ich dadurch prüfen, dass ich das Thomson'sche Phänomen in Quecksilber untersuchte. Meine Untersuchung, die ganz unabhängig von der theoretischen Arbeit des Hrn. H. A. Lorentz geschah, zeigte, dass im Quecksilber das Thomson'sche Phänomen nur $\frac{1}{3}$ war von dem im Wismuth. Deshalb mein Schluss, den ich als ganz richtig ansehe: das Thomson'sche Phänomen kann nicht durch Structuränderungen bedingt sein. Wenn aber als die Ursache einer Erscheinung Structuränderungen angenommen werden, muss man erwarten, dass die Grösse der Erscheinung mit der der Structuränderungen zusammenhängt.

Ich constatiere übrigens, dass Hr. Budde selbst keine Structuränderungen im Sinne der obengenannten Clausius'schen Hypothese annimmt, sondern den Thomsoneffect erklärt aus einer Aenderung in der Beziehung zwischen der in den Metallen enthaltenen Electricität und den in ihnen enthaltenen ponderablen Theilchen. Hiermit wird wohl jeder einverstanden sein: alle electrischen Erscheinungen, also auch die Thomson'sche, werden ja von jener Beziehung und deren Aenderungen abhängen.

Groningen, Mai 1887.

XI. Neuere Versuche über die Magnetisirungsformel; von A. von Waltenhofen.

Bei den Rechnungen, welche ich ausgeführt habe, um die theoretische Begründung der von Uppenborn aufgestellten Regel für die Bewickelung der Electromagnete der Dynamomaschinen zu untersuchen¹⁾, war ich zuerst veranlasst, eine Magnetisirungsformel in Anwendung zu bringen, welche als vereinigter Ausdruck der von Dub aufgefundenen empirischen Gesetze für den Einfluss der Länge und des Durchmessers betrachtet werden kann und folgendermassen lautet:

$$(1) \quad y = k \cdot n i \sqrt{l^3 d},$$

1) A. v. Waltenhofen, Zeitschr. f. Electrotechnik. 2. p. 163. 1884.

wobei y das magnetische Moment, n die Anzahl der magnetisirenden Drahtwindungen, i die Stromstärke, l und d beziehungsweise die Länge und den Durchmesser des magnetisirten Stabes bedeuten.

Diese Formel gilt, wie ersichtlich, nur innerhalb derjenigen Grenzen, innerhalb welchen das Lenz-Jacobi'sche Proportionalitätsgesetz zutrifft, was nach meinen Untersuchungen bis zu Sättigungsgraden von etwa 30 bis 50 Proc. der Fall ist.¹⁾

Aber auch innerhalb dieser Grenzen ist die Magnetisierungsformel für praktische Anwendungen ziemlich werthlos, solange man den Zahlenwerth des Coëfficienten k nicht kennt.

Ich habe mich deshalb schon seit längerer Zeit bemüht, diesen Zahlenwerth ausfindig zu machen, resp. die Grenzen, innerhalb welchen derselbe schwankt, wenn man die bis jetzt vorliegenden Beobachtungsergebnisse in Betracht zieht.

Leider sind für diesen Zweck die meisten bis jetzt durchgeführten Untersuchungen über das Magnetisierungsgesetz nicht verwendbar, weil bei denselben, mit wenigen Ausnahmen, nicht mit absoluten Einheiten gemessen wurde. Glücklicherweise haben meine eigenen durchwegs absoluten Messungen ein genügend umfangreiches Material mir an die Hand gegeben.²⁾

Es ergab sich zunächst, dass der Zahlenwerth von k , wenn y in absoluten Einheiten $C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}$, ferner i in Ampère und l und d in Centimetern gemessen werden, zwischen den Grenzen 0,1 und 0,2 liegen müsse³⁾ und in einer Abhandlung über die Formeln von Müller und Dub, welche im 27. Bande dieser Annalen erschienen ist, habe ich die Zahl 0,135 als einen mit sehr ausgedehnten Versuchen ziemlich gut übereinstimmenden Mittelwerth angegeben.

1) A. v. Waltenhofen, Wien. Ber. 61. p. 796. 1870.

2) A. v. Waltenhofen, Wien. Ber. 52. p. 87. 1865 u. 61. p. 771 u. 739. 1870. — Wied. Ann. 27. p. 638. 1886.

3) A. v. Waltenhofen, Zeitschr. f. Electrotechnik. 4. p. 12. 1886. [Die im Zusatze am Schlusse dieser Abhandlung gegebene Formel (35) habe ich in der oben citirten Abhandlung in Wied. Ann. berichtigt.]

Die Dimensionen der Eisencylinder, welche ich bis dahin untersucht hatte, waren zwischen den Grenzen: 1 cm Durchmesser und 9 cm Länge bis 7 cm Durchmesser und 27 cm Länge.

Ich habe nun seither Gelegenheit gehabt, mit einem noch viel grösseren Electromagnet Versuche zu machen, wohl dem grössten, welcher bis jetzt solchen Messungen unterworfen worden ist, nämlich mit einem Schenkel einer Edison'schen Dynamomaschine, welcher mir von der Firma Brückner, Ross und Cons. freundlichst zur Verfügung gestellt worden ist.

Derselbe (ich werde ihn mit XVI bezeichnen) hat einen Eisenkern von 23,4 cm Durchmesser und 52 cm Länge und ist mit 2628 Drahtwindungen versehen.

Dieser sammt Bewickelung etwa 215 kg schwere Electromagnet wurde im Garten des electrotechnischen Instituts auf hölzernen Böcken horizontal gelegt und so gerichtet, dass er einer 5 Meter davon entfernten Declinationsbussole¹⁾ in der ersten Hauptlage gegenüber lag. Die Entfernung 5 m war von Mitte zu Mitte gemessen; auch wurde darauf gesehen, dass die Bussole möglichst annähernd in der durch die Axe des Electromagnets gelegten Horizontalebene sich befand.

Das magnetische Moment der Magnetisirungsspirale wurde aus den Abmessungen der 12 Lagen zu je 219 Windungen berechnet und in runder Zahl für 1 Ampère = 140 000 C.-G.-S.-Einheiten gefunden.

Den magnetisirenden Strom lieferte eine Schuckert'sche Compoundmaschine (Modell JL_3), von welcher die Leitung aus dem Maschinenhause in den Garten geführt war, mit Einschaltung eines Siemens und Halske'schen Drahtsieberheostaten zur Regulirung der Stromstärke. Eine weitere Regulirung (durch Spannungsänderung) gestattete noch der Nebenschlussrheostat der Compoundmaschine.

Aus den an der Bussole gemachten Ablesungen wurde,

1) Die Aluminiumzeiger der 3 cm langen Magnethadel spielen auf einer Kreistheilung von 9 cm Durchmesser.

mit Anbringung der Correction hinsichtlich der Länge des Magnetcyinders¹⁾, zunächst das der Gesamtwirkung des Eisenkernes und der Magnetisirungsspirale entsprechende magnetische Moment berechnet und von diesem sodann das der betreffenden Stromstärke entsprechende magnetische Moment der Magnetisirungsspirale abgezogen.

Die so erhaltenen magnetischen Momente des Eisenkerns erscheinen in der nachstehenden Tabelle in der mit y' bezeichneten Rubrik in Millionen von absoluten Einheiten. Die mit y bezeichnete Rubrik enthält, auf dieselbe Einheit bezogen, die mittelst der Formel 1 berechneten Werthe, welche sich ergeben, wenn $k = 0,15$ angenommen wird. Die Rubrik i gibt die magnetisirenden Stromintensitäten in Ampère an.

i	3,0	4,0	4,97	5,65
y'	2,12	3,00	3,69	4,11
y	2,14	2,86	3,55	4,04

Unter der Annahme $k = 0,135$ würden die Werthe von y um 10 Proc. kleiner ausfallen, also eine erheblich weniger befriedigende Uebereinstimmung ergeben.

Ich lasse im Nachstehenden eine Zusammenstellung der Resultate von Versuchen folgen, welche bisher mit Electromagneten von sehr verschiedenen Dimensionen ausgeführt worden sind. Dabei haben l , d und n die bereits bekannten (bei Formel 1 angegebenen) Bedeutungen. Unter i ist die grösste Stromintensität angegeben, welche bei dem betreffenden Electromagnet überhaupt angewendet worden ist. y' ist das bei derselben beobachtete magnetische Moment in absoluten Einheiten. y ist das mit dem Mittelwerthe $k = 0,135$ berechnete Moment. Unter k_0 ist endlich noch derjenige Werth von k angegeben, welchen man annehmen müsste, um eine genaue Uebereinstimmung zwischen y und y' zu erhalten.²⁾ Die erste Rubrik enthält die den einzelnen Electromagneten in meinen Abhandlungen beigelegten Nummern.

1) Siehe F. Kohlrausch, prakt. Physik. (6. Aufl.) p. 198.

2) Ein Strich unter der letzten Decimale bedeutet, dass dieselbe durch Correctionen erhöht worden ist.

Nr.	l	d	n	i	$\frac{y}{k}$ für $k = 0,135$	y'	k_0
XI	9,05	1,0	26	8,83	843	785	0,126
I	10,3	2,8	144	4,6	4 948	4 700	0,128
X	18,1	1,0	52	12,45	6 733	5 860	0,118
XIII	13,5	7,0	192	20,5	69 730	74 981	0,145
XIV	27,0	7,0	384	19,6	377 146	344 729	0,123
XVI	52,0	23,4	2628	5,65	3 635 944	4 111 241	0,153

Man sieht hieraus, dass die Werthe von k zwischen 0,12 und 0,15 variiren, wobei zu bemerken ist, dass die Gewichte des kleinsten und des grössten der untersuchten Eisenkerne, beziehungsweise 56 und 174 000 g betragen¹⁾, also rund wie 1 zu 3000 sich verhalten.

Die Verschiedenheiten des Magnetisirungscoefficienten k scheinen einerseits im Einklange mit der Theorie der Permeabilität (Maxwell, Bosanquet u. a.) mit dem erreichten Sättigungsgrade (beziehungsweise mit dem Momente der Volumeinheit), und andererseits mit dem Verhältnisse der Länge zur Dicke der untersuchten Stäbe in einem gewissen Zusammenhange zu stehen, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist, welche zeigt, dass im allgemeinen dort ein kleinerer Werth von k sich ergibt, wo ein höherer Sättigungsgrad erreicht oder die Länge im Vergleiche zum Durchmesser gross ist. Die Rubrik y'/v enthält die magnetischen Momente für die Volumeinheit (d. h. für einen Cubikcentimeter) und die Rubrik l/d den Werth des Verhältnisses der Länge zum Durchmesser.

Nr.	XI	I	X	XIII	XIV	XVI
y'/v	110	74	412	144	332	184
l/d	9,05	3,68	18,10	1,93	3,86	2,22
k	0,126	0,128	0,118	0,145	0,123	0,153

Für den Electromagnet X haben beide Verhältnisse (y'/v und l/d) die grössten Werthe und dementsprechend

1) Aus dem Volumen berechnet, wenn man die Dichte des Eisens mit Weber zu 7,78 annimmt.

auch k den kleinsten Werth. Für die beiden Electromagnete XIII und XVI sind die Werthe jener Quotienten verhältnissmässig klein, und entsprechend auch in der That die Werthe von k verhältnissmässig gross. Freilich sollte k bei XVI vermöge der Werthe von y'/v und l/d eigentlich etwas kleiner sein als bei XIII. Doch sind beide Werthe wenig voneinander verschieden, und sind kleine Abweichungen von der hier angegebenen Regel wohl mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Verschiedenheiten der angewendeten Eisensorten ebenfalls unvermeidlich.

Wir wollen noch bemerken, dass bei keinem der untersuchten Electromagnete die Sättigungsgrade (30—50 Proc.) überschritten wurden, bis zu welchen, wie ich aus zahlreichen Versuchen von Dub und mir herausgefunden habe¹⁾, der Magnetismus mit der magnetisirenden Stromstärke proportional zu sein pflegt. Die den vorstehenden Werthen von y'/v entsprechenden Sättigungsgrade in Procenten waren nämlich folgende.

XI	I	X	XIII	XIV	XVI
7,9	5,3	29,4	10,3	23,7	13,1

Dabei ist als magnetisches Maximum pro Gramm ein Moment von 180 C.-G.-S.-Einheiten, also pro Cubikcentimeter ein Moment von 1400,4 C.-G.-S.-Einheiten angenommen.²⁾

In der That kann ja die Formel (1) nur innerhalb dieser Proportionalitätsgrenze (welche aus dem durch Gewicht oder Volumen bestimmten magnetischen Maximum zu berechnen ist) angewendet werden. Dabei zeigt es sich, wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, dass der im allgemeinen

1) Siehe die zweite Anmerkung in dieser Abhandlung. p. 134.

2) Aus meiner Abhandlung (Wien. Ber. 59. p. 780. 1869) ist ersichtlich, dass meine eigenen Untersuchungen für das magnetische Maximum der Gewichtseinheit im Mittel die Zahl 190 ergeben, während aus den Versuchen von Dub, Müller, Wassmuth und Weber bedeutend höhere Werthe (über 200) hervorgehen. Wir haben oben (mit Stefan) den viel kleineren, aus Rowland's Versuchen abgeleiteten Werth 180 eingesetzt.

zwischen den Grenzen 0,12 und 0,15 liegende Werth von k bei verhältnissmässig dicken Stäben und geringen Sättigungsgraden der oberen Grenze (0,15) sehr nahe ist.

Meine Magnetisirungsformel ist, wie ich bemerkt habe, öfter in dem Sinne aufgefasst worden, als gelte dieselbe nur für cylindrische Eisenstäbe.

Da ich jedoch in meinen bereits citirten electromagnetischen Untersuchungen¹⁾ gezeigt habe, dass prismatische Eisenstäbe ganz dasselbe electromagnetische Verhalten zeigen, wie gleichlange cylindrische von gleichgrossem Querschnitte²⁾, so ist die Formel (1) ebensogut auch auf prismatische Stäbe anwendbar. Man hat, wenn dies z. B. bei einem prismatischen Stabe von rechteckigem Querschnitte geschehen soll, nur:

$$(2) \quad d = \sqrt{\frac{4}{\pi} ab}$$

in die Formel (1) einzusetzen, wobei a und b die Querschnittseiten des prismatischen Stabes bezeichnen. So fände man z. B. für einen 60 cm langen prismatischen Stab, dessen Querschnitt ein Rechteck von 20×25 qcm ist, und welcher, mit 3000 Drahtwindungen bewickelt, durch einen Strom von 9 Ampère magnetisirt wird (wenn man $k = 0,15$ annimmt) ein magnetisches Moment von 9,45 Millionen.

Im allgemeinen hat man, wie immer der Querschnitt des untersuchten prismatischen Stabes gestaltet sein mag, für d den Werth des Durchmessers desjenigen Kreises einzusetzen, dessen Flächenraum der Querschnittsfläche des untersuchten prismatischen Stabes gleichkommt, also:

$$(3) \quad d = \sqrt{\frac{4}{\pi} f},$$

wenn f die Querschnittsfläche bedeutet.

1) A. v. Waltenhofen, 2. Abhandlung p. 781, Satz IV.

2) Bei Stahlstäben trifft dies, wie ich gefunden habe, nicht genau zu (Pogg. Ann. 121. p. 450. 1863). — Auch Bündel aus prismatischen oder cylindrischen Stäben von weichem Eisen verhalten sich, wenn die Stäbe nicht dicht beisammen liegen, nicht ganz so, wie gleichlange massive Stäbe von gleichem Querschnitte (2. Abhandlung meiner electromagnetischen Untersuchungen p. 782, Satz VI).

Schliesslich will ich noch eine bemerkenswerthe Erscheinung besprechen, welche an dem Electromagnet XVI gelegentlich noch beobachtet worden ist.

Als ich im Sommer des vorigen Jahres die in dieser Abhandlung beschriebenen Versuche ausführte, machte ich nebenbei auch einige Experimente, welche den Zweck hatten, die ausserordentliche Intensität des magnetischen Feldes und die mächtige Tragkraft dieses grossen Electromagnets zu veranschaulichen. Als ich bei einem dieser Versuche, welchem auch die Hrn. Peukert und Zickler beiwohnten, ein 75 cm langes und 2,55 kg schweres eisernes Prisma (Lineal) auf die verticale Polfläche des horizontal liegenden Magnetcyllinders senkrecht ansetzte, wobei dasselbe ohne Unterstützung in seiner horizontalen Lage durch die magnetische Anziehung festgehalten wurde, empfand ich ein stechendes Prickeln in den Fingern, welche mit den Kanten des Prismas in Berührung kamen, wenn ich dasselbe mit der Hand anfasste. Gleichzeitig machten die anderen Herren an der anderen Polfläche ähnliche Versuche und gewahrten ebenfalls physiologische Wirkungen, mitunter sogar ziemlich starke, als sie die an der Polfläche haftenden eisernen Gegenstände (Schlüssel) berührten.

Ich habe diese Erscheinungen, welche wir später auch anderen zeigten und in letzter Zeit mit Zuziehung des Hrn. Assistenten Frisch neuerdings beobachteten, als Inductionswirkungen erklärt, welche in den in das magnetische Feld eingeführten Metallmassen durch die infolge der Stromvibrationen der Dynamomaschine auftretenden Schwankungen des magnetischen Zustandes des Electromagnets hervorgerufen wurden, und demonstirte die Richtigkeit dieser Erklärung durch folgende zwei Experimente.

Ein Stab aus dem bekannten unmagnetisirbaren Stahle, in das magnetische Feld eingeführt oder an eine Polfläche angelegt, zeigte keine Spur von Magnetismus, wohl aber die physiologischen Wirkungen.¹⁾

1) Dieser Versuch hätte auch mit anderen unmagnetisirbaren Leitern ausgeführt werden können.

Als ich sodann die Dynamomaschine abschaltete und dafür den Strom einer grossen Accumulatorenbatterie in die Magnetisirungsspirale einführte, zeigten sich zwar immer noch die Wirkungen eines ungemein kräftigen magnetischen Feldes, aber mit der Beseitigung der Stromvibrationen waren auch die physiologischen Wirkungen spurlos verschwunden.

Bezüglich des vorhin erwähnten unmagnetisirbaren Stahles will ich noch folgendes mittheilen Hr. F. Uppenborn hatte die Güte, mir ein 21,5 cm langes und 6,5 mm dickes Stäbchen dieser angeblich¹⁾ 15 Proc. Mangan enthaltenden Stahlsorte einzusenden. Ich untersuchte dasselbe in einer das Stäbchen eng umschliessenden Magnetirungsspirale von gleicher Länge mit 264 Windungen bei Anwendung von Strömen bis zu 52 Ampère und konnte dabei keine Spur von Magnetismus nachweisen. Ob übrigens der Mangan-gehalt die Ursache des unmagnetischen Verhaltens ist, möchte ich bezweifeln, da meine Versuche mit Manganstahl²⁾ (freilich von geringerem Procentgehalte) keineswegs eine auffallend geringe magnetische Permeabilität erkennen liessen.

XII. *Electromagnetische Rotationserscheinungen flüssiger Leiter; von F. Schumann.*

(Hierzu Taf. I Fig. 7.)

In den „Nachrichten der Königl. Ges. der Wiss. zu Göttingen“ vom 6. December 1884 hat Hr. Prof. E. Riecke eine Abhandlung veröffentlicht: „Ueber die electromagnetische Rotation einer Flüssigkeit“, in der Versuche folgender Art beschrieben werden. Eine ringförmige Flüssigkeitsplatte aus einer Lösung von Zinkvitriol bestehend, welche oben und

1) Ueber den von Moses Eadon in Sheffield herrührenden unmagnetisirbaren Stahl vgl. Dingler's polyt. Journal 263. p. 60. 1887 nach den Mittheilungen des technolog. Gewerbemuseums in Wien vom Jahre 1886. p. 159.

2) A. v. Waltenhofen, Pogg. Ann. 121. p. 456. 1863.