

Über die Vertheilung der magnetischen Verlängerung in Eisendrahten

P. Bachmetjew,

Professor an der Hochschule in Sofia.

(Mit 4 Textfiguren.)

Dass ein Eisendraht, welcher sich in normalen Verhältnissen befindet, sich beim Magnetisiren verlängert, war schon seit Langem bekannt; es wurde aber noch von Niemandem untersucht, wie diese magnetische Verlängerung in demselben vertheilt ist.

Verschiedene Erscheinungen lassen indessen folgern, dass ein magnetisch gewordener Eisendraht nicht in allen seinen Längentheilen die gleiche Verlängerung erleidet, und es äussern sich diese Erscheinungen wie folgt:

Vor 11 Jahren untersuchte ich die Vertheilung der beim Magnetisiren eines Eisendrahtes sich in demselben entwickelnden Wärme und fand,¹ dass dieselbe an verschiedenen Punkten des Drahtes auch eine verschiedene war, nämlich: die grösste Wärme entwickelte sich in der Mitte des Drahtes und nahm nach den Enden zu ab.

Welchen Antheil die magnetische Verlängerung an der Magnetisirungswärme nimmt, habe ich bereits vor drei Jahren gezeigt.² Damals constatirte ich, dass der Eisendraht, welcher beim Magnetisiren keine magnetische Verlängerung besitzt,³

¹ Journ. russ. phys.-chem. Gesellsch., XVI, S. 81, 1884.

² Ebenda, XXIV, S. 1, 1892.

³ Weil derselbe im entsprechenden gespannten Zustande sich befindet.

nur eine geringere Magnetisierungswärme entwickelt (circa 30% weniger); mit anderen Worten: Die magnetische Verlängerung (oder Verkürzung) ist einer der Factoren der Wärmenentwicklung beim Magnetisiren der Drähte.

Daraus folgt, dass, indem die Magnetisierungswärme in einem Drahte seiner Länge nach verschieden ist, auch die magnetische Längenveränderung verschieden sein muss. Um diese Folgerung experimentell zu prüfen, habe ich die nöthigen Versuche angestellt.

Die Methode.

Die magnetische Verlängerung in einem Eisendrahte ist — wie bekannt — sehr unbedeutend; dieselbe beträgt im günstigsten Falle $0\cdot002\text{ mm}$ pro Meter. Auf diese Weise jedoch konnte ich die unmittelbare Messung der Verlängerung an den verschiedenen Punkten des Eisendrahtes nicht vornehmen. Ich benützte daher eine neue Methode, welche zwar vorläufig keine absoluten Grössen für die Verlängerung ergibt, die aber zu der relativen Bestimmung der Verlängerungsunterschiede dienen kann. Diese Methode beruht auf den thermoelektrischen Eigenschaften des magnetischen Eisens.

Im Jahre 1891 veröffentlichte ich die Untersuchung über die Ursache des magnetisirenden Einflusses auf die thermoelektrischen Eigenschaften von Eisen und Nickel.¹ Es gelang mir damals, den Nachweis zu liefern, dass, wenngleich ein magnetischer Eisendraht mit einem unmagnetischen auch einen thermoelektrischen Strom gibt, dies nicht in Folge des Magnetismus an und für sich geschieht, sondern in der Längenveränderung seine Ursache hat.

Hierauf gestützt, kann gesagt werden, dass, wenn verschiedene Punkte eines der Magnetisirung unterzogenen Eisendrahtes verschiedene thermoelektromotorische Kräfte mit einem nicht magnetisirten Eisendrahte ergeben würden, so wäre aus diesem Umstande zu entnehmen, dass die magnetische Verlängerung in diesen Punkten verschieden ist.

¹ Journ. russ. phys.-chem. Gesellsch., XXIII, S. 301, 1891. Wied. Ann., XLIII, S. 723, 1891. Exner's Repert., XXVII, S. 625, 1891.

Praktisch wurde diese Methode wie folgt angewendet:

Ein weicher Eisendraht ($l = 1850\text{ mm}$, $U = 2\cdot8\text{ mm}$) wurde in die Magnetisirungsspule S eingeschlossen (Fig. 1); dieselbe bestand aus einem Glasrohr ($U = 8\text{ mm}$) mit einer Lage umwickelten isolirten Kupferdrahtes ($U = 0\cdot9\text{ mm}$). Das Glasrohr war im Innern mittelst KautschukstÖpsel in zwei Abtheilungen eingetheilt. In eine dieser Abtheilungen trat Wasserdampf aus dem GefÄsse A ein und ging nachher in das mit kaltem Wasser gefüllte GefÄss B hinaus. Durch die Öffnungen a ,

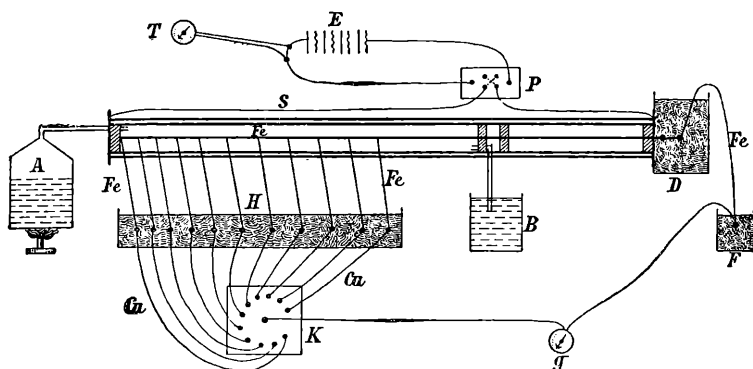


Fig. 1.

b, c etc. in der Röhre gingen dünne EisendrÄhte ($U = 0\cdot29\text{ mm}$), welche an den Haupteisendraht in der Spule in folgenden Entfernungen vom Drahtende angelÖthet waren:

Nr. des Drahtes	Die Entfernung vom Ende des dicken Eisendrahtes	Nr. des Drahtes	Die Entfernung vom Ende des dicken Eisendrahtes
1	0 mm	7	405 mm
2.	55	8.	505
3.	105	9...	605
4...	155	10	705
5.	205	11	260
6.	305		

An den Austrittstellen in der Röhre gingen die dünnen DrÄhte durch die Kautschukhaut, mit welcher die Röhre umwickelt war, damit der Wasserdampf nicht aus der Röhre ent-

weiche. An diese Eisendrähte waren Kupferdrähte angelöthet und die Löthstellen in ein Gefäss *H* mit gestossenem Eis placirt. Das andere Ende des dicken Eisendrahtes, an welchem ein kurzer Kupferdraht angelöthet war, befand sich im Gefäss *D* mit Eis; an diesen Kupferdraht war ein dünner Eisendraht angelöthet, dessen zweites Ende mit dem Leitungsdraht verbunden und diese Stelle wiederum in das Gefäss *F* mit Eis placirt.

Die an den Eisendrähten 1, 2, 3 etc. angelötheten Kupferdrähte führten zu dem Quecksilber-Kommutator *K*, mittelst welchem der thermoelektrische Strom nach Belieben von diesen Paaren geschlossen werden konnte.

Der thermoelektrische Strom wurde mittelst des Galvanometers von Rosenthal *g* gemessen. Zur Magnetisirung wurde der Strom von der Tauchbatterie (6 grosse Elemente mit Chromsäure hintereinander verbunden) verwendet. Die Tangenteboussole *T* gestattete die Stromstärke zu controliren, welche während 2 Stunden ziemlich constant blieb, da die Batterie bereits früher mehrmals gebraucht wurde (das Voltmeter zeigte am Ende der Versuche 7 1 Volt, und das Amperometer 1·4 Ampère).

Versuche und Resultate.

Der allgemeine Verlauf der Experimente war folgender:

Die Gefässe *H*, *D*, *F* und *C* waren mit Eis gefüllt, während die Lampe unter dem Gefässe *A* brannte. Nachdem der Dampf bereits eine Stunde lang durch die Glasröhre ging, wurden die Messungen vorgenommen. Zuerst wurde der Ausschlag in der Boussole *T* von der Batterie *E* gemessen, sodann der Haupteisendraht mehrere Male magnetisirt und entmagnetisirt. Während der magnetisirende Strom geöffnet blieb, wurde das Centrum des Kommutators *K* mit einem der numerirten Drähte verbunden. Der Ausschlag im Galvanometer wurde angemerkt. Darauf wurde der magnetisirende Strom in *P* geschlossen und der Anschlag im Galvanometer wieder angemerkt; nach der Öffnung des magnetisirenden Stromes wurde der Anschlag noch ein Mal gemessen u. s. w., so dass für jede Nummer mehrere Anschläge erhalten wurden. Dann wurde die folgende Nummer untersucht etc.

Der Haupteisendraht und die dünnen Eisendrähte gaben unter sich immer Thermostrome, selbst wenn durch die Spule kein Strom floss, wahrscheinlich wegen des remanenten Magnetismus und den verschiedenen Eisensorten.

Wie die Controlversuche zeigten, übte die Magnetisierungsspule S und der zu magnetisierende Eisendraht keinen störenden Einfluss auf den Galvanometer g aus.

Die erhaltenen Resultate sind in folgenden Tabellen angeführt.

Tabelle I.

Die Ablenkung in der Boussole ist 50°

Nr. des Drahtes	Die Lage im Galvanometer		Der mittlere Aus- schlag
	vor der	während der	
	Magnetisierung		
1	170	154	16·5
	171	154	
2	200	183	17·0
	200	183	
3	173	154	18·5
	173	155	
4	132	118	14·0
	131	118	
5	153	139	14·0
	153	139	
7	156	142	14·5
	157	142	
8	162	150	12·5
	163	150	
9	155	142	13·5
	156	142	
10	123	111	12·0
	123	111	
11	173	160	13·0
	173	160	

Nach einigen Tagen wurden die Versuche noch einmal wiederholt, wobei sich in der thermoelektrischen Kette ein Ergänzungswiderstand von 0·2 Ohm befand.

Tabelle II.

Die Ablenkung in der Boussole ist 45°

Nr. des Drahtes	Die Lage im Galvanometer		Der mittlere Aus- schlag
	vor der	während der	
	Magnetisierung		
	193	182	11·0
	193	182	
	194	183	
1	160	150	10·3
	160	150	
	160	149	
3	158	146	12·0
	159	146	
	158	147	
4	128	119	9·5
	129	119	
	129	120	
	130	120	
11	187	178	9·0
	188	179	
10	110	101	9·0
	110	101	
9	157	149	8·5
	158	149	
	158	149	
	157	149	
8	168·5	159	9·7
	169·0	159	
	155	145	9·7
	155	145	
	155	146	

Schon aus diesen Tabellen ist ersichtlich, dass der thermoelektrische Strom, der von verschiedenen Stellen des magnetisirten Drahtes erhalten wird, nicht der gleiche — und folglich die magnetische Verlängerung im Drahte nicht gleichmässig vertheilt ist. Diese Werthe könnten indessen in Folge verschiedener Widerstände einzelner Nummern erhalten werden. Es wurden deshalb die genannten Widerstände mittelst der Brücke von Edelmann gemessen und sind zusammen mit dem Widerstand des Rosenthal'schen Galvanometers (1·46 Ohm) in folgender Tabelle angeführt.

Nr. des Drahtes	Der totale Widerstand zusammen mit dem Galvanometer	Nr. des Drahtes	Der totale Widerstand zusammen mit dem Galvanometer
1	2·82 Ohm	7	2·85 Ohm
2.	2·60	8.	2·82
3.	2·75	9.	2·93
4.	2·97	10.	3·18
5.	2 90	11.	2·78

Es ist leicht zu berechnen, welche Ausschläge im Galvanometer erhalten werden würden, wenn der Widerstand aller thermoelektrischen Paare derselbe (3 Ohm) wäre.

Für die Tabelle I erhalten wir die Ausschläge nach der Formel

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{w_1},$$

wo n_1 und n_2 die Ausschläge im Galvanometer beim Widerstand w_1 , respective 3 Ohm bedeuten:

Nr.	1	3	4	7	8	9	10	11		
	15·5	14·7	16·9	13·8	13·5	13·4	11·7	13·2	12·7	12·0

Auf gleiche Weise erhält man sie für die Tabelle II, wenn der Ergänzungswiderstand von 0·2 Ohm in Betracht gezogen und der totale Widerstand = 3 Ohm gesetzt wird:

Nr.	1	3	4	8	9	10	11		
	10·4	10·3	11·8	10·0	10·0	9·7	8·9	10·1	9·0

Beide Tabellen ergeben den stärksten Thermostrom für Nr. 3. Die Controlversuche mit einem Thermoelement Fe/Cu zeigten, dass der Thermostrom bei allen Versuchen in gleicher Richtung floss, und zwar vom nichtmagnetisirten Eisen zum magnetisirten durch die erwärmte Lötstelle.

Gestützt auf diese Versuche habe ich mehr detaillirte Untersuchung dieser Erscheinung vorgenommen. Die zu diesem Zwecke benützte Magnetisirungsspule und die Anordnung der Apparate ist aus folgendem Schema ersichtlich (Fig. 2):

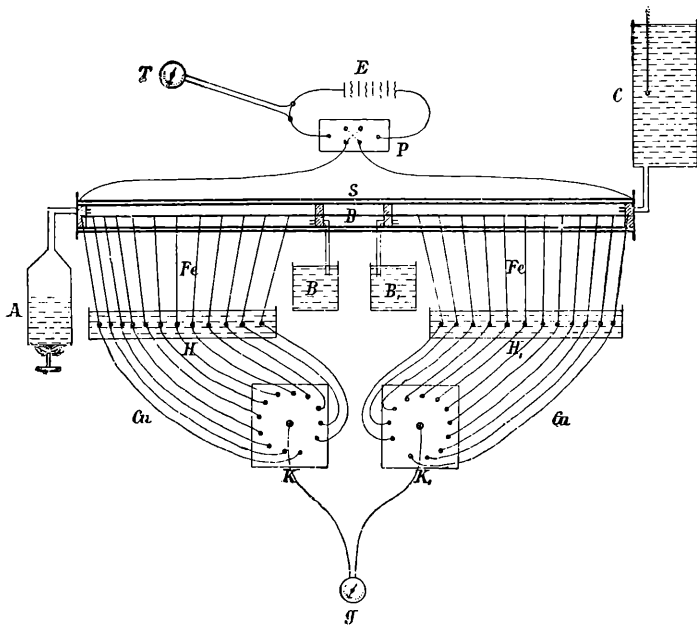


Fig. 2.

Die Spirale S war 3 m lang und das Glasrohr 11 mm äusseren Durchmesser, auf welche isolirter Kupferdraht ($U = 0.3\text{ mm}$) gewickelt war (eine Lage). Der Widerstand der Spirale war 8.73 Ohm und wurde dieselbe in drei Abtheilungen getheilt. In eine Abtheilung trat der Wasserdampf aus dem Gefässe A und ging nachher in das mit kaltem Wasser gefüllte Gefäss B ; durch die zweite Abtheilung floss das Wasser bei Zimmertemperatur aus dem Gefäss C , um nachher ins Gefäss B_1 zu gelangen, während die mittlere Abtheilung nur Luft enthielt.

Die Controlversuche ergaben, dass der Wasserdampf beim Eintritte in das Gefäß B_1 die Temperatur von nahe 98° besass Das Wasser in C hatte Temperatur 14°

Die übrige Anordnung war die gleiche wie früher.

An den Eisendraht D ($l = 3000\text{ mm}$, $U = 2.76\text{ mm}$) wurden dünne Eisendrähte, und zwar in folgenden Abständen (ϑ) von dessen Ende, angelöthet:

Nr. des Drahtes	ϑ in <i>cm</i>	Nr. des Drahtes	ϑ in <i>cm</i>
13.	0	6.	40
12.	5	5.	50
11	10	4.	60
10.	15	3.	80
9.	20	2.	100
8.	25	1	120
7	30		

Diese Drähte wurden symmetrisch an den beiden Hälften des dicken Drahtes D angelöthet. Die thermoelektrischen Ketten wurden mittelst der Kommutatoren K und K_1 geschlossen, wobei der mittlere Contact in K mit derselben Nummer geschlossen wurde, wie in K_1 .

Die Versuche mit dieser Spule ergaben:

Tabelle III.

$t_1 = 98$, $t_0 = 14$. Die Ablenkung in der Boussole ist 45°

Nr. des Drahtes	Die Lage im Galvanometer		Der mittlere Aus- schlag
	vor der	während der	
Magnetisirung			
13	265	283	17.5
	266	283	
1	278	284	6.0
	278	284	
12	263	279	16.5
	262	279	
	262	278	
	261	278	

Nr. des Drahtes	Die Lage im Galvanometer		Der mittlere Aus- schlag
	vor der	während der	
	Magnetisirung		
11	266	283	17·0
	267	283	
	268	286	
	268	286	
10	275	297	22·0
	275	297	
9	240	265	24·5
	241	265	
8	277	298	21·0
	277	298	
7	303	319·5	16·5
	303	319 5	
6	310	327	17·0
	310	327	
5	283	298	15 5
	282	298	
4	298	312	13·5
	299	312	
3	289	300	11·0
	289	300	
2	278	285	7·0
	278	285	
13	276	293	17·5
	275	293	

Der Widerstand des Galvanometers g sammt den Leitungen von demselben bis zu den Kommutatoren K und K_1 war 1·46 Ohm, und der Widerstand (W) einzelner thermoelektrischer Ketten ist aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich, wo auch die auf den Widerstand = 3 Ohm reducirten Ausschläge im Galvanometer g (in Folge der bei der Magnetisirung des Eisendrahtes entstehenden Thermostrome) angeführt erscheinen:

Tabelle IV

Nr. des Drahtes	W in Ohm	W zusammen mit dem Galvano- meter	Der Ausschlag	
			nicht reducirt	reducirt auf 3 Ohm
13	1·62	3·08	17·5	18·0
12	1·61	3·07	16·5	16·9
11	1·51	2·97	17·0	16·8
10	1·32	2·78	22·0	20·4
9	1·24	2·70	24·5	22·0
8	1·18	2·64	21·0	18·5
7	1·33	2·79	16·5	15·3
6	1·38	2·84	17·0	16·1
	1·68	3·14	15·5	16·2
4	1·49	2·95	13·5	13·3
3	1·31	2·77	11·0	10·1
	1·45	2·91	7·0	6·8
1	1·87	3·33	6·0	6·6

Stellt man die Werthe der letzten Reihe dieser Tabelle graphisch dar, wobei dieselben die Ordinaten und die Entfernungen der untersuchten Punkte vom Ende des Drahtes die Abscissen bedeuten, so erhält man die Figur 3.

Diese Figur zeigt uns, dass diejenige Stelle des Drahtes, welche mit 9 bezeichnet und vom Ende des Eisendrahtes um 20 *cm* entfernt ist, die grösste Änderung seiner thermoelektromotorischen Kraft in Folge der Magnetisirung erleidet.

Nach den Untersuchungen von Schneebeil¹ ist die Entfernung zwischen beiden Polen eines magnetisirten Eisendrahtes gleich 85⁰/₁₀₀ der ganzen Drahtlänge, d. h. für unseren Draht 3 *m* in der Länge wäre diese Entfernung gleich 255 *cm* und wären daher folglich die Pole vom Ende des Drahtes um 22·5 *cm* entfernt. Es folgt daraus, dass ein magnetisirter Eisendraht die stärkste thermoelektromotorische

Kraft an seinen Polen und die schwächste in der Mitte besitzt. Die Versuche mit dickerem und kürzerem Eisendrahte (Tabelle I und II) führen ebenfalls zu dem gleichen Resultate.

Was die absolute Grösse des thermoelektrischen Stromes, welcher zwischen dem magnetisirten und dem nicht magneti-

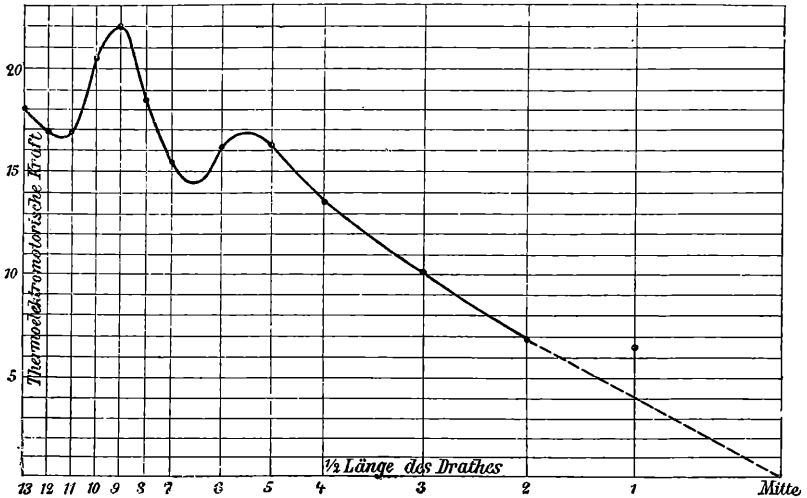


Fig. 4.

sirten Eisen entsteht, betrifft, so ergaben die Messungen folgende Werthe:

Das Rosenthal'sche Galvanometer bei totalem Widerstande des Stromkreises (in meinem Falle = 3 Ohm) gibt für 1 Scalentheil $0\cdot000000235$ Volt.

Da der stärkste Strom bei Nr. 9 war, und zwar betrug er 22 Scalentheile, so würde dieser Anschlag einer thermoelektromotorischen Kraft von $0\cdot00000517$ Volt entsprechen.

Strouhal und Barus¹ fanden die thermoelektromotorische Kraft zwischen magnetisirtem und nicht magnetisirtem Eisen

$$e = a(t - t_1) + b(t^2 - t_1^2),$$

wobei $a = 0\cdot037 \cdot 10^{-5}$; $b = 0\cdot015 \cdot 10^{-7}$ ist.

¹ Strouhal und Barus, Wied. Ann. 14, S. 54, 1881.

Indem wir die Temperatur des Wasserdampfes während meiner Untersuchung im Mittel zu 98° gleichsetzen, erhalten wir in der Formel von Strouhal und Barus die Grösse

$$e = 0.0000508 \text{ Volt};$$

meine Grösse unter denselben Umständen war

$$e_1 = 0.00000517 \text{ Volt},$$

d. h. ungefähr 10 Mal kleiner, was wahrscheinlich dem Umstande zuzuschreiben ist, dass die obgenannten Beobachter zum Magnetisiren eine Dynamomaschine gebrauchten und ausserdem einen Draht von nur 0.8 mm Durchmesser hatten (bei mir $U = 2.76 \text{ mm}$), welcher bis zur Sättigung magnetisirt wurde. Es ist ja bekannt, dass die Stärke des thermoelektrischen Stromes für das Paar Fe/Fe_m nahe proportional dem Quadrate des verschwindenden (respective zum Vorschein kommenden) Magnetismus ist.¹

Schluss.

Die gegenwärtige Untersuchung ergibt uns die Vertheilung der thermoelektromotorischen Kraft im magnetischen Eisendrahte seiner Länge nach.

Um die Frage über die Vertheilung der magnetischen Verlängerung in dem Eisendrahte zu lösen, wollen wir die Resultate, welche nach der zweiten Methode erhalten wurden, d. h. wo die thermoelektrischen Ströme in nach beiden Seiten des Drahtes symmetrisch gelegenen Punkten entstanden sind, in Betracht ziehen. In diesem Falle haben wir es mit einer vereinfachten Erscheinung zu thun, wie es Fig. 4 veranschaulicht.

In der That, wenn alle Punkte a_1, a_2, a_3 etc., welche nach einer Seite von der Mitte des Drahtes liegen, bis t_1° erwärmt sind, während alle Punkte b_1, b_2, b_3 etc., welche nach der anderen Seite des Drahtes liegen, bis t_0° erwärmt sind, so erhalten wir, indem z. B. der Punkt a_1 mit b_1 mittelst eines nicht magnetisirten Eisendrahtes verbunden werden würde,

¹ P. Bachmetjew, Journ. russ. phys.-chem. Gesellsch., XXIII, S. 301, 1891.

einen thermoelektrischen Strom j_1 , und zwar darum, weil der magnetisch gewordene Draht an den Stellen a_1 und b_1 eine und dieselbe bestimmte Verlängerung erlitten hat; dabei können die Verlängerungen, welche gleichzeitig auch in den anderen Stellen des Drahtes erhalten werden, keinen Einfluss auf die Grösse j_1 haben, wie dies auch aus den Gesetzen der Thermoelektricität hervorgeht.

Auf diese Art drücken die thermoelektrischen Ströme¹ j_1 , j_2 , j_3 etc. die magnetische Verlängerung an den Stellen a_1 , a_2 , a_3 etc. (respective b_1 , b_2 , b_3 etc.) aus.

Es ist leicht zu zeigen, dass die dabei erhaltenen thermoelektrischen Ströme direct proportional der magnetischen Ver-



Fig. 4.

längerung in den beibehaltenen Stellen des Drahtes sein werden, und zwar:

Gestützt auf die letzten Untersuchungen von Nagaoka² geht hervor, dass die Längenveränderung (l) fast in linearer Beziehung mit dem Quadrate der Magnetisirung (M) steht, d. h.

$$l = KM^2.$$

Ich habe die Existenz der Formel

$$E = K_1 M^2$$

gezeigt,³ und daraus folgt, dass

$$E = K_1 l,$$

wo E die thermoelektromotorische Kraft des Paares Fe/Fe_m und K_1 eine Constante bedeuten. Hier muss ich bemerken, dass diese Formel nur zwischen gewissen Grenzen richtig ist, da die Formel von Nagaoka und die meinige bloss für die mittleren Magnetisirungen strenge genommen giltig sind.

Bei gleichen Widerständen der Stromkreise.

H. Nagaoka, Wied. Ann., 53, S. 487, 1894.

³ P. Bachmetjew, Wied. Ann., 43, S. 723, 1891.

Jedenfalls geht aber aus den gegenwärtigen Untersuchungen hervor, dass die thermoelektromotorische Kraft (E), welche an verschiedenen Punkten eines Eisendrahtes (bei dessen Magnetisirung) erhalten wird, direct proportional der magnetischen Verlängerung an derselben Stelle ist und folglich stellt die Curve der Fig. 3 die Vertheilung der magnetischen Verlängerung im Eisendrahte dar.

Gestützt auf die ermittelte Vertheilung der magnetischen Verlängerung kann man leicht auch die Vertheilung der Magnetisirungswärme in einem Eisendrahte erklären. In der That, an denjenigen Stellen des Drahtes, wo die magnetische Verlängerung die grösste ist (an Polen), ist auch die äussere Arbeit grösser und folglich muss die Wärme an dieser Stelle die kleinste sein und umgekehrt. Die gefundenen Thatsachen stimmen mit dieser Erklärung überein.

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: 1895

Band/Volume: [104_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Bachmetjew P.J.

Artikel/Article: [Über die Vertheilung der magnetischen Verlängerung in Eisendrähten. 71-85](#)