

Sitzungsberichte
der
mathematisch-physikalischen Classe
der
k. b. Akademie der Wissenschaften
zu **München.**

Band XXII. Jahrgang 1892.



München.
Verlag der K. Akademie.
1893.

In Commission bei G. Franz.

Ueber den Magnetismus des Eisens unter dem Einfluss elektrischer Schwingungen.

Von R. Emden.

(Mit Tafel I.)

(Eingelaufen 5. März.)

Es ist bekannt,¹⁾ dass für nicht zu rasch alternirende Ströme Eisendrähte einen viel grösseren Coefficienten der Selbstinduktion besitzen als Kupferdrähte, da der Strom bei ersteren nicht nur den umgebenden Raum, sondern auch die Leitungsbahn selbst zu magnetisiren hat, welche Magnetisirungsarbeit für letztere verschwindend klein ist. Anderseits hat Hertz²⁾ gefunden, dass für sehr rasch oscillirende Ströme sich der Magnetismus des Eisens nicht mehr geltend macht und Lodge³⁾ giebt an, dass durch Eisendrähte sich Batterieentladungen nicht anders vollziehen wie durch Kupferdrähte. Man kann dies durch die Annahme erklären, dass die Eisenmolekeln zu träge sind, sich den raschen Stromwechseln gemäss umzulagern, oder neueren Anschauungen gemäss annehmen, dass in diesem Falle die Stromfäden nur an der Oberfläche des Drahtes liegen und so auf das Innere desselben nicht mehr magnetisirend wirken.⁴⁾ Diese neuere

1) Wiedemann. Lehrbuch der Elektrizität. III. S. 691.

2) Hertz. Wied. Annal. 31. pag. 421.

3) Lodge. Electrician 11. pag. 612.

4) Stefan. Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 95. II. Abth. pag. 817. 1887.

Ansicht scheint durch die vorliegende Arbeit, die experimentelle Beiträge liefern soll über den Zusammenhang des Magnetismus des Eisens und der Schwingungszahl der magnetisirenden Wechselströme, an Wahrscheinlichkeit zu gewinnen.

Rasch alternirende Ströme kann man erhalten, wenn man Batterieen sich durch eine Leitungsbahn von genügend grossem Selbstinduktionscoefficienten entladen lässt. Die Schwingungszahl des Entladestroms kann durch Untersuchung des Entladefunkens im rotirenden Spiegel experimentell bestimmt werden. Sie ist abhängig von der Capacität der Batterie und der Selbstinduktion der Leitungsbahn. Würde man eine Batterie abwechselnd durch eine Leitungsbahn aus Kupfer und Eisen entladen, so hätte man eine Methode, um eine Verschiedenheit der beiden Selbstinduktionscoefficienten, und dadurch ein Maass für den Magnetismus des Eisendrahtes, zu bestimmen, die nur an dem Uebelstande leidet, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels, deren genaue Messung äusserst schwierig ist, quadratisch eingeht. Diesem Uebelstande wurde durch die folgende Versuchsanordnung abgeholfen.

Es wurden gleichzeitig 2 möglichst gleiche Batterieen benutzt, deren etwaige Ungleichheit durch Vertauschen eliminirt wurde. Die Entladekreise der beiden Batterieen hatten möglichst gleiche geometrische Configuration, doch war der eine aus Kupferdraht, der andere aus einem weichen Eisendraht von gleichem Querschnitte hergestellt. Beide Batterieen wurden gleichzeitig bis zum gleichen Potential geladen, in demselben Moment entladen, die beiden Funken gleichzeitig in einem rotirenden Spiegel zerlegt und die Funkenbilder auf einer photographischen Platte fixirt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels braucht dann nur so genau bestimmt zu werden, um ein Maass für die Grösseanordnung der Stromwechselzahl zu erhalten. Denn die Ausmessung der photographischen Bilder lässt Unterschiede der Schwingungs-

dauer der beiden Ströme mit grösster Genauigkeit nachweisen.

Die Dimensionen der Battereien und Leitungsbahnen wurden so gewählt, dass die Schwingungsdauer der halben Schwingung von $\frac{1}{28000}$ bis $\frac{1}{48000}$ Sekunde variirte.

Die Messungen ergaben folgendes:

1) Der Abstand der Oscillationen auf der Platte ist proportional der Schwingungsdauer. Die Schwingungsdauer der beiden oscillirenden Entladungen verhielten sich also wie diese Abstände, die Selbstinduktionscoefficienten aber wie die Quadrate derselben. Stets war der Selbstinduktionscoefficient der Eisenleitung der grössere und zwar war das Verhältniss der Coefficienten bei

$$T_{\text{Schwing.}}^{(\text{die halbe})} = 0,00000215; 0,00000791; 0,0000190; 0,0000380''$$

$$\frac{L_F}{L_C} = \begin{matrix} 1,21 & 1,36 & 1,18 & 1,38 \\ \text{(Mittel aus 15 Platten)} & \text{(Mittel aus 14 Pl.)} & \text{(Mittel aus 11 Pl.)} & \text{(Mittel aus 16 Pl.)} \end{matrix}$$

Der Werth 1,36 dürfte zu gross ausgefallen sein, da bei einigen Platten sich unverhältnissmässig grosse Werthe ergaben. Diese Vermuthung wird durch die unter 2) gegebenen Zahlen noch mehr begründet. Es zeigt sich nun vor Allem, dass selbst bei den raschen Polwechseln von 466000 in der Sekunde sich der Magnetismus des Eisens noch deutlich bemerkbar macht. Der kleinste Werth $\frac{L_F}{L_C}$, der bei dieser grössten Schwingungszahl gefunden wurde, betrug 1,15. Hingegen zeigt sich nicht, wie ich anfangs erwartete, dass das Verhältniss dieser Coefficienten mit abnehmender Schwingungszahl stetig zunimmt. Erst bei $T = 0,000038''$ macht sich eine Zunahme bemerkbar. Versuche mit noch grösseren und kleineren Schwingungszahlen sind im Gange.

2) Bei konstantem Strome zeigten die beiden Leitungsbahnen eine Differenz ihrer Widerstände bis zu 25 Ohm, je nach der angewandten Drahtlänge. Es schien angebracht

diese Widerstände wenigstens für konstanten Strom auszugleichen. Das wurde so erreicht, dass in der Kupferleitung ein dünner Nickelindraht, in die Eisenleitung ein gleicher Kupferdraht eingeschaltet wurde. Diese dünnen Drähte waren so gewickelt, dass ihre Selbstinduktionscoefficienten möglichst klein wurden, und ihre Längen wurden so genommen, dass die Widerstände ausgeglichen waren. Es ergab sich dann:

$$T = 0,00000215; 0,00000791; 0,0000190; 0,0000380''$$

$$\frac{L_F}{L_C} = \begin{matrix} 1,19 & 1,22 & 1,18 & 1,40 \\ \text{(Mittel aus 12 Platten)} & \text{aus 28 Platten} & \text{aus 18 Platten} & \text{aus 12 Platten.)} \end{matrix}$$

Eine Aenderung des Verhältnisses des Coefficient L ist also nicht eingetreten. Die Zahl 1,22 scheint die oben erwähnte Vermuthung zu bestätigen, dass die Zahl 1,36 in 1) zu gross ist.

3) Die Stromschwingungen bei diesen Batterieentladungen finden mit abnehmender Amplitude statt, bestimmt durch die Selbstinduktion und Widerstand der Leitungsbahn (bei gleicher Capacität der Batterien). Bei den hier angeordneten Versuchen zeigten die beiden Leitungsbahnen gänzlich verschiedene Dämpfungsverhältnisse. Benutzt man stets die gleiche Plattensorte, so werden die Schwingungen nicht mehr photographisch wirken, sobald ihre Amplitude unter einen gewissen Werth gesunken ist. Die Anzahl der photographirten Schwingungen auf der Platte giebt einen Maassstab für die Dämpfung derselben. Es ergeben sich bei

$$T = 0,00000215; 0,00000791; 0,0000190; 0,0000380''$$

Halbe Schwingungen

bei Cu	bei unausgeglichenen Widerständen des Stromkreises	20	29	22	21
" Fe		11	8	5	5
bei Cu	bei ausgeglichenen Widerständen der Stromkreise	12	17	13	20
" Fe		11	7	5	5

(Diese Zahlen sind Mittelwerthe der schon oben angegebenen Plattenzahl; bei den verschiedenen Platten zeigten diese Zahlen nur sehr geringe Differenzen.)

Die Schwingungen erleiden in dem Eisendrahte eine ausserordentlich viel stärkere Dämpfung als in demselben Kupferdrahte. Gleicht man die Widerstände der beiden Strombahnen für konstanten Strom aus, so zeigen beide Funken bei der kleinsten beobachteten Schwingungsdauer ungefähr gleich viele Schwingungen; bei den übrigen Schwingungsdauern aber ist die Anzahl derselben im Kupferdrahte 2, 3, resp. 4mal grösser als im Eisendrahte. Stefan hat in der oben citirten Abhandlung diese grössere Dämpfung im Eisen vorausberechnet unter der Annahme, dass mit grösserer Schwingungszahl die Stromfäden immer mehr in der Oberfläche des Drahtes liegen. Nimmt man das nicht an, so ist den älteren Anschauungen gemäss, nicht recht einzusehen, wie bei gleichem Widerstande und ziemlich gleichen Selbstinduktionscoefficienten diese ungleich stärkere Dämpfung zu Stande kommt.

Die grosse Verschiedenheit in der Anzahl der Schwingungen im Kupferdrahte bei kleinerem und grösserem Widerstande zeigt ferner, dass der Widerstand einer Leitung selbst bei grosser Polwechselzahl von 466000 pro Sekunde noch von Einfluss ist.

Bei den langsameren Schwingungen kommt der zur Widerstandsausgleichung beider Stromkreise zu der Kupferleitung addirte Zusatzwiderstand weniger zur Geltung. Da derselbe nur der Drahtlänge der Leitung proportional, der Selbstinduktionscoefficient aber ungleich rascher wächst.

Auf der beiliegenden Tafel I sind die Funkenbilder für 3 verschiedene Schwingungsdauern wiedergegeben und zwar bei nicht ausgeglichenen Widerständen der Kupfer- und Eisenleitung, da der Unterschied bei den Funken so am deutlichsten hervortritt.

Fig. I.

$$T = 0,0000380'' = \frac{1}{26300}''.$$

A. Funken in der Kupferleitung. B. Funken in der Eisenleitung.

Verhältniss der Selbstinduktionscoefficienten = 1,44

Verhältniss der Anzahl Schwingungen = $\frac{21}{6}$

Fig. II.

$$T = 0,00000791'' = \frac{1}{126000}''.$$

A. Funken in der Kupferleitung. B. Funken in der Eisenleitung.

Verhältniss der Selbstinduktionscoefficienten = 1,25

Verhältniss der Anzahl Schwingungen = $\frac{27}{7}$

Fig. III.

$$T = 0,00000215'' = \frac{1}{466000}''.$$

A. Funken in der Kupferleitung. B. Funken in der Eisenleitung.

Verhältniss der Selbstinduktionscoefficienten = 1,15

Verhältniss der Anzahl Schwingungen = $\frac{20}{13}$



A

Fig. 1.



B



A

Fig. 2.



B



A

Fig. 3.



B