

hierfür, wie ich glaube, nur in seiner Versuchsanordnung. In diesem Fall liegen die Schwingungsebenen der Doppelbrechung, welche durch die Electrisirung erzeugt wird unter 45° zu jener Mittellinie und zu den Kraftlinien. Nun gibt Röntgen an, dass die Schwingungsebene seiner Nicols stets unter 45° zu der Richtung der Kraftlinien standen; mithin konnte ihm die erzeugte Aenderung der Doppelbrechung entgehen.

Strassburg, Physik. Inst. December 1882.

IV. *Ueber die Magnetisirungsfuction von Stahl und Nickel; von Hugo Meyer.*

1. Einleitung.

Lässt man auf einen weichen Eisenstab, mit sehr schwachen Kräften beginnend, nach einander stärkere und stärkere magnetisirende Kräfte wirken, so wächst bekanntlich das magnetische Moment anfangs schneller als die magnetisirende Kraft, später tritt das entgegengesetzte Verhalten ein.¹⁾ Bei der Untersuchung von Stahl ellipsoiden hat Fromme²⁾ gefunden, dass jener Wendepunkt sehr niedrig liegt, und dass schon bei sehr schwachen magnetisirenden Kräften der Quotient: magnetisches Moment der Volumeneinheit durch magnetisirende Kraft, den wir allgemein als Magnetisirungsfuction bezeichnen, abnimmt mit wachsender magnetisirender Kraft. Fromme schliesst aus seinen Beobachtungen, dass die Mag-

1) W. Weber, *Electrod. Maassbest.* 3. p. 570 (Kirchhoff, *Crelle's Journ.* 48. p. 370. 1854. Abh. p. 193. 1882); v. Quintus Icilius, *Pogg. Ann.* 121. p. 125. 1864; Overbeck, *Pogg. Ann.* 135. p. 74. 1868; Stoleto, *Pogg. Ann.* 144. p. 439. 1872; Rowland, *Phil. Mag.* 46. p. 140. 1873; Riecke, *Pogg. Ann.* 149. p. 433. 1873. *Wied. Ann.* 13. p. 465. 1881; Ruths, *Ueber den Magnetismus weicher Eisencylinder*, Dortmund 1876; A. L. Holz, *Pogg. Ann. Ergbd.* 8. p. 353. 1877; Baur, *Wied. Ann.* 11. p. 394. 1880. *Wiedemann, Galvanismus* (2) II 1. p. 343.

2) C. Fromme, *Pogg. Ann. Ergbd.* 7. 390. 1876.

netisirungsfunction des Stahls von einem grossen Anfangswerthe an zuerst rasch, dann langsamer abnimmt und sehr bald ein Minimum erreicht, dessen Eintreten von der specifischen Natur des Stahls abhängig ist. Es tritt bei einem desto kleineren Werthe ein, je härter der Stahl ist.

Es beruhen diese Schlüsse auf Beobachtungen mit verhältnissmässig wenig gestreckten Ellipsoiden; je kleiner aber das Verhältniss der grossen zur kleinen Axe ist, desto weniger zuverlässig erscheinen die Resultate.¹⁾ Versuche mit sehr gestreckten Ellipsoiden, resp. Cylindern sind allerdings zu einer Prüfung der Poisson'schen Theorie, auf welche die genannten Arbeiten zum grössten Theile abzielen, nicht geeignet²⁾, allein es dürften gegen jene Theorie kaum noch Zweifel erhoben werden, und man wird daher auch stark gestreckte Cylinder zur experimentellen Bestimmung der Magnetisirungsfunction benutzen können. Auf Veranlassung des Hrn. Prof. Riecke habe ich es daher unternommen, die Abhängigkeit des magnetischen Momentes von der magnetisirenden Kraft für sehr schwache Kräfte an stark gestreckten Stahlcylindern zu prüfen.

2. Material, Apparate und Versuchsanordnung.

Ich habe mich bemüht, meine Resultate durch möglichst zahlreiche und umfassende Versuche zu stützen und demgemäss von drei verschiedenen Stahlarten für je neun Stäbe die Magnetisirungsfunction k bestimmt, d. i. den Quotienten magnetisches Moment eines unendlich gestreckten Cylinders vom Volumen Eins dividirt durch die magnetisirende Kraft. Die Stäbe waren gerade Kreiscylinder durch den Mechanikus Apel, hier, aus Stahl angefertigt, welcher von H. Kirchhoff in Berlin unter folgender Bezeichnung in den Handel gebracht wird:

- I. Bester blanker englischer Gussstahl,
- II. Polirter englischer Stubbstahl,
- III. Gezogener weicher blanker Stahl.

1) Stoletow, l. c. p. 441; Fromme, l. c. p. 399; Riecke, Wied. Ann. **13**, p. 496. 1881.

2) Riecke, l. c. p. 490.

In der folgenden Tabelle sind die Dimensionen der Stäbe zusammengestellt; die Länge a und der Durchmesser b in Millimetern, das Volumen v in Cubikmillimetern, das Gewicht p in Milligrammen, das specifische Gewicht s und eine Constante P , welche bedingt ist durch das Verhältniss der Länge der Stäbe zu ihrem Durchmesser; es ist nämlich:

$$P = 4 \pi \sigma (\sigma^2 - 1) \left\{ \frac{1}{2} \log \text{nat} \frac{\sigma + 1}{\sigma - 1} - \frac{1}{\sigma} \right\},$$

$$\sigma^2 = \frac{a^2}{a^2 - b^2}.$$

Die Längen wurden mit dem Comparator gemessen, das Volumen durch Wägung in Wasser bestimmt und daraus der mittlere Durchmesser berechnet.

Tabelle 1.

Stahlsorte I.

	a	b	v	p	s	100 P
1.	299,190	5,107	6129,6	47622	7,7315	1,3667
2.	349,265	5,120	7192,0	55757	7,7152	1,0305
3.	399,130	5,112	8192,3	63802	7,7504	0,8172
4.	450,213	5,126	9286,7	73034	7,8266	0,6346
5.	400,025	3,921	4829,9	37642	7,7558	0,4862
6.	440,040	3,918	5304,8	41372	7,7614	0,4434
7.	359,827	3,088	2695,3	20826	7,6896	0,4434
8.	390,132	3,091	2926,7	22625	7,6932	0,3720
9.	419,940	3,087	3142,1	24373	7,7193	0,3435

Stahlsorte II.

1.	300,157	4,997	5886,1	45887	7,7604	1,3316
2.	350,053	4,989	6842,9	53543	7,7891	1,0305
3.	399,563	5,001	7847,5	61281	7,7735	0,8172
4.	449,770	4,992	8806,3	68773	7,7741	0,6346
5.	399,640	3,970	4946,3	37954	7,6383	0,5403
6.	440,183	3,973	5457,1	41956	7,6534	0,4587
7.	359,997	2,971	2495,1	19350	7,7199	0,4006
8.	389,840	2,964	2690,7	20767	7,6832	0,3435
9.	419,823	2,971	2911,1	22578	7,7205	0,2862

Stahlsorte III.

1.	299,837	5,209	6389,0	50082	7,8009	1,4138
2.	349,787	5,204	7440,4	58355	7,8051	1,0796
3.	399,743	5,207	8511,7	66758	7,8051	0,8172
4.	449,500	5,203	9556,1	75079	7,8187	0,6749
5.	399,777	4,014	5058,3	39603	7,7914	0,5402
6.	439,350	4,000	5515,2	43182	7,7918	0,4616
7.	359,750	3,043	2616,4	20545	7,8143	0,3880
8.	389,613	3,047	2840,9	22260	7,7977	0,3435
9.	420,100	3,050	3069,3	24002	7,7822	0,2862

Um den Einfluss der Härtung des Stahles auf die Magnetisirungsfuction zu prüfen, wurden später die ursprünglich weichen Stäbe stark gegläht und alsdann plötzlich abgelöscht. Die mechanischen Aenderungen, welche die Stäbe durch diesen Process erlitten, sind aus folgender Tabelle zu erkennen; sie enthält Volumen, Gewicht und specifisches Gewicht der gehärteten Stäbe.

Tabelle 2.

Sorte I.				Sorte II.			
	<i>v</i>	<i>p</i>	<i>s</i>		<i>v</i>	<i>p</i>	<i>s</i>
1.	6138,3	47460	7,6749	1.	5926,1	45776	7,7244
2.	7212,6	55575	7,7052	2.	6923,0	53458	7,7217
3.	8240,4	63587	7,7165	3.	7918,8	61190	7,7272
4.	9351,1	72792	7,7843	4.	8859,7	68672	7,7511
5.	4864,4	37497	7,7085	5.	5014,2	37870	7,5526
6.	5351,1	41243	7,7064	6.	5553,5	41833	7,7097
7.	2710,8	20684	7,6301	7.	2504,1	19260	7,6915
8.	2949,6	22489	7,6255	8.	2718,8	20712	7,6180
9.	3179,3	24278	7,6363	9.	2939,6	22482	7,6480

Sorte III.

	<i>v</i>	<i>p</i>	<i>s</i>		<i>v</i>	<i>p</i>	<i>s</i>
1.	6312,7	49531	7,8643	6.	5447,7	42724	7,8426
2.	7378,4	57764	7,8288	7.	2606,0	20231	7,7632
3.	8420,2	66160	7,8573	8.	2816,7	22036	7,8232
4.	9486,0	74495	7,8532	9.	3048,5	23752	7,7914
5.	5011,2	39176	7,8177				

Die Vergleichung dieser beiden Tabellen ergibt für die Sorten I und II durch das Härten eine Abnahme des Gewichtes und eine Zunahme des Volumens, demgemäss eine Abnahme des specifischen Gewichtes, was mit früheren Beobachtungen von Fromme¹⁾ in Einklang steht. Dass von Stäben verschiedener Dicke die dünneren durch das Härten eine grössere Abnahme des specifischen Gewichtes erfahren als die dickeren, tritt bei I deutlich hervor, weniger gut bei II. Anders verhalten sich die Stäbe der Sorte III, die Stäbe aus „gezogenem weichen blanken Stahl.“ Hier haben beim Härten Gewicht und Volumen abgenommen, und das

1) Fromme, Gött. Nachr. 1876. p. 165.

specifische Gewicht ist gewachsen; nur III 7 macht eine Ausnahme. Diese Erscheinung wie auch das weiter unten behandelte magnetische Verhalten der Sorte III können leicht zu der Vermuthung führen, dass der gezogene Stahl durch das Härten in einen weicheren Zustand übergeführt worden ist; es mag aber besonders hervorgehoben werden, dass eine Prüfung mit der Feile, wenn sie auch nur einen Schluss auf den Zustand der äussersten Oberflächenschichten gestattet, diese Vermuthung nicht bestätigte.

Wie schon oben erwähnt, wurden nur schwache magnetisirende Kräfte verwandt, nämlich die horizontale und die verticale Componente der erdmagnetischen Kraft. Die Beobachtungsmethode ist genau dieselbe wie die von Riecke und Fromme. Die zu untersuchenden Stäbe wurden in einen auf einen hohlen Messingcylinder aufgewickelten Erdinductor eingeschoben, dessen Drehungsaxe horizontal oder vertical senkrecht und parallel zum magnetischen Meridian eingestellt werden konnte, und alsdann die Ströme gemessen, welche dadurch in dem Inductor inducirt wurden, dass bei einer Drehung desselben um 180° die Pole des eingeschobenen Stahlcylinders umgekehrt wurden. Zur Messung dieser inducirten Ströme diente ein (entfernt aufgestelltes) empfindliches Galvanometer mit astatischem Nadelpaar, dessen Schwingungsdauer anfangs nahe 39 Sec. betrug, später wurde sie auf 46 Sec. gebracht. Inductor und Galvanometer besaßen nahe denselben Widerstand. Der Inductor war bei dem Statif des Beobachtungsfernrohrs ungefähr 5,5 m vom Galvanometer entfernt aufgestellt, sodass eine directe Einwirkung des ersteren auf letzteres nicht zu befürchten war; doch habe ich nicht unterlassen, mich durch besondere Versuche zu überzeugen, dass eine solche Wirkung in der That nicht stattfand. Mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Galvanometermessungen kann ich auf die angezogenen Abhandlungen von Riecke und Fromme verweisen, in denen ausführliche Beobachtungsprotocolle mitgetheilt sind.

Wirkt auf einen magnetisirbaren Körper eine constante magnetisirende Kraft f , so ist das dadurch inducirte magnetische Moment M gegeben durch:

$$M = \gamma \cdot v \cdot f,$$

wenn v das Volumen bezeichnet, demnach ist das Moment m der Volumeneinheit:

$$m = \gamma f.$$

Der Factor γ bestimmt sich bei der angewandten Beobachtungsmethode durch die Gleichung:

$$\gamma = \frac{1}{4\pi v} \cdot \frac{F}{S} \cdot \frac{p-q}{q},$$

wenn p und q die Sinus der halben Ausschlagswinkel des Galvanometers bezeichnen, wenn der Inductor mit, oder wenn er ohne eingeschobenen Cylinder gedreht wird; F ist die Windungsfläche des Inductors und S eine Constante, die in folgender Weise von den Dimensionen der Inductorrolle und des betreffenden Stahlstabes abhängt:

$$S = n_1 \Sigma_1 + n_2 \Sigma_2 + n_3 \Sigma_3 + n_4 \Sigma_4;$$

hierin sind n_1, n_2, n_3, n_4 die Anzahl der Windungen, welche in den vier Lagen, aus denen der Inductor besteht, auf die Längeneinheit entfallen, und die Σ sind bestimmt durch:

$$\Sigma_i = \frac{r_1}{\sigma_i} + \frac{\sigma_1}{\sigma_i} \left(1 - \frac{\sigma_1^2}{\sigma_i^2} \right) \left\{ \frac{1}{\sigma_i^2} + \frac{1}{\sigma_i^4} + \dots \right\},$$

$$\sigma_1^2 = \frac{4l^2}{a^2 - b^2} \quad 2l = \text{Länge des Inductors},$$

σ_1^2 berechnet sich als eine der Wurzeln der quadratischen Gleichung:

$$\frac{4}{a^2 - b^2} \left(\frac{l^2}{\sigma^2} + \frac{r_i^2}{\sigma^2 - 1} \right) = 1.$$

Entsprechend den Werthen von r_i , d. i. den Werthen der Halbmesser der verschiedenen Windungslagen des Inductors, ergeben sich hieraus vier Werthe von σ_i^2 , deren Substitution in der Reihe für Σ_i die Specialwerthe $\Sigma_1 \dots \Sigma_4$ liefert. Die Convergenz der Reihe in Σ_i ist um so mangelhafter, je grösser das Verhältniss der Länge des Cylinders zu seinem Durchmesser ist, doch genügte auch für die gestrecktesten der hier untersuchten Cylinder die Berechnung der ausgeschriebenen Glieder. Mit der Function γ hängt die Magnetisirungsfuction k zusammen durch:

$$k = \frac{\gamma}{1 - \gamma P},$$

wenn P die oben p. 235 angeführte Constante bezeichnet.

In der Formel für γ ist unter F die Windungsfläche des Inductors zu verstehen. Zum Zweck einer möglichst genauen Bestimmung dieser Grösse wurde der Inductor von gut übersponnenem Kupferdraht neu auf die schon von Riecke und Fromme benutzte Messingröhre aufgewickelt und dabei die Anzahl der Windungen gezählt, deren Durchmesser und Umfang ausgemessen, und hieraus die nachfolgenden Mittelwerthe der Halbmesser bestimmt. Wie schon erwähnt, wurden vier Lagen übereinander gewickelt:

erste Lage: $2ln_1 = 188,0$	$r_1 = 23,82$ mm
zweite Lage: $2ln_2 = 187,5$	$r_2 = 26,38$ „
dritte Lage: $2ln_3 = 187,0$	$r_3 = 28,95$ „
vierte Lage: $2ln_4 = 184,0$	$r_4 = 31,41$ „

Daraus ergibt sich:

$$F = 2\pi l(n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2 + n_3 r_3^2 + n_4 r_4^2) = 1\,807\,500 \text{ qmm.}$$

Ein Fehler von 0,05 des mittleren Radius ergibt für F einen Fehler von 0,35 Proc. Ausserdem wurde die Windungsfläche wiederholt auf galvanischem Wege bestimmt, indem das magnetische Moment des Inductors durch Ablenkung eines kleinen Magnetspiegels gemessen wurde, wenn ein galvanischer Strom die Windungen der Inductorspirale durchfloss. Der Inductor befand sich gegen das stark gedämpfte Magnetometer in der ersten Hauptlage nach Gauss, die dem Magnetometer zugewandte Endfläche im Abstände R . Wenn dann die Spirale ein Strom von der Intensität i durchfloss, so wurde die Magnetnadel um einen Winkel φ aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, und es konnte daraus die Windungsfläche F berechnet werden nach der Formel:

$$F = \frac{A \cdot T \cdot \operatorname{tg} \varphi (1 + \Theta)}{i};$$

die Intensität wurde durch eine Tangentenbussole vom Reductionsfactor C gemessen:

$$i = C \cdot T \cdot \operatorname{tg} \psi (1 + \Theta'),$$

$$F = \frac{A}{C} \cdot T \cdot \frac{1 + \Theta}{1 + \Theta'} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \psi}.$$

Darin ist: $A = \frac{1}{2}(R + l)^3 \left(1 - \left(\frac{l}{R + l}\right)^2\right)^2$

oder auch: $A = r^2 l \left(\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \right)^{-1}$;

beide Formeln lieferten bei den hier in Betracht kommenden Verhältnissen dieselben Resultate.

T , T' bezeichnen die horizontale Componente der erdmagnetischen Kraft an der Stelle des Magnetometers, resp. im Mittelpunkte der Tangentenbussole;

Θ , Θ' das Verhältniss des Drehungsmomentes der Torsion des Suspensionsfadens beim Magnetometer, resp. der Tangentenbussole zum erdmagnetischen Drehungsmomente;

r den mittleren Halbmesser der Windungen des Inductors;

α und β die beiden Winkel, welche die vom Mittelpunkte des Magnetometers nach der Peripherie der beiden äussersten Windungen der mittleren Windungslage gezogenen Geraden mit der Axe der Spirale einschliessen.

Auf die Länge der Bussolennadel brauchte keine Rücksicht genommen zu werden. Die Kreistheilung der Bussole befand sich auf einer Spiegelplatte; das Magnetometer wurde mit Fernrohr, Spiegel und Scala beobachtet. Selbstverständlich war ein Commutator eingeschaltet, der die Umkehrung der Stromrichtung im ganzen Schliessungskreise gestattete.

Ein aus den Beobachtungsprotocollen ohne besondere Wahl herausgenommenes Beispiel mag zeigen, in welcher Weise die Beobachtungen ausgeführt wurden.

Inductor östlich vom Magnetometer . . . $R = 1230,83$ mm,
Abstand von Magnetometerspiegel zu Scala 2308,39 „

$$\log C = 1,685\,167\,8, \quad \log \frac{T}{T'} = 9,994\,713\,3,$$

$$\log \frac{1 + \Theta}{1 + \Theta'} = 9,998\,351\,3.$$

Strom- richtung	Einstellung der Bussole		des Magne- tometers	der Bussole	
1.	108.0°	289.5°	838,5	108,0°	289,8°
2.	71,3	254,0	664,0	71,3	254,0
1.	108,3	289,7	839,0	108,2	289,8

Wegen directer Einwirkung des ganzen Schliessungskreises, den Inductor ausgenommen, auf das Magnetometer

musste bei den Ablesungen des letzteren eine Correction von $-2,45$ Scalentheilen angebracht werden, alsdann ergab sich:

$$\log \operatorname{tg} \varphi = 8,264\,516\,9, \quad \log \operatorname{tg} \psi = 9,515\,203\,9, \\ F = 1\,811\,800 \text{ qmm.}$$

Ein Fehler im Ablesen der Magnetometerstellung von $0,1$ Scalentheilen hat in F einen Fehler von $0,21$ Proc. zur Folge, ein Beobachtungsfehler bei der Tangentenbussole von $0,2^\circ$ einen solchen von $1,10$ Proc. Danach stimmt der auf galvanischem Wege gefundene Werth gut mit dem Werthe überein, welcher durch directe Ausmessung der Dimensionen des Inductors gegeben wurde. Vierzehn galvanische Bestimmungen lieferten im Mittel:

$$F = 1\,801\,400 \text{ qmm}$$

mit einem mittleren Fehler von $0,30$ Proc. Dieser Werth ist im Folgenden benutzt worden. (Die Abweichung von dem oben p. 239 berechneten Werthe von F beträgt $0,34$ Proc.).

3. Die Magnetisirungsfuction von Stahl.

Die von mir ausgeführten Bestimmungen der Magnetisirungsfuction k zerfallen der Zeit nach in zwei Abschnitte. Der erste derselben umfasst die Beobachtungen vom Juni bis September 1881, in ihm wurden die Bestimmungen von k unter dem Einfluss der horizontalen und der verticalen Componente der erdmagnetischen Kraft für die rohen Stäbe aller drei Sorten ausgeführt, ferner die für I in gehärtetem Zustande unter Einwirkung der verticalen Componente. Für den mittleren Termin (1. Aug.) wurde die Horizontalintensität für den magnetischen Pavillon des physikalischen Instituts nach der Variationsformel von K. Schering¹⁾ berechnet und danach mit Hülfe des compensirten Magnetometers von Weber und Kohlrausch²⁾ für den Beobachtungssaal bestimmt zu $T = 1,8888$, für die Verticalcomponente ergab sich $V = 3,6304$. Die Temperatur der Stäbe wurde als dieselbe angenommen wie die des Beobachtungsraumes, aus dem die Stäbe nur selten entfernt wurden, sie

1) K. Schering, Göttinger Nachr. 1881. p. 133. Wied. Ann. 13. p. 328. 1881.

2) Kohlrausch, Pogg. Ann. 142. p. 551. 1871.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XVII.

schwankte zwischen 17,3 und 25,0°, von ihrem Einfluss auf die Magnetisirungsfuction wird weiter unten die Rede sein. In der folgenden Tabelle 3 sind zunächst alle Werthe von k für die rohen Stäbe mitgetheilt; k_v bezieht sich auf die Vertical-, k_h auf die Horizontalcomponente.

Tabelle 3.

	Sorte I		Sorte II		Sorte III	
	k_v	k_h	k_v	k_h	k_v	k_h
1.	6,57	6,36	5,58	5,35	6,16	6,07
	6,88	6,66	5,64	5,35	6,14	5,94
	6,75	6,52	5,62	5,42	6,13	5,84
	6,83	6,25	5,62	5,57	6,14	5,86
2.	6,55	6,37	5,33	5,13	6,04	5,99
	6,71	6,53	5,48	5,25	6,10	5,90
	6,62	6,34	5,32	5,23	6,05	5,76
	6,58	6,14	5,40	5,07	6,11	5,83
3.	6,71	6,41	5,29	5,09	5,98	5,85
	6,85	6,57	5,36	5,10	6,04	5,77
	6,71	6,47	5,30	5,16	6,02	5,75
	6,74	6,34	5,31	5,09	6,04	5,73
4.	4,51	—	5,54	5,37	6,25	5,97
	4,59	4,39	5,64	5,39	6,27	5,97
	4,52	4,44	5,62	5,46	6,27	6,03
	4,53	4,28	5,59	5,50	6,34	5,99
5.	7,44	7,37	7,55	7,32	6,62	6,31
	7,62	7,39	7,65	7,27	6,72	6,20
	7,67	7,34	7,59	—	6,62	6,19
	7,52	7,24	7,61	7,38	6,69	6,50
6.	7,75	7,38	7,45	7,21	6,82	6,66
	7,70	7,40	7,53	7,29	6,98	6,72
	7,69	7,58	7,53	7,25	6,88	6,45
	7,64	7,48	7,61	7,20	6,89	6,51
7.	7,51	7,57	5,76	5,62	8,25	8,01
	7,77	7,54	5,89	5,85	8,38	8,12
	7,78	7,40	5,83	5,81	8,34	8,03
	7,69	7,55	5,83	5,58	8,51	8,14
8.	7,78	7,37	5,98	5,76	8,51	8,19
	7,73	7,45	6,06	6,03	8,31	8,11
	7,79	7,50	6,02	5,83	8,47	7,98
	7,59	7,45	6,03	5,94	8,53	7,94
9.	7,39	7,39	5,92	5,79	8,51	7,76
	7,71	7,12	5,99	5,61	8,43	7,93
	7,68	7,51	5,84	5,74	8,42	7,82
	7,62	7,50	5,88	5,80	8,48	7,92

Die Werthe für die einzelnen Stäbe zeigen eine genügende Uebereinstimmung, und man wird daher, statt sie einzeln zu behandeln, die Mittelwerthe betrachten können, welche sich aus ihnen ergeben. Diese Mittelwerthe finden sich in der folgenden Tabelle 4, ihnen sind hinzugefügt die zugehörigen Momente der Volumeneinheit m und die Werthe k_0 für eine verschwindende magnetisirende Kraft, welche letztere berechnet sind mit Hülfe der Formel:

$$k = k_0 + am;$$

die Coëfficienten a finden sich in der letzten Columnne der Tabelle.

Tabelle 4.

Sorte I.

	k_v	m_v	k_h	m_h	k_0	a
1.	6,76	22,47	6,45	11,20	6,14	0,027
2.	6,61	22,47	6,34	11,26	6,07	0,024
3.	6,75	23,23	6,45	11,58	6,15	0,026
4.	4,54	16,01	4,35	7,93	4,16	0,023
5.	7,56	26,50	7,33	13,37	7,11	0,017
6.	7,69	27,03	7,46	13,65	7,23	0,017
7.	7,69	26,97	7,51	13,73	7,32	0,013
8.	7,72	27,26	7,44	13,60	7,15	0,021
9.	7,60	26,90	7,38	13,60	7,16	0,017

Sorte II.

1.	5,62	18,99	5,42	9,56	5,22	0,021
2.	5,38	18,52	5,17	9,27	4,96	0,023
3.	5,31	18,52	5,11	9,27	4,91	0,022
4.	5,60	19,64	5,43	9,92	5,26	0,018
5.	7,60	26,50	7,32	13,30	7,03	0,021
6.	7,53	26,43	7,24	13,24	6,96	0,022
7.	5,83	20,69	5,71	10,54	5,58	0,012
8.	6,02	21,42	5,89	10,90	5,75	0,013
9.	5,91	21,09	5,73	10,65	5,55	0,017

Sorte III.

1.	6,14	20,55	5,93	10,33	5,72	0,020
2.	6,08	20,69	5,87	10,43	5,66	0,020
3.	6,02	20,84	5,78	10,54	5,53	0,024
4.	6,28	21,89	5,99	10,88	5,70	0,026
5.	6,66	23,34	6,30	11,46	5,95	0,031
6.	6,89	24,25	6,58	12,07	6,27	0,025
7.	8,37	29,44	8,07	14,82	7,77	0,020
8.	8,45	29,84	8,06	14,81	7,67	0,026
9.	8,46	29,95	7,92	14,62	7,41	0,035

Nachdem diese Bestimmungen ausgeführt waren, wurden sämmtliche Stäbe gehärtet; dabei haben sie sich fast alle

ein wenig gekrümmt, auch haben sich, wie eine Vergleichung von Tabelle 1 und 2 zeigt, die Volumina geändert, da diese Aenderungen aber nur gering waren, so habe ich trotzdem dieselben Werthe von P benutzt wie früher, die Resultate dürften durch den hieraus entspringenden Fehler nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

Wie schon erwähnt, wurde noch im September 1881 eine Reihe von Beobachtungen mit den Stäben I in gehärtetem Zustande ausgeführt, indem dieselben der Wirkung der verticalen Componente des Erdmagnetismus ausgesetzt wurden. Dabei zeigte sich, dass für diese Cylinder die Differenz der Ausschläge des Galvanometers, wenn der Inductor mit, oder wenn er ohne eingeschobenen Stahlstab gedreht wurde, so bedeutend gegen früher abgenommen hatte, dass die mit den Cylindern 7, 8, 9 angestellten Versuche verhältnissmässig wenig zuverlässige Resultate lieferten, daher wurde auf eine Bestimmung der Magnetisirungsfuction für diese Stäbe verzichtet. Aus demselben Grunde wurde von einer Bestimmung von k_h abgesehen. Die Beobachtungen lieferten folgende Resultate.

Tabelle 5.

Sorte I.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
k_v	2,29	2,20	2,28	3,19	2,16	2,32
	2,25	2,21	2,25	3,04	2,19	2,26
	2,29	2,23	2,25	3,18	2,18	2,32
	2,21	2,20	2,20	3,13	2,13	2,27
Mittel	2,26	2,21	2,25	3,13	2,16	2,29
m_v	7,95	7,84	8,02	11,15	7,77	8,24

Die Untersuchungen ruhten sodann bis Januar 1882, wo sie wieder aufgenommen und in den beiden folgenden Monaten zu Ende geführt wurden. Das Verhältniss der inducirenden Kräfte betrug $T:V = 1,9057:3,2268$. Um zu prüfen, ob die Stäbe sich in der Zwischenzeit geändert hätten, und wie gross sich der Einfluss in der Temperaturverschiedenheit zeigte, wurden zunächst die Beobachtungen mit I wiederholt und sodann auch II und III im gehärteten Zu-

stande dem Versuche unterworfen. Ebenso wenig wie die Stäbe der Sorte I erlaubten die der Sorte II eine genaue Bestimmung von k_h ; bei III zeigten sich dagegen keinerlei Schwierigkeiten. Die gewonnenen Resultate sind in den folgenden Tabellen verzeichnet.

Tabelle 6.

 k_v für I und II.

	I	II		I	II		I	II
1.	2,15	2,28	3.	2,17	2,37	5.	2,09	2,36
	2,19	2,31		2,19	2,39		1,95	2,34
	2,17	2,26		2,20	2,35		2,10	2,35
	2,25	2,25		2,17	2,39		2,10	2,36
2.	2,08	2,51	4.	3,07	4,25	6.	2,20	2,24
	2,15	2,45		3,05	4,19		2,21	2,20
	2,12	2,48		3,09	4,13		2,19	2,16
	2,14	2,46		3,09	4,15		2,21	2,19

Tabelle 6_a.

Sorte III.

	k_v	k_h		k_v	k_h		k_v	k_h
1.	8,83	8,69	3.	9,26	9,53	5.	12,19	12,16
	8,82	8,85		9,51	9,33		12,71	12,42
	8,96	8,80		9,90	9,65		12,74	12,26
	9,11	9,01		9,73	9,49		13,05	12,50
2.	9,70	9,51	4.	10,67	10,55	6.	12,14	11,91
	10,15	9,71		10,29	10,29		12,70	11,72
	10,22	9,61		10,58	10,21		12,57	11,94
	9,96	9,82		10,72	10,38		12,30	11,68

Die aus diesen Beobachtungen resultirenden Mittelwerthe sind in Tabelle 7 für I und II mit den zugehörigen Werthen von m zusammengestellt; die hier angegebenen Werthe für I gelten für eine Temperatur von $4,5^\circ$, während die in Tab. 5 mitgetheilten sich auf 18° beziehen. In Tabelle 7_a sind die Werthe von k_v und k_h für die Sorte III angegeben und ihnen die nach der Formel auf p. 243 berechneten Werthe von k_o und dem Factor a hinzugefügt.

Tabelle 7.

	Sorte I		Sorte II	
	k_v	m_v	k_v	m_v
1.	2,19	6,84	2,28	7,13
2.	2,12	6,71	2,48	7,81
3.	2,18	6,91	2,37	7,52
4.	3,08	9,78	4,18	13,13
5.	2,06	6,58	2,35	7,49
6.	2,20	7,03	2,20	7,00

Tabelle 7_a.

Sorte III.

	k_v	m_v	k_h	m_h	k_0	a
1.	8,93	25,62	8,84	15,00	8,71	0,008
2.	10,01	29,17	9,66	16,69	9,19	0,028
3.	9,60	28,75	9,50	16,71	9,36	0,008
4.	10,57	31,85	10,36	18,47	10,07	0,016
5.	12,67	38,27	12,33	22,03	11,87	0,021
6.	12,43	37,97	11,81	21,36	11,01	0,037

Die bisher mitgetheilten Tabellen zeigen, dass auch für Stahl folgende Sätze gelten:

1. Die Magnetisirungsfuction hat für eine verschwindende magnetisirende Kraft einen positiven Werth (Tab. 4 und 7_a)¹⁾.

2. Die Magnetisirungsfuction wächst anfangs mit der magnetisirenden Kraft (Tab. 3, 4, 6_a, 7_a).

3. Die Magnetisirungsfuction für schwache magnetisirende Kräfte wächst mit der Temperatur (Tab. 5, 7)²⁾. Eine Aenderung der Structurverhältnisse der Stahlsorte I in der Zeit eines halben Jahres ist anzunehmen nicht nothwendig. Andererseits reicht die Differenz der Werthe von k für 4,5° und 18° nicht aus zur Erklärung der Differenzen $k_v - k_h$, auch wenn man annehmen wollte, dass alle k_h bei niedrigeren Temperaturen bestimmt wären als die zugehörigen k_h , was allerdings nicht der Fall ist.

4. Die Sorten I und II zeigen bei zunehmender Härte eine Abnahme des Werthes der Magnetisi-

1) Baur, l. c. p. 399. Riecke, l. c. p. 497. Ruths, l. c. p. 15.

2) Baur, l. c. p. 403. Wassmuth, Beibl. 5. p. 66. 1881.

rungsfunction; diese Abnahme ist um so grösser, je dünner der Stab ist, was vielleicht darauf hindeutet, dass die Härtung bei den Cylindern von 4 mm Durchmesser besser gelungen ist als bei denen von 5 mm Durchmesser. Die Sorte III zeigt das entgegengesetzte Verhalten.

Wollte man annehmen, dass die Stäbe III durch das Glühen und plötzliche Ablöschen in einen weicheren Zustand gelangt wären, so wäre es doch wahrscheinlich, dass dieses bei den Stäben 5 und 6, da sie beim Eintauchen in Wasser wegen ihres kleineren Durchmessers schneller erkalten als die übrigen, weniger der Fall wäre als bei 1, 2, 3, 4. Es würden also diese beiden Cylinder nach dem Härten weniger von ihrem ursprünglichen Zustande abweichen als die übrigen. Da das magnetische Verhalten aber ganz entschieden hiergegen spricht, so glaube ich eher behaupten zu sollen, dass nicht bei allen Stahlsorten die Magnetisirungsfunction abnimmt, wenn die Härte steigt. Auch insofern zeigte III ein von I und II abweichendes Verhalten, als die Stäbe dieser Sorte einen verhältnissmässig starken permanenten Magnetismus angenommen hatten, während sämmtliche Stäbe denselben Bedingungen ausgesetzt waren; sie lagen, wenn eben nicht mit ihnen beobachtet wurde, neben einander in einem hölzernen Kasten nahezu senkrecht zum magnetischen Meridian.

Die Tabelle I zeigt, dass die von dem Axenverhältnisse der Cylinder abhängige Constante P für einige Cylinder der verschiedenen Sorten denselben Werth hat, man wird daher diese Stäbe zu einer Prüfung des Thomson'schen Satzes benutzen können, nach welchem das von denselben Kräften in der Gewichtseinheit ähnlich geformter Stäbe inducirte magnetischen Moment dasselbe sein soll.¹⁾

Bezeichnet man dieses Moment mit μ , so ist:

$$\mu = \frac{m}{s}.$$

Die Zusammenstellung der bezüglichen Werthe liefert nun folgende Tabellen:

1) Wied. Galv. (2) 2. 1. p. 418. 1874.

Tabelle 8.
Weicher Stahl.

		I	II	III			I	II	III
μ_v	2.	2,91	2,38	—	μ_h	2.	1,45	1,19	—
	3.	2,99	2,38	2,67		3.	1,49	1,19	1,35
	4.	2,05	2,53	—		4.	1,01	1,28	—
	5.	—	3,47	3,00		5.	—	1,74	1,47
	9.	3,49	8. 2,79	8. 3,83		9.	1,76	8. 1,79	8. 1,90

Tabelle 9.
Harter Stahl.

		I	II	III
μ_v	2.	0,87	1,01	—
	3.	0,90	0,97	3,66
	4.	1,26	1,69	—
	5.	—	0,99	4,90

Daraus ziehen wir das Resultat:

5. Der Thomson'sche Satz gilt nur für Eisen¹⁾, nicht aber für Stahl, weder für weichen, noch für harten.

Will man auch die verschiedenen Stäbe derselben Sorte untereinander vergleichen, so muss man sich dabei, wie ein Blick auf obige Tabellen zeigt, auf die Cylinder von gleichem Durchmesser beschränken²⁾, dabei ist I 4 von vorn herein auszuschliessen, dieser Cylinder ist sicher von einer ganz anderen Stahlorte. Es zeigt sich dann, dass die Magnetisirungsfuction für zusammengehörende Stäbe nahezu constant, also vom Axenverhältnisse unabhängig ist. Zur Erklärung der Verschiedenheiten von k für Stäbe von verschiedenem Durchmesser wird man annehmen müssen, dass die Structurverhältnisse in den Oberflächenschichten andere sind als im inneren Kern, und dass diese Verschiedenheit bei verschieden dicken Stäben verschieden entwickelt ist, während man sie bei gleich dicken Cylindern als gleich annehmen darf. Aus diesem Grunde wurde darauf verzichtet, den Einfluss zu prüfen, welchen die Abweichung der cylin-

1) Ruths, l. c. p. 11.

2) Strouhal u. Barus: Ueber den Einfluss der Härte des Stahls auf dessen Magnetisirbarkeit. Würzburg 1882.

drischen Form der benutzten Stäbe von der ellipsoidischen hat, die ja der Theorie zu Grunde liegt, indem etwa durch Abfeilen einem der Stäbe möglichst genau die Form eines Rotationsellipsoides gegeben, und dann eine neue Bestimmung der Magnetisirungsfuction vorgenommen wäre. Es war vor auszusehen, dass die Abweichung zwischen den Werthen von k vor und nach dem Abfeilen viel bedeutender ausfallen würde, als die Verschiedenheit der Formen sie bedingte.

Der oben an zweiter Stelle angeführte Satz steht in Widerspruch mit dem Resultate, zu dem Fromme (l. c.) durch seine Beobachtungen geführt wurde: k nimmt ab mit wachsender magnetisirender Kraft; k soll von einem grossen Werthe bei wachsender magnetisirender Kraft erst rasch, dann langsamer zu einem Minimum herabsinken. Da sich die Stahl-ellipsoide, mit denen Fromme experimentirte, im hiesigen physikalischen Institute noch vorfanden, so habe ich mit den gestrecktesten derselben die Bestimmung der Magnetisirungsfuction wiederholt und dabei die in den nachfolgenden Tabellen niedergelegten Werthe erhalten. Die Bezeichnung der Ellipsoide ist die von Fromme. Durch die zufällige Annäherung eines grossen Stabmagnets war das Verhältniss der horizontalen zur verticalen Componente der erdmagnetischen Kraft gegen die früheren Beobachtungen etwas verändert, es ergab sich $T:V = 1,717:3,096$.

Tabelle 10.

		I		II			I		II
Ellipsoid	4	5	4	5	Ellipsoid	4	5	4	5
k_v	14,65	15,02	8,74	7,34	k_h	10,26	9,17	7,48	6,72
	13,73	14,89	8,80	7,51		10,29	9,41	7,44	6,82
	14,63	15,19	8,55	7,33		10,01	8,92	7,25	6,56
	14,29	15,17	8,78	7,51		10,31	9,03	7,32	6,74

Die aus dieser Tabelle resultirenden Mittelwerthe stelle ich mit den entsprechenden Momenten der Volumeneinheit zusammen und füge den Werth der Magnetisirungsfuction für eine verschwindende magnetisirende Kraft als fernere Stütze des Satzes 1 p. 246 bei, ausserdem habe ich in die folgende Tabelle noch die Werthe der Function γ (cf. p. 238)

aufgenommen, das ist das magnetische Moment eines ähnlich gestalteten Körpers vom Volumen Eins, dividirt durch die magnetisirende Kraft, es muss diese Function also mit der Excentricität wachsen; je grösser das Axenverhältniss ist, desto mehr nähert sich der Werth von γ dem von k , mit dem er bei sehr starker Streckung des Cylinders zusammenfällt

Tabelle 11.

Ellipsoid	I		II		Ellipsoid	I		II	
	4	5	4	5		4	5	4	5
k_v	14,32	15,06	8,72	7,42	γ_v	2,02	3,06	1,87	2,52
m_v	6,25	9,47	5,79	7,80	γ_h	1,90	2,70	1,80	2,43
k_h	10,22	9,13	7,37	6,71	γ_o	1,79	2,36	1,72	2,33
m_h	3,28	4,64	3,09	4,17	α	0,036	0,074	0,026	0,024
k_o	5,68	3,44	5,84	5,88					
a	1,384	1,228	0,499	0,197					

Diese Werthe stimmen vollkommen mit den Resultaten überein, welche Fromme vor der Reparatur seines Inductors gefunden hat, und bestätigen den Satz 2 p. 241. In dem ausgeglühten Zustande, in welchem sich die Ellipsoide befanden, hat Fromme leider nur die Magnetisirungsfuction unter Einfluss der verticalen Componente für I bestimmt und gefunden: I 4, $k = 16,22$ I 5, $k = 11,37$.

Vergleicht man diese Werthe mit den von mir gefundenen, so ergibt sich, dass die Ellipsoide sich jetzt in einem ganz anderen Zustande befinden wie vor sieben Jahren, als Fromme mit ihnen beobachtete. Heute verhalten sie sich mit Beziehung auf die Aenderung der Magnetisirungsfuction bei wachsender magnetisirender Kraft, wie Eisen und die von mir untersuchten Stahlsorten. Damals war allerdings die Windungsfläche des Inductors nicht eben sehr genau bekannt¹⁾, aber der hierher rührende Fehler ist nicht im Stande die Abweichungen zu erklären, welche zwischen Fromme's Beobachtungen und den meinigen bestehen.

Um dann zu untersuchen, bei welchen inducirenden Kräften zuerst remanenter Magnetismus aufträte, hat Fromme

1) Riecke l. c. p. 495.

die Ellipsoide allmählich aufsteigenden galvanischen Kräften unterworfen, die Werthe, welche er dabei für k erhielt, hat er nicht discutirt, weil er sie für zu wenig genau hielt. Die auf diesem Wege gewonnenen Grössen sind für gleiche magnetisirende Kräfte zum Theil bedeutend kleiner als die früher bestimmten. Mag nun auch die Genauigkeit dieser Werthe keine grosse sein, so wird man doch die miteinander vergleichen dürfen, welche denselben Ellipsoiden zukommen. Für den Bereich der hier in Betracht kommenden Kräfte theilt Fromme¹⁾ folgende Werthe mit:

	f	k		f	k		f	k		f	k
I 3	1,739	6,86	II 3	2,427	4,77	I 5	1,670	8,70	II 5	1,724	5,23
	2,411	7,26		3,810	5,13		2,373	7,75		2,396	5,15
	3,803	8,30		—	—		2,636	7,71		2,651	5,17
4	1,731	5,94	4	1,731	4,31		3,872	7,79		3,857	5,16
	2,342	6,96		2,388	3,81						
	3,865	7,40		3,857	6,50						

Es sprechen also I 3, 4 und II 3 für den Satz 2 p. 241, I 5 und II 4 dagegen treten für Fromme's Ansicht ein, II 5 lässt mit Rücksicht auf die erwähnte Ungenauigkeit der Werthe die Frage unentschieden.

Ueberblicke ich alle vorliegenden Beobachtungen, so glaube ich zur Aufstellung des erwähnten Satzes 2 vollberechtigt zu sein. Es bleibt zwar die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass für gewisse Stahlsorten die Magnetisirungsfunktion schon bei sehr schwachen magnetisirenden Kräften mit wachsender Kraft abnimmt. Nach den bisherigen Beobachtungen aber sind diese Stahlsorten, vielleicht besser diese vorübergehenden Zustände von Stahlsorten, selten.

4. Die Magnetisirungsfunktion von Nickel.

Nach ganz derselben Methode wie bei den Stahlcylindern habe ich auch die Magnetisirungsfunktion eines chemisch reinen Nickeldrahtes, den ich der Güte des verstorbenen Geheimrath Wöhler verdanke, zu bestimmen mich bemüht. Der Draht hatte eine Länge von 560,94 mm und einen Durchmesser von 0,504 mm.

1) Fromme, l. c. p. 408 u. 409.

Die Beobachtungen waren sehr schwierig, da die Differenzen zwischen den Galvanometerabweichungen, wenn der Inductor mit, und wenn er ohne eingeschobenen Draht gedreht wurde, bei höchster Empfindlichkeit des Galvanometers und bei inducirender verticaler Componente der erdmagnetischen Kraft, noch nicht ganz einen Scalentheil betrugen. Es ist demnach der durch die Ungenauigkeit in der Galvanometerbeobachtung bedingte Fehler hier ein verhältnissmässig grosser, und man muss daher die Bestimmung häufiger wiederholen, wenn man ein einigermaßen genaues Endresultat erzielen will. Ich habe unter Einfluss der Wirkung der verticalen Componente des Erdmagnetismus, $V = 3,096$, bei einer Temperatur von 14° C. folgende zehn Werthe für k bestimmt:

2,71	1,25	2,27	2,24	1,59
2,76	2,15	1,97	1,98	2,97.

Daraus berechne ich, indem ich die einzelnen Werthe nach Maassgabe der bei ihnen begangenen Fehler in der Galvanometerbeobachtung berücksichtige, die Magnetisirungsfunktion des Nickels zu $k = 2,24$ für eine magnetisirende Kraft $f = 3,096$ mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,03$ oder $1,3\%$.

Es ist vielleicht nicht uninteressant, diesen Werth mit denjenigen zu vergleichen, welche Rowland bestimmt hat, indem er mit aus Nickel gegossenen Ringen von kreisförmigem Querschnitt unter Einwirkung stärkerer magnetisirender Kräfte arbeitete. Nehmen wir an, dass die Temperatur, bei welcher die in Rowland's erster Abhandlung¹⁾ mitgetheilten Werthe gewonnen wurden, etwa zwischen 12 bis 15° lag, so können wir dieselben mit den in der zweiten Abhandlung²⁾ gegebenen zusammenstellen. Wir berücksichtigen nur die bei den schwächsten Kräften erhaltenen Resultate und bekommen:

1) „Cast Nickel, normal“		2) „Cast Nickel, normal 15° “		3) „Cast Nickel, magnetic., 12° “	
f	k	f	k	f	k
18,01	3,69	12,84	4,10	—	—
36,49	5,10	26,85	6,35	23,25	4,18
44,32	6,69	45,14	13,06	47,69	12,91.

1) Rowland, Phil. Mag. (4.) 46. p. 153. Tab. VI. 1873.

2) Rowland, Phil. Mag. (4) 48. p. 327 u. 328. Tab. I u. II. 1874.

Dabei ist zu bemerken, dass die Resultate 1 nicht ganz so zuverlässig sind wie die übrigen, weil der benutzte Ring sich als ein wenig porös erwies. — Mit diesen Werthen scheint der oben für $f = 3,096$ angegebene, $k = 2,24$, wohl verträglich.

Göttingen, physikal. Inst., November 1882.

***V. Beiträge zur Geschichte der neueren dynamo-electrischen Maschinen mit einigen Bemerkungen über die Ermittlung des Wirkungsgrades electromagnetischer Motoren;
von A. von Waltenhofen.***

Aus den Sitzungsber. der k. böhm. Ges. der Wiss. (1882) im Auszuge mitgetheilt vom Verfasser.)

Nach einer geschichtlichen Einleitung über die Entwicklung der Electrotechnik von den folgenreichen Entdeckungen Oersted's und Davy's bis zum Zustandekommen der ersten für den Grossbetrieb geeigneten Dynamomaschine von Gramme wird hervorgehoben, dass die Herstellung solcher Maschinen, welche nicht nur sehr starke, sondern auch continuirliche Ströme liefern, auf eine glückliche Vereinigung von zwei vorausgegangenen wichtigen und sinnreichen Erfindungen zurückzuführen ist, nämlich auf das von Pacinotti herrührende Princip der continuirlichen Induction mittelst eines ringförmigen rotirenden Ankers und auf das von Werner Siemens herrührende Princip der dynamo-electrischen Stromerzeugung. Nach einer näheren sachlichen und geschichtlichen Besprechung dieser beiden Erfindungen (wobei der Verfasser auch auf seinen im 5. Bde. der 3. Auflage von Karmarsch und Heeren's technischem Wörterbuche erschienenen Artikel: „Licht, electrisches“ Bezug nimmt) geht derselbe auf den eigentlichen Gegenstand seiner Mittheilung über, nämlich auf die Frage: wann und von wem die vereinigte Anwendung dieser beiden Principien — also die Erzeugung von continuirlichen dynamoelectrischen Strömen — zuerst bewerkstelligt worden ist, und sagt darüber Folgendes.