I. *Ueber die magnetisirende und elektrolytische Wirkung des elektromagnetischen Inductionsstroms;
von Dr. Sinsteden.*

Von dem in diesen Annalen Bd. 96, S. 353 beschriebenen Inductionsapparate habe ich erwähnt, daß er eine bedeutende Menge Elektricität in Bewegung setze, so daß er einen $\frac{3}{4}$ Millimeter dicken Platindraht in anhaltendes starkes Glühen versetze, dünnere Drähte zu $\frac{1}{4}$ Millimeter dicken Platinkügelchen zusammenschmelze, und daß er deshalb wohl einer technischen Verwendbarkeit fähig zu seyn scheine. Denn von einem elektrischen Strome, der einen so starken Platindraht anhaltend glühend erhalten kann, läßt sich annehmen, nicht nur, daß er entsprechende elektrolytische, sondern auch das Eisen magnetisirende Wirkungen hervorbringen werde.

Ich habe vorläufigst einige Versuche gemacht, mittelst des elektromagnetischen Inductionsstromes einen Elektromagneten zu erregen, und habe bald eine Methode gefunden, dieß sehr einfach und in überraschender Stärke zu bewirken; denn mein erster so erregter Elektromagnet trug anhaltend 6 Pfund. Als Elektromagnet hatte ich die beiden $1\frac{1}{2}$ Zoll langen und $1\frac{1}{8}$ Zoll dicken Inductionsrollen eines kleinen Saxton'schen Rotationsapparates benutzt. Dieß günstige Resultat ließ voraussehen, daß der Inductionsstrom den Inductor des Saxton'schen Apparats auch wohl in Rotation würde versetzen können; ich stellte daher sogleich diese Maschine wieder zusammen, ordnete die Federn so gegen die Commutatorwalze, daß wenn der Apparat durch das Schwungrad gedreht wird, ein gleichge-

richteter, ununterbrochener Strom entsteht, und liefs jetzt den Volta-Inductionsstrom durch jene Federn so in den Inductor der Saxton'schen Maschine eintreten, dafs dieser sich in entgegengesetzter Richtung, wie er sonst mit der Hand gedreht wird, bewegen mufste, — wenn anders hierzu die Eisenkerne durch den Inductionsstrom hinreichend stark magnetisirt würden. So wie ich die Kette schlofs, setzte sich der Inductor der Saxton'schen Maschine wirklich in lebhafte Rotation, die in einigen Sekunden eine rapide Schnelligkeit erlangte. Ich liefs jetzt das Zahnrad, durch welches der Apparat sonst in Bewegung gesetzt wird, in das Trieb der Rotationsaxe des Inductors eingreifen, wodurch die Schnelligkeit der Rotation merklich verlangsamt wurde, und konnte nun an der Kurbel des Zahnrades seine Umdrehungen zählen. Es waren in der Minute 115 bis 120, und da der Saxton'sche Apparat so eingerichtet ist, dafs auf eine Umdrehung des gezahnten Schwungrades gerade 10 Umdrehungen des Inductors kommen, so hatte letzteres also eine Geschwindigkeit von über 1000 Umdrehungen in der Minute erlangt. Diefs Ergebnifs erzielte ich einzig dadurch, dafs ich zwei Stückchen Bunsen'scher Kohle in geringer Entfernung von einander in den Schliefsungskreis eingeschaltet hatte. Anstatt der Kohlenspitzen, Graphit- oder Silber- oder Platinspitzen oder -Platten, die durch Luft, Wasser, Schwefelsäure, Fliefspapier oder Elfenbein von einander getrennt sind, eingeschaltet, bewirken zwar eine starke Ablenkung der Nadel des Multiplicators, aber eine so starke Magnetisirung, wie die obigen, bringen sie nicht hervor: dazu sind durchaus nur die Kohlenspitzen tauglich. Schon im Mai vorigen Jahres habe ich diese Beobachtungen einem Physiker in Berlin, der zugleich ein berühmter Techniker ist, mitgetheilt; später habe ich mit dem durch Kohlenspitzen unterbrochenen Inductionsstrome auch die Zersetzung des Wassers vorgenommen. Zu dem Zweck ist es nun nicht mehr nöthig, sich feinsten Platindrähte oder der Wollaston'schen Röhren, wie Hr. Quet es gethan hat, zu be-

dienen, sondern ich erhielt an den $\frac{5}{4}$ Zoll langen, $\frac{1}{4}$ Zoll breiten Voltameterplatten, die $\frac{1}{4}$ Zoll auseinander in verdünnter Schwefelsäure standen, eine sehr lebhafte und ruhige Wasserzersetzung, indem die Glasbläschen von den Platten durchaus gleichmäÙig, nicht stofsweise oder unter Lichterscheinungen aufstiegen, das Sauerstoffgas ausschliesslich an der einen, das Wasserstoffgas an der andern Voltameterplatte ausgeschieden wurde, und also eine wahre elektrolytische Zersetzung zu Stande kam. Bei häufig wiederholten Versuchen erhielt ich immer in 13 bis 14 Minuten einen Kub.-Zoll Knallgas. Schaltete ich drei Voltameter, alle wie das angegebene eingerichtet, hintereinander in den Strom ein, so entwickelte sich in jedem einzelnen innerhalb 20 Minuten ein Kub.-Zoll Gas; oder in allen zusammengekommen entwickelte sich in weniger als 7 Minuten ein Kub.-Zoll Gas.

Um mit den mir zu Gebote stehenden Mitteln wenigstens einigermaÙen beurtheilen zu können, in welchem Grade der durch Kohlenspitzen unterbrochene Inductionsstrom weniger vom Leitungswiderstande abhängig seyn möchte, als der galvanische Strom, lieÙ ich den ersteren durch folgende Widerstände gehen: durch die vier Rollen zweier Saxton'schen Maschinen, — durch die oben erwähnten drei Voltameter, — durch 8 Pfund eines 1 Millm. dicken umspunnenen und auf eine Rolle gewickelten Kupferdrahts, — und durch die beiden Inductionsrollen zweier zu ärztlichem Gebrauch dienender Inductionsapparate, von denen jede etwa 800 Fuß sehr feinen Kupferdrahts enthält. Dieselben waren auf die Schenkel eines U-förmigen $\frac{1}{4}$ Zoll breiten cylindrischen Eisenstabs gesteckt, an dessen geebneten Enden ein 5 Pfund schweres Eisen als Trageanker angelegt war. Als der Inductionsstrom alle diese Widerstände hintereinander durchlieÙ, wurde der fünfpfündige Anker kräftig angezogen und anhaltend getragen; in den drei Voltametern fand eine lebhafte Gasentwicklung statt und die beiden Saxton'schen Apparate rotirten mit äußerster Schnelligkeit, während die Kohlenspitzen ein

lebhaftes Licht verbreiteten. Schon dieser oberflächlich angestellte Versuch zeigt, daß der durch Kohlenspitzen unterbrochene Inductionsstrom rücksichts der Menge der Elektrizität sich mehr dem galvanischen, rücksichts der größern Unabhängigkeit vom Leitungswiderstande dagegen dem reibungselektrischen Strom anschließt. Gewiß wohl dürfte daher dieser Strom dazu bestimmt seyn, nach Vollendung der 2000 Meilen langen unterseeischen, Europa mit Amerika verbindenden Drahtleitung die telegraphische Correspondenz zwischen diesen Continenten zu vermitteln. — Bei allen hier genannten Versuchen habe ich mich zweier mittelgroßer, säulenartig verbundener Bunsen'scher Elemente bedient.

Der Grund, warum die Einschaltung von Kohlenspitzen in den Inductionsstrom seine magnetisirende und elektrolytische Wirksamkeit im Vergleich mit eingeschalteten Metallspitzen so außerordentlich steigert, ergiebt sich zum Theil aus den schon von Hrn. Prof. Poggendorff (Ann. Bd. 94, S. 635) auseinandergesetzten Umständen; daß nämlich durch Verflüchtigung der Elektroden eine bessere Leitung zwischen ihnen hergestellt, daher ein reichlicher Uebergang der Funken bewirkt, und damit eine größere Stromstärke hervorgebracht wird. Diese Verflüchtigung und Ueberführung von einer Elektrode zur andern ist aber bei der Kohle viel größer, als bei den wenigst cohärenten und am leichtesten verdampfbaren Metallen; auch wirkt unter den verschiedenen Kohlensorten die losere besser, als die sehr harte; am schlechtesten ist die Gasretortenkohle und der Graphit. Hiemit zwar zusammenhängend, aber doch so eigenthümlich, daß es besonders besprochen zu werden verdient, ist der Umstand, daß bei Einschaltung von Metallspitzen ein großer Theil der Elektrizität in der Inductionspirale zurückbleibt, und daß dieser theilweise Uebergang nur äußerst kurze Zeit dauert, — dagegen zwischen Kohlenspitzen alle inducirte Elektrizität der Spirale übergeht und daß dieser Uebergang längere Zeit hindurch andauert. Diese unterschiedlichen Vorgänge lassen sich in netter

Weise zur evidenten Anschauung bringen. Hängt man einen etwa 5 Zoll langen, $\frac{1}{2}$ Zoll breiten schwarzen Spiegel, der unten durch ein angekittetes Klötzchen Blei beschwert ist, pendelartig auf, und läßt ihn mit seiner spiegelnden Fläche dem Funken der am horizontalen Platinstift des Unterbrechers anscheinend continuirlich erscheint, nahe gegenüber schwingen, so löst sich dieser anscheinend stetige Funken im Spiegel in eine geradlinige lange Reihe einzelner punktförmiger Fünkchen auf; denn da dieser Funken in Wirklichkeit discontinuirlich ist, so werden die einzelnen rasch auf einander folgenden Fünkchen, aus denen er besteht, unter einem stetig sich verändernden Winkel jedesmal von einer andern Stelle des schwingenden Spiegels ins Auge reflectirt. Dieses Spiegelpendels habe ich mich schon seit Jahren anstatt des Kopfschüttelns (Annal. Bd. 76, Bd. 33) bedient, um die Discontinuität eines leuchtenden Punktes zu erkennen. Die über der ganzen Länge des Spiegels erscheinende Funkenlinie ist natürlich veränderlich, je nach der größeren Schnelligkeit der Schwingungen des Unterbrechers sowohl, als auch des Spiegels selbst; die Fünkchen erscheinen demnach in Abständen von einer halben Linie bis drei Linien, aber jedes einzelne Fünkchen erscheint unter allen Umständen immer nur als Punkt, wie nach der Richtung der Funkenlinie in die Länge gezogen; jedes einzelne Fünkchen zeigt sich also bei der verhältnißmäßig geringen Geschwindigkeit der Spiegelschwingungen nur als von instantaner Dauer. Ganz ebenso verhalten sich die Funken an den Polen der Inductionsspirale, wenn diese aus irgend einem Metall bestehen, und in dem pendelnden Spiegel beobachtet werden. Läßt man diese Funken bei größerem Abstände der Pole linienförmig in horizontaler Richtung überschlagen, so erscheinen im bewegten Spiegel in langer Reihe horizontale Parallellinien durch größere oder kleinere Abstände von einander getrennt. Stehen die Pole sich ganz nahe, so sieht man im Spiegel anstatt der Linien, eine lange Reihe kleiner Lichtpunkte, — aber weder die Linien, noch diese Punkte zeigen sich in senkrech-

ter Richtung irgend wie verbreitert oder in die Länge gezogen. Vertauscht man nun aber die Metallelektroden mit Kohlenspitzen, so tritt die überraschende Erscheinung ein, daß man im Spiegel das übergehende Funkenlicht nicht als eine Reihe weit auseinander stehender Pünktchen sieht, sondern die Lichterscheinung im Spiegel besteht jetzt *aus einer Reihe etwa 2 Linien langer senkrechter Striche, die durch einen nur sehr kleinen dunkeln Zwischenraum von einander getrennt sind*. Diese leuchtenden senkrechten Striche repräsentiren die Dauer des Oeffnungsstroms, — in den sie trennenden dunkeln Zwischenraum fällt die Zeit des Schließungsstroms, der nicht übergeht. Es ist hiernach also klar, daß zwischen Metallelektroden die Elektrizität der Inductionsspirale nur bei ihrer anfänglichen Spannung durch ein momentanes Fünkchen überzugehen vermag, daß nach dem einmal übergegangenen Fünkchen ihre Spannung so abgenommen hat, daß sie nun nicht weiter durch die Luft übergehen kann und daher in der Spirale zurückbleibt, — daß dagegen zwischen Kohlenspitzen die Elektrizität der Spirale nicht in einem momentanen Fünkchen, sondern andauernd, durch materielle Leitung der verflüchtigten und übergehenden Kohle vollständig übergeführt wird, — und daß ferner die genäherten Kohlenspitzen während der Dauer der Schließung der Magnetisirungsspirale die Inductionsspirale vollkommen gut geöffnet lassen, so daß diese nicht gleich einer leitenden, geschlossenen Hülle der Entwicklung des Magnetisierungsstroms und der kräftigen Ausbildung des Magnetismus des Eisenkerns hinderlich wird. Das Spiegelbild zeigt also, daß die genäherten Kohlenspitzen dem Oeffnungsstrom eine vollkommen gute Leitung gewähren, dem Schließungsstrom dagegen eine vollkommene Isolation entgegenstellen, die verhindert, daß er sich irgendwie entwickle. Der besprochene Vorgang geht auch noch daraus deutlich hervor, daß wenn der Oeffnungsinductionsstrom zwischen sehr nahe gestellten Metallspitzen übergeht, von der einen Elektrode, die dem äußern Drahtende der Inductionsrolle angehört, immer noch Fünkchen

auf den genäherten Finger strömen, daß dagegen, wenn er zwischen Kohlenspitzen übergeht, selbst wenn diese zwei und dreimal weiter auseinander stehen, als die Metallspitzen, auf den genäherten Finger keine Fünkchen sprühen. Im ersten Falle fließt der Elektrizitätsrest, der nicht zwischen den Metallspitzen übergehen konnte und in der Spirale zurückblieb, auf den genäherten Finger, im andern Falle geht alle Elektrizität zwischen den Kohlenspitzen über und es bleibt keine in der Spirale zurück, die anderwärts abfließen könnte. — Aus diesem Verhalten folgt auch, und ich habe es bestätigt gefunden, daß der Fizeau'sche Condensator bei dem durch Kohlenspitzen unterbrochenen Inductionsstrome keine Anwendung finden kann, darum, weil dieser sich eben als vollkommen geschlossener Strom darstellt, bei dem, wie Hr. Prof. Pogendorff gezeigt hat, der Condensator ohne allen Einfluß ist, weil keine Spannungselektrizität auftritt, die ihn laden könnte. Weil bei dem durch Kohlenspitzen unterbrochenen Inductionsstrome keine Spannungselektrizität auftritt, sondern freie Strömung vor sich geht, vermuthete ich, daß hier die Contacttheile des Unterbrechers von Platin, durch solche von Silber würden ersetzt werden können, bei deren Anwendung, wie ich früher gefunden habe, auch keine Spannungselektrizität an den Polen der Inductionsspirale sich zeigt.

Der Versuch bestätigte diese Vermuthung vollkommen: mit den silbernen Contacttheilen des Unterbrechers erhielt ich nahe ebenso starke elektrolytische und magnetisirende Wirkungen des Apparats, wie mit dem Platinunterbrecher. Die silbernen Contacttheile würden hier wegen ihrer Dauerhaftigkeit und ihrer gleichmäßigen Wirkung vorzuziehen seyn, wenn nicht der Nachtheil sich gezeigt hätte, daß bei ihrer Anwendung die Kohlenspitzen sehr nahe aneinander gebracht und fortwährend genau so regulirt erhalten werden müssen, wenn der Strom nicht häufig ganz ausbleiben soll ¹⁾.

1) Den Unterschied in der *spannungselektrischen Wirkung* des Inductionsapparats bei Anwendung platinener oder silberner Contacttheile des

Was die Construction des Inductionsapparats betrifft, wenn er eine starke magnetisirende Wirkung äufsern soll, so wird sie vorzüglich dahin zielen müssen, daß eine große Menge Electricität in Bewegung gesetzt wird. Will man

Unterbrechers hat Hr. Rijke nicht so groß gefunden, wie ich ihn angegeben habe. Derselbe ist geneigt, zu glauben, daß mein negatives Resultat dem Mangel an Druck des Hammers auf den Amboss zugeschrieben werden müsse. Indem ich dem Grunde der Erscheinung nachgeforscht habe, hat sich herausgestellt, daß es allerdings von dem Drucke, den die Zunge gegen den Silberstift ausübt, abhängt, ob Funken an den Polen erscheinen oder ganz ausbleiben. Aber es ist nicht der Mangel an Druck, der das Ausbleiben jener Funken veranlaßt, sondern im Gegentheil der zu starke Druck. Bei dem von mir angegebenen Apparate drückt die federnde Zunge mit einer von 2 bis 4 Pfund verstellbaren Federkraft gegen den Stift, und die Schwingungsweite am Stift beträgt nicht $\frac{1}{4}$ Linie. Beträgt dieser Druck viel unter 2 Pfund, so schwingt die Zunge nicht, weil sie von den, durch den gegenüberliegenden Stahlmagneten magnetisirten Eisencylindern angezogen und festgehalten wird; nach Entfernung des Stahlmagneten schwingt sie aus dem entgegengesetzten Grunde nicht, indem sie nämlich gar nicht von dem Platinstift abgezogen wird. Innerhalb der Gränzen von 2 bis 4 Pfund Druck, den ich bei meinem Apparat also anwenden muß, tritt nun beim Gebrauch des Silberstifts durchaus keine Spannungselectricität auf. Als ich aber den Stahlmagneten entfernt, und die Zunge von allem Federdruck befreit hatte, so daß sie sich nur durch das fortgeschlagene Messingblech, welches sie trägt, gegen den Silberstift mit geringem Druck anlehnte, erhielt ich jetzt an den Polen des Apparats bis zu $\frac{1}{2}$ Zoll lange Funken. Bei diesem geringen Druck sind die Inductionsfunken sowohl mit Anwendung des Platin- als auch des Silberstifts sehr einzelt und die elektrolytische und magnetisirende Wirkung bei Einschaltung der Kohlenspitzen ist sehr schwach. Die Länge der Funken hängt wenig vom Druck ab, sie bleibt sich bei jedem Drucke ziemlich gleich. Bei Anwendung des Stahlmagnets und mit Verstärkung des Drucks von 2 bis über 4 Pfund hören aber die einzelnen überspringenden Funken ganz auf; es zeigt sich jetzt statt derselben ein anhaltender oft zwei- oder dreisträhniger Feuerstrahl bis zur Länge eines Zolls; das heißt also, die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge, die Zahl der Funken in der Zeiteinheit, nimmt mit der Verstärkung des Drucks ungemein zu; es wächst die Stromstärke und mit ihr natürlich die elektrolytische und magnetisirende Wirkung des Apparates. Zur Erreichung dieser Wirkungen dürfte es daher nicht vortheilhaft seyn, sich der abgesonderten Stromunterbrecher zu bedienen, bei denen wegen der Kleinheit des Elektromagnets die Gewaltigkeit der Stromunterbrechung verloren geht.

zu diesem Zwecke nun nicht ungeheuerere Massen eines sehr dicken Inductionsdrahts verwenden, so ist die Einrichtung des Apparats, wie ich sie in diesen Annalen Bd. 96, S. 359 angegeben habe, sehr wirksam. Ich meine die Verbindung der Inductionsspirale an ihrem Anfange und Ende mit einigen Windungslagen sehr dicken Drahts und eines breiten Metallbandes. Foucault rühmt neuerdings die auch von Ruhmkorff befolgte Einrichtung, wobei die Inductionsspirale durch ein Glasrohr von der Magnetisirungsspirale und dem Eisenkern vollkommen isolirt wird. Um recht lange Inductionsfunken in freier Luft zu erzielen, mag diese gute Isolation auch des innern Endes der Inductionsspirale zweckmäfsig seyn, jedenfalls ist sie in allen Fällen der Anwendung von Kohlenspitzen im Schliessungskreise unnöthig, weil dann kein Bestreben der Elektricität, nach aufsenhin abzufliefsen, vorhanden ist. Nachtheilig ist aber diese Einrichtung für die Erlangung der gröfstmöglichen Menge inducirter Elektricität. Hat man nämlich, wie ich es angegeben habe, den Anfang der Magnetisirungsspirale als den einen Pol des Inductions-Apparats genommen, das Ende der Magnetisirungsspirale mit dem Anfange der Inductionsspirale zusammengelöthet, und endlich das Ende derselben an den Anfang des breiten, mehre Windungen machenden Stanniolbandes (welches zweckmäfsiger wohl ein Kupferband wäre) gelöthet, und zuletzt das Ende dieses Bandes als zweiten Pol genommen, so ist durch diese Einrichtung der Vorgang beim Schliessen des galvanischen Elements durch die Magnetisirungsspirale nicht geändert: im ersten Moment der Schliessung entsteht in dieser Spirale der dem galvanischen Strome entgegengesetzte und ihn schwächende Gegenstrom — daher die Nothwendigkeit, die Schliessung durch den *federnden* Unterbrecher über die Dauer dieses momentanen Gegenstroms zu verlängern, damit der galvanische Strom für sich allein, und der Magnetismus des Eisenkerns sich von dem Gegenstrome nicht mehr behindert, kräftig entwickeln können. In der eigentlichen Inductionsspirale kommt der Schlie-

fsungsstrom gar nicht zu Stande, weil die Kohlenspitzen diese Spiralen vollständig unterbrechen, für ihn also eine Strombahn gar nicht vorhanden ist. Beim Oeffnen der Magnetisirungsspirale aber und dem Verschwinden des Magnetismus des Eisenkerns setzt sich jetzt der starke Oeffnungsstrom gleichsinnig zusammen aus dem Extrastrom der Magnetisirungsspirale und aus dem Oeffnungsstrom der mit ihr in Eins fortlaufenden Inductionsspirale und des Stanniolbandes, und so kommt also bei dieser Einrichtung eine viel gröfsere Menge Elektricität in Strombewegung, als wenn der dünne, für sich isolirte Inductionsdraht allein benutzt wird. Man gewinnt selbst noch einen kleinen Zuwachs an Breite und Fülle der Funken des Apparats dadurch, dafs man auch den Eisenkern mit dem einen Pol bildenden Anfang der Magnetisirungsspirale metallisch verbindet.

II. *Darstellung eines reinen Eisenamalgams.*

Es ist bekannt, sagt R. Böttger (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt 1855 bis 56), dafs wenn man ungefähr 2 Gewichtstheile krystallisirtes Quecksilberchlorid mit 1 Gewichtstheil fein zertheilten Eisens (*limatura ferri* der Officinen) innig zusammenreibt, und sodann, unter stetem Umrühren 2 Gewichtstheile kalten Wassers hinzugefügt, das Ganze ins heftigste Sieden geräth. Hiebei bilden sich Eisenchlorür, Calomel und etwas Eisenamalgam. Fügt man in dem Augenblick, wo die heftige Erhitzung anfängt, noch etwas metallisches Quecksilber hinzu, so entsteht noch mehr Eisenamalgam, das natürlich vollkommen rein ist und vom Magnet stark angezogen wird.