t in Schraubengängen	t in Secunden	Ew I $b = 223.2$	Ew II $b = 28.5$	En $b = 201.5$	St $b = 127.6$
0	0	1.0	0.9	1.1	1.1
1	0.000164	5.9	1.2	5.4	5.2
3	0.000492	14.6	2.2	14.4	14.5
5	0.000820	26.2	3.6	24.0	25.0
10	0.00164	51.4	7.6	47.3	47.4
20	0.00328	91.9	13.9	87.8	79.5
40	0.00656	145.5	21.6	140.5	111.1
80	0.0131	187.8	25.3	182.7	124.7
140	0.0230	198.6	25.9	196.4	126.3
190	0.0312	202.4	25.7	198.0	125.7

Tabelle V.

Auf Ew I reducirte Galvanometerausschläge.

t in Schraubengängen	t in Secunden	Ew I $b = 223.2$	Ew II $b = 223.2$	En $b = 223.2$	St $b = 223.2$
0	0	1.0	7.0	1.3	2.0
1	0.000164	5.9	9.4	6.0	9.3
3	0.000492	14.6	17.2	16.0	25.4
5	0.000820	26.2	28.2	26.6	43.7
10	0.00164	51.4	59.5	52.4	82.9
20	0.00328	91.9	108.8	97.3	139.1
40	0.00656	145.5	169.1	155.7	194.4
80	0.0131	187.8	198.2	202.4	218.2
140	0.0230	198.6	202.8	217.6	221.0
190	0.0312	202.4	202.6	219.3	220.0

In Tabelle IV sind die zu verschiedenen Zeiten beobachteten Ausschläge angeführt. Für *En* gelten zwei, mit I und II bezeichnete Werthe. Bei I wurde die lange, bei II die kurze Secundärspule verwendet; zu den Beobachtungen mit *En* und *St* diene nur die lange. Um den Ablauf der Induction bei den einzelnen Stäben besser vergleichen zu können, wurde die Grösse aller Ausschläge auf *En* I reducirt; die Reduction wurde im Verhältnisse der Werthe von *b* vorgenommen.

Betrachten wir jetzt die Verhältnisse, welche nach der ballistischen Methode gewonnen wurden, so finden wir, dass die kurze Secundärspirale durchwegs grössere Verhältnisse ergab als die lange. Es kann dies durch eine gewisse Inhomogenität und Streuung längs der Axe erklärt werden; es ist jedoch nicht unmöglich, dass die Erklärung in einem Umstande zu suchen ist, den wir später besprechen werden.

Vergleichen wir die ballistischen Verhältnisse mit den magnetometrischen, so müssen wir von diesen jene nehmen, welche wir bei vertical gestellter Spule erhalten haben, weil die Wanderung des Poles in diesem Falle die geringsten Fehler bedingt. Ebenso müssen wir von den ballistischen Daten jene heranziehen, welche wir mit der langen Secundärspule beobachtet haben. Betrachten wir zunächst die Verhältnisse $\frac{En}{St}$, also für Stäbe, welche keine Nachwirkung zeigen. Wir haben da die Werthe 1·86 und 1·63, mit denen die Werthe 1·87 und 1·67 correspondiren. Beide Methoden ergeben also dieselben Werthe.

Für $\frac{En}{St}$ bekommen wir folgende Daten:

	Magnetometrisch		Ballistisch
	Nach 60 Sec.	Nach 4 Sec.	
$H = 0\cdot146.$	2·70	2·17	2·19
$H = 0\cdot047$	2·33	1·72	1·81

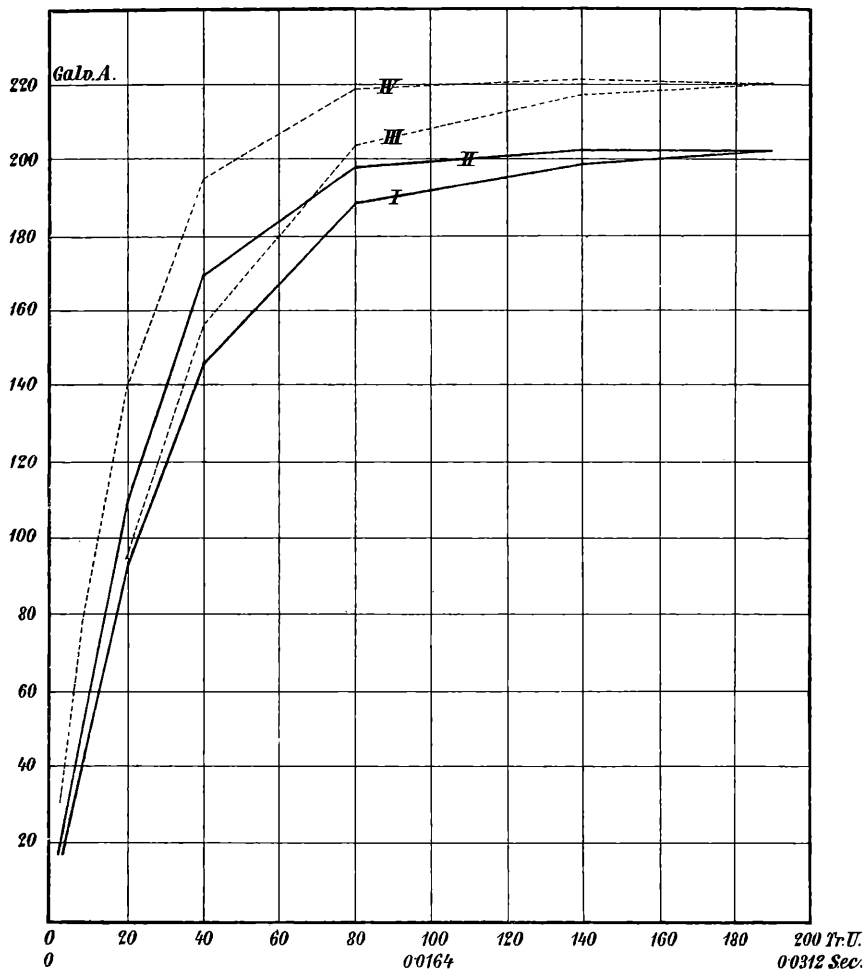
Die magnetometrischen Werthe nach 60 Secunden sind viel grösser als die ballistischen, was zu erwarten war. Überraschend ist jedoch das Resultat, wenn man die nach 4 Secunden magnetometrisch beobachteten Verhältnisse mit den ballistischen

vergleicht. Hier sind die letzteren sogar etwas grösser. Für die Beobachtung mit dem ballistischen Galvanometer kommt bei der Schwingungsdauer der Nadel von 3 Secunden ungefähr der Theil der Nachwirkung in Betracht, welcher sich etwa in 1·5 Secunden nach dem Auftreten der Magnetisirung entwickelt. Setzt man den Unterschied der Verhältnisse auf Beobachtungsfehler, so würde aus der Gleichheit derselben folgen, dass die Nachwirkung in den ersten 4 Secunden ausserordentlich klein ist; das ist jedoch nach den Beobachtungen Ewing's (l. c.) nicht der Fall. Auch die mit dem Fallapparat gewonnenen Resultate sprechen dafür, dass schon in der ersten Secunde bei *En* eine magnetische Nachwirkung auftritt.

Betrachten wir jetzt die Daten der Tabelle V, welche uns die auf *En* reducirten Galvanometeraussschläge, respective den Ablauf der magnetischen Induction in den ersten Zeittheilchen nach Unterbrechung des magnetisirenden Stromes gibt. In der Zeit von 0·03 Secunden ist für *En* und *St* die Induction nahezu ganz abgelaufen.¹ Bei *En* ist dies anders, und zwar sowohl bei der Beobachtung mit der kurzen, als auch mit der langen Secundärspirale. Der letzte Werth bleibt hier hinter dem Werthe von *b* um etwa 10⁰/₀ zurück. Es geht jedoch aus dem Verlaufe der Zahlen und der entsprechenden Curven (Fig. 1) ganz deutlich hervor, dass die Galvanometeraussschläge bei $t = 0\cdot031$ Secunden auch hier ein Maximum erreicht haben. Es möge noch bemerkt werden, dass sich in den beiden Curven für *En* der Einfluss der Selbstinduction auf den Ablauf des inducirten Stromes deutlich äussert. Im Falle der kürzeren Spirale war ja die Selbstinduction des Galvanometerkreises viel kleiner als mit der längeren Spirale; ein grosser Theil der Selbstinduction lag freilich auch in den Galvanometerwindungen.

Auch beim weichen ausgeglühten Eisen läuft also ein Theil der magnetischen Induction ebenso rasch ab wie beim Stahl, d. h. es ist der Ablauf dieses Theiles nur bedingt durch

¹ Die Galvanometeraussschläge nach 0·031 Secunden haben die Werthe von *b* noch nicht erreicht; doch sieht man ganz deutlich, dass sie ein Maximum geworden sind. Die Nichtübereinstimmung der beiden Werthe wird wohl auf Beobachtungsfehler zurückzuführen sein, die hauptsächlich in der Bestimmung des log. Decrements der stark gedämpften Nadel liegen dürften.



Es gilt:

- I für *Ev* I (Eisen weich, ausgeglüht).
- II für *Ev* II (Eisen weich, ausgeglüht).
- III für *En* (Eisen weich, nicht ausgeglüht).
- IV für *St* (Stahl).

Feldstärke = 0·047 abs. E.

die Selbstinduction des Kreises und durch die in der Eisenmasse auftretenden Foucault'schen Ströme. An diesen Theil setzt sich sodann die magnetische Nachwirkung an.

Wir haben also hier die Thatsache zu erklären, dass die nach 4 Secunden magnetometrisch beobachteten Verhältnisse mit den ballistischen nahezu gleich sind und dass andererseits, gemäss den Versuchen mit dem Fallapparat, die magnetische Nachwirkung jedenfalls auch schon in den ersten 4 Secunden einen messbaren Werth erreicht.

Diese Thatsachen können vielleicht in folgender Weise erklärt werden.

Ein Theil der magnetischen Induction in schwachen Feldern tritt auch beim weichen ausgeglühten Eisen momentan¹ auf; die Geschwindigkeit der Entwicklung dieses Theiles hängt von der Grösse der Selbstinduction und von den Foucault'schen Strömen ab. Zu diesem Theile der Magnetisirungsintensität kommt sodann ein anderer, dessen Entwicklung nach Ablauf des ersten beginnt und oft erst nach mehreren Minuten den vollen Werth erreicht. Die Entwicklung dieser magnetischen Nachwirkung geht jedoch in der Mitte rascher vor sich als an den Enden. Speciell diese letzte Annahme würde die That-

¹ Die Frage, ob die Molecularmagnete der Einwirkung der magnetisirenden Kraft ohne oder mit einer Verzögerung folgen, ist schon wiederholt von verschiedenen Forschern experimentell behandelt worden. In jüngster Zeit wurden von Holborn (Sitzungsber. der Berliner Akad., XI, 1896) in der physikalisch-technischen Reichsanstalt in dieser Richtung Versuche angestellt. Er findet, dass der Magnetismus sofort in voller Stärke auftritt, sobald die magnetisirende Kraft die volle Stärke erreicht hat. Insofern kann man also sagen, dass die Molecularmagnete momentan oder besser gesagt ohne merkliche Verzögerung der magnetisirenden Kraft folgen. Die meisten der bisher angestellten Versuche betrafen jedoch magnetisirende Kräfte, deren Entwicklung oder Ablauf doch eigentlich ziemlich langsam vor sich geht, und durch die Versuche Holborn's ist diese Frage auch nur für sehr langsam veränderliche magnetisirende Kräfte entschieden. In den elektrischen Schwingungen, wie sie von Hertz zuerst beobachtet wurden, haben wir ein Mittel, um ausserordentlich rasch wechselnde magnetische Felder zu erzeugen. Die Frage, ob bei diesen rasch wechselnden magnetisirenden Kräften eine Verzögerung auftritt, ist noch nicht ganz erledigt. Einige Versuche, welche ich in dieser Richtung anstellte (diese Sitzungsber., Bd. 103, 1894, S. 205), sprechen dafür, dass die Drehungen der Molecularmagnete den magnetisirenden Kräften nicht ganz folgen können.

sache erklären, dass die nach 4 Secunden magnetometrisch beobachteten Verhältnisse mit den ballistischen gleich sind. Auf diese Weise könnte auch die Beobachtung erklärt werden, dass die mit der kurzen Secundärspule beobachteten Verhältnisse grösser sind als jene mit der langen.

B. Abhängigkeit der magnetischen Nachwirkung von der Feldstärke.

Es wurden drei Drähte von je 50 *cm* Länge und 0·6, 0·5 und 0·2 *cm* Dicke in verschiedenen Feldern hinsichtlich ihrer magnetischen Nachwirkung untersucht. Alle drei Drähte waren von gleicher Provenienz (steirisches Frischeisen); sie wurden auf einer Kohlengluth geglüht und nach vollständiger Abkühlung untersucht. Bei der Untersuchung in stärkeren Feldern musste die Entfernung des Stabes von der Magnetometernadel grösser genommen werden; bei den stärksten Feldern wurde der grösste Theil der Ablenkung durch die Compensationsspule abcompensirt, so dass man die Nachwirkungsablenkung noch ganz gut beobachten konnte. Tabelle VI gibt die Resultate.

Tabelle VI.

Feldstärke	Magnetische Nachwirkung in Procenten		
	0·6 <i>cm</i>	0·4 <i>cm</i>	0·2 <i>cm</i>
0·047	22	23	20
0·163	18	16	11
0·442	9·5	8·2	6·6
1·07	5·8	5·4	4·2
3·00	2·6	1·8	0·6
8·27	0·3	0·0	0·0

Wie man aus der Tabelle VI ersieht, nimmt die Nachwirkung bei allen drei Stäben mit der Feldstärke ab, und zwar umso schneller, je dünner der Draht ist. Darnach müsste sich bei recht massiven Eisenkernen die Nachwirkung auch bei hohen Feldern bemerkbar machen. Vielleicht ist ein Theil jener Verzögerung in der Entwicklung des Magnetismus, die man an starken Elektromagneten beobachtet hat, doch auch einer

magnetischen Nachwirkung und nicht bloss dem hohen Selbstinductionscoëfficienten und den Foucault'schen Strömen zuzuschreiben.

C. Abhängigkeit der magnetischen Nachwirkung von der Drahtdicke.

In höheren Feldern ist die magnetische Nachwirkung bei dicken Drähten entschieden grösser als bei dünnen. Bei der Feldstärke von $0\cdot047$ abs. E. konnte ich für die Drahtdicken zwischen $0\cdot8$ bis $0\cdot2$ *cm* keinen regelmässigen Einfluss bemerken. Jedenfalls macht sich hier die Art des Ausglühens viel mehr bemerkbar als die Drahtdicke. In dieser Richtung müssen weitere Untersuchungen einen genauen Aufschluss bringen. Dabei wird auf das gleichmässige Ausglühen ein besonderes Augenmerk zu richten sein.

Nach Helmholtz¹ soll sehr dünner Eisendraht (Blumendraht) die Magnetisirung ohne zeitliche Verzögerung annehmen. Der nachfolgende Versuch, den ich jedoch nicht für absolut entscheidend ansehe, scheint dafür zu sprechen, dass auch sehr dünne Drähte eine magnetische Nachwirkung zeigen. Es wurden 80 dünne Eisendrähte (Blumendraht von $0\cdot03$ *cm* Dicke) zu einem Bündel gebunden, ausgeglüht und sodann hinsichtlich der Nachwirkung in den Feldern $0\cdot047$ und $0\cdot163$ untersucht.

In beiden Fällen erhielt ich für die Nachwirkung 10% . Die einzelnen Drähte des Bündels waren gegenseitig nicht isolirt, und da lässt sich einwenden, dass sich das Bündel doch wie ein massiver Stab verhält. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass die Innigkeit der Berührung so gross war wie bei einem massiven Stab; es ist eher anzunehmen, dass thatsächlich auch Drähte von $0\cdot03$ *cm* Dicke eine magnetische Nachwirkung zeigen.

D. Einfluss starker Magnetisirung auf die magnetische Nachwirkung.

Um zu sehen, ob die magnetische Nachwirkung nicht etwa durch starke, vorangehende Magnetisirungen vermindert oder gar vernichtet wird, habe ich einige Drähte in einem starken

¹ Pogg. Ann., 83.

Felde von 120 abs. E. 50mal hin- und hermagnetisirt und dann wieder bezüglich der Nachwirkung untersucht. Ein 0·6 *cm* dicker Stab zeigte im Felde von 0·047 E. 22% vor und 21·5% nach der Magnetisirung. Bei einem anderen, 0·6 *cm* dicken Stabe waren die entsprechenden Werthe 22 und 22%, bei 0·2 *cm* dickem Drahte 15 respective 17%. Ein Einfluss der vorausgegangenen Magnetisirung ist also nicht zu constatiren.

E. Die zeitliche Änderung der Nachwirkung.

Einige Versuche, welche ich mit der hier verwendeten Drahtsorte vor mehreren Jahren angestellt hatte, liessen mich vermuthen, dass das Eisen die Erscheinung der magnetischen Nachwirkung nach und nach ganz verliert, selbst wenn es vollkommen ruhig liegt. Um in dieser Beziehung einigen Aufschluss zu erhalten, habe ich drei Stäbe untersucht.

Die Länge war bei allen gleich 50 *cm*. Die Dicke war respective 0·8, 0·6 und 0·4 *cm*. Diese drei Stäbe wurden alle zu gleicher Zeit ausgeglüht und dann sofort hinsichtlich ihrer Nachwirkung untersucht. Diese Untersuchung wurde später zu verschiedenen Zeiten wiederholt. Tabelle VII gibt die Resultate.

Tabelle VII.

Datum	Magnetische Nachwirkung in Procenten		
	0·8 <i>cm</i>	0·6 <i>cm</i>	0·4 <i>cm</i>
8./1.	19	50	22
8./1.	22	51	30
9./1.	19	44	23
12./1.	19	36	21
18./1.	14	38	19
24./1.	16	37	19
2./2.	12	36	18
12./2.	9	28	15
26./3.	8	25	9
27./3.		21	9
28./3.		23	10

Von den beiden Beobachtungen am 8./1. wurde die erste gleich nach dem Ausglühen, die zweite 7 Stunden später gemacht. Die bei der ersten Beobachtung gefundenen Werthe

sind etwas kleiner als die zweiten; es kann sein, dass die Drähte zur Zeit der ersten Beobachtung doch noch nicht ganz abgekühlt waren. Vom 8./1. bis Ende März fallen die beobachteten Werthe der magnetischen Nachwirkung (bis auf wenige Abweichungen, die Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sind) ganz merklich; es ist daher klar, dass die magnetische Nachwirkung nur eine vorübergehende Erscheinung ist, welche sich bei frisch ausgeglühten Eisendrähten zeigt.

Die Resultate dieser Untersuchungen lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

Die magnetische Induction, welche bei langen, ausgeglühten Drähten aus weichem Eisen in schwachen Feldern beobachtet wird, setzt sich aus zwei Theilen zusammen, eine Thatsache, die schon von Ewing und Lord Rayleigh (l. c.) festgestellt wurde. Der eine Theil folgt ohne merkliche Verzögerung dem Entstehen oder Verschwinden der magnetisirenden Kräfte; der zweite Theil beginnt nach Ablauf des ersten und entwickelt sich sehr langsam, so dass die Magnetisirungsintensität oft erst nach einigen Minuten den vollen Werth erreicht. Diese Erscheinung einer zeitlichen Verzögerung der Magnetisirung wurde als »Kriechen« oder als »zähe Hysteresis« bezeichnet; hier wird sie »magnetische Nachwirkung« genannt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Ausbildung der magnetischen Nachwirkung in der Mitte der Drähte rascher vor sich geht als an den Enden.

Die procentische magnetische Nachwirkung zeigt sich hauptsächlich nur in schwachen Feldern; sie nimmt mit der Feldstärke ab, und zwar umso schneller, je dünner der untersuchte Draht ist.

Eine regelmässige Abhängigkeit der magnetischen Nachwirkung von der Drahtdicke konnte, vermuthlich wegen des ungleichen Ausglühens nicht nachgewiesen werden.

Starke Magnetisirungen der Drähte beeinflussen deren magnetische Nachwirkung in keiner Weise.

Die magnetische Nachwirkung ist eine vorübergehende Erscheinung, welche gleich nach dem Ausglühen der Drähte am kräftigsten auftritt, dann aber immer mehr und mehr abnimmt.

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): Klemencic Ignaz

Artikel/Article: [Über magnetische Nachwirkung. 236-253](#)