

Dagegen müßte es, wenn Poggiale's Formel, wie L. Gmelin annimmt, richtig wäre, aus 14,07 Chromsäure, 13,18 Kali, 55,94 Quecksilber und 16,81 Cyan bestehen.

XV. Ueber die Erscheinungen bei geschlossenen Elektromagneten; von J. C. Poggendorff.

(Aus den Monatsberichten der Academie 1851 November, mit einigen Zusätzen.)

Unter geschlossenen Elektromagneten versteht der Verf. solche, welche, wie die ringförmigen oder wie die hufeisenförmigen nach Anlegung eines Ankers, ein mehr oder weniger vollständiges Continuum darstellen. Die Klasse der ersteren ist bisher wenig beachtet worden, die der letzteren dagegen ist in Bezug auf die Kraft, mit welcher der Anker festgehalten wird, schon mehrfach in Untersuchung genommen, namentlich, was den Vergleich dieser Kraft, der sogenannten Tragkraft, mit der Stärke des den Magnetismus erregenden galvanischen Stroms betrifft, von Fechner¹⁾, von Lenz und Jacobi²⁾, von Joule³⁾ und von Oersted⁴⁾. Allein die Resultate dieser Physiker sind theils schwankend, theils widersprechend. Daher schien es dem Verf. nicht überflüssig den Gegenstand wieder aufzunehmen, zumal sich daran noch andere unerledigte und interessante Fragen anknüpfen lassen.

Die zu dem Ende von ihm angestellten Versuche bestätigen zunächst, was schon aus denen von Oersted und einigen der von Lenz und Jacobi hervorblickt, *dafs die Tragkräfte langsamer wachsen als die Stromstärken*, fü-

1) Schweigg. Journ. (1833) Bd. 69, S. 274 und 316.

2) Diese Ann. (1839) Bd. 47, S. 410.

3) *Philosoph. Magaz.* (1851) *Ser. IV. Vol. II. p. 310* und Sturgeon, *Ann. of Electricity* (1839) *Vol. IV. p. 131.*

4) Diese Ann. (1848) Bd. 75, S. 447.

gen aber den Satz hinzu, *dass dieses Wachsen mit steigender Stromstärke immer langsamer erfolgt, so dass die Tragkräfte sich asymptotisch einem constanten Werthe nähern*, — einem Werthe, dessen absolute Gröfse natürlich von der Beschaffenheit des Magnets und seines Ankers abhängt.

Als Beleg dazu hier nur die Resultate einer Versuchsreihe, bei welcher Magnet und Anker in unmittelbarer Berührung standen und die Stromstärken durch die Sinusbussole gemessen wurden.

Relative Stromstärke. Relative Tragkräfte.

1,000	1,000
1,846	1,757
2,375	2,000
3,181	2,392
4,117	2,595
5,070	2,608
6,025	2,797
7,378	2,851
9,648	2,960
10,350	3,149,

aus welchen Zahlen der obige Satz hervorgeht, wenn man die Quotienten der Differenzen der Stromstärken in die der entsprechenden Tragkräfte aufsucht.

Bei der grofsen Schwierigkeit, welche die scharfe Bestimmung der Tragkräfte darbietet, ist der Verf. nicht gemeint, für diese Zahlen einen hohen Grad von Genauigkeit in Anspruch zu nehmen; auch glaubt er nicht durch sie ein allgemeines Gesetz numerisch ausgedrückt zu haben, da die Progression der Tragkräfte nicht allein nach der Beschaffenheit des Magnets und des Ankers verschieden ist, sondern auch ebenso sehr von der absoluten Gröfse der Stromstärke oder vielmehr des galvanischen Moments ¹⁾ abhängt. Aber die Convergenz dieser Progression hält er

1) Unter galvanischem Moment versteht der Verf. kurz das Product aus der Stärke in die Länge des Stroms, multiplicirt mit dem von der Gestalt und dem Abstände bedingten Coëfficienten, der indess, wie die Länge des magnetisirenden Stroms, bei diesen Versuchen immer constant blieb.

durch obige und andere von ihm erlangte Resultate für unzweifelhaft festgestellt, schon deshalb, weil, wenn sie nicht stattfände, es möglich seyn müßte, unendlich große Tragkräfte herzustellen, was nicht allein sehr unwahrscheinlich wäre, sondern auch in geradem Widerspruch stände mit der von J. Müller ¹⁾ nachgewiesenen und von Ampère's Theorie mit Nothwendigkeit geforderten Gränze der Magnetisirbarkeit.

Die große Abweichung, welche die Tragkräfte von den durch Lenz und Jacobi für die galvanische Magnetisirung des Eisens und für die elektromagnetische Anziehung in distans gefundenen Gesetzen darbieten, ist ungemein hervortretend. Hätten Hufeisen und Anker eine der Stromstärke proportionale Magnetisirung erfahren, und wäre ihre gegenseitige Anziehung auch proportional dem Quadrat der von ihnen erlangten Magnetkraft gewesen, so hätte, bei einer Zunahme der Stromstärke von 1 auf 10, die Tragkraft im Verhältniß 1:100 wachsen müssen, wogegen sie in Wirklichkeit nur von 1 auf 3 gestiegen war! Diese außerordentliche Abweichung von den einfachsten Voraussetzungen, die wohl bei keinen früheren Versuchen so schlagend hervorgetreten ist, hat ihren Grund offenbar zunächst in der Reaction, welcher der Anker auf seinen Elektromagnet ausübt, und vermöge welcher dieser einen höheren Grad von Magnetismus annimmt, als ihn durch alleinige Wirkung des galvanischen Stroms eingeprägt seyn würde.

Ein Blick auf die Progression der Tragkräfte lehrt, daß diese zusätzliche Erhöhung des Magnetismus bei den kleinen Stromstärken bedeutender ist als bei den größeren, oder daß sie in dem Maasse abnimmt als der Magnet bereits mehr an Kraft gewonnen hat; aber man erfährt dadurch nicht, in welchem Verhältnisse die Kraft des Magnets insgesamt mit der Stärke des galvanischen Stromes zunimmt, und ebenso wenig, nach welchem Gesetz Magnet und Anker einander anziehen.

1) Diese Ann. (1850) Bd. 79, S. 337 und (1851) Bd. 82, S. 181.

Um hierüber Aufschluss zu erhalten, griff der Verf. zu dem Mittel, welches die Messung der von einem Elektromagnet erregten Inductionsströme darbietet, da die Stärke dieser Ströme als proportional der Gesamtheit des entwickelten Magnetismus angesehen werden kann. Er umgab daher ein Hufeisen mit zwei Drahtrollen, deren jede zwei wohl isolirte Drähte enthielt, und verknüpfte diese solchergestalt, dafs zwei Drahtleitungen gebildet wurden, von denen die eine die galvanische Kette und die Sinusbusssole einschlofs, die andere aber zur Inductionsbussole führte. Um alle hier aufkommenden Fragen zu beantworten, maafs er die Inductionsströme, bei verschiedener Stärke des galvanischen Stromes, in vier Fällen, nämlich *a*) bei offenem Magnet, *b*) bei geschlossenem Elektromagnet und erster Schließung der galvanischen Kette, *c*) bei geschlossenem Elektromagnet und wiederholter Schließung der Kette, und *d*) bei Abreißung des Ankers, der überdies bei der einen Versuchsreihe ein breiter, und bei der anderen ein schmaler, das Hufeisen nicht ganz bedeckender war.

Als Beispiel der hier gewonnenen Resultate möge die folgende Tafel dienen, in welcher die Stärke der Inductionsströme *a*, *b*, *c*, *d* ausgedrückt ist durch den Sinus des halben Ausschlagswinkels in der Inductionsbussole, vermindert um den schwachen Strom, den das primäre Drahtgewinde direct in dem secundären hervorrief. Der Strom *d* hatte gegen die ersteren drei, welche beim Schließen der Kette beobachtet wurden, natürlich umgekehrte Richtung.

Breiter Anker.	Schmaler Anker.
$i = \sin 4^\circ 25' = 1,000.$	
$a = + 4,36$	$a = + 4,80$
$b = + 32,10$	$b = + 20,77$
$c = + 10,45$	$c = + 9,58$
$d = - 25,01$	$d = - 14,77$

Breiter Anker.

Schmaler Anker.

$$i' = \sin 5^\circ 31' = 1,249.$$

$$a' = + 10,23$$

$$a' = + 10,23$$

$$b' = + 49,66$$

$$b' = + 28,98$$

$$c' = + 17,99$$

$$c' = + 17,13$$

$$d' = - 34,75$$

$$d' = - 17,13$$

$$i'' = \sin 10^\circ 21' = 2,335.$$

$$a'' = + 16,06$$

$$a'' = + 16,06$$

$$b'' = + 58,86$$

$$b'' = + 37,77$$

$$c'' = + 24,15$$

$$c'' = + 22,04$$

$$d'' = - 39,37$$

$$d'' = - 16,92.$$

Diese Messungen haben, wegen Unvollkommenheit der Inductionsbussole, keine sehr grofse Genauigkeit; aber sie reichen hin, die hier auftretenden Verhältnisse im Allgemeinen zu beurtheilen.

So sieht man, dafs die Ströme b , auf die es hier hauptsächlich ankommt, stärker sind als alle übrigen, namentlich bei geringer Intensität des galvanischen Stroms, und dafs sie mit Erhöhung dieser Intensität relativ nur langsam wachsen. Sie messen offenbar den totalen Magnetismus, welchen das Hufeisen durch vereinte Wirkung des galvanischen Stroms und des Ankers annimmt, und sie sind deshalb nothwendig stärker als die Ströme c , da diese nur aus der Differenz des totalen und remanenten Magnetismus entspringen. Die Ströme d gehen im Wesentlichen blofs aus dem remanenten Magnetismus hervor, und, wenn beim Abreißen des Ankers der permanente Magnetismus unverändert bliebe, müfste wohl $b = c + d$ seyn.

Wenn es richtig ist, dafs die Ströme b den totalen Magnetismus geschlossener Elektromagnete messen, so ist klar, dafs sie auch in einer bestimmten Beziehung zu den Tragkräften stehen werden, und es fragt sich nur, in welcher?

Vor Anstellung der eben erwähnten Versuche hatte der Verf. geglaubt, die Tragkraft würde, wie die actio in distans zweier Elektromagnete, proportional seyn dem Quadrat der Stromstärke b ; allein schon der Anblick der

gewonnen Zahlen machte diese Vermuthung im höchsten Grade unwahrscheinlich.

Um sich weiter hierüber aufzuklären, stellte er daher neue Versuche an, bei welchen an einem und demselben Hufeisen, bei verschiedenen Stärken des galvanischen Stromes, gemessen wurde: die totale und die permanente Kraft, so wie der Inductionsstrom *b*.

Diese Messungen konnten, verschiedener Umstände wegen, nicht in der zu wünschenden Schärfe ausgeführt werden, aber dennoch zeigten sie aufs deutlichste, *dafs die temporären Tragkräfte, d. h. die totalen, weniger die permanenten, bei weitem nicht proportional gehen dem Quadrat der Inductionsströme *b*, sondern vielmehr dem einfachen Verhältnifs dieser Ströme oder der einfachen Kraft des Magnets nahe kommen.*

Bei der Unvollkommenheit seiner bisherigen Messungen, und bei der grofsen Schwierigkeit, welche die richtige Bestimmung der Tragkräfte, aller Sorgfalt ungeachtet, immer haben wird, wäre der Verf. nicht abgeneigt, schon jetzt die einfache Proportionalität der Tragkräfte mit der magnetischen Intensität als den wahren Ausdruck des Sachverhältnisses zu betrachten, wenn er es anderseits doch nicht für gerathener hielte, sein definitives Urtheil zu verschieben, bis er, durch Wiederholung der Messungen mit vervollkommen Instrumenten, den numerischen Resultaten einen höheren Grad von Zuverlässigkeit gegeben haben wird.

Bei dieser Gelegenheit bemerkt der Verf., dafs wenn künftige Beobachtungen seinen Satz bestätigen sollten, derselbe doch nicht ganz zusammenfallen würde mit dem neuerdings von J. Tyndall aufgefundenen Resultate ¹⁾: »dafs die wechselseitige Anziehung zwischen einem Elektromagnet und einer Kugel von weichem Eisen, bei unmittelbarer Berührung beider, der Stärke des Magnets proportional ist.« Denn bei Tyndall wird die Stärke des Magnets wiederum als proportional der Stärke des galvanischen Stroms betrachtet, und wohl nicht mit Unrecht, da die Reaction

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

einer kleinen Eisenkugel auf einen geraden Elektromagnet, welchen dieser geschickte Physiker immer anwendet, nur sehr unbedeutend seyn kann. Die Magnetstärke dagegen, von welcher der Verf. spricht, ist jene durch die Reaction des Ankers bedeutend erhöhte, welche der Stromstärke nicht mehr proportional geht und wesentlich von der Natur und den Dimensionen des Ankers bedingt wird. Aber in beiden Fällen würde es die *wahre* Magnetkraft seyn, welcher die Anziehung, im scheinbaren Widerspruch mit den Principien der Mechanik, direct und einfach proportional ginge.

Im weiteren Verlaufe seines Vortrags handelt der Verf. von der *remanenten* Tragkraft geschlossener Elektromagnete und theilt Messungen mit, aus welchen hervorgeht, daß diese nicht constant ist, sondern wächst mit der Stromstärke, obwohl in geringerem Verhältniß als die totale Kraft. Um zu ermitteln, in wie fern sie von der Coërcitivkraft abhängt, hat er sie bestimmt an Hufeisen von gleichen Dimensionen aus ungehärtetem Stahl und aus weichem Eisen, die durch einen und denselben Auker aus letzterm Material geschlossen wurden. Nachstehende Tafel wird von den erlangten Resultaten eine Vorstellung geben.

Stromstärke.	Tragkräfte, in Unzen ausgedrückt.					
	Hufeisen aus ungehärtetem Stahl.			Hufeisen aus weichem Eisen.		
i.	Total.	Remanent.	Permanent.	Total.	Remanent.	Permanent.
sin 5° 0' = 1	60½	37½	35½	100½	57½	8
» 10 2½ = 2	86½	66	35½	166	74½	8
» 15 9½ = 3	129	83	39½	213	93½	8
» 21 37½ = 4	162	97½	46½	268	100½	8
» 25 50 = 5	191½	106½	44½	297	100½	8
» 31 32 = 6	233	127½	45½	326	102½	8
» 37 36 = 7	281	125	48½	333	105½	8
» 44 12 = 8	277	133	48	353	110½	8
» 51 40 = 9	301	133	48	357	107½	8

Obwohl diese Resultate nicht frei sind von Anomalien, so geht doch aus ihnen deutlich hervor, daß die remanente Tragkraft, so wie sie unmittelbar beobachtet worden, beim ungehärteten Stahle größer ist als beim weichen Eisen, daß sich aber dieses Verhältniß umkehrt, so wie man von ihr, was nothwendig scheint, die permanente Tragkraft abzieht, da sie diese bei der Beobachtung einschließt. Nach Abzug der genannten Kraft ist die remanente bei dem weichen Eisen, ungeachtet der geringen Coërcitivkraft desselben, größer als beim ungehärteten Stahl. Der Verfasser würde dieses Resultat als entscheidend in der Frage über den Ursprung der remanenten Tragkraft betrachten, wenn man nicht andererseits den Einwurf machen könnte, daß das beim Stahl beobachtete Resultat ein gemischtes war, hervorgegangen aus der remanenten Tragkraft des stählernen Elektromagnets und der des eisernen Ankers.

Er macht übrigens bei dieser Gelegenheit die Bemerkung, daß der weiche Stahl, was sich schon aus obiger Tafel entnehmen läßt, in hohem Grade des temporären Magnetismus fähig ist, darin dem weichen Eisen sehr nahe kommt, und daß, wenn er gegen dieses zurückbleibt, dieß weniger von einer Verschiedenheit in der directen Magnetisirbarkeit der Theilchen herrühre, als von einem Unterschied in dem was Faraday magnetische Leitungsfähigkeit nennt, von einer Verschiedenheit der Fortpflanzung der Polarität von Theilchen zu Theilchen.

Ein Stab von ungehärtetem Stahl und ein Stab von weichem Eisen, die beide ganz von einem gleichen Drahtgewinde umgeben sind, zeigen, wenn der Strom das letztere durchläuft, nur wenig verschiedene Tragkräfte, aber der Unterschied steigert sich sogleich bedeutend zum Nachtheil des Stahls, so wie man die Stäbe, auch nur um einen Zoll, zum Drahtgewinde hervorragen läßt.

Der *remanente* Magnetismus ist Ursache, daß ein Hufeisen, welches durch seinen Anker geschlossen ist, bei der zweiten Magnetisirung durch den galvanischen Strom lange

nicht die Inductionswirkung giebt, welche es bei der ersten gab, wie dieß aus den früher mitgetheilten Werthen der Ströme *b* und *c* zur Genüge erhellt. Jede folgende Magnetisirung in demselben Sinn liefert immer nur den schwächeren Strom *c*.

Kehrt man aber die Richtung der Magnetisirung um, indem man den galvanischen Strom entgegengesetzt wirken läßt, so erhält man den Inductionsstrom nicht allein von anfänglicher, sondern von fast doppelter Stärke. Eine zweite Magnetisirung in dem neuen Sinne giebt freilich wiederum den schwachen Strom. Führt man aber fort mit der Umkehrung der Magnetisirung, so erhält man auch andauernd, obwohl natürlich von eben so abwechselnder Richtung, diesen verdoppelten Inductionsstrom, der an Stärke denjenigen, welchen das offene Hufeisen unter gleichen Umständen liefert, sehr bedeutend übertrifft.

Es scheint nicht, daß man hievon schon eine Anwendung gemacht hätte auf die durch galvanische Ströme in Thätigkeit gesetzten elektro-magnetischen Apparate. Alle Apparate der Art, die der Verf. gesehen, besitzen entweder einen geraden Elektromagnet, oder, wie der Neef'sche, einen hufeisenförmigen, der durch einen beweglichen Anker abwechselnd geschlossen und geöffnet wird, nicht dauernd geschlossen bleibt. Auch wird in diesen Apparaten, vermöge ihrer Construction, der galvanische Strom nur unterbrochen, nicht umgekehrt. Und doch ist von der Umkehrung des Stroms und der gleichzeitigen Anwendung eines geschlossenen Magnets gerade die kräftigste Inductionswirkung zu erlangen.

Die leichte Umkehrung des remanenten Magnetismus, selbst durch einen Strom von bedeutend geringerer Stärke als die desjenigen, welcher ihn hervorrief, ist ein Beweis von der großen Beweglichkeit desselben, und möchte wohl nicht für Poisson sprechen. Er steht hierin in einem bemerkenswerthen Contrast zum permanenten Magnetismus, selbst so wie er sich im weichen Eisen findet.

Magnetisirt man ein offnes Hufeisen von weichem Ei-

sen, das einen gewissen Grad von permanenter Polarität besitzt, durch einen galvanischen Strom in entgegengesetztem Sinn, so kann man bewirken, daß das Eisen für die Dauer des Stroms die umgekehrte Polarität erhält, nach Aufhebung des Stroms aber wieder die ursprüngliche zeigt. Es kommt dabei nur auf die Stärke des Stromes an; ist diese zu groß, so wird allerdings auch die permanente Polarität umgekehrt.

Eine ähnliche Erfahrung machte der Verf. schon vor längerer Zeit an seinem Logeman'schen Hufeisenmagnet. Als dieser, der aus sehr hartem Stahle besteht, zu anderweitigen Zwecken mit einem Drahtgewinde umgeben und durch den Strom im entgegengesetzten Sinne magnetisirt wurde, nahm derselbe eine umgekehrte Polarität von beträchtlicher Stärke an, aber nur temporär, denn so wie der Strom unterbrochen ward, kam die ursprüngliche permanente Polarität, obwohl bedeutend geschwächt, wieder zum Vorschein.

Diese Beobachtungen zeigen, daß in einem Magnet gleichzeitig zwei entgegengesetzte Polarisationen oder zwei verkehrt liegende Reihen von Ampère'schen Strömen vorhanden seyn können.

Was vorhin von einem durch seinen Anker geschlossenen Hufeisen gesagt worden, gilt auch von einem wahren Continuum, von einem geschmiedeten Eisenring. Das war wohl vorauszusehen, ist aber doch merkwürdig.

Ein solcher Ring, seiner Peripherie nach überall gleichmäßig magnetisirt, stellt einen Magnet ohne Pole dar, der nach außen keine Wirkung ausübt; dennoch zeigt er im Act der Magnetisirung dieselben Inductionserscheinungen, welche ein Hufeisen mit angelegtem Anker unter gleichen Verhältnissen darbietet. Der Verf. hat sich davon überzeugt, indem er einen Eisenring seiner ganzen Ausdehnung nach gleichmäßig mit zwei Drähten unwickelte, von denen der eine zur galvanischen Kette, der andere zur Inductionsbussole führte.

Aehnliche Ringe oder Röhren von kleineren Dimensionen könnten vielleicht zu ganz interessanten Versuchen mit der Reibungs-Elektricität dienlich seyn.

XVI. *Magnetisirung des Stahls und des Eisens durch den galvanischen Strom; von J. Müller.*

Um den Magnetismus, welchen der galvanische Strom im weichen Eisen hervorruft, mit demjenigen zu vergleichen, welcher unter denselben Umständen im Stahl und Gußeisen erzeugt wird, stellte ich Versuche in folgender Weise an:

Westlich von einer Bussole wurde eine Magnetisirungspirale von 200 Windungen und 15 Centimeter Länge so aufgestellt, daß die Mitte der Spirale 0,5 Meter weit von der Mitte der Nadel entfernt war. Die Axe der Spirale stand natürlich rechtwinklich auf dem magnetischen Meridian. Bei einer Versuchsreihe, deren Resultate in der folgenden Tabelle unter *A* stehen, ging durch die Spirale der Strom einer Säule, welche aus 2 Plattenpaaren bestand, deren jedes durch 3 Bunsensche Becher gebildet wurde; bei einer zweiten Versuchsreihe, deren Resultate unter *B* stehen, wurde der Strom einer Säule von 4 dreifachen Bunsenschen Bechern angewandt. In diese Spirale wurden der Reihe nach die in der folgenden Tabelle verzeichneten Stäbe eingeschoben, welche sämmtlich 16,7 Centimeter lang waren und 6^{mm} Durchmesser hatten. Die Ablenkung, welche durch den Einfluß der durchströmten Spirale und den Magnetismus des eingeschobenen Stabes zusammen hervorgebracht wurde, steht unter *v*, die Tangente des Ablenkungswinkels, welcher dem Magnetismus des Stabes allein zukommt, steht unter *m*.