
I. *Ueber einige Magnetisirungs-Erscheinungen;
vom Herausgeber.*

Als ich vor einiger Zeit die Saxton'sche Maschine benutzte, um die chemischen Wirkungen der magneto-electrischen Ströme mit denen der Volta'schen zu vergleichen ¹⁾, wandte ich die kleine sinnreiche Hülfsvorrichtung an, durch welche dem Strome dieser Maschine eine constante Richtung gegeben wird. Man erhält dann die Bestandtheile des zersetzten Körpers getrennt an den Polardrähten, und, wenn man den Strom in einen Multiplikator leitet, entsprechen die Abweichungen der Magnetnadel, wenigstens unter gewissen Vorsichtsmafsregeln, genau dem Sinn, in welchem man den Anker vor den Polen des Hufeisenmagneten rotiren läfst. Kurz es ist dann zwischen dem Strome der Maschine und dem einer kleinen Volta'schen Säule in der Hauptsache kein anderer Unterschied, als der: dafs ersterer intermittirend und mit periodisch schwankender Stärke, letzterer dagegen continuirlich, und, wenigstens für kurze Zeit, mit constanter Intensität wirkt ²⁾.

Anders verhält es sich, wenn man den Strom so anwendet, wie er unmittelbar von der Maschine erzeugt wird, wenn man, ohne von jener oder einer anderen Hülfsvorrichtung Gebrauch zu machen, die Enden des um den Anker gewickelten Drahts geradezu durch einen

1) Annal. Bd. XXXIV S. 642.

2) Die Einrichtung der Saxton'schen Maschine setze ich aus deren Beschreibung in den Annalen, Bd. XXXIX S. 401, als bekannt voraus; auf die erwähnte Hülfsvorrichtung werde ich im Zusatz II dieser Abhandlung zurückkommen.

Leiter mit einander verbindet. Dann findet bei jedem halben Umlauf des Ankers eine Umkehrung des in diesem Draht erregten Stromes statt, und ohne irgend eine plötzliche Unterbrechung erfährt zugleich seine Intensität ganz regelmässige Oscillationen. Die Intensität ist Null, wenn die Arme des Ankers gerade vor den Polen des Hufeisenmagneten stehen, wächst von hier ab, so wie jene sich von diesen entfernen, und erreicht ihr Maximum, wenn die die Mitten der Arme verbindende Linie winkelrecht ist auf der, welche die Mitten der Pole verbinden würde. Im zweiten Quadranten des Umlaufs nimmt die Intensität eben so allmähig ab, bis sie endlich, wenn die Arme wieder vor den Polen angelangt sind, zum zweiten Male Null wird. Im dritten und vierten Quadranten sind die Schwankungen der Intensität dieselben wie zuvor, aber die Richtung des Stroms in beiden ist die entgegengesetzte von der im ersten und zweiten Quadranten. Eine Umkehrung des Sinns der Rotation des Ankers bewirkt, daß der Strom im ersten und zweiten Quadranten die Richtung bekommt, welche er früher im dritten und vierten besaß. Eine Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeit dagegen erhöht die Intensität im Ganzen, wenigstens bis zu dem Punkt, wo die Dauer eines halben Umlaufs noch die zur Umkehrung der Polarität des Ankers erforderliche Zeit übersteigt; auch wird eine große Rotationsgeschwindigkeit aus gleichem Grunde die Lage der Null- und Maximapunkte ein wenig verschieben können.

Diese Anwendungsweise des magneto-elektrischen Stroms erfordert, bei der Einrichtung der Saxton'schen Maschine, daß man den hohlen Metallcylinder, welcher das eine Ende des um den Anker gewickelten Drahts aufnimmt, durch das dazu bestimmte Kupferscheibchen beständig mit dem darunter stehenden Quecksilbergefaß in Verbindung erhält; während man die in jenem Cylinder isolirt angebrachte Metallaxe, mit welcher das an-

dere Ende 'des Ankerdrahts verknüpft ist, durch einen gebogenen Metallstift mit einem zweiten Quecksilberge-
fäfs in Leitung setzt. Verbindet man dann die beiden Gefäfs durch einen Metalldraht, und bringt den Anker vor den Polen des Hufeisenmagneten in Rotation, so entsteht in dem geschlossenen Metallbogen der eben beschriebene, sowohl in Richtung als Intensität veränderliche Strom, und wenn der Verbindungsdraht dünn genug ist, wird er bis zum sichtbaren Glühen erhitzt.

Die zuvor erwähnten Versuche veranlafsten mich unter anderen die Saxto'schen Maschine auf eben beschriebene Weise zur Hervorbringung des Glühphänomens zu benutzen, und nachdem ich dasselbe für meinen Zweck genugsam beobachtet hatte, kam ich auf den Gedanken, den Draht eines Multiplicators, statt des dünnen Platindrahts, zur Verbindung der beiden Quecksilberbehälter anzuwenden. Ich erwartete, dafs die Wirkung auf die Magnetnadel Null seyn werde, weil, meiner Meinung nach, bei der gleichen Intensität beider Reihen von Stromtheilen oder Strömen, und bei der kurzen Dauer eines jeden derselben, die Ströme von der einen Richtung die Wirkung der von der entgegengesetzten vollständig aufheben müfsten. Statt dessen wurde aber, als ich die Maschine in Rotation versetzte, die Doppelnadel des Multiplicators, zu meiner grofsen Verwunderung, mit bedeutender Gewalt um 90° abgelenkt oder gegen die Drahtwindungen senkrecht gestellt. Noch darüber nachdenkend, wodurch wohl, ungeachtet der Gleichheit der Ströme, die eine Reihe derselben ein so entschiedenes Uebergewicht über die andere erlangt haben möchte, wiederholte ich den Versuch, indem ich die Maschine abermals und in demselben Sinn wie zuvor rotiren liefs. Zu meinem nicht geringeren Erstaunen sah ich jetzt die Nadel nach der entgegengesetzten Seite ausschlagen und ebenfalls ganz unverändert auf 90° stehen bleiben.

Das Paradoxe dieser Erscheinung veranlafste mich, sie näher zu studiren, und dabei fand ich bald, dafs man es ganz in seiner Willkühr habe, die Nadel in dem einen oder dem anderen Sinne abzulenken, da die Ablenkung immer nach der Seite erfolgte, nach welcher die Nadel schon, vor der Wirkung der Maschine, einen kleinen Ausschlag gehabt hatte. Wich z. B. der obere Nordpol der Doppelnadel, vor Einwirkung der Ströme, um etwa 10° nach Westen ab, so erfolgte die Ablenkung von 90° nach dieser Seite hin; war dagegen derselbe Pol vorher um etwa 10° nach Osten abgelenkt worden, so ging er, unter Einwirkung der Ströme, vollends nach dem magnetischen Osten. In welcher Richtung man den Anker rotiren liefs, war hiebei ganz gleichgültig, und mufste es natürlich auch seyn, da hiedurch in der Reihe von abwechselnd entgegengesetzten Strömen nur die Richtung des ersten Stroms verändert wurde. Auch die Geschwindigkeit jener Rotation war nur in sofern von Einflufs, als mit Erhöhung derselben die Ablenkung der Nadel freier wurde von kleinen Hin- und Hergängen; eine Geschwindigkeit, bei welcher etwa 14 Umkehrungen des Stroms in einer Secunde erfolgten, war schon mehr als hinreichend diese kleinen Oscillationen, oder die partiellen Wirkungen der einzelnen Ströme, bei der ungefähr zwei Zoll langen Doppelnadel des angewandten Multipliers zu vernichten.

Dagegen erwies sich die anfängliche Ablenkung der Magnetnadel als unumgänglich nothwendig zur Hervorbringung des beschriebenen Phänomens. Je gröfser man sie machte, desto leichter oder bei desto geringerer Rotationsgeschwindigkeit des Ankers trat dieses ein. Und wenn man sie ganz verhinderte, indem man auf den Limbus des Multipliers einen kleinen Platinbügel setzte, welcher der Nadel nur Ausschläge von etwa 8 bis 10 Grad nach beiden Seiten der Nulllinie erlaubte, war von dem Phänomen nichts mehr zu beobachten; vielmehr trat

dann ein, was ich vor der Anstellung dieser Versuche erwartet hatte: Die Nadel stellte sich auf den Nullpunkt der Theilung oder parallel den Drahtwindungen, dabei zwar kleine sehr rasche Oscillationen machend, die aber in dem Maasse mehr verschwanden, als die Rotationsgeschwindigkeit des Ankers erhöht wurde ¹).

Offenbar hat die eben beschriebene Wirkung einer Reihe von abwechselnd entgegengesetzten Strömen keine Aehnlichkeit mit der, welche zwei continuirliche und gleichzeitige Ströme von paralleler, aber entgegengesetzter Richtung auf eine Magnetnadel hervorbringen würden. Zur fast überflüssigen Bestätigung dieses Satzes leitete ich den Strom einer Volta'schen Kette in einen Multiplicator, der mit zwei entgegengesetzt gewundenen Kupferdrähten von gleicher Dicke, Länge und Zahl von Umwindungen versehen war, so dafs sich der Strom beim Eintritt in diese Drähte, deren gleichliegende Enden in zwei Quecksilbernäpfchen tauchten und von hier ab durch einfache Drähte mit der Kette verbunden waren, in zwei partielle Ströme von gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Richtung in Bezug auf die Nadel, theilen mußte. Die Wirkung dieser Ströme auf die Magnetnadel war, wie zu erwarten, Null, nicht blofs beim Parallelismus der Nadel mit den Drahtwindungen, sondern auch bei jeder anderen Stellung derselben ²).

Es mußte demnach einleuchten, dafs das Phänomen der doppelsinnigen Ablenkung, wie man es nennen mag, nur in dem raschen Wechsel der Stromrichtung seinen

1) Sehr auffallen muß es, dafs Hr. De la Rive bei gleicher Anwendung einer Art Saxton'schen Maschine das ganze Phänomen nicht beachtet hat, um so mehr, als er doch von Ablenkungen der Magnetnadel spricht. S. 171 dieses Bandes der Annalen.

2) Hierbei waren, wie gesagt, die entgegengesetzten continuirlichen Ströme unter sich parallel; machten sie einen etwas bedeutenden Winkel mit einander, so würde allerdings ihre Wirkung auf die Nadel eine gewisse Aehnlichkeit mit der beschriebenen Erscheinung haben.

Grund haben konnte. Auf welche Weise es aber durch diesen Wechsel hervorgebracht wurde, blieb noch zu ermitteln. Da bei dem angewandten Verfahren der magneto-elektrische Strom seine Intensität und Richtung auf eine ganz stetige Weise änderte, nach unserer heutigen Vorstellung über die Natur eines elektrischen Stroms also in dem Draht-Continuum eine gewisse Elektrizitätsmenge gleichsam hin und her oscillirte, so glaubte ich anfangs, eine eigenthümliche Modification in der Beschaffenheit des Stroms, oder eine Reaction der beiden Stromtheile auf einander möge die Ursache der beobachteten Erscheinung seyn. Einer meiner Freunde äußerte jedoch gegen mich die Vermuthung, dafs dabei vielleicht eine inductive Wirkung des Stroms auf die Magnetenadel stattfinde. Diese Vermuthung gab mir Anlafs, über die Art, wie eine solche Wirkung geschehen müfste, weiter nachzudenken, und dabei ergab sich denn bald, dafs die Voraussetzung von Umkehrungen der Polarität der Magnetenadel, oder auch nur von Oscillationen in ihrer Intensität, gleichzeitig mit den Umkehrungen der Stromrichtung, völlig ausreiche, das Phänomen genügend zu erklären. Ich stellte hierauf eine nicht unbedeutende Anzahl möglichst abgeänderter Versuche zur Prüfung dieser Hypothese an, und da mir keiner ein mit derselben unverträgliches Resultat lieferte, so glaube ich sie als den Schlüssel zu der paradoxen Erscheinung ansehen zu müssen.

Ich will zunächst die Hypothese auseinandersetzen, dann die zu ihrer Prüfung angestellten Versuche.

Um die Wirkung der Stromreihe auf die als astatisch angenommene Doppelnadel des Multiplicators klar einzusehen, braucht man nur die Wirkung eines Paares entgegengesetzter Ströme auf die eine, z. B. die nördliche, Hälfte der einen Nadel, oder genauer auf einen Punkt in dieser Hälfte näher zu betrachten; und um die Sache zu vereinfachen, kann man annehmen, jeder der beiden Ströme habe nur eine augenblickliche Dauer und

eine Intensität, welche die mittlere sey von allen, welche er während seiner ganzen, obwohl sehr kurzen Dauer durchläuft.

Angenommen nun zuvörderst, die beiden Ströme haben auf solche Weise eine gleiche Intensität, so kann man sie, wegen Entgegengesetztheit ihrer Richtung, durch $+M$ und $-M$ ausdrücken. Angenommen ferner, der betrachtete Punkt in der Nordhälfte der Nadel habe, vor Einwirkung der Ströme, die Intensität N , und zugleich sey diese Nadelhälfte in einer gewissen Lage auf der Seite der Stromrichtung, nach welcher sie durch den *positiven* Strom gebracht werden würde. Wenn nun, bei Einwirkung der Ströme, der positive den Nadelmagnetismus N durch Magnetisirung um eine gewisse Gröfse n erhöht, und der negative durch entgegengesetzte Magnetisirung um dieselbe Gröfse n schwächt, so wird die Einwirkung beider Ströme zusammen proportional der Summe der beiden Producte:

$$+M(N+n) \text{ und } -M(N-n),$$

d. h. proportional:

$$+2Mn,$$

mithin wird die Nadelhälfte durch die vereinte Wirkung beider Ströme einen Impuls im Sinn der ursprünglichen Ablenkung oder der Wirkung $+M(N+n)$ des *positiven* Stromes erhalten.

Nun denke man sich die Nadelhälfte unter gleichem Winkel wie zuvor auf der Seite der Drahtwindungen liegend, nach welcher sie durch den *negativen* Strom gebracht werden würde. Da ein elektrischer Strom eine Stahl- oder Eisennadel immer übereinstimmend mit der Ablenkung magnetisirt, welche er ihr, nach der Magnetisirung, zu geben trachtet, so wird jetzt der *negative* Strom den Nadelmagnetismus um die Gröfse n verstärken und der *positive* um dieselbe Gröfse schwächen. Die vereinte Wirkung beider Ströme wird also proportional seyn der Summe der beiden Producte:

$$-M(N+n) \text{ und } +M(N-n),$$

d. h. proportional:

$$-2Mn,$$

folglich wird jetzt die Nadelhälfte durch die vereinte Wirkung beider Ströme einen Impuls auch im Sinn der ursprünglichen Ablenkung, aber nun in dem der Wirkung $-M(N+n)$ des *negativen* Stroms erhalten.

Die eben auseinandergesetzte Hypothese gilt zwar zunächst nur für einen Punkt in einer Nadelhälfte unter der Wirkung eines einzigen Paares entgegengesetzter Ströme; allein es ist leicht zu ersehen, daß sie auch auf das astatische System beider Nadeln unter der Einwirkung der ganzen Reihe von abwechselnd entgegengesetzten Strömen ihre Anwendung findet. Es ist ferner ersichtlich, daß, da über die GröÙe der ursprünglichen Ablenkung nichts Besonderes festgesetzt worden, die Schlüsse für alle Ablenkungen gültig bleiben, für welche man noch eine Erhöhung oder Schwächung oder gar Umkehrung des Nadelmagnetismus durch magnetisirende Einwirkung der Ströme annehmen kann; folglich stimmt die Hypothese im Allgemeinen in so weit schon vollkommen mit der Erfahrung, als sie sagt, die Nadel werde unter der Einwirkung einer Reihe abwechselnd entgegengesetzter Ströme von gleicher Intensität in dem Sinne weiter abgelenkt, in welchem sie ursprünglich abgelenkt worden ist, mag diese Ablenkung auf mechanischem Wege, oder durch vorausgegangene Wirkung elektrischer Ströme hervorgebracht seyn ¹⁾).

Betrachten wir jetzt die Folgerungen aus der Hypothese im Speciellen.

Von den beiden Ausdrücken $\pm M(N+n)$ und $\mp M(N-n)$ ist, abgesehen vom Zeichen, der erstere

1) Es wäre möglich, daß man zur Vervollständigung der Hypothese noch eine Rückwirkung der Nadel auf den Strom annehmen müßte; indess dürfte diese jedenfalls nur sehr gering seyn.

der gröfsere. Das will sagen, die Wirkung desjenigen Stroms, in dessen Sinn die Nadel schon abgelenkt war, ist immer die stärkere. Diese Folgerung habe ich experimentell geprüft, indem ich den Anker aus der Stellung, wo seine Arme gerade vor den Polen standen, successiv um 180° drehte, und zwischen jedem solchen halben Umlauf eine geraume Zeit verstreichen liefs. Ganz deutlich sah ich dann, dafs die Wirkung desjenigen Stroms, welcher die Nadel, mochte sie rechts oder links abgelenkt seyn, zum Meridian zurückzuführen strebte, wie gelähmt war gegen die des entgegengesetzten Stroms, welcher die Nadel vom Meridian zu entfernen suchte. Diefs Experiment widerlegt zugleich die anfängliche Meinung von einer Reaction der Ströme auf einander, da hier der eine Strom längst in dem Draht erloschen seyn mufste, als der entgegengesetzte eintrat.

Zu derselben Folgerung wird man auch geführt, wenn man auf die innere solide Axe des rotirenden Ankers, statt sie durch einen Metallstift mit dem Quecksilber in stetiger Verbindung zu halten, die nadelförmige Spindel steckt, die zur Hervorbringung von Funken benutzt wird. Dann, ist die Kette bei jedem ganzen Umlauf des Ankers zwei Mal geschlossen und zwei Mal unterbrochen, lang genug, um während der Unterbrechungen den Multiplicatordraht als ganz befreit von jedem elektrischen Strom ansehen zu können, und dennoch geht die Ablenkungs-Erscheinung so gut von statten, wie bei continuirlicher Schliessung.

Um die vereinte Wirkung zweier successiven Ströme nachzuweisen, braucht man nur pausenweise den Anker einzelne ganze Umläufe machen zu lassen. Man sieht dann immer durch jeden Umlauf die Nadel vom Meridian abgelenkt werden, sobald nämlich, wie ich hier immer voraussetze, die Drahtwindungen des Multiplicators im magnetischen Meridian liegen, und die Nadel schon

vorher eine Ablenkung nach der einen oder anderen Seite erfahren hatte. Die Stärke dieser Impulse $\pm 2 Mn$ hängt natürlich von M und n ab.

Was M oder die Intensität der Ströme betrifft, so habe ich deren Einfluß auf folgende, auch in anderer Hinsicht lehrreiche Weise nachgewiesen. Ich verband die beiden Quecksilberbehälter, welche zugleich die Enden des Ankerdrahts und die des Multiplicatordrahts aufnehmen, noch durch kurze Bügel aus Eisendraht von etwa der doppelten Dicke des Multiplicatordrahts, so daß sich der Strom der Maschine zwischen diesem Draht und den Eisenbügeln theilen mußte. Schon bei Anwendung eines einzigen Eisenbügels wurde der Strom in dem Multiplicatordraht so geschwächt, daß es an der Ablenkungs-Erscheinung sichtbar ward; noch mehr der Fall war dieß bei zwei oder drei Bügeln, und bei fünf oder sechs hörte sie ganz auf, d. h. ging fast nichts mehr von dem Strome durch jenen Draht.

Der Factor n oder die Größe des der Nadel durch die Ströme eingepägten oder entzogenen Magnetismus hängt von mehreren Umständen ab, zunächst von der *Intensität der Ströme*, dann von der *Masse und Magnetisirbarkeit* der Nadel, endlich von ihrer *Entfernung* von den Strömen, und dem *Winkel*, welchen sie mit deren Richtung bildet.

Von diesen Umständen habe ich besonders zwei, nämlich die *Magnetisirbarkeit* der Nadel und den *Winkel* derselben gegen die Stromrichtung, einer Prüfung unterworfen, da sie für das in Rede stehende Phänomen die wichtigeren sind. Die deshalb angestellten Versuche haben mich zu Resultaten geführt, die zwar nicht neu sind, die aber, wie mir scheint, nicht immer so beachtet und gewürdigt wurden, als daß es überflüssig seyn könnte, sie hier näher auseinanderzusetzen.

Im Allgemeinen nämlich ist es wohl bekannt, daß ein elektrischer Strom, z. B. der einer Volta'schen Kette oder

Saxton'schen Maschine, magnetisirte Stahlnadeln ablenkt und unmagnetisirte mit Magnetismus begabt, aber dafs er diese beiden Kräfte, die *ablenkende* und die *magnetisirende*, stets zugleich ausübt, freilich nach Umständen bald die eine, bald die andere mit gröfserer Stärke, hat man sich, und ich schliesse mich selbst nicht aus, nicht immer gehörig vergegenwärtigt.

Thatsache ist, dafs ein solcher Strom immer zugleich ablenkt und magnetisirt, aber nach gleichsam umgekehrtem Gesetze. Die *ablenkende* Kraft ist ein Maximum, wenn die Nadel oder der Stab der Stromrichtung parallel liegt; *sie nimmt ab mit dem Winkel* zwischen beiden, und wird Null, wenn dieser Winkel in einen rechten übergeht. Die *magnetisirende* Kraft dagegen ist Null beim Parallelismus zwischen der Stromrichtung und der Nadel oder dem Stab, *wächst mit dem Winkel*, und erreicht ihr Maximum, wenn dieser Winkel ein rechter wird. Beide Kräfte entspringen übrigens aus derselben Ursache, und wirken, auf ein und derselben Seite der Stromrichtung, in gleichem Sinne.

Aus diesen, durch ältere Erfahrungen genugsam festgestellten Sätzen erklärt sich, warum zum Auftreten des in Rede stehenden Phänomens eine vorläufige Ablenkung der Nadel nothwendig ist; sie ist es, weil nur dann die Magnetisirung der Nadel stattfinden kann, ohne welche, wie unsere Theorie ergab, das Phänomen unmöglich wird.

Eine zweite hier in Betracht kommende Thatsache, die zwar ebenfalls nicht unbekannt, aber dennoch bei der Beurtheilung von Magnetisirungs-Erscheinungen sehr häufig ausser Augen gelassen worden ist, besteht darin, dafs die *temporäre* oder *vorübergehende* magnetische Polarität, d. h. diejenige, die nur während der Wirkung der magnetisirenden Ursache Bestand hat, nicht blofs dem *weichen Eisen* eigenthümlich ist, sondern auch dem *Stahl*, selbst dem *gehärteten*, freilich in einer mit dem Grade seiner Härtung abnehmenden Stärke. Die *perma-*

nente oder *bleibende* magnetische Polarität, d. h. die nach Entfernung der magnetisirenden Ursache noch bestehende, ist vorzüglich dem *Stahle* eigen, im geringen Grade aber auch dem *Eisen*. Der Unterschied zwischen *Eisen* und *Stahl* liegt demnach nicht darin, daß ersteres *blofs* temporär und letzterer *blofs* permanent magnetisierbar wäre, sondern darin, daß das Eisen vorwaltend auf die erstere, der Stahl aber vorwaltend auf letztere Weise magnetisirt werden kann. Das weichste Eisen und der härteste Stahl sind aber beider Magnetisierungsweisen fähig, und zwar, was wohl zu merken ist, beider *gleichzeitig* und *selbst in entgegengesetzter* Richtung.

Daß die Sache sich wirklich so verhält, wiewohl sie bis in die neueste Zeit von großen Autoritäten anders dargestellt wird ¹⁾, davon giebt das Phänomen der doppelsinnigen Ablenkung den sprechendsten Beweis; wenigstens müßte man sonst auf die gegebene Theorie, so wie überhaupt auf jede Erklärung desselben, wie mir scheint, gänzlich verzichten. Ich habe mich nämlich durch eigends deshalb angestellte Versuche überzeugt, daß dasselbe gleich gut zu Stande kommt, man mag Nadeln von *weichem Eisen*, *angelassenem* oder *glashartem* Stahl anwenden. Letztere waren aus runden Feilen (sogenannten Rattenschwänzen) kleinster Sorte gebildet, und stellten sich bei Rotation der Maschine, wenigstens für die Beurtheilung mit bloßem Auge, mit gleicher Schnelligkeit senkrecht gegen die Stromrichtung wie Nadeln aus Eisendrähten. Bei genauen Messungen wird man indess, zweifle ich nicht, einen Unterschied in der Stärke der temporären Magnetisirung des Stahls und des Eisens finden. Daß übrigens diese Magnetisirung nur temporär seyn kann, liegt in den Bedingungen zum Gelingen des Versuchs; auch hat ja Barlow schon vor Jahren gezeigt, daß harte Stahlstäbe unter gleichen Umständen

1) So namentlich von den Verfassern aller französischen Lehrbücher der Physik.

wie Eisenstäbe vom tellurischen Magnetismus ergriffen werden.

Von dem, was so eben über die doppelte Wirkung elektrischer Ströme und die doppelte Magnetisirbarkeit des Stahls und Eisens gesagt worden ist, kann man sich durch einen einfachen Versuch auf eine recht schlagende Weise überzeugen.

Man nehme eine etwas kräftige einfache Volta'sche Kette und leite deren Strom durch einen Multiplicator, dessen *magnetisirte* Doppelnadel entweder aus angelassenem oder glashartem Stahl bestehen kann. Die Nadel wird um 90° abgelenkt werden, z. B. ihr oberer Nordpol nach der Rechten. Nun suche man, während die Kette geschlossen bleibt, die Nadel durch einen Stift langsam in den Meridian zurückzuführen; sie wird dabei einen beträchtlichen und stets wachsenden Widerstand leisten. Auch jenseits des Meridians wird man diesen Widerstand verspüren, aber so wie man die Nadel weiter schiebt, wird er schwächer; endlich verschwindet er ganz, und nun löst sich die Nadel vom Stifte ab und springt auf 90° , diametral ihrer früheren Lage entgegengesetzt. Auf dieser linken Seite, wohin der Nordpol, da er vom Strome nach der Rechten geführt wurde, nur durch eine äußerliche Gewalt gebracht werden kann, wirkt die magnetisirende Kraft des Stroms der ablenkenden entgegen. Bei kleinen Winkeln hat noch letztere das Uebergewicht; mit Vergrößerung des Winkels wächst aber die erstere immer mehr, immer mehr schwächt sie den Nordpol durch Hervorrufung eines Südpols, endlich wird dieser stärker als ersterer, und nun kehrt die ablenkende Kraft die Richtung ihrer Wirkung um, und vereint ihren Effect mit dem der magnetisirenden Kraft.

Diese der Nadel durch den Strom eingeprägte magnetische Polarität ist indess nur *temporär*, besteht nur während des Geschlossenseyns der Kette. So wie man die Kette öffnet, kehrt die Nadel, wenn sie nicht ganz

astatisch ist, vermöge ihrer *permanenten* Polarität, die unter diesen Umständen der temporären entgegengesetzt ist, in den Meridian zurück. Meistens ist die permanente Polarität zwar etwas geschwächt; allein man kann es durch ein schickliches Verhältniß der Intensität des Stroms zur Masse und Magnetisirbarkeit der Nadel so einrichten, daß die Schwächung nur unbedeutend ist. Höchst selten wird auch diese Polarität ganz zerstört seyn ¹⁾, und so liefert der Versuch, selbst ohne besondere Sorgfalt angestellt, den augenscheinlichsten Beweis, das *beide* Magnetisirungen, die *permanente* und die *temporäre*, *gleichzeitig* und in *entgegengesetzter Richtung* neben einander im Stahl bestehen können, und zwar sowohl im *angelsenen* als im *glasharten*.

Mit einer Doppelnadel von *weichem Eisen* oder von *Nickel* machen sich die Erscheinungen eben so, vielleicht nur der Stärke nach etwas abgeändert. Niemals habe ich gesehen, daß die, aus ihrer anfänglichen Abweichung durch den Stift in den Meridian zurückgeführte Nadel, in dem Meridian selbst ihre Polarität verloren hätte, sondern immer mußte man sie noch um 10° bis 20° über diesen hinaus fortschieben, ehe die Umkehrung der durch die anfängliche Ablenkung erlangten Polarität erfolgte. (Bei glasharten Stahlnadeln, die unmagnetisirt der Wirkung des Stroms ausgesetzt wurden, erfolgte sogar diese Umkehrung schon in dem Abstände weniger Grade vom Meridian.) Hieraus scheint mir klar hervorzugehen, daß selbst Eisen und Nickel bis zu einem gewissen Grade die Fähigkeit besitzen, die einmal erlangte magnetische Polarität, nach Aufhebung der magnetisirenden Ursache, zu bewahren. Ich habe kein

1) Große Aenderungen oder gar Umkehrungen in der permanenten Polarität einer Stahlnadel bewirkt die Volta'sche Kette hauptsächlich im Moment des Schließens; vor diesen kann man sich also sicher stellen, wenn man die Nadel im Moment des Schließens den Drahtwindungen des Multipliers parallel hält.

Eisen gefunden, welches diese Fähigkeit nicht besessen hätte. Besteht der Act der Magnetisirung nicht sowohl in einer Trennung der beiden magnetischen Flüssigkeiten, die vorauszusetzen man sich genöthigt sieht, als vielmehr in einer gleichsinnigen Stellung der kleinsten Theilchen, die schon beide magnetische Flüssigkeiten getrennt enthalten, oder, um Ampère's Sprache zu reden, in einer analogen Stellung kleiner elektrischer Kreise; so muß man auch, wie mir scheint, noch die Annahme hinzufügen, daß diese Theilchen oder Kreise selbst im weichen Eisen durch eine Art von Widerstand in ihrer anfänglichen Lage zurückgehalten werden, weil, wenn sie sich mit gleicher oder größerer Beweglichkeit wie die ganze Nadel drehen ließen, diese Nadel gar keine Ablenkung von Seiten des Stromes erfahren könnte.

Kehren wir indess zu unserem Hauptgegenstand zurück. Wie wir gesehen, kann die Wirkung eines Paares entgegengesetzter Ströme durch $\pm 2Mn$ vorgestellt werden. Da dieser Ausdruck den Nadelmagnetismus N nicht enthält, so folgt, daß derselbe auf das in Rede stehende Phänomen gar keinen Einfluß hat, sobald nur die vorausgesetzten Bedingungen erfüllt sind, nämlich das Nadelsystem astatisch oder von der Einwirkung des Erdmagnetismus befreit ist, und die beiden entgegengesetzten Ströme *gleiche* Intensität besitzen. Diese Folgerung habe ich durch Versuche mit Nadeln von unmagnetisirtem Stahl und weichem Eisen geprüft, und, wie zu erwarten stand, vollkommen bestätigt gefunden. Es ist übrigens zum Auftreten der besagten Erscheinung gar nicht nothwendig, daß das Nadelsystem vollkommen astatisch sey. Auf Doppelnadeln von gewöhnlichen Dimensionen hat die Saxton'sche Maschine eine solche Gewalt, daß sie eine ganz bedeutende Richtkraft besitzen können, und dennoch fast senkrecht auf den Meridian gestellt werden. Selbst einfache Nadeln, über den Draht-

windungen schwebend, werden stark ergriffen. Man kann auch ohne Schaden zwischen beide eine solide Kupferplatte einschieben.

In dem Bisherigen wurde nur der Fall betrachtet, daß die Ströme beider Reihen gleiche Intensität besitzen. Nehmen wir jetzt diese Intensität als ungleich an, dann hat die Wirkung eines Strompaares zum Ausdruck:

für eine anfängliche Ablenkung nach der einen, z. B. der rechten Seite

$$M(N+n) - M'(N-n')$$

und für eine nach der linken

$$M(N-n) - M'(N+n'),$$

wenn M' die größere oder geringere Intensität des einen Stromes, und n' den durch ihn erregten Magnetismus bezeichnet. Setzt man $M' = \alpha M$, und, was erlaubt ist, auch $n' = \alpha n$, so werden jene Ausdrücke:

für die ursprüngliche Ablenkung nach der rechten Seite

$$(1-\alpha)MN + (1+\alpha^2)Mn$$

und für die nach der linken

$$(1-\alpha)MN - (1+\alpha^2)Mn.$$

Soll die Ablenkung nach beiden Seiten hin durch das Strompaar vergrößert werden, so ist nothwendig, daß der letztere Ausdruck negativ sey. Wenn M' die kleinere Intensität bezeichnet, was anzunehmen immer erlaubt ist, da wir sonst nur M' gegen M zu vertauschen brauchten, so ist α ein ächter Bruch, und offenbar kann dann der zweite Ausdruck nur negativ werden, wenn N oder der ursprüngliche Magnetismus eine gewisse Größe, die von dem Intensitätsverhältniß der Ströme und der Magnetisirbarkeit der Nadeln abhängt, nicht überschreitet.

Während also bei gleicher Intensität beider Reihen von Strömen der ursprüngliche Magnetismus einer astatischen Doppelnadel keinen Einfluß auf das Phänomen ausübt, kann dasselbe, bei Ungleichheit dieser Intensität, nur eintreten, wenn die Nadel, in Bezug auf die

Grö-

Größen α und n , nicht zu stark magnetisirt ist, oder keine zu große Masse hat.

Ich habe diese Folgerung, welche eine interessante Probe für die Richtigkeit der aufgestellten Theorie abgiebt, dadurch geprüft, daß ich in den Kreis der Saxton'schen Maschine eine einfache Volta'sche Kette einschaltete. Die Stromreihe, die in Richtung mit dem Strom der Kette zusammenfiel, mußte dann natürlich eine größere Intensität besitzen als die entgegengesetzte. Der Erfolg dieser Versuche stimmte ganz mit der Theorie überein. Bei einer stark magnetisirten Doppelnadel oder einem astatischen System von 3 Zoll langen Stäben kam das Phänomen gar nicht oder sehr unvollkommen zum Vorschein, während es bei unmagnetisirten Stablnadeln oder Nadeln von weichem Eisen sehr intensiv auftrat.

Je gleicher die Intensitäten beider Stromreihen sind, d. h. je mehr sich α der Einheit oder $1-\alpha$ der Null nähert, desto leichter wird, selbst mit sehr starken Nadeln, das Phänomen hervorzubringen seyn. Indefs ist ersichtlich, daß auch $\alpha=0$ seyn oder die eine Stromreihe ganz ausfallen könnte, und dennoch die Erscheinung zu Stande kommen würde.

Im Fall nämlich, daß $\alpha=0$ oder die eine Stromreihe verschwindet, werden die obigen Ausdrücke:

$$MN + Mn \text{ und } MN - Mn,$$

und, wenn sie entgegengesetztes Zeichen bekommen sollen, muß n größer als N seyn.

Dazu ist erforderlich, entweder daß der Nadelmagnetismus N klein oder der vom Strom hervorgebrachte secundäre Magnetismus n groß sey. Letztere Größe hängt nun, wie schon gesagt, von der Strom-Intensität, von der Masse, der Magnetisirbarkeit und der Lage der Nadel ab; bei einer und derselben Nadel und derselben Strom-Intensität wächst sie mit dem Winkel der Nadel gegen die Strom-Richtung. Wenn N also nicht sehr

groß ist, wird man es durch Vergrößerung dieses Winkels oder der ursprünglichen Ablenkung in seiner Gewalt haben, $N - n$ negativ zu machen. Ist dagegen N sehr klein oder Null, so wird man dies schon bei kleinen Ablenkungen erreichen.

Die deshalb angestellten Versuche bestätigten diese Schlüsse vollkommen. Als ich nämlich auf die eingangs dieser Abhandlung angedeutete Weise einen intermittirenden Strom von constanter Richtung mit der Saxton'schen Maschine hervorbrachte, und ihn auf eine Doppelnadel von weichem Eisen oder unmagnetisirtem Stahl wirken liefs, erfolgten die doppelsinnigen Ablenkungen schon bei sehr kleinen Winkeln; stark magnetisirte Nadeln oder Stäbe erforderten dagegen einen mehr oder weniger großen, immer bedeutenden Werth der ursprünglichen Ablenkung. Hält man aber solche Nadeln oder Stäbe durch einen auf den Limbus des Multiplicators gesetzten Platinbügel etwa zwischen $+10^\circ$ und -10° der Theilung, so tritt das Phänomen nicht mehr ein; vielmehr kann man dann immer aus der erfolgenden Ablenkung mit Sicherheit auf die Richtung des Stroms schließen, wie sie durch den Sinn der Rotation des Ankers bedingt wird.

Die Unterbrechungen des Stroms sind übrigens nicht wesentlich für die Erscheinung; mit dem continuirlichen Strom einer Volta'schen Kette erhält man ganz dieselben Resultate. Man kommt dann auf die schon S. 365 beschriebenen Thatsachen zurück.

Indefs ist leicht ersichtlich, daß eine Magnetenadel das Phänomen der doppelsinnigen Ablenkung bei einem continuirlichen oder intermittirenden Strom niemals mit der Leichtigkeit zeigen wird, wie bei einer Reihe abwechselnd entgegengesetzter Ströme von gleicher Intensität. Im ersten Falle sind nämlich dazu wahre, wenn auch nur temporäre Umkehrungen der Polarität dieser Nadel erforderlich, im letzteren dagegen nur geringere

Oscillationen in ihrer Intensität, oder die temporären Magnetisirungen brauchen nicht die Größe der permanenten zu erreichen ¹⁾).

Nach allen diesen Deductionen dürfte man wohl die zur Erklärung der doppelsinnigen Ablenkung aufgestellte Hypothese unbedenklich als Theorie betrachten können. Ich will indess noch eines Versuches erwähnen, der einen, wenn auch nur indirecten Beweis von ihrer Richtigkeit ablegt. Ich leitete die Reihe abwechselnd entgegengesetzter und gleich starker Ströme der Maschine durch den vorhin erwähnten Multiplicator mit zwei umgekehrt gewickelten Drähten, und zwar anfangs durch den einen Draht, dann durch den andern, und endlich durch beide, wobei natürlich jeder von jedem Strom nur die Hälfte bekam. Einzeln gab jeder Draht dieselbe Wirkung, vereint wirkten sie gar nicht. Beides ist leicht erklärlich. Die Richtung der Drahtwindungen kann keine Verschiedenheit bewirken, da die Richtung der Rotation des Ankers gleichgültig ist. Und die Vernichtung der Wirkung bei vereinten Drähten ist einfach eine Folge davon, daß dann die Nadel stets zu gleicher Zeit zwei entgegengesetzte Impulse erfährt. Es ist aber doch interessant zu sehen, daß zwei Dinge sich aufheben können, die einzeln dieselben Wirkungen geben.

1) Da das Phänomen der doppelsinnigen Ablenkung, bei gleicher Intensität der beiden Stromreihen, schon bei sehr unbedeutenden Magnetisirungen der Nadel zum Vorschein kommen muß, so glaubte ich, dasselbe werde ein Mittel abgeben, die Magnetisirbarkeit von Metallen nachzuweisen, die bis jetzt nicht als Träger des Magnetismus bekannt sind. Sey es indess, daß ich in der Wahl der Metalle nicht glücklich war, oder daß der Strom keine hinlängliche Intensität besaß, genug der Erfolg war immer negativ oder höchst zweifelhaft. Selbst Nadeln aus Packfong, das doch Nickel enthält, aber freilich auch keine directe Wirkung auf die Magnetenadel ausübte, zeigten sich indifferent. Nur Nickel verhielt sich entschieden wie Eisen und Stahl.

In den bisher beschriebenen Versuchen wurde die Reihe von abwechselnd entgegengesetzten Strömen immer durch eine Saxton'sche Maschine hervorgebracht, und man könnte demnach die freilich immer wenig wahrscheinliche Meinung fassen, als sey das Phänomen der doppelsinnigen Ablenkung ausschliesslich ein Eigenthum der magneto-elektrischen Ströme. Um einer solchen Meinung zuvorzukommen, beschloß ich, das Phänomen durch den Strom der Volta'schen Kette hervorzubringen, und liefs mir zu dem Ende ein kleines Instrument anfertigen, welches den Volta'schen Strom mit gleicher Leichtigkeit und mindestens eben so oft in einer gegebenen Zeit umzukehren erlaubt, als es bei dem Spiel der Saxton'schen Maschine mit dem magneto-elektrischen Strom der Fall ist. Ich habe diefs Instrument in einem Zusatz zu dieser Abhandlung unter dem Namen *Inversor* näher beschrieben, und will hier nur kurz seiner Wirkungen erwähnen. Als ich mittelst dieses Instruments den Strom einer einfachen grofsplattigen Zink-Kupfer-Kette etwa 20 Mal in einer Secunde umkehrte, erhielt ich die Erscheinung der doppelsinnigen Ablenkung vollkommen so deutlich und intensiv als mittelst der Saxton'schen Maschine. Auch alle Abänderungen, welche die Intensität des Stroms, die Beschaffenheit der Nadel und die Gröfse der ursprünglichen Ablenkung in der Erscheinung hervorbringen, zeigten sich in unveränderter Gestalt ganz wie zuvor.

Es kann demnach keinem Zweifel unterliegen, dafs Volta'sche Ströme sich in dieser Beziehung genau wie magneto-elektrische verhalten, obgleich die ersteren, vermöge der Einrichtung des *Inversors*, nicht ganz solche Oscillationen in ihrer Intensität erleiden, wie es bei letzteren der Fall ist ¹⁾.

1) Ich habe auch versucht, den Strom einer Thermokette aus 25 Wismuth-Antimon-Paaren, die auf einer Seite in der gewöhnlichen Temperatur gehalten, und auf der andern bis zur Siedhitze des Wassers

Es giebt noch ein anderes Mittel, die Erscheinung der doppelsinnigen Ablenkung hervorzubringen, welches zwar dem Aeußern nach ganz verschieden von den vorherigen ist, die Ursache des Phänomens aber fast noch augenfälliger darthut wie jene. Dieß Mittel giebt ein *rotirender Magnetstab* an die Hand.

Einen in seiner Mitte, senkrecht gegen seine Längensexaxe durchbohrten kräftigen Magnetstab von etwa 3,5 Zoll Länge befestigte ich, mittelst einer durch das Loch gesteckten Schraube, auf einer Centrifugalmaschine und liefs ihn in einer Verticalebene rotiren, neben einer horizontal aufgehängten Magnetnadel, deren Mittelpunkt sich in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkt des Stabes befand, und, wenn dieser horizontal lag, in einer auf seiner Längensexaxe rechtwinklichen Linie, von dem einen Ende desselben einen Abstand besafs, der einige Linien gröfser war als die halbe Nadellänge. Die Verticalebene der Rotation war die des magnetischen Meridians, und bei horizontaler Lage des Stabes würde also derselbe, falls er nicht auf die Magnetnadel gewirkt hätte, mit dieser parallel gewesen seyn.

Bei dieser Vorrichtung mußte, wenn der Stab ro-
tirte, ein Pol nach dem andern neben der Nadel vorbeigehen, und je nach seiner Natur eine anziehende oder abstofsende Wirkung auf die Nadel ausüben. Bei sehr langsamer Rotation geschah dieß auch, und daher war die Nadel fortwährend in überaus großen Oscillationen begriffen. So wie aber die Rotation eine gewisse Geschwindigkeit erreicht hatte, hörten diese Oscillationen auf, und an deren Stelle trat eine fast gänzliche Unbestimmtheit in der Richtung der Nadel ein. Hielt man sie für einen Augenblick in dem Meridian, so blieb sie in diesem; stellte man sie dagegen winkelrecht auf den-

erhitzt wurden, mittelst des Inversors auf die Magnetnadel wirken lassen, allein ohne Erfolg, wahrscheinlich aber nur wegen unzureichender Stärke des Stroms.

selben, d. h. winkelrecht gegen die Rotationsebene des Magnetstabes, so beharrte sie auch in dieser Stellung, und zwar kehrte sie in diese Stellung zurück, wenn man sie ein wenig aus derselben abzulenken suchte. Gleichgültig war es dabei, welcher Pol der Nadel dem Magnetstab zugewandt ward; jeder wurde in gleichem Grade *angezogen*; kurz der rotirende Magnetstab verhielt sich in dieser Beziehung ganz wie eine Scheibe von weichem Eisen.

Offenbar ist hier die *directe* oder *primäre* Wirkung des Stabes auf die Nadel aus dem Grunde ganz aufgehoben, weil diese für die beiden Pole des Stabes *entgegengesetzter* Art ist, der eine Pol z. B. durch *Anziehung* vernichtet, was der andere, kurz zuvor dagewesene, durch *Abstoßung* bewirkt hat. Dagegen ist die *secundäre* Wirkung geblieben, weil sie für beide Pole des Stabes und der Nadel *gleicher* Art ist ¹⁾, und sich folglich *addirt*. In der That wird der *Nordpol* des Stabes einen *Südpol* in der Nadel hervorrufen, gleichviel ob ihm deren Nord- oder Südpol zugewandt ist; und der *Südpol* des ersteren wird eben so beständig einen *Nordpol* in der Nadel erzeugen. Beide Pole werden also, vermöge ihrer secundären Wirkung, eine *Anziehung* auf das zugewandte Ende der Nadel ausüben, desto kräftiger, je stärker ihre *secundäre* oder *magnetisirende* Einwirkung ist.

Diese *magnetisirende* Einwirkung hängt hier ganz von denselben Umständen ab, welche wir vorhin bei den elektrischen Strömen auseinandersetzen, nämlich von der Stärke der magnetischen Polarität des Stabes, von der Masse, Magnetisirbarkeit, Entfernung und Richtung der Nadel; und je günstiger diese Umstände sind, desto stärker wird sie hervortreten.

Ich richtete besonders auf die Beschaffenheit der Nadel meine Aufmerksamkeit, um zu sehen, ob *gehärteter* Stahl auch bei dieser Erscheinung sich vorübergehend magnetisierbar erweise. Ich nahm deshalb wieder meine Zuflucht

1) Wenigstens der Hauptsache nach, S. 376.

zu runden Feilen, da Feilen überhaupt als der allerhärteste Stahl angesehen werden können. Der Erfolg entsprach ganz der Erwartung; die Feilen wurden vom rotirenden Magnet beständig angezogen, wie Nadeln von angelassenem Stahl, wenn gleich etwas weniger stark.

Der eben beschriebene Versuch rief mir eine That-
sache in's Gedächtnis, welche von älteren Physikern, namentlich von Musschenbroek, Aepinus, von Swinden, umständlich behandelt, in neuerer Zeit aber wenig beachtet worden ist, wiewohl sie gewiss alle Beachtung verdient. Ich meine die *Anziehung* zwischen den *gleichnamigen* Polen zweier Magnete. Diese Anziehung ist eine so häufig vorkommende Erscheinung, daß man den seltenen Fall, in welchem sie nicht zu Stande kommt, gewissermaßen als Ausnahme betrachten, und den Satz aufstellen könnte: *alle Magnetpole ziehen einander an, die ungleichnamigen in jeder Entfernung, die gleichnamigen in sehr kleiner.*

Die Anziehung zwischen den gleichnamigen Polen zweier Magnetstäbe beruht, wie schon die älteren Physiker zeigten, auf einer *secundären* oder *magnetisirenden* Wirkung ¹⁾. Sind nämlich die Nordpole beider Stäbe in hinlänglicher Nähe einander zugewandt, so ruft jeder derselben in dem anderen Stabe einen Südpol hervor, so daß dann die Wirkung zweier Nordpole und zweier Südpole unter sich und auf einander in Betracht kommt. Die totale Wirkung zweier Magnetstäbe, die einander sehr nahe sind oder gar berühren, möchte wohl sehr schwer zu berechnen seyn. Begnügt man sich indeß, als wenigstens zur annähernden Lösung des Problems führend, die Wirkung zweier einander sehr nahe

1) Daß ich das Wort *Pol* hier so wie in der ganzen Abhandlung nur im vulgären Sinne gebrauche, bedarf wohl keiner besonderen Erwähnung.

liegender Elemente beider Stäbe in Erwägung zu ziehen, und bezeichnet die Quantitäten der in beiden Elementen thätigen magnetischen Flüssigkeiten mit n , s und n' , s' , so ist einleuchtend, daß man diese Wirkung proportional setzen kann dem Product:

$$(n-s)(n'-s') \text{ oder } nn' + ss' - ns' - n's.$$

Die *ausgeführte* Multiplication zeigt, daß die Wirkung aus zwei Abstofsungen (zwischen den gleichnamigen Polen) und zwei Anziehungen (zwischen den ungleichnamigen) besteht. Sollen letztere die Oberhand bekommen, so muß, da sie das *negative* Zeichen besitzen, das Ganze *negativ* werden, und dies kann, wie die *angedeutete* Multiplication am einfachsten erweist, nur geschehen, entweder wenn $s > n$ oder $s' > n'$. Es ist aber s der von n' und s' der von n hervorgerufene Südpol; folglich muß in dem einen Stab der secundäre Südpol stärker als der primäre Nordpol seyn, oder die magnetische Polarität, wenigstens vorübergehend, umgekehrt werden; und dies kann offenbar nur dann geschehen, wenn der primäre Nordpol des zweiten Stabes stärker ist als der des ersteren, weil man nicht annehmen darf, daß der Nordpol jenes zweiten Stabes in dem ersteren Stabe einen Südpol hervorrufen könnte, der stärker, oder auch nur eben so stark wäre, als er selbst. Die Stärke der Anziehung zwischen zwei gleichnamigen Polen hängt wesentlich ab von der Größe der Verhältnisse $s' : n$ und $s : n'$, oder von dem Grade der Magnetisirbarkeit der Stäbe; allein wie sehr auch diese Verhältnisse sich der Einheit nähern, kommt die Erscheinung doch nur in dem (freilich allergewöhnlichsten) Fall zu Stande, daß n und n' ungleich sind, d. h. der eine Magnetstab eine stärkere Polarität oder größere Masse hat als der andere. Die Anziehung zwischen den gleichnamigen Polen zweier Magnetstäbe ist demnach immer ein Kriterium für die Ungleichheit dieser Stäbe in der einen oder anderen Beziehung.

So wird in der Hauptsache auch das Phänomen von den älteren Physikern dargestellt¹⁾. Es scheint mir indess, als sey der Vorgang verwickelter und entfernt dem ähnlich, welchen wir bei der Reflexion des Lichts zwischen zwei Glasplatten eintreten sehen. In der That sieht man nicht ab, warum nicht die secundäre Südpo- larität in z. B. dem ersten Stabe eine tertiäre Nordpo- larität im zweiten Stabe hervorrufen sollte, diese wieder eine quaternäre Südpo larität im ersten und so fort. Ist der Vorgang wirklich ein solcher, so würde die Wir- kung zwischen zwei Elementen der beiden Stäbe vorge- stellt werden können durch das Product der beiden un- endlichen Factoren:

$$(n - s + n_1 - s_1 + n_2 - s_2 + \dots) \\ (n' - s' + n'_1 - s'_1 + n'_2 - s'_2 + \dots),$$

worin, wenn man die Natur oder Magnetisirbarkeit bei- der Stäbe als verschieden annimmt, gesetzt werden könnte:

$$\begin{array}{ll} s = \alpha n' & s' = \alpha' n \\ n'_1 = \alpha' s & n_1 = \alpha s' \\ s_1 = \alpha n'_1 & s'_1 = \alpha' n_1 \\ n'_2 = \alpha' s & n_2 = \alpha s'_1 \\ s_2 = \alpha n'_2 & s'_2 = \alpha' n_2 \\ \dots & \dots \end{array}$$

Nimmt man überdies an $n' = kn$, so wird obiges Product:

$$(1 - \alpha k)(k - \alpha')(1 + \alpha \alpha' + \alpha^2 \alpha'^2 + \dots)^2 n^2$$

oder:

$$(n - s)(n' - s') \left(\frac{nn'}{nn' - ss'} \right)^2$$

Auch nach dieser Hypothese kann also die Wirkung zweier Elemente nur dann in Anziehung übergehen, wenn einer der Factoren $n - s$ und $n' - s'$ negativ wird; aber

1) Van Swinden (*Recueil de Mémoires sur l'analogie de l'électri- cité et du magnetisme*, T. I p. 282) glaubt indess, daß das Phä- nomen schon bei gleicher Stärke beider Stäbe zum Vorschein kom- men könne, wenn sie nur ungleich magnetisierbar seyen.

die Stärke dieser Anziehung ist beträchtlich gröfser als im ersten Fall, da noch ein dritter Factor hinzugetreten, der um so gröfser ist, als, bei gegebenen n und n' , die secundären s und s' gröfser, oder die Stäbe magnetisirbarer sind.

Eine Prüfung dieser Hypothese durch Messungen erforderte zunächst, dafs man nach derselben die Gesamtwirkung zweier Magnete berechnete, ein schwieriges Problem, welches unter andern die Kenntnifs des Gesetzes, nach welchem α und α' mit der Entfernung abnehmen, nöthig machte.

Daher habe ich denn auch keinen Versuch zur Bewahrheitung dieser Hypothese gemacht, sondern mich darauf beschränkt, das Phänomen der Anziehung gleichnamiger Pole überhaupt und besonders in Rücksicht auf die Beschaffenheit des Stahls zu studiren. Im Allgemeinen habe ich nicht zwei Magnetstäbe gefunden, die nicht diese Anziehung gezeigt hätten, wenn der eine horizontal aufgehängt und der andere hinreichend genähert wurde. Bei hinlänglichem Unterschiede in der Stärke der Magnetstäbe genügte eine blofse Annäherung, und interessant war es dabei zu sehen, wie bei einem gewissen Abstände des genäherten Stabes von dem schwebenden, der zuvor einseitig gehemmt worden, die Abstoßung langsam in Anziehung überging ¹⁾. Bei geringerer Gröfse jenes Unterschiedes war dagegen wirkliche Berührung zwischen beiden Stäben nöthig, und in dieser Form zeigte sich die Anziehung selbst bei Stäben aus dem allerhärtesten Stahl, nur bei einigen, besonders dicken parallelepipedischen, mit dem Umstande, dafs sie, nicht mit den vorderen Endflächen, sondern ein wenig von der Seite her, mit den Endkanten in Berührung gesetzt werden mußten. Auch schien bei den widerspenstigsten Stäben die Dauer der Berührung einen verstärkenden Einfluß auf die Anzie-

1) Die Oscillationen des aufgehängten Stabes sind eigenthümlich; sie geschehen um eine feste Gleichgewichtslage zwischen zwei instabilen.

hung auszuüben. Immer ging auch in solchen Fällen nach der leisesten Trennung die Anziehung in Abstoßung über ¹).

Ich habe die Erscheinung der Anziehung gleichnamiger Magnetpole hier etwas ausführlich betrachtet, einerseits weil sie als Beispiel der Ueberwucht einer secundären Wirkung über eine primäre gewiß an sich interessant genug ist, um sie aus der Vergessenheit hervorzuziehen, andererseits aber, weil sie das einfachste Mittel darbietet, die Thatsache der gleichzeitigen Existenz beider Magnetisirungen, der permanenten und der temporären, noch dazu in entgegengesetzter Richtung, in einem und demselben Stahlstabe darzuthun; denn, daß, bei nicht zu großem Unterschied der Magnetstäbe, der secundäre Magnetismus nur temporär ist, erhellt daraus, daß, nach hinreichender Entfernung der Stäbe, der primäre permanente, wenn auch mehr oder weniger geschwächt, immer sogleich wieder hervortritt ²). Aus diesem Grunde schien mir diese Erscheinung im engsten Zusammenhange mit den vorher beschriebenen zu stehen.

Die Erscheinungen, welche den Gegenstand dieser Abhandlung ausmachen, mußten nothwendig die Frage

- 1) Als eine interessante, obschon aus einer Unregelmäßigkeit in der Härtung des Stahls leicht erklärliche Anomalie, will ich erwähnen, daß ich zwei Stäbe besitze, deren Südpole die Anziehung nur in geringem Grade zeigen, während sie mit den Nordpolen sich so stark anziehen, daß sie einander tragen. Die Nordpolhälften waren angelassen. — Bemerkenswerth ist auch, daß ich an dem Südpol eines Magnetstabes, während dessen Nordpol von dem Nordpol eines stärkeren Magnetstabes angezogen, also temporär umgekehrt wurde, keine solche Umkehrung wahrnehmen konnte. Die temporäre Magnetisirung erstreckte sich also unter diesen Umständen nicht über den ganzen Stab.
- 2) Kaum ist es wohl nöthig zu bemerken, daß die secundäre Magnetisirung, in entgegengesetzter Richtung mit der primären, schon vor dem Eintritt der Anziehung vorhanden ist. — Ueberhaupt glaube ich, daß

erregen, ob man sie als *Magnetisirungs-* oder als *Inductionsphänomene* anzusehen habe, ob überhaupt die *Magnetisirung* (namentlich die *temporäre*) von der *Induction* verschieden sey, und in welchem Grade. Sey es mir erlaubt, meine Ansicht darüber kurz auszusprechen.

Ich entsinne mich nicht, dafs Jemand die *Magnetisirung* (namentlich die *temporäre*) und die von Faraday *entdeckte Inductionen* öffentlich auf eine bestimmte Weise als *Ein* Phänomen oder als leichte Modificationen *Eines* Phänomens bezeichnet habe; allein ich glaube vermuthen zu dürfen, dafs Mancher im Stillen diese Meinung hegt. Um zu sehen, in wiefern diese Meinung gegründet sey, wollen wir die Gesetze jener Induction und der Magnetisirung neben einander stellen, und uns dabei zuvörderst für den Magneten der Ampère'schen Hypothese von elektrischen Strömen bedienen.

Gesetze der Induction: — 1) Wenn bei paralleler Lage zweier geschlossener Leiter in dem einen ein elektrischer Strom *erregt* wird, entsteht in dem andern ein *entgegengesetzter* Strom, wenn er *verschwindet* ein *gleich-*

die secundären Magnetisirungen einflussreicher sind, als man gemeinlich glaubt, da sie eben nur temporär sind, und oft nur im schwachen Grade einen bleibenden Einfluss auf den primären permanenten Magnetismus der Magnetstäbe hinterlassen.

Ein Weg, den temporären Einfluss zweier Magnetstäbe auf einander zu ermitteln, scheint mir folgender zu seyn. Man lasse die Stäbe erstlich einzeln schwingen. Daraus ergibt sich, wenn man ihre Trägheitsmomente kennt, das Verhältnifs ihrer Magnetismen $\frac{m}{m'}$,

dann lasse man sie, nach Art einer Nobili'schen Doppelnadel, in kleinem Abstände unter einander an Einem Faden schwingen, einmal in gleichsinniger und das andere Mal in widersinniger Lage.

Dies liefert zunächst das Verhältnifs $\frac{m+m'}{m-m'}$ und dadurch einen zwei-

ten Werth von $\frac{m}{m'}$. Wenn die Stäbe einen merklichen Einfluss auf einander ausgeübt haben, wird der letztere Werth verschieden seyn vom ersten.

gerichteter. Während seines *Bestehens* erregt der primäre Strom *keinen* secundären. — 2) Wenn ein geschlossener Leiter, in paralleler Lage, einem elektrischen Strom *genähert* wird, entsteht in ihm ein *entgegengesetzter* Strom, wenn er eben so *entfernt* wird, ein *gleichgerichteter*. Bei *Ruhe* des Leiters wird in ihm *kein* secundärer Strom erregt.

Gesetze der Magnetisirung: — 1) Es mag in dem einen Leiter ein elektrischer Strom *entstehen* oder *vergehen*, immer erregt er in dem andern Leiter (dem Stahl- oder Eisenstabe) einen Strom von *gleicher* Richtung mit der seinigen. Auch während seines *Bestehens* erregt der primäre Strom einen secundären, ebenfalls *gleichsinnigen*. — 2) Es mag der primäre Strom *genähert* oder *entfernt* werden, immer erregt er in dem andern Leiter einen Strom von *gleicher* Richtung mit der seinigen. Dasselbe findet auch bei der *Ruhe* statt. — Kurz bei der Magnetisirung wirkt der primäre Strom *unausgesetzt unter allen Bedingungen*, und immer erregt er einen secundären Strom von *gleicher* Richtung mit der seinigen, *niemals* einen *entgegengesetzten*.

Dafs dies wirklich die Gesetze der Magnetisirung sind, davon kann man sich leicht überzeugen. Angenommen, die Magnetisirung eines Eisenstabes geschehe mittelst und innerhalb eines schraubenförmigen Drahts, durch den ein elektrischer Strom geleitet wird. Dasjenige Ende dieses Drahtes, welches, nach Ampère, z. B. einen Nordpol vorstellt, ertheilt auch dem Stabe an diesem Ende einen Nordpol, der Strom mag *entstehen, bestehen* oder *vergehen* ¹⁾. Bei einem hohlen und einem darin

1) Dafs dem wirklich so sey, habe ich noch durch folgenden Versuch bestätigt. Ein kleines Hufeisen von weichem Eisen befestigte ich senkrecht, im magnetischen Meridian, mit den Armen nach oben gekehrt, und liefs über deren Enden, im Abstände einiger Linien, eine Magnetenadel schweben, so dafs die Verticale durch ihren Mittelpunkt mit der Axe des Hufeisens zusammenfiel. Das Hufeisen war

gesteckten soliden Magneten haben aber, wenn die gleichnamigen Pole sich berühren, die supponirten elektrischen Ströme gleiche Richtung. Analog verhält es sich mit der Wirkung eines Magnetstabes auf einen Eisenstab. Immer erregt z. B. der Nordpol des Magneten in dem ihm zugewandten Ende des Eisenstabes einen Südpol, er mag sich *nähern*, *ruhen* oder sich *entfernen*. Bei zwei Magneten, die sich mit den ungleichnamigen Polen ansehen, haben aber die supponirten elektrischen Ströme gleiche Richtung. Wären die Gesetze der Magnetisirung denen der Induction gleich, so müßte z. B. der *Nordpol* eines Magneten in dem ihm zugewandten Ende des Eisenstabes bei *Näherung* einen *Nordpol*, bei *Entfernung* einen *Südpol* erregen, und bei *Ruhe* gar keine Wirkung ausüben.

Noch mehr tritt die Verschiedenheit zwischen der *Magnetisirung* und der von Faraday *entdeckten Induction* hervor, wenn man sich lediglich an die *Thatsachen* hält, und die Ampère'sche Hypothese von der Constitution des Magneten bei Seite stellt. Dann ist die *Magnetisirung* Erregung von Magnetismus ¹⁾, die von

umwickelt mit besponnenem Draht, der zu einer Volta'schen Batterie von drei Plattenpaaren führte. Natürlich wirkte das Hufeisen schon für sich auf die Nadel, viel stärker aber, wenn dasselbe mit der Batterie verbunden war, und durch den Sinn der Verbindung stand es im Belieben, den unter dem Nordpol der Nadel befindlichen Arm zu einem Süd- oder Nordpol zu machen, und somit der Nadel ihre natürliche Lage zu lassen oder die entgegengesetzte zu geben. Nie habe ich bei diesen Versuchen beobachtet, daß im Moment des Schließens eine andere Polarität hervorgerufen worden wäre, als die, welche während des Schlusses und im Moment des Oeffnens stattfand.

- 1) Die verschiedenen Arten der Magnetisirungen sind nur verschieden durch die Natur des Magnetisirenden (in sofern es ein elektrischer Strom, ein Magnet oder unser Erdkörper seyn kann) und des Magnetisirten (in sofern es Stahl, Eisen oder Nickel seyn kann); das Resultat der Magnetisirung ist aber immer dasselbe: die *magnetische Polarität*. In welchem Grade diese vorübergehend oder bleibend sey, hängt nur von der Beschaffenheit des Magnetisirten ab.

Faraday *entdeckte Induction* eine eigenthümliche Art Erregung von elektrischen Strömen. Ich will mich hier nicht über die Wahrscheinlichkeit der Ampère'schen Hypothese verbreiten, kann aber nicht umbin zu bemerken, daß mir die gänzliche Verschiedenheit der Gesetze, welche man, nach ihr, für die Wirkungsweise der elektrischen Ströme annehmen muß, je nachdem sie magnetisiren oder induciren sollen, eben kein günstiger Umstand für dieselben zu seyn scheint. Man darf nicht etwa glauben, daß die Natur des Eisens diese Verschiedenheit bedinge; denn bekanntlich gelten für Eisen, unter andern Umständen, die Faraday'schen Inductionsgesetze so gut wie für die übrigen Metalle.

Nach allen diesen Gründen, glaube ich, ist man berechtigt, bei dem heutigen Zustand der Wissenschaft, *Magnetisirung und Induction als zwei verschiedene Phänomene zu betrachten*; und namentlich möchten wir Deutsche, die wir das Wort Induction früher nicht gebrauchten, alle Ursache haben, es auf die, auch für das Eisen, neue Klasse von Erscheinungen zu beschränken, deren Entdeckung wir Faraday verdanken ¹⁾.

Wenn man einmal die Verschiedenheit zwischen Magnetisirung und Induction wohl aufgefaßt hat, so, glaube ich, kann man auch nicht anstehen, die in dieser Abhandlung beschriebenen Erscheinungen für *Magnetisirungsphänomene* zu erklären. In der That läßt sich leicht erweisen, daß selbst, wenn der Strom der Saxton'schen Maschine oder Volta'schen Säule im Stande wäre, secundäre elektrische Ströme nach den Gesetzen der Induction in einer Magnetnadel zu erregen, diese Erregung doch nie zu der Erscheinung der doppelsinni-

1) Anders verhält es sich mit den Engländern, die mit dem Wort Induction schon längst die gemeine elektrische Vertheilung bezeichneten. Faraday parallelisirt seine Entdeckung mit dieser Erscheinung, und daher übersetzte ich auch in seinen früheren Abhandlungen, um seine Ansichten getreu wieder zu geben, Induction stets durch Vertheilung.

gen Ablenkung Anlaß geben könnte. Betrachten wir nämlich zuvörderst den Fall mit einer Reihe gleich starker Ströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung, und bezeichnen diese Ströme mit $+$ und $-$. Jeder dieser Ströme erzeugt zwei inducirte Ströme, einen beim Kommen und einen beim Gehen; bezeichnen wir auch diese Ströme, je nach ihrer Richtung, durch $+$ und $-$. Die Drehung der Nadel könnte nur aus den Wirkungen der ersten Ströme auf die letzteren erfolgen (da, wie früher gezeigt, die Wirkungen auf die Ströme des primären Magnetismus einander aufheben), und diese Wirkungen würden vorgestellt durch die Producte der Zeichen $+$ und $-$. Offenbar müßten nun diese Producte gleiches Zeichen haben, wenn die Wirkungen sich addiren sollten; daß dieß aber bei einer Induction nicht der Fall seyn kann, wird aus folgendem Schema erhellen:

Inducirende Ströme	$+$	$-$	$+$	$-$
Inducirte Ströme	$-$ $+$	$+$ $-$	$-$ $+$	$+$ $-$
Impulse	$-$ $+$	$-$ $+$	$-$ $+$	$-$ $+$

Eben so verhält es sich mit dem Fall eines bloß unterbrochenen Stroms von constanter Richtung, ein Fall, auf den der vorhergehende zurückkommt, wenn man sich die eine Reihe von Strömen fortgenommen denkt. In beiden Fällen würden also, wie man sieht, die Impulse, welche die Nadel vermöge der Wirkung der inducirenden Ströme auf die inducirten bekäme, einander vernichten; folglich wird die Nadel vermöge einer inductiven Action keine Ablenkung erfahren können. Dieselben Schlüsse gelten auch für den Fall mit dem rotirenden Magneten, und was die Wirkungen des continuirlichen Stroms der Volta'schen Kette betrifft, so ist schon dadurch, daß sie während des Bestehens des Stromes stattfinden, jeder Gedanke an Induction abgeschnitten. Ich glaube demnach, daß man vollkommen berechtigt ist, die beschrieb-

be-

benen Erscheinungen als Magnetisirungsphänomene zu betrachten.

Reihen sich nun gleich diese Erscheinungen längst bekannten Thatsachen an, so scheint mir doch, verdienen sie alle Aufmerksamkeit der Physiker, schon deshalb, weil sie augenfällig die Nothwendigkeit darthun, *bei allen genaueren Messungen der magnetischen Intensität des elektrischen Stroms Magnetstäbe von bedeutender Masse oder in hinreichendem Abstände anzuwenden*¹⁾, damit die Ablenkungswinkel klein, und sonach die temporären Magnetisirungen verhütet werden, denen selbst der allerhärteste Stahl ausgesetzt ist. Das Verfahren, die Intensität des Stroms durch Schwingungen einer auf seiner Richtung senkrechten und ihm sehr nahen Magnetnadel zu bestimmen, scheint mir unter allen das bedenklichste zu seyn, weil dabei die Nadel dem Minimo der ablenkenden, und dem Maximo der magnetisirenden Kraft des Stromes unterworfen wird.

Zusatz I. — Der Inversor.

Das kleine Instrument, dessen ich vorhin (S. 372) unter dem Namen *Inversor* erwähnt habe, bezweckt, den Strom einer hydro- oder thermo-elektrischen Kette oftmals in einer gegebenen Zeit mit Bequemlichkeit umzukehren, und kann auch eben so zur bloßen Unterbrechung eines solchen Stromes angewandt werden. Man sieht es auf Taf. III Fig. 8 und 9 in zwei Dritteln der natürlichen Gröfse, von zwei gegen einander rechtwinklichen Seiten her, abgebildet.

Es besteht zunächst aus der etwa 4 Linien dicken Holzscheibe *c, c, c*, in welche die Kupferstücke *a* und *b*, zwanzig an der Zahl, vom Rande her eingelassen sind. An diese legen sich, von beiden Seiten, die etwas gröfseren, aber nur etwa 0,5 Linie dicken Holzscheiben *d*,

1) Wenn man nicht Pouillet's Sinusbüßsole (Annal. Bd. XXXXII S. 284) anwenden will.

d, und an diese wiederum die beiden Kupferscheiben *f, f*, deren Durchmesser dem der dicken Holzscheibe gleich sind. Die kupferne Axe *AB* des Instruments hängt nicht zusammen, sondern es ist die Hälfte *A* an die eine und die Hälfte *B* an die andere dieser Kupferscheiben *f, f* fest gelöthet. Eben so sind die Kupferstücke *a* und *b* durch Schrauben abwechselnd mit der einen und der andern Kupferscheibe verbunden, und zwar so, daß die Stücke *a* auf diese Weise mit der Axenhälfte *A*, und die Stücke *b* mit der Axenhälfte *B* in leitender Verbindung stehen. Die Axe *AB* ruht auf den vom Brette *GG* getragenen Ständern *FF* in Pfannen, die durch die aufgeschrobenen Messingplatten *HH* bedeckt sind. Die Axe wird durch die Kurbel *CD* in Bewegung gesetzt, und um ihr auch eine sehr bedeutende Rotationsgeschwindigkeit geben zu können, ist sie noch mit der Rolle *EE* versehen, welche man dann durch eine Schnur mit einer Centrifugalmaschine oder ähnlichen Vorrichtung zu verbinden hat. Ein Räderwerk würde natürlich demselben Zweck entsprechen.

Gegen den Rand der Scheibe drücken die Kupferstäbchen *nm* mittelst der Kupferfedern *hk*, in welchen sie mit ihren oberen Theilen *p q* eingeschroben sind. Durch mehr oder weniger tiefes Einschrauben in die Federn kann man den Druck der Stäbchen gegen die Scheibe beliebig vergrößern oder verkleinern. Die Federn sind durch Schrauben *l, l* am Brette befestigt, und können, mittelst Ausschnitte an ihren unteren Enden, die man in Fig. 9 sieht, so gestellt werden, daß, wie aus Fig. 8 am besten zu ersehen, die Stäbchen *nm* genau den Abstand zweier der Stücke *a, b* von einander haben. Die Federn *h', k'* mit den Stäbchen *m' p', n' q'* haben ganz dieselbe Einrichtung, und sind eigentlich nur eine Zugabe zum Instrument.

Will man mit dem Inversor den Strom einer Volta'schen Kette in abwechselnd entgegengesetzter Richtung auf die Nadel eines Multiplicators wirken lassen, so ver-

bindet man durch Drähte die Federn i, i respective mit den Polen der Kette, und die Federn h, k respective mit den Enden des Multiplicatordrahts. Klar ist, daß dann bei Drehung der Scheibe die Verbindung dieser Drahtenden mit den Polen oder die Richtung des Stroms umgekehrt werden muß, so wie ein b , das unter n war, mit m in Berührung kommt, während zugleich ein a an n heranrückt. Es werden also bei jedem ganzen Umlauf der Scheibe 20 Umkehrungen des Stroms erfolgen, und da man die Scheibe schon mit der bloßen Kurbel sehr bequem zwei und selbst drei Mal in einer Secunde umdrehen kann, so wird man in derselben Zeit 40 bis 60 Umkehrungen erhalten. Mit der Saxton'schen Maschine erhält man nicht leicht mehr als 20.

Während die Stäbchen m und n ganz auf Holz ruhen, ist natürlich der Strom unterbrochen. Es hängt indeß von der Dicke der Stäbchen ab, wie lange die Unterbrechung dauern soll. Haben die Stäbchen genau die Dicke oder Breite der eingelassenen Kupferstücke und deren Zwischenräume, so ist die Unterbrechung nur momentan; sind sie schmaler, werden die Unterbrechungen größer. Es ist daher gut, den Enden n, m der Stäbchen keinen quadratischen oder cylindrischen Querschnitt zu geben, sondern die Form einer stumpfen Schneide, damit man durch bloßes Drehen der Stäbchen die Unterbrechungen nach Belieben verlängern oder verkürzen kann. Versieht man beide Stäbchenpaare $nm, n'm'$ mit solchen stumpfen Schnitten, dreht diese senkrecht gegen die Ebene der Scheibe, und stellt das eine Paar so, daß es Holz berührt, während das andere auf Metall ruht, so hat man zwei Reihen von Umkehrungen, die man erforderlichenfalls durch zwei Multiplicatoren, oder durch einen Multiplicator und eine Flüssigkeit senden kann.

Will man den *Inversor* oder *Umkehrer* bloß als *Unterbrecher* oder *Blitzrad* ¹⁾ benutzen, so ist es am

1) Neef, Annalen, Bd. XXXVI S. 352.

besten den einen Pol der Kette zugleich mit beiden Axenhälften A und B in Verbindung zu setzen, und das eine Ende des Multiplicatordrahts mit der Feder h oder k , während das zweite Ende dieses Drahts geradezu mit dem andern Pol verknüpft ist. Die Schneide von m oder n muß hiebei senkrecht gegen die Rotationsebene gestellt werden. Man braucht auch den einen Pol der Kette nur mit der einen Axenhälfte, z. B. mit A , zu verbinden, und das eine Ende des Multiplicatordrahts mit der Feder h ; allein man verliert dann die Hälfte der bei gleicher Rotationsgeschwindigkeit möglichen Unterbrechungen. Endlich kann man auch die Federn i , i' mit einander verbinden, den einen Pol der Kette mit h oder h' und das eine Ende des Multiplicatordrahts mit k oder k' , während das andere Ende direct mit der Kette verknüpft ist.

Es ist klar, daß man durch Vergrößerung der Dimensionen des Instruments die Zahl der Umkehrungen oder Unterbrechungen in einer gegebenen Zeit bis in's Unbestimmte vergrößern könnte. Indefs würde dasselbe dadurch an Bequemlichkeit des Gebrauchs verlieren. Bei dem meinigen, das vom Mechanikus Kleiner hieselbst sehr niedlich ausgeführt ist, hält die Scheibe nur etwa dritthalb Zoll im Durchmesser, und wenn man noch ein Räderwerk daran anbringen wollte, welches die Rotationsgeschwindigkeit verfünffachte, so würde man damit, ohne weiteren Hülsapparat, 200 bis 300 Umkehrungen in einer Secunde bewerkstelligen können. Und dies ist mehr als zu irgend einem bis jetzt bekannten Zweck erforderlich seyn dürfte.

Den Gebrauch von Quecksilber, um an den betreffenden Punkten die Berührung zwischen den metallischen Theilen inniger zu machen, habe ich vermieden, da eine solche Amalgamation immer ihre großen Nachtheile für das Instrument haben würde, und ohnedies die Berührung vollkommen genug ist, so lange das Metall blank ist. Sollte es an irgend einer Stelle blind geworden

seyn, so braucht man es nur mit sogenanntem Glaspapier abzureiben, wodurch es schnell seinen vollen Metallglanz wieder bekommt. Aus ähnlichem Grunde werden die Verbindungsdrähte nur durch kleine Klemmschrauben (die in der Zeichnung nicht angegeben sind) mit den Federn i, i, h, k, h', k' in Berührung gesetzt.

Um von den Inversor noch eine andere Anwendung zu machen, als zu welcher er ursprünglich construirt ward, suchte ich mit Hülfe desselben durch den Strom einer Volta'schen Batterie die merkwürdige, von Hrn. De la Rive ¹⁾ mittelst einer Saxton'schen Maschine entdeckte Veränderung des Platins hervorzubringen. Zu dem Ende verband ich die Federn i, i durch Kupferdrähte mit den Polen einer Batterie, bestehend aus zehn, mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Zink-Kupfer-Paaren von etwa 12 Quadratzoll Oberfläche jeder Zinkseite und doppelter Kupferfläche, und schraubte an die Federn h und k Platindrähte, die in verdünnte Schwefelsäure hinabreichten. So lange die Berührer m, n mit einem Paar der Kupferstücke a, b in Berührung standen, fand an den Platindrähten eine reichliche Gasentwicklung statt; so wie ich aber den Inversor rotiren liefs, etwa mit einer Geschwindigkeit von zwei Umläufen oder von 40 Stromumkehrungen in der Secunde, nahm diese Entwicklung rasch ab und hörte endlich ganz auf, sonderbar genug aber nicht gleichzeitig an beiden Platindrähten, sondern an dem einen etwa nach 10, am andern erst nach 25 Minuten. Währenddess verloren die Platindrähte immer mehr an Metallglanz und nach einer halben Stunde waren sie deutlich mit einer dünnen Schicht von grauer Farbe überzogen. Als darauf die Rotation eine Viertelstunde weiter fortgesetzt wurde, hatte dieser Ueberzug noch mehr an Dicke zugenommen, und sichtlich war dieser Ueberzug an dem Draht am stärksten, der am längsten Gas ausgegeben hatte.

Ich habe diese Erscheinung nicht weiter verfolgt, da

1) S. Ann. Bd. XXXXI S. 157, auch den Aufsatz II dieses Helio-

Hr. De la Rive sie zum Gegenstand einer ausführlicheren Untersuchung zu machen gedenkt, kann indeß nicht umhin, noch eines Umstandes zu erwähnen, der mir bemerkenswerth scheint. Als nämlich die Gasentwicklung an den Platindrähten bereits gänzlich aufgehört hatte, und nun, ohne die Rotation des Inversors irgendwie zu unterbrechen, die Platten der Batterie aus der Säure gehoben und etwa nach einer halben Minute wieder abgelassen wurden, trat im Moment der Eintauchung abermals eine reichliche Gasentwicklung an den Platindrähten ein, die indeß nach wenigen Secunden wieder aufhörte.

Zusatz II. — Die Saxton'sche Maschine.

Die Erfahrung, daß die Erscheinung der doppelsinnigen Ablenkung eben so leicht mit einer einfachen Volta'schen Kette wie mit der Saxton'schen Maschine zu Stande komme (S. 372), machte mich begierig, eine, wenn auch nur ungefähre, Vorstellung von der Intensität des Stromes dieser Maschine zu erlangen. Bekanntlich verdanken wir Ohm den wichtigen und für die Theorie der elektrischen Ströme fundamentalen Satz, daß die Intensität eines solchen Stromes gleich ist der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den gesammten Widerstand, welchen der Strom in der Kette zu überwinden hat. Hienach kann der Strom einer Kette intensiv seyn, entweder weil jene Kraft groß, oder der Widerstand klein ist. Bei der Saxton'schen Maschine ist der Widerstand verhältnißmäßig klein, weil der Strom, wenn man nicht absichtlich eine Flüssigkeit einschaltet, sich in einem ganz metallischen Kreise bewegt. Trotz dem also dieser Strom lebhafte Funken und starke Schläge giebt, könnte dennoch seine elektromotorische Kraft nur gering seyn.

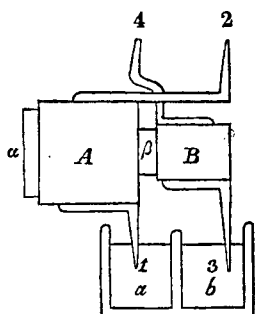
Diese Kraft nun war es, welche ich näher zu kennen wünschte. Um dahin zu gelangen, versah ich die Maschine mit der Hülfsvorrichtung, welche dem Strom

derselben eine constante Richtung giebt, schaltete in ihren Kreis folgwiese eine, zwei, drei und mehr Zink-Kupfer-Ketten ein, und setzte den Anker in Rotation, in dem Sinn, daß der magneto-elektrische Strom dem hydro-elektrischen entgegen wirken mußte. Ein gleichzeitig eingeschalteter Multiplicator, dessen Doppelnadel, aus zuvor (S. 370) angegebenen Gründen, durch einen Platinbügel zwischen $+10^\circ$ und -10° der Theilung gehalten ward, diente als Anzeiger für das zwischen den beiden Strömen beabsichtigte Gleichgewicht, und die Zahl der dazu erforderlichen Zink-Kupfer-Paare lieferte dann, wenigstens näherungsweise, das Maafs für die elektromotorische Kraft, welche eine gegebene Saxton'sche Maschine bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit ihres Ankers entwickelt.

Wenn man eine solche Aequilibrirung vornehmen will, hat man namentlich auf zwei Umstände zu achten, auf möglichste Entwicklung des magneto-elektrischen Stroms und auf die richtige Benutzung desselben. Die Stärke der elektromotorischen Kraft dieses Stroms hängt bei einer gegebenen Maschine lediglich von der Rotationsgeschwindigkeit des Ankers ab, und steigt bis zu einer gewissen Gränze mit dieser. Die Benutzung der Kraft aber wird, unter den genannten Umständen, wesentlich bedingt von der Construction der Vorrichtung, die dem Strom eine constante Richtung geben soll.

Ich gebrauchte hiezu anfänglich die schon S. 353 erwähnte Vorrichtung. Um ihre Construction verständlich zu machen, gebe ich hier von derselben, da ihrer in der früheren Beschreibung der Saxton'schen Maschine (Annalen, Bd. XXXIX S. 401) noch nicht gedacht worden ist, einen Durchschnitt in natürlicher Gröfse ¹⁾).

1) Wer ihr Erfinder ist, weiß ich nicht. Hr. Prof. Magnus lernte sie in London durch Hrn. Faraday kennen.



α ist der hohle Theil der Ankeraxe, mit welchem das eine Ende des Ankerdrahts in Verbindung steht, β der isolirt darin steckende solide Theil, welcher das andere Ende dieses Drahts aufnimmt. Beide Axen sind natürlich von Metall. Auf α wird der Kupfercylinder A geschoben, der mit den Haken 1 und 2 versehen ist, auf β eben so der Kupfercylinder B , der die Haken 3 und 4 trägt. Von den letzteren macht 4 eine Biegung zur Ebene der Figur hinaus, damit er den Haken 2 nicht berühre; auch sind diese beiden Haken, da wo sie sich berühren könnten, vorsichtshalber mit Siegellack überzogen. a und b sind die durch eine Scheidewand getrennten und mit Quecksilber gefüllten Behälter (S. 354).

Aus der Zeichnung wird ohne weiteres einleuchtend seyn, dafs, wenn man den Anker rotiren läfst, abwechselnd bei jedem halben Umlauf, der Haken 1 von A und der 4 von B mit a in Berührung kommt, so wie andererseits der Haken 3 von B und der 2 von A mit b . Von den Behältern a und b ist also, abwechselnd bei jedem halben Umlauf des Ankers, der eine mit den Axen α und β , der andere mit β und α verbunden; und da durch die entgegengesetzten Magnetisirungen, die der Anker bei jedem halben Umlauf erfährt, der Strom in dem ihm umgebenden Draht, in gleichen Perioden seine Richtung umkehrt, so erfolgt, vermöge dieser doppelten Umkehrung, in dem Leiter, welcher das Quecksilber in a und b verbindet, ein Strom von constanter Richtung.

Dieser Strom ist jedoch ein intermittirender, da zwei Mal bei jedem Umlauf des Ankers alle Haken während einer gewissen Zeit ganz aufser Verbindung mit dem Quecksilber stehen. Die Dauer dieser Unterbrechungen

und die Zeit, wann sie eintreten, haben aber auf die Intensität des Stroms einen bedeutenden Einfluss; sie hängen ab theils von dem Winkel zwischen der Haken-ebene und der Ankerebene, theils von der Tiefe, bis zu welcher die Haken in das Quecksilber tauchen.

Beträgt dieser Winkel z. B. 45° und hat das Quecksilber einen solchen Stand, daß die Eintauchung für jedes Hakenpaar beginnt, wann die Ankerebene entweder horizontal oder vertical steht (welche beiden Fälle, bei einer solchen Stellung der Haken, aus dem Sinn der Rotation des Ankers entspringen), so hört sie auf, wann diese Ebene respective in die verticale oder horizontale Lage gekommen ist. In beiden Fällen ist also die Dauer der Eintauchung eines jeden Hakenpaares nur gleich der Dauer eines Quadranten der Rotation, und während der beiden dazwischen liegenden Quadranten findet eine Unterbrechung des Stromes statt.

Eine gleiche Dauer besitzen die Unterbrechungen, vorausgesetzt, daß das Quecksilber noch denselben Stand habe, wenn die Haken-ebene parallel liegt der Ankerebene; nur beginnt dann der Strom oder die Eintauchung der Haken, wann die Ankerebene um 45° gegen den Horizont neigt, nach dieser oder jener Seite, je nach dem Sinn der Rotation.

Indefs findet zwischen den beiden ersten und den beiden letzten Fällen, was die Intensität des Stroms betrifft, ein bedeutender Unterschied statt.

Betrachtet man nämlich eine der Stellungen, in der die Ankerarme gerade vor den Polen des horizontalen Hufeisenmagneten liegen, als den Nullpunkt der Rotation, so geht die Dauer des Stroms, in den beiden ersten Fällen, von 0° bis 90° und von 180° bis 270° , oder, wenn man in entgegengesetzter Richtung dreht, von 270° bis 180° und von 90° bis 0° ¹⁾. Da die Punkte

1) Die Dauer des Stroms könnte auch in die beiden Quadranten von 90° bis 180° und von 270° bis 0° fallen; nur müßte dann die Haken-ebene auf der andern Seite um 45° gegen die Ankerebene neigen.

0° und 180° den Minimis und die Punkte 90° und 270° den Maximis der elektromotorischen Kraft entsprechen (S. 354), so beginnt also der Strom, bei der einen Rotationsrichtung, mit einem Minimum und hört mit dem folgenden Maximum auf, weshalb man dann auch im Moment der Unterbrechung sehr glänzende Funken bekommt; bei der umgekehrten Rotationsrichtung fällt dagegen der Anfang mit einem Maximum und das Ende mit dem nächstfolgenden Minimum zusammen, und daher bekommt man bei der Unterbrechung keine Funken. Bei beiden Rotationsrichtungen muß offenbar die mittlere Intensität eines jeden Stromtheils, eben weil er einen Quadranten zwischen zwei Extremen umfaßt, gleich seyn der mittleren Intensität des continuirlichen Stroms, der während eines ganzen Umlaufs erzeugt würde ¹⁾).

In den beiden letzteren Fällen, wo nämlich die Hakenebene der Ankerebene parallel liegt, fällt die Dauer des Stroms, je nach der Rotationsrichtung ²⁾), entweder

- 1) Dafs die Stromtheile, unter den genannten Umständen, für beide Rotationsrichtungen des Ankers gleiche mittlere Intensität besitzen, ungeachtet sie bei der einen Richtung mit dem Maximo und bei der andern mit dem Minimo der Intensität aufhören, im ersten Falle also sehr lebhafte Funken geben, im zweiten aber nicht, davon kann man sich durch die Wirkung auf die Magnetnadel überzeugen. Sie ist in beiden Fällen gleich. Daraus geht hervor, dafs die Elektrizität, welche als Funke erscheint, bereits auf die Magnetnadel gewirkt hat.

Uebrigens erscheinen die Funken, bei allen Stellungen der Haken, nur in den Momenten der *Unterbrechung* des Stroms, niemals bei *Bildung* desselben. Es möchte dieß, im Verein mit andern Thatsachen (Ann. Bd. XXXIV S. 633) wohl ein Argument gegen die Realität des Funkens bei *Schließung* einer hydro-elektrischen Kette seyn.

- 2) Auch je nach den beiden Stellungen der Haken, die beim Parallelismus ihrer Ebene mit der Ankerebene möglich sind. Es können nämlich die Haken 1 und 3 oder die 2 und 4 einem und demselben Ankerarme zugewandt seyn. Dieß giebt bei einer und derselben Rotationsrichtung eine entgegengesetzte Stromrichtung. — Aehn-

in die Quadranten von 45° bis 135° und von 225° bis 315° , oder in die von 315° bis 225° und von 135° bis 45° . In diesen Fällen schließt also der partielle Strom immer die Maxima der Intensität in seiner Mitte ein, und erstreckt sich von diesen rück- und vorwärts nur um 45° Grad; er besitzt daher, ungeachtet bei seiner Unterbrechung nur Funken von mäßigem Glanze erscheinen, eine mittlere Intensität, die bedeutend grösser ist als die des ununterbrochenen ganzen Stroms, folglich auch grösser als die des partiellen Stroms in den beiden ersten Fällen.

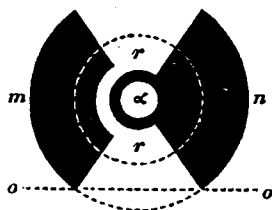
Bei der Aequilibrirung der Saxton'schen Maschine mit der Volta'schen Kette wirkt offenbar der Volta'sche Strom nur während der Dauer des magneto-elektrischen Stroms, da beide Elektrizitätserreger nur ein System bilden, sie durch das Eintauchen und Ausheben der Haken gleichzeitig geschlossen und geöffnet werden. Die Intensität des Volta'schen Stroms kann, wenigstens für eine kurze Zeit, als constant betrachtet werden; die des magneto-elektrischen Stroms kann es ebenfalls, denn, obwohl, wie noch eben erwähnt, jedes Stück desselben eine veränderliche Intensität besitzt, so ist doch erstlich jedes Stück darin dem andern gleich, und überdies folgen die Aenderungen so rasch auf einander, daß die Wirkung auf die Magnetnadel sehr nahe dieselbe seyn muß, wie wenn statt der veränderlichen Intensität eine constante gesetzt würde, welche die mittlere wäre von allen, welche jedes Stromstück während seiner ganzen Dauer durchläuft. Diese mittlere Intensität der einzelnen Stromstücke ist aber, wie wir eben gesehen, verschieden nach der Stellung der Hakenebene gegen die Ankerebene, und eben so auch verschieden nach der Tiefe der Eintauchung der Haken in das Quecksilber, wodurch namentlich die Dauer eines jeden partiellen Stroms

liches gilt von den beiden Stromwendern, die weiterhin beschrieben werden sollen.

bedingt wird. Bei der zuvor beschriebenen Haken-
vorrichtung, bei der man immer nur einzelne Stücke des
magneto-elektrischen Stroms mit dem Volta'schen ver-
gleichen kann, kommt es also sehr darauf an, wie gro-
ße Stücke und welche Stücke man zu diesem Verglei-
che wählt.

Will man das Maximum des Saxton'schen Stroms
mit dem Volta'schen vergleichen, so muß man offenbar
die Hakenebene der Ankerebene parallel stellen, und
das Niveau des Quecksilbers in den Behältern so weit
herablassen, daß die Haken nur sehr nahe bei ihrer
senkrechten Stellung ein wenig in dasselbe eintauchen.
Will man dagegen diesen Vergleich mit der mittleren
Intensität des Saxton'schen Stromes anstellen, so muß
man die Hakenebene einen Winkel von 45° gegen die
Ankerebene machen lassen, und dem Quecksilber einen
solchen Stand geben, daß es dann, bei horizontaler Lage
der Ankerebene, so eben von den Haken berührt wird.

Den letzteren Vergleich, nämlich den Vergleich der
mittleren Intensität würde man auch bewerkstelligen kön-
nen, wenn man eine Vorrichtung besäße, welche dem
Strom der Maschine eine constante Richtung gäbe, ohne
irgend eine erhebliche Unterbrechung desselben zu ver-
anlassen. Ich habe zwei solche Vorrichtungen anfertigen
lassen, von denen die eine, wie die beschriebene
Hakenvorrichtung, den Gebrauch von Quecksilber erfor-
dert, die letztere aber nicht.



Die erstere, von der ne-
benstehende Figur eine Vor-
deransicht in natürlicher Grö-
ße darstellt, besteht aus ei-
ner Holzrolle rr , die bestimmt
ist, auf die dünnere solide Axe
 α des Ankers gesteckt zu wer-
den.

Sie ist inwendig mit einem kupfernen Cylinder
gefüttert, und trägt vier Sektoren von Kupfer, zwei an

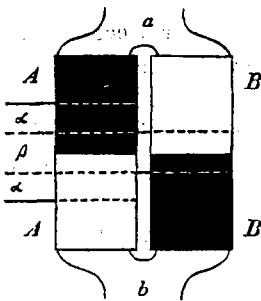
jeder ihrer Grundflächen. Welchen Winkel diese Sektoren umspannen, ist gleichgültig, und hängt nur ab von dem Stande des Quecksilbers, in welches sie eintauchen sollen. Dagegen müssen sie an Einer Grundfläche mit ihren Endradien in gegenseitiger Verlängerung liegen, und die homologen Radien der Sektoren an der andern Grundfläche müssen ihnen respective parallel seyn. Zwei von diesen Sektoren, nämlich n und der hinter m , an der Rückseite der Rolle befindliche, stehen in Verbindung mit dem inneren Kupfercylinder, also, da dieser die Axe α berührt, auch mit dieser Axe. Die beiden andern Sektoren, nämlich m und der hinter n befindliche, hängen nicht mit dem inneren Kupfercylinder zusammen, sondern sind mit Kupferfedern versehen, welche auf die hohle Ankeraxe β drücken. Die Feder des vorderen Sectors m geht durch die Rolle und durch ein Loch in dem hinteren Sector, ohne diesen zu berühren, bis zur Axe β .

Das Spiel dieses Inversors ist ganz dasselbe wie das der Hakenvorrichtung, von der er im Wesentlichen nur darin abweicht, daß statt der Haken die Sektoren gesetzt sind. Man giebt ihm eine solche Stellung auf der Axe des Instruments, und dem Quecksilber in den Behältern eine solche Höhe, daß, bei horizontaler Lage der Ankerebene, die unteren Ecken der Sektoren so eben das Quecksilber berühren. Setzt man nun den Anker in Rotation, so daß z. B. der mit der Axe β verbundene Sector m eintaucht, so wird derselbe offenbar eine halbe Umdrehung hindurch fortwährend eingetaucht bleiben, und wenn er aushebt, wird die, vorhin obere Ecke von n in das Quecksilber oo treten. Eben so verhält es sich gleichzeitig mit dem hinter m liegenden Sector, der mit der Axe α verbunden ist. Bei dem zweiten halben Umlauf findet Aehnliches statt; nur sind die Quecksilberbehälter a und b (siehe S. 392), wenn sie bei der ersten respective mit den Axen α und β verbunden wa-

ren, jetzt respective mit β und α verknüpft. Die Umkehrungen erfolgen, wann die Ankerebene horizontal liegt, also wann der Strom seine Richtung umkehrt; daraus entspringt dann die Constanz der Stromrichtung in dem die Behälter a und b verbindenden Leiter.

Eine Unterbrechung des Stroms findet hier nur statt, wenn die Sektoren m und n , und eben so die hinteren, gleichzeitig in das Quecksilber tauchen. Da aber diese gleichzeitige Eintauchung aller Sektoren selbst bei schneller Rotation des Ankers, wobei allerdings ein ziemlich starkes Wellenschlagen des Quecksilbers nicht zu verhüten ist, nur eine verhältnißmäfsig kurze Dauer hat, und zwar während einer Zeit, wo der Strom sich auf dem Minimo seiner Intensität befindet, so entspringt daraus kein erheblicher Nachtheil. Auch sind diese Unterbrechungen nur scheinbar, indem der Strom während derselben durch das Quecksilber in sich selbst zurückfließt; daher treten dann auch keine Funken auf, falls das Quecksilber nicht etwa, bei zu starkem Schaukeln, momentan ganz von den Sektoren ablöst.

Die zweite Vorrichtung erfordert nicht nothwendig den Gebrauch von Quecksilber und hat dadurch Vorzüge vor der ersten. Man sieht sie nebenstehend in natürlicher Gröfse, von oben her, abgebildet ¹⁾. Auch sie besteht der Hauptmasse nach aus einer Holzrolle, die aber so gearbeitet ist, dafs man sich denken kann, es seyen zwei Rollen blofs zusammengefügt. Die eine dieser Rollen A wird auf die dickere hohle Axe α der Maschine gesteckt, die andere B auf die dünnere solide Axe β . Jede Rolle ist inwendig mit einem Kupferringe



1) Sie wurde, wie die vorhergehende, von dem Mechanikus Hrn. Kleiner sehr sauber ausgeführt.

gefüllt, und auf der Hälfte ihres Umfangs, der ganzen Breite nach, mit einem dicken Kupferbogen ausgelegt. Dieser Kupferbogen steht durch Schrauben mit dem inneren Kupferringe in Verbindung, und ist mit dem Holze so abgedreht, daß er mit ihr Eine Cylinderfläche bildet. Beide Rollen haben, durch eine Holzlage getrennt, eine solche gegenseitige Stellung, daß der kupferne Halbkreis der einen, nur das Holz der andern neben sich hat, Anfang und Ende beider Halbkreise in zwei diametralen Linien zusammenfallen, wie aus der Figur erhellt, worin das Kupfer schwarz angegeben ist. Der Umfang beider hier nur im Gedanken getrennter Rollen bildet eine einzige Cylinderfläche.

a und b sind die Projectionen zweier Kupferfedern, welche ungefähr die Gestalt eines S besitzen, und mit ihrem unteren Ende auf einem Brettchen, das einer Hebung und Senkung fähig ist, festgeschraubt sind. Diese Federn berühren das Rollensystem, seiner ganzen Breite nach, in zwei, diametralen, in Einer Horizontalebene liegenden Linien, und sie vertreten dadurch die Stelle der Quecksilberbehälter bei den beiden früheren Vorrichtungen, indem sie, mittelst Klemmschrauben, die Verbindungsdrähte aufnehmen, welche den Strom durch den in die Kette eingeschalteten Leiter führen sollen.

Aus dieser Einrichtung wird erhellen, daß jede Feder für gewöhnlich nur das Kupfer einer der beiden Rollen berührt, daß diese Berührung aber, nach jedem halben Umlauf des Ankers, von der einen Rolle auf die andere übergeht. Wenn z. B. die Feder a anfänglich auf das Kupfer von A drückte, wird sie, bei dem nächsten halben Umlauf, gegen das Kupfer von B federn; umgekehrt wird es sich mit b verhalten. Giebt man also dem Rollensystem AB eine solche Stellung auf den Axen des Ankers, daß der Wechsel jener Berührung eintreten muß, wann der Strom seine Richtung ändert, d. h. bringt man die Enden der Kupferbogen in die Ebene

des Ankers, so wird offenbar der Strom, der mittelst der Federn *a* und *b* durch den an sie geschraubten Leiter geht, eine constante Richtung haben, so lange man den Anker in einerlei Richtung rotiren läßt.

Eine Unterbrechung des Stroms, oder richtiger eine Abschließung desselben durch das Rollensystem, wird bei dieser Vorrichtung nur während der kurzen Zeiträume stattfinden, wo jede Feder beide Kupferbogen berührt. Je mehr die Federn in Schneiden auslaufen, desto kürzer werden diese Unterbrechungen seyn. Indefs ist es vortheilhaft den Federn eine gewisse Dicke zu lassen, weil aus den Unterbrechungen, da sie in die Perioden der Minima der Strom-Intensität fallen, ein geringerer Verlust entspringt als aus mangelhafter Berührung der Federn mit den Rollen. Auch ist es zweckmäßig, die breiten Federn kammförmig einschneiden zu lassen, damit jeder Kupferbogen von mehreren, wenigstens vier, für sich federnden Stücken berührt werde; auch kann man Rollen und Federn, wenn man will, noch amalgamiren, doch ist dies nicht nothwendig.

Ich habe nach einander alle drei Vorrichtungen zu der beabsichtigten Aequilibrirung angewandt. Ehe ich indefs die Resultate derselben auseinandersetze, muß ich noch eines Umstandes erwähnen, der auf dem ersten Blick diese Operation sehr mißlich zu machen scheinen kann.

Wie leicht zu ersehen, wird der Strom der Volta'schen Kette, indem er den um den Anker der Saxton'schen Maschine gewickelten Draht durchläuft, nicht nur diesen Anker magnetisiren, sondern auch in den parallelen Drahtwindungen Inductionsströme hervorrufen. Es fragt sich nun zunächst, welchen Einfluß diese Wirkungen auf die besagte Aequilibrirung haben können.

Die Magnetisirungen des Ankers sind, wenn der Volta'sche Strom etwas kräftig ist, so stark, daß der Anker, wenn man denselben zuvor rechtwinklich gegen die

die Ebene des Hufeisenmagneten stellt, bei Schließung der Kette mit Gewalt in diese Ebene herabgezogen wird. Man könnte nun meinen, daß dadurch die elektromotorische Kraft der Saxton'schen Maschine, welche der der Volta'schen Kette entgegenwirken soll, bedeutend abgeändert werde. Indefs ist dieß nicht der Fall; denn erstlich magnetisirt der Volta'sche Strom, vom Anfang bis zu Ende seines Daseyns, den Anker stets in einerlei Sinn, und die so empfangene constante Polarität kann, *während ihres Bestehens*, keine Rückwirkung auf den Draht ausüben. Wenn also der Strom der Volta'schen Kette keine Unterbrechungen erleidet, wie es bei Anwendung der Stromwender, S. 396 und 398, der Fall ist (indem, während der Saxton'sche Strom in sich zurückfließt, der Volta'sche ununterbrochen bleibt), wird er die elektromotorische Kraft des Saxton'schen Stroms nicht abändern können. Allein selbst wenn der erste Strom unterbrochen wirkt, wie es bei der Hakenvorrichtung, S. 392, der Fall ist, haben die durch ihn hervorgerufenen Magnetisirungen des Ankers keinen Einfluß. Denn die *Schwächung*, welche der Volta'sche Strom bei seinem *Beginn* durch die *entstehende* Polarität des Ankers erleidet, wird gleich seyn der *Verstärkung*, welche er bei seinem *Ende* durch die *verschwindende* Polarität erfährt; und bei der raschen Folge der Unterbrechungen müssen die Wirkungen dieser abwechselnden Schwächungen und Verstärkungen offenbar einander aufheben. Gleiches gilt von den inductiven Wirkungen, die der Volta'sche Strom in den Drahtwindungen selbst hervorrufft; auch sie zerstören einander, wegen Entgegengesetztheit ihrer Richtung bei Anfang und Ende des Stroms.

Man kann also, wie mir scheint, mit voller Sicherheit annehmen, daß der Volta'sche Strom keine Abänderung in der elektromotorischen Kraft des magneto-elektrischen Stroms veranlasse. Auch können die Verstär-

kungen, welche der erstere Strom, nach allgemeiner Erfahrung, durch jedesmaliges Oeffnen der Kette erfährt, wegen der kurzen Dauer dieser Oeffnungen, nur einen ganz unmerklichen Einfluss haben. Mithin wird man auch den Volta'schen Strom während der kurzen Dauer seiner Aequilibrirung mit dem magneto-elektrischen als von constanter Intensität betrachten können.

Was nun die Resultate dieser Aequilibrirung betrifft, so waren sie kürzlich folgende: Wenn der Anker der Saxton'schen Maschine *acht* ganze Umläufe in der Secunde vollbrachte, und die Volta'sche Zink-Kupfer-Batterie mit verdünnter Schwefelsäure geladen war, wurden etwa *drei* Plattenpaare zu dem beabsichtigten Gleichgewicht erfordert. Bei Anwendung der Hakenvorrichtung (unter Stellung der Hakenebene in Parallelismus mit der Ankerebene, und bei solchem Stande des Quecksilbers, dass die Schließung des Systems in den Quadranten von 45° bis 135° und von 225° bis 315° erfolgen musste, S. 395) hatte die Saxton'sche Maschine ein wenig das Uebergewicht. Bei Anwendung der beiden anderen Stromwender, welche gleichsam die mittlere Intensität der Maschine liefern, oder, weil während der kurzen Unterbrechungen des Saxton'schen Stroms, die Volta'sche Kette fortwirkt, dem Strome dieser einen kleinen Vorsprung einräumen, war dagegen entweder vollkommenes Gleichgewicht oder ein sehr kleines Uebergewicht auf Seite des letzteren Stromes vorhanden.

Ich habe diese Aequilibrirungen sehr oft vorgenommen, ohne indeß ganz scharfe Resultate erhalten zu haben. Der Grund hievon liegt wohl darin, dass einerseits die Multiplicatoren von gewöhnlicher Construction zu eigentlichen Messungen ganz unbrauchbar sind, und dass es andererseits ohne Uhrwerk, welches mir fehlte, fast unmöglich ist, dem Anker der Saxton'schen Maschine die erforderliche Rotationsgeschwindigkeit genau und mit hinlänglicher Constanz zu geben. Indefs wer-

den die angegebenen Resultate sich wenigstens nicht sehr von der Wahrheit entfernen.

Uebrigens ist klar, daß eine solche Aequilibrirung immer eine individuelle bleibt, da jede Saxton'sche Maschine ein anderes Resultat liefern wird. Indefs ist sie dennoch nicht ohne Nutzen. Denn erstlich glaube ich nicht, daß Maschinen von den Dimensionen, wie ich sie anwandte ¹⁾, und wie sie hier auch jetzt der Mechanikus Hr. Oertling in großer Vollkommenheit anfertigt, eine bedeutend größere Wirkung geben werden; und zweitens führt selbst ein solcher individueller Vergleich zu einigen Resultaten von allgemeiner Natur, wovon schon der folgende Zusatz ein Beispiel liefern wird ²⁾. Wegen dieser und ähnlicher Anwendungen, deren die Saxton'sche Maschine fähig ist, schien es mir nicht überflüssig, die verschiedenen Umstände, welche auf ihre Wirksamkeit von Einfluß sind, so wie die Vorrichtungen, welche diese Wirkung zu erhöhen bezwecken, ausführlich zu beschreiben.

Hinsichtlich dieser Vorrichtungen muß ich noch bemerken, daß, in der Wirkung auf die Magnetsadel, die beiden letzten Stromwender (S. 396 und 398) entschieden den Vorzug vor dem ersten haben, in sofern sie schon bei der mäßigen Rotationsgeschwindigkeit von 4 Umläufen in der Secunde eine Ablenkung erzeugen (70° an einem Multiplicator mit einfacher Nadel), die man mit der Hakenvorrichtung, wegen der Unterbrechungen

1) Die von mir angewandte ist von Newman in London gearbeitet.

2) So ist auch durch die Erfahrung, daß die elektromotorische Kraft einer sehr wirksamen Saxton'schen Maschine, bei angegebener Rotationsgeschwindigkeit, nur der von *drei* Zink-Kupfer-Paaren gleich kommt, die Hoffnung, die ich früher von den Wirkungen eines rotirenden Magnetstabes zur Construction einer so sehr wünschenswerthen magneto-elektrischen Maschine von constanter und starker Intensität hegte, bedeutend herabgesetzt. Indefs denke ich die in dieser Hinsicht angefangenen Versuche nächstens wieder aufzunehmen.

des Stroms, mindestens erst bei der doppelten Geschwindigkeit erreicht. Was das Maximum der Ablenkung betrifft, welches man durch möglichst gesteigerte Rotationsgeschwindigkeit zu erlangen vermag, so schien mir zwischen der Wirkung der Haken und der der Sektoren kein grosser Unterschied zu bestehen, vielleicht weil, bei zu rascher Rotation, die letzteren das Quecksilber zu sehr in Schwankung setzen. Die Vorrichtung mit den Federn behielt aber auch hiebei den Vorsprung, was zugleich, da nichts an ihr amalgamirt war, die Vollkommenheit des metallischen Contacts ohne Quecksilber erweisen kann.

Auch bei der Wasserersetzung scheinen die beiden letzten Inversoren, wie es zu erwarten stand, den Vorrang zu haben. Gewissheit habe ich jedoch darüber nicht erlangen können, da die in dem gesäuerten Wasser stehenden Platten, mochten sie von Kupfer oder von Platin seyn, so starke und rasche Veränderungen erlitten, dafs ich, bei mehreren hinter einander angestellten Versuchen mit demselben Inversor und derselben Rotationsgeschwindigkeit, niemals gleiche, sondern fortwährend kleinere Gasmengen erhielt. Die räthselhaften Veränderungen, welche Metallplatten in leitenden Flüssigkeiten durch Wirkung eines elektrischen Stroms erfahren, sind bei der Saxton'schen Maschine, wegen des verhältnifsmäfsig geringen Widerstandes, den der Strom in ihr selbst findet, bei weitem merkbarer als bei der Volta'schen Säule. Die Saxton'sche Maschine wird dadurch ein vortreffliches Instrument, dergleichen Veränderungen näher zu studiren. Eine vorläufige Untersuchung derselben hat mich bereits auf verschiedene merkwürdige Thatsachen geführt, die ich in einer künftigen Abhandlung näher zu beschreiben gedenke.

Zusatz III. — Fechner's Experimentum crucis.

Die Richtigkeit dieses Versuchs kann wohl, bei der anerkannten Genauigkeit seines Urhebers und nach Bestätigung desselben durch einen entschiedenen Gegner der Contacttheorie ¹⁾, keinem Zweifel mehr unterliegen. Eine blofse Wiederholung dieses Versuchs dürfte demnach gegenwärtig ziemlich überflüssig seyn. Indefs bot die eben beschriebene Aequilibrirung der Saxton'schen Maschine mit der Volta'schen Säule eine zu interessante Variation desselben dar, als dafs ich nicht hätte versucht seyn sollen, diese in Ausführung zu bringen.

Die Sache ist auferordentlich einfach. Ich sagte vorhin, dafs der Strom der Saxton'schen Maschine, bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde, drei Zink-Kupfer-Paaren das Gleichgewicht halte, wenn man einen der S. 396 und 398 beschriebenen Inversoren anwendet. Nun *dieses Gleichgewicht bleibt*, so weit sich an einem gewöhnlichen Multiplicator beobachten läfst, *ungeändert, man mag die Platten von einem oder von zwölf Quadratzoll nehmen, mag sie mit Wasser oder mit Säure laden*; ja bei Anwendung von grofsen Platten wird es sichtbar, dafs die Ladung mit Wasser der Kette ein kleines Uebergewicht über die Maschine giebt, eine Erscheinung, die auch Fechner in anderer Weise beobachtet hat, und die sehr ungezwungen durch noch nicht eingetretene Veränderung der Platten erklärlich wird ²⁾.

Unter dieser Form ist das Experimentum crucis frei

1) Annalen, Bd. XXXIV S. 59.

2) Bestätigt wird diese Erklärung durch den Umstand, dafs nach längerer Zeit, und früher bei der mit Säure, als bei der mit Wasser geladenen Kette, mehr als drei Zink-Kupfer-Paare zur Aufhebung des magneto-elektrischen Stroms von angegebener Stärke erforderlich sind. Diefs beweist, dafs die Abnahme des hydro-elektrischen Stroms durch Schwächung der elektromotorischen Kraft erfolgt, wenn gleich Erhöhung des Leitungswiderstandes auch dazu beitragen kann.

von den (auch sonst nicht begründeten) Einwürfen, welche man gegen dasselbe erhoben hat. Denn hier bleibt der Leitungswiderstand, welchen die Volta'sche Kette, sie mag mit Wasser oder mit Säure geladen seyn, ausserhalb ihrer selbst zu überwinden hat, immer der nämliche; es ist nur der in ihrem Schliessungsdraht erregte magneto-elektrische Strom, der ihre Wirkung aufhebt. Der einzige Einwand, der den Gegnern allenfalls bliebe, wäre der, dafs sich das Gleichgewicht der Ströme nicht in letzter Schärfe beobachten lasse. Indefs stehen erstlich die möglichen Fehler bei dieser Beobachtung in gar keinem Verhältnifs zu dem ausserordentlich grofsen Unterschied in der Intensität der Ströme einer mit Wasser und einer mit Säure geladenen Volta'schen Kette, und für's Zweite könnte Der, welcher die Gültigkeit des beschriebenen Versuchs noch bezweifeln wollte, denselben leicht in solcher Weise wiederholen, dafs jeder Zweifel gehoben würde. Die Anwendung eines Spiegelapparats wie ich ihn in diesen Annalen, Bd. VII S. 121 beschrieben habe, und die Drehung der Saxton'schen Maschine durch ein Uhrwerk würden diesen Zweck vollkommen erreichen lassen. Mir scheint indafs die Anwendung dieser Mittel, blofs dieses Zweckes halber, ein unnöthiger Luxus zu seyn ¹⁾).

Ich habe übrigens das Experimentum crucis noch in folgender Weise wiederholt. Ich nahm zwei Trogapparate, jeden von zwei Zink-Kupfer-Paaren. Die Platten beider waren quadratisch, aber bei dem einen hielten sie einen Zoll in Seite, und bei dem andern drei und einen halben Zoll, so dafs sie sich, der Fläche nach,

1) Einen anderen Weg, die Richtigkeit der von Fechner aus seinem Experimentum crucis gezogenen Schlüsse zu erweisen, giebt die Compensation einer hydro-elektrischen Kette durch eine thermo-elektrische an die Hand. Ich habe einige vorläufige Versuche in dieser Beziehung angestellt, deren weitere Verfolgung Gegenstand einer künftigen Abhandlung bilden soll.

wie 1 : 12 verhielten; überdies stand jede der größeren Zinkplatten zwischen zwei Kupferplatten. Nun verband ich beide Apparate in widersinniger Lage, schaltete einen Multiplikator ein und lud die *kleineren* Platten mit *Brunnenwasser*, die *größeren* mit *verdünnter Schwefelsäure*. Trotz der großen Ungleichheit in der Flächengröße und in der in's Spiel gesetzten Affinität war aber doch im Wesentlichen der Strom Null oder Gleichgewicht zwischen beiden Apparaten vorhanden. Dieser Versuch beweist zugleich, daß die Verdopplung der Kupferfläche auch nur dadurch den Strom verstärkt, daß sie den Leitungswiderstand verringert.

II. *Untersuchungen über die Eigenschaften der magneto-elektrischen Ströme;*

(Schluß von S. 179.)

IV. Einfluß der Größe und Gestalt des metallischen Leiters, der die Ströme in die Flüssigkeit führen soll.

Mehrmals hatte ich bei den vorhergenannten Versuchen beobachtet, daß ich, wenn ich Platinplatten von 4 bis 8 Quadratcentimetern in den flüssigen Leiter tauchte, um die Ströme darin einzuführen, kein oder wenig Gas an ihrer Oberfläche erhielt; dagegen wurde die Gasentwicklung reichlich, wenn ich, alle übrigen Umstände gleichlassend, statt der breiten Platten schmalere, oder, besser noch, bloße Drähte nahm. Um diese Erscheinung zu studiren, brachte ich in die Kette Säuren von verschiedener Concentration, einerseits mittelst einer Platinplatte, die ich mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit eintauchen konnte, andererseits mittelst eines Platindrahts, den ich mit einer oben geschlossenen Röhre umgeben konnte, um das an ihm entwickelte Gas auf-