diesen Gegenstand, welcher die Grundlage zu einer genauen Theorie des Commutators bildet, Ausführlicheres mittheilen zu können.

Dresden, im December 1851.

VIII. Ueber die Tragkraft der Elektromagnete; von Dr. Julius Dub.

Zu den neuesten Versuchen über die Gesetze, denen die elektromagnetische Anziehung folgt, gehören die von Hrn. Dr. Tyndall¹⁾.

Durch die Erfahrung belehrt, daß der Anker besonders durch seine Berührungsfläche die Beobachtung über die Anziehung der Elektromagnete erschwere und ungenau mache, wählt Hr. Tyndall, um den Einfluß der Form so viel wie möglich zu beseitigen, Kugeln aus weichem Eisen zu Ankern. Die Messungen, welche er damit anstellt, führen zu folgenden zwei Gesetzen²⁾:

1. *»Die wechselseitige Anziehung zwischen einem Magneten und einer Kugel aus weichem Eisen, wenn beide sich unmittelbar berühren, ist der Stärke des Magneten oder dem magnetisirenden Strome direct proportional.«*

2. *»Die gegenseitige Anziehung eines Elektromagneten und einer Kugel aus weichem Eisen, wenn beide von einander durch einen bestimmten Zwischenraum getrennt sind, ist dem Quadrate des erregten Magnetismus proportional.«*

Die früher von mir angestellten Versuche (Pogg. Ann. Bd. 80, S. 499) zeigen nur für Entfernungen dasselbe Resultat, wogegen bei Berührung des Ankers und Magneten die Tragkraft größer als das directe Verhältniß der Ströme ist. Ich fand bei doppelter Stromstärke ungefähr eine dreimal so große Tragkraft wie bei einfachem Strome, und

1) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 1.

2) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 36.

da in Entfernungen sich das Gesetz so klar herausstellt und ferner bei der Berührung die Fläche hindernd in den Weg tritt, so glaubte ich die Anziehung überhaupt proportional dem Quadrat der Ströme annehmen zu können.

Es ist nicht zu läugnen, daß Kugeln, als Anker benutzt, den scheinbar großen Uebelstand der ungleichmäßigen Berührung der Flächen beseitigen, so daß es wohl möglich gewesen wäre, mittelst derselben ein vorhandenes einfaches Gesetz leicht zu erkennen, während im anderen Falle dasselbe durch Versuchsfehler verdeckt wird.

Halten wir jedoch die beiden von Hrn. Tyndall aufgestellten Gesetze zusammen, so gelangen wir auf Fälle, die absolute Unmöglichkeiten enthalten. Wird z. B. bei der Stromstärke von 4° eine Kugel in Berührung mit 0,4 Pfd., in Entfernung von einer Papierdicke dagegen mit 0,04 Pfd. gehalten, so müßte sie nach Tyndall's Gesetzen bei einer Stromstärke von 35° , welche ziemlich genau das Zehnfache von der bei 4° ist, sowohl in der angegebenen Entfernung als in Berührung mit 4 Pfd. angezogen werden. Wächst nun im vorliegenden Falle die Stromstärke noch über das Zehnfache, so würde der absolut undenkbare Fall eintreten müssen, *daß die Kugel in gewissem Abstände mit größerer Kraft gehalten wird, als in unmittelbarer Berührung.*

Hr. Tyndall hat keine Versuchsreihen, in denen eine darauf bezügliche Zusammenstellung gemacht wäre, auch läßt sich dieselbe aus den vorhandenen Versuchen nicht leicht herstellen, sonst würde sich die Unhaltbarkeit eines der beiden Gesetze aus den Versuchen selbst zeigen.

Ich habe mich daher veranlaßt gefunden einige Versuche anzustellen, welche bei wachsenden Strömen die Anziehung eines und desselben Magneten sowohl in Berührung als in constanter Entfernung zeigen. Es wurde dazu der frühere Apparat mit einem Magneten von 12" Länge, 1" Durchmesser und 336 Drahtwindungen benutzt.

Da mir kein Rheostat zu Gebote stand, habe ich den Strom mit dem Widerstandsmesser auf einer bestimmten Ablenkung festgestellt, und dann jedes Mal die Tragkraft

in Berührung und Entfernung gemessen. Es sind in der Tabelle nur halbe Grade angegeben, da es nicht wohl möglich ist an der Tangentenbussole genauer zu beobachten. So steht also auf der Tabelle 4° , 8° , 12° , $15\frac{1}{2}^\circ$ u. s. w. während es *berechnet* heißen müßte 4° , $7^\circ 58''$, $11^\circ 50''$, $15^\circ 37''$ u. s. w., daß diese geringen Differenzen keinen Unterschied hervorbringen, welcher das Gesetz nicht erkennen liefse, beweisen die nachstehenden Versuchsreihen.

Als Anker benutzte ich zwei Kugeln aus weichem Eisen, deren eine $1\frac{1}{2}''$, die andere $\frac{3}{4}''$ Durchmesser hatte. Ich muß Hrn. Tyndall vollkommen beistimmen, daß sich mit diesen Kugeln mit viel geringerer Mühe experimentiren läßt, als dies bei andern Ankern der Fall ist, da sie ja immer in derselben Weise berühren *müssen*.

Ich hatte gar nicht nöthig, das Mittel aus vielen Versuchen zu nehmen, da sich stets bei Wiederholung eines und desselben Versuchs dieselbe Anziehung zeigte.

Da es mir nur darauf ankam, das Gesetz zu prüfen, so habe ich nur für die beiden Fälle zahlreiche Versuche angestellt, wo die Kugel den Magneten unmittelbar berührt, und wo sie von demselben durch eine Papierdicke getrennt ist. Ich führe von den angestellten Versuchen nur einige an, da alle anderen dasselbe Resultat gegeben haben.

I.

Tragkraft eines 12'' langen 1'' starken Magneten mit der Kugel aus weichem Eisen von $1\frac{1}{2}''$ Durchmesser.

Stromstärke.	Tangenten.	In Berührung.	In 1 Papierdicke	
			Entfernung.	
4°	0,0699	0,3 Pfd.	0,04 Pfd.	
8°	2 tg 4°	0,7 "	0,15 "	
12°	3 tg 4°	1,25 "	0,36 "	
$15\frac{1}{2}^\circ$	4 tg 4°	1,6 "	0,6 "	
19°	5 tg 4°	2,2 "	1,05 "	
23°	6 tg 4°	2,8 "	1,5 "	
26°	7 tg 4°	3,5 "	2,1 "	
29°	8 tg 4°	4,6 "	2,8 "	
32°	9 tg 4°	5,2 "	3,6 "	
35°	10 tg 4°	6, "	4,3 "	
$37\frac{1}{2}^\circ$	11 tg 4°	6,8 "	5 "	
40°	12 tg 4°	7,4 "	6 "	

II.

Tragkraft eines 12" langen 1" dicken Magneten mit einer Kugel aus weichem Eisen von $\frac{3}{4}$ " Durchmesser.

Strom.	Tangenten.	Tragkraft.	
		In 1 Papierdicke	Entfernung.
4 °	0,0699	0,09	—
8 °	2 tg 4 °	0,21	0,045
12 °	3 tg 4 °	0,45	0,098
15 $\frac{1}{2}$ °	4 tg 4 °	0,65	0,18
19 °	5 tg 4 °	0,8	0,26
23 °	6 tg 4 °	0,95	0,4
26 °	7 tg 4 °	1,25	0,5
29 °	8 tg 4 °	1,5	0,75
32 °	9 tg 4 °	1,85	1
35 °	10 tg 4 °	2,05	1,3
37 $\frac{1}{2}$ °	11 tg 4 °	2,2	1,5
40 °	12 tg 4 °	2,6	1,8.

Vergleichen wir diese Resultate unter einander, so sehen wir, daß für die Wirkung auf Entfernung die Tragkräfte sich genau wie die Quadrate der magnetisirenden Ströme verhalten; denn die vorhandenen Abweichungen sind ohne Zweifel auf die Versuchsfehler zu rechnen. Wir finden also hier das schon früher bekannte Gesetz bestätigt.

Anders verhält es sich mit den Tragkräften in unmittelbarer Berührung. Es läßt sich von diesen nicht behaupten, daß sie in directem Verhältniß der Stromstärken ständen, sondern wir finden mit der Zunahme des Stromes eine immer größere Abweichung, so daß sich annäherungsweise bei doppeltem Strome dreifache Anziehung zeigt. Jedoch auch dies könnte kein Gesetz seyn, denn es würde auch in diesem Falle, wenngleich erst bei stärkerem Strom, die oben angegebene Unmöglichkeit eintreten, daß die Tragkraft in Entfernung größer würde als in unmittelbarer Berührung.

Je stärker der Strom wird, desto geringer wird die Differenz zwischen der Tragkraft in Berührung und der

in Entfernung, wodurch dann eine allmälige Annäherung an eine constante Differenz sichtbar wird, so daß bei wachsendem Strome auch in Berührung das quadratische Verhältniß immer mehr hervortreten muß.

Da sich hier ungefähr dieselben Resultate ergeben, wie ich sie schon früher gefunden habe ¹⁾, wo ich sie jedoch der mangelhaften Berührung zuschrieb, indem ich glaubte es müßten sich eigentlich genau die Quadrate der Stromstärke zeigen; so entstand die Frage, ob denn die Kugeln überhaupt bessere Resultate geben, oder ob nicht trotz der mangelhaften Berührung bei anderen Ankern sich ganz dasselbe Resultat ergebe. Ich stellte daher dieselben Versuche mit einem der früher angewandten cylindrischen Anker an. Er war 4" lang und $\frac{1}{2}$ " dick.

III.

Tragkraft des 12" langen 1" dicken Magneten mit einem 4" langen $\frac{1}{2}$ " dicken cylindrischen Anker.

Tragkraft.

Strom.	Tangenten.	In 1 Papierdicke	
		In Berührung.	Entfernung.
4°	0,0699	—	—
8°	2 tg 4°	0,75 Pfd.	0,3 Pfd.
12°	3 tg 4°	1,85 "	0,68 "
15 $\frac{1}{2}$ °	4 tg 4°	3 "	1,2 "
19°	5 tg 4°	4,2 "	2 "
23°	6 tg 4°	6 "	2,9 "
26°	7 tg 4°	7,2 "	4 "
29°	8 tg 4°	8,6 "	5 "
32°	9 tg 4°	11,1 "	6,6 "
35°	10 tg 4°	12,6 "	8,4 "
37 $\frac{1}{2}$ °	11 tg 4°	14,5 "	10,2 "
40°	12 tg 4°	16 "	12 "

Diese Versuche geben genau dasselbe Resultat, wie die mit den Kugeln. Der Vergleich ist in diesem Falle leicht,

1) Pogg. Ann. Bd. 80, S. 506 und 507 Versuchsreihe X und XI und S. 500 Versuchsreihe XIII.

da ganz ohne meine Absicht sich hier ungefähr das Doppelte von dem in No. I. zeigt.

Somit bin ich zu der Ueberzeugung gelangt, daß sich zwar mit Kugeln, als Anker benutzt, bequemer experimentiren lasse, daß sie jedoch durchaus nichts Anderes ergeben als andere Anker, und *daß mithin das von Hrn. Tyndall aufgestellte Gesetz über die Tragkraft der Magnete in Berührung keine allgemeine Gültigkeit hat*. Die scheinbare Annäherung an ein solches Gesetz, welche sich bei Anwendung schwacher Ströme zeigt, hat möglicherweise zu der Annahme desselben veranlaßt.

Andererseits zeigen jedoch auch die Versuche, daß das Gesetz *der Quadrate* für die Tragkraft in Berührung nicht allgemein und genau ist, so daß der von Lenz und Jacobi aufgestellte und auch von mir in diesen Annalen Bd. 81, S. 72 No. II. angeführte Satz: *Die Anziehung verhält sich wie die Quadrate der magnetisirenden Ströme*, dahin beschränkt werden muß, daß dieß Gesetz nur für die Wirkung in Entfernung allgemeine Geltung hat.

Schließlich sey hier mir noch erlaubt darauf aufmerksam zu machen, daß durch ein Versehen von mir, welches ich leider erst bemerkte, als der Aufsatz schon im Druck erschienen war, in diesen Ann. Bd. 81, S. 47 der Satz steht: *»Die Anziehung verhält sich wie Stromstärke mit der Windungszahl multiplicirt.«* — Dieser Satz ist von den HH. Lenz und Jacobi in Bezug auf den freien Magnetismus, welcher auf die Magnetnadel oder die Inductionspirale wirkt, mit Recht ausgesprochen; allein in Bezug auf die *»Anziehung«* verhält es sich anders. Ich habe gezeigt: *Die Anziehung verhält sich wie das Quadrat der Ströme* (Satz von Lenz und Jacobi) ferner: *die Anziehung verhält sich wie das Quadrat der Windungszahl*. Daraus folgt *a priori* *»daß sich die Anziehung verhalten müsse wie das Quadrat der Ströme multiplicirt mit dem Quadrat der Windungszahl.«*

Dafs mir der Fehler nicht früher auffiel, kam daher, dafs der Satz nur in dem Falle angewandt wurde, wo der Strom in demselben Maafse stieg, als die Windungszahl abnahm. Wenn der Strom doppelt so grofs wird, während die Windungszahl sich auf die Hälfte verringert, so mufs natürlicher Weise die Anziehung dieselbe bleiben, mag die Zu- oder Abnahme in einfachem oder quadratischem Verhältnifs stattfinden.

Um mich nun zu überzeugen, dafs der *a priori* erschlossene Satz für die Anziehung überhaupt richtig sey, stellte ich Versuche an, in denen der Strom und die Windungszahl variierten und fand die genaueste Bestätigung.

Ich will hier nur ein Beispiel aufführen:

IV.

Anziehung eines $1\frac{3}{4}$ " dicken 12" langen Magneten auf eine Kugel als Anker von $1\frac{1}{2}$ " Durchmesser bei einer Entfernung von einer Papierdicke.

11° Ablenkung	130	Spiralwindungen	0,033	Pfd.
21	"	130	"	0,138 "
11	"	260	"	0,14 "
21	"	260	"	0,58 "

Diese Versuche ergeben, dafs bei doppelter Windungszahl und doppeltem Strome fast genau die 16 fache Anziehung auftritt. Dafs sogar noch das Maafs überstiegen wird, hat darin seinen Grund, dafs die Kugel bei stärkerer Wirkung des Magneten das Papier fester andrückt, mithin der Abstand nicht genau derselbe bleibt. Es wird also auch durch das Experiment die Wahrheit des Satzes bewiesen:

»Die Anziehung verhält sich wie das Quadrat der Ströme multiplicirt mit dem Quadrat der Windungszahl.«

Berlin, den 3. December 1851.