

im Kreise der galvanischen Säule aufgestellt hat. Es möchte dieser Beweis eben so sehr für die Ueberzeugung von der Richtigkeit jener Voraussetzungen von Werth seyn, als umgekehrt die innige Verbindung der neu beobachteten Thätigkeit des Stromes mit den früher schon erforschten Wirkungen desselben der Untersuchung der ersteren ein besonderes Interesse verleihen.

---

## II. *Ueber die Reciprocität der elektro-magnetischen und magneto-elektrischen Erscheinungen;* *von Plücker.*

---

1. In dem Nachfolgenden theile ich zunächst eine zusammenhängende Gruppe von Versuchen mit, welche zur Unterstützung meiner Auffassungsweise der Reciprocität zwischen den elektro-magnetischen und magneto-elektrischen Erscheinungen vor etwa zwei Jahren angestellt worden sind. Die Apparate wurden damals auf dem physikalischen Kabinete und von Hrn. Fessel in Köln ausgeführt und sind theilweise, jedoch ohne Angabe ihres vollen Gebrauches (jeder Apparat ist zugleich ein elektro-magnetischer und magneto-elektrischer), schon in die Hände der Physiker gekommen. Ich hätte gern diese Mittheilung bis zur vollständigen Reife meiner theoretischen Auffassungsweise zurückgehalten; da aber Hr. Faraday neuerdings hierher gehörige Versuche der *Royal Society* mitgetheilt und auch in einem Vortrage vom 26. Januar d. J., in der *Royal Institution*, von welchem ein Auszug mir vorliegt, aufgenommen hat und diese Versuche bereits in den Journalen besprochen werden und die Aufmerksamkeit auf die »unipolare Induction« des Hrn. W. Weber zurückgelenkt haben, so finde ich mich aufgefordert, auch meine frühere Arbeit mitzutheilen. Sie würde indessen ihre Bedeutung ver-

verlieren, wenn ich das Theoretische ganz unterdrücken wollte. Man wird aber hierbei eine absichtliche Kürze mir zu Gute halten und in der Vorsicht, mit der ich mich auszudrücken bemüht habe, die Absicht erkennen, daß ich mir das volle Recht, meine Auffassungsweise in Zukunft definitiv zu formuliren, vorbehalte.

#### §. 1. Experimentales.

2. Auf die Mitte einer 12<sup>mm</sup> dicken und 150<sup>mm</sup> langen, kupfernen Axe (Fig. 6 Taf. I.) wurde eine Scheibe von Messing von 50<sup>mm</sup> Durchmesser, concentrisch aufgesteckt, welche zur Aufnahme eines runden Magnetstabes, der 96<sup>mm</sup> lang und 11<sup>mm</sup> dick war, noch eine zweite Oeffnung hatte, welche etwa in gleicher Entfernung von der mittlern Oeffnung, durch welche die Axe ging, und vom Rande sich befand. Der Magnet wurde mit seiner Mitte in dieser Oeffnung so befestigt, daß er der Axe parallel war. Diese war lang genug, um an einem ihrer hervorragenden Enden, eine Rolle aufnehmen zu können, über welche eine Schnur ging, welche das Ganze in rotirende Bewegung versetzte. Während ein Drahtende des Galvanometers mit einer metallischen Feder verbunden war, die an dem frisch amalgamirten Umfange der messingenen Scheibe anlag, war das andere Drahtende in einem der beiden messingenen Axenhalter eingeklemmt, oder federte gegen den Umfang der kupfernen Axe an einem ihrer beiden Enden. Das angewandte Galvanometer hatte eine stark magnetische Doppel-nadel (die jedoch nicht astatisch war), und die Anzahl der Windungen des 5<sup>m</sup> langen und 2<sup>mm</sup>,5 dicken Kupferdrahts betrug 30.

3. Bei einer mäßig schnellen Drehung des Apparates schlug die Nadel um 30 bis 40 Grade aus. Wenn die Axe und der Magnet hierbei die verticale Lage hatten, wenn der Südpol oben war und der Apparat, von oben angesehen, umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr gedreht wurde, so stieg der Strom in der kupfernen Axe von der Mitte zum oberen Ende. Die Richtung des Stroms änderte

sich, wenn in entgegengesetzter Richtung gedreht, oder wenn der Magnet umgekehrt in die Messingscheibe eingesteckt wurde. Ein zweiter gleicher und gleichgerichteter Strom wurde durch die Galvanometer-Nadel angezeigt, als das eine Drahtende statt, wie eben angenommen wurde, mit dem oberen Ende der kupfernen Axe, mit dem untern Ende derselben in leitende Verbindung gebracht wurde. Bei gleichzeitiger Verbindung desselben Drahtendes mit den beiden Enden der kupfernen Axe erhält man einen doppelten Strom, der von der Mitte dieser Axe nach ihren Enden, oder umgekehrt geht.

4. Wenn keine leitende Verbindung zwischen der Mitte und den Enden der kupfernen Axe besteht, so findet in dieser eine elektrische Vertheilung statt, wonach die eine der beiden Elektricitäten in der Mitte, die andere an den beiden Enden auftritt. Unter den zu Anfang der vorigen Nummer angeführten Verhältnissen, sammelt sich in der Mitte die negative, an den beiden Enden die positive Elektricität. Wenn hierbei auch die Nachweisung dieser elektrischen Vertheilung am Elektrometer durch mich nicht versucht worden ist, so ist dieses doch in analogen Fällen, wie zum Beispiel beim Arago'schen Rotations-Magnetismus geschehen und daher als unzweifelhaft anzusehen.

5. Ob der Magnet ohne Weiteres oder isolirt in die Messingscheibe gesteckt wurde, machte keinen bemerkbaren Unterschied in der Stärke des Stromes.

6. Bei nicht zu grofser Reibung wird der Apparat in rotirende Bewegung gesetzt durch einen mäfsigen Strom, der durch die Scheibe von der Mitte zu den Enden der kupfernen Axe, oder umgekehrt geleitet wird. Und zwar bestimmt sich die Richtung der Drehung, wie in analogen Fällen, dadurch, dafs sie derjenigen entgegengesetzt ist, welche in den eben beschriebenen Versuchen einen Strom von gleicher Richtung mit dem hier gegebenen hervorbringt.

7. Es wurden ferner zwei hohle Cylinder von dickem Kupferblech (Fig. 7 Taf. I.) auf die untere Fläche der

Messingsscheibe so aufgelöthet, dafs ihre Axe mit der Umdrehungsaxe zusammenfiel. Der eine dieser Cylinder hatte denselben Durchmesser als die Scheibe, so dafs er die untere Hälfte der Magnete ganz umgab; der Durchmesser des anderen Cylinders (der überdiess noch von der Axe isolirt war) war dagegen so klein, dafs der Magnet ausserhalb blieb. Wenn man das eine Ende des Galvanometers mit der Scheibe und das andere nach einander mit dem untern Rande jedes der beiden Cylinder in leitende Verbindung brachte, so wurde, wie früher, ein namhafter Strom, und zwar, in *beiden* Fällen, bei gleicher Drehung und gleicher Polarität auch von derselben Richtung hervorgerufen.

8. Die Cylinder sind in diesen Versuchen als ein Aggregat von Leitungsdrähten, die sich aus ihnen, der Länge nach, schneiden lassen, anzusehen, und somit entsteht in jedem solcher Leitungsdrähte, der mit dem Magneten um eine parallele Axe sich dreht, wenn für Leitung gesorgt ist, nothwendig ein Strom.

9. Die Wirkung der verschiedenen Apparate wurde bedeutend (um das Sechsfache) verstärkt, so dafs die Galvanometernadel leicht ganz herumgeworfen werden konnte, als in dieselbe Messingscheibe sechs gleiche Magnete, deren Pole gleich gerichtet waren, eingesteckt wurden. Zwei Holzscheiben mit sechsfachen Oeffnungen hielten hierbei die sechs Magnete an ihren Enden fest.

10. Wenn, bei dem Versuche der 2. Nummer oder dem modificirten der vorigen, die Scheibe mit den Magneten festgehalten, und blofs die kupferne Axe gedreht wird, ist kein Strom bemerklich.

11. Ein anscheinlich ganz gleicher Strom wie früher zeigte sich aber, als um die ruhende kupferne Axe die Scheibe mit dem Magneten gedreht wurde.

12. Höchst merkwürdig mufs es erscheinen, dafs, bei dem Versuche der 2. Nummer, *Magnetpol. und Leitungsdraht ihre gegenseitige Lage in keinerlei Weise ändern*. Stellen wir mit diesem Versuche den Versuch der vorigen Nummer zusammen, wonach die Stromstärke dieselbe ist,

gleichviel ob die kupferne Axe sich gleichzeitig mitdreht, oder nicht, so ergibt sich die nachstehende Erklärung in natürlicher Weise.

Wenn durch die Rotation eines Magneten in einem Leitungsdrahte die Bedingung zur Erregung eines Stromes gegeben ist, so kann eine beliebige dem Leiter gegebene Bewegung (deren Geschwindigkeit gegen die Stromgeschwindigkeit als verschwindend zu betrachten ist), wenn dadurch jene Bedingung nicht gestört wird, durchaus keinen Einfluß auf den Inductionsstrom haben. Eine solche Störung findet namentlich dann nicht statt, wenn der Leiter ein hohler oder massiver Cylinder ist, der um seine Axe rotirt.

Was diese Anschauungsweise noch Unbestimmtes haben mag, wird in den späteren Nummern vollständig verschwinden.

13. In den vorstehenden Versuchen erzeugt die bloße Bewegung des Magnets da einen Strom, wo in gehöriger Lage ein Leiter sich vorfindet. Diesen findet der Magnet *in sich selbst*, wenn er, allein für sich, um seine Axe rotirt. Wir können uns hier unendlich viele magnetische Pole denken, welche rings um die Axe herum vertheilt sind und zusammen den einzigen Pol bilden.

14. Ich machte den ersten Versuch mit einem kleinen runden Magneten von 100<sup>mm</sup> Länge und 10<sup>mm</sup> Dicke, gegen welchen ich zwei metallische Federn, die mit den beiden Drahtenden des Galvanometers verbunden waren, drücken und dann den Magneten um seine Axe rotiren ließ. Während die eine Feder fortwährend die Mitte berührte, wurde die andere in verschiedenen Entfernungen von derselben angebracht. Das Galvanometer zeigte einen Strom an, der stärker wurde mit der zunehmenden Entfernung, so daß, wenn die zweite Feder den Umfang des Stabes in der Nähe des Poles berührte, die Nadel bei mäßiger Drehungsgeschwindigkeit einen namhaften constanten Ausschlag gab. Nur wenn die Federn zu beiden Seiten der Mitte in glei-

cher Entfernung von derselben den Umfang des rotirenden Magneten berührten, gab es niemals einen Strom.

Ein größerer Magnet gab einen viel stärkeren Ausschlag und es hat keine Schwierigkeit den anfänglichen Ausschlag bis über  $100^\circ$  zu bringen. Ich liefs einen Apparat construiren, um eine bedeutende Umdrehungsgeschwindigkeit hervorbringen und messen zu können, fand hier aber eine Schwierigkeit in dem unregelmässigen Anliegen der Federn, so dafs ich eigentliche Maafsbestimmungen nicht machen konnte.

15. Um die Richtung der inducirten Ströme, oder, wenn kein äufserer Leiter sich vorfindet, die Art der elektrischen Vertheilung, bei diesen Versuchen zu bestimmen, wollen wir die Erde als einen rotirenden Magneten betrachten, dessen magnetische Axe mit der Umdrehungsaxe zusammenfällt. Hier tritt alsdann an den beiden Polen die positive, unter dem Aequator die negative Elektricität auf, während eine Indifferenzzone zwischen dem Aequator und jedem der beiden Pole liegt.

16. Wir haben den Fall der Erde hier nur als ein Beispiel angeführt, um uns daran entgegengesetzte Drehungen und entgegengesetzte Polaritäten zu veranschaulichen. Aber auch in der Wirklichkeit mufs sich unter dem Aequator und den Tropengegenden *negative*, unter den beiden Polen und in ihrer Nähe *positive* Elektricität ansammeln, deren Spannung nach der gemässigten Zone hin immer mehr abnimmt. Die Frage nach der cosmischen Bedeutung dieser elektrischen Ansammlungen liegt so nahe, dafs ich sie nicht ganz unberührt lassen kann. Sollte nicht die negative Elektricität in der heifsen Zone, von den in Menge aufsteigenden Wasserdünsten getragen, eine reiche Quelle atmosphärischer Elektricität abgeben? Sollte nicht, in höheren Breitengraden, ebenso, nur der geringern Verdunstung wegen, in schwächerem Maafse, die positive Elektricität in die Luft aufsteigen? Dann müfste freilich die ursprüngliche Elektricität der Wolken in der heifsen Zone

die negative, in der kalten die positive seyn. Sollte nicht die positive Elektricität in der nächsten Umgebung der Pole, wo ihr Dünste als Träger fast gänzlich fehlen, das Nord- und Südlicht erzeugen? Dann würde, wenn wir hier vielleicht eine elektrische Vertheilung in der Atmosphäre annehmen, die positive Elektricität es seyn, die in die luftverdünnten Regionen des Nordlichts abgestoßen wird.

Es liegt hier indess keineswegs in meiner Absicht auf eine improvisirte Erklärung über die Entstehung der atmosphärischen Elektricität Gewicht zu legen, viel weniger sie jetzt schon vertreten und die Ansichten Anderer über diesen Gegenstand bestreiten zu wollen. Ich habe bloß Fragen hingestellt, ohne sie unbedingt zu bejahen, und mich überhaupt mit dem ganzen Rückhalte ausgesprochen, den eine Folgerung aus einem Versuche im Kleinen da überall fordert, wo uns der Maassstab für die wirksamen Kräfte und eine directe Bestätigung einstweilen noch fehlt.

17. Wenn ein Magnet, von dem wir wieder annehmen wollen, daß er die verticale Stellung habe, sich nicht mehr um seine eigene, sondern um irgend eine andere verticale Axe dreht, eine Umdrehung, die wir eine Libration um diese Axe nennen können, so findet in demselben in gleichem Sinne, wie früher, eine elektrische Induction statt.

Wenn wir berücksichtigen, daß bei der fraglichen Libration der Magnet während jeder ganzen Umdrehung sich auch um seine eigene Axe einmal herumdreht, so scheinen wir zu dem Schlusse berechtigt, daß auch die Stärke der fraglichen Induction und der durch dieselbe hervorgebrachten Ströme dieselbe ist, wenn sich der Magnet um irgend beliebige Axen, die seiner eigenen parallel sind, mit derselben Winkelgeschwindigkeit dreht.

Der Versuch wurde mit einem Apparate angestellt, der später seine Beschreibung finden wird. (21, 23.)

18. Der in der 9. Nummer bereits erwähnte Apparat erhielt später die in der Fig. 8 Taf. I. dargestellte, Modification. Die kupferne Axe, 12<sup>mm</sup>,5 dick und 235<sup>mm</sup> lang, wurde horizontal gelegt. Die auf ihrer Mitte angelöthete

Scheibe hatte einen etwas breiteren kupfernen Rand, auf welchen zwei, in der Mitte desselben zusammenstoßende hohle Cylinder, 87<sup>mm</sup> lang und von 35<sup>mm</sup> äußerem Durchmesser, der eine von dickem Kupferbleche, der andere von etwas dünnerem Messingbleche, aufgeschoben und befestigt werden konnten. Die sechs in der aufgelötheten Scheibe befestigten Magnete, 5<sup>mm</sup>,5 dick und 160<sup>mm</sup> lang, waren entweder

1) an ihren Enden frei, oder durch eine aufgeschobene hölzerne Scheibe gehalten, oder

2) sie wurden durch eine metallische Scheibe, welche von der Axe isolirt war, gehalten, oder

3) durch eine metallische Scheibe, welche auf die Axe unmittelbar aufgeschoben wurde und außer dieser Axe zugleich auch den äußeren Cylinder berührte.

Bei allen Versuchen berührte das eine Drahtende des Galvanometers den Apparat in dessen Mitte (den Rand der mittleren Scheibe oder den aufgesetzten Cylinder). Bei der *ersten* Vorrichtung giebt die Galvanometernadel, wie früher, den Inductionsstrom in der Axe, wenn diese an ihrem Umfange, den Inductionsstrom in dem aufgesetzten äußeren Cylinder, wenn dieser letztere an seinem äußeren Ende durch das zweite Drahtende berührt wird. In diesem letzteren Falle ist in dem messingenen Cylinder der Inductionsstrom viel schwächer als in dem kupfernen. Um hier thermo-elektrische Ströme zu vermeiden (die man von den Inductionsströmen dadurch sogleich unterscheidet, daß sie, bei umgekehrter Drehungsrichtung, sich nicht umkehren) wurde für das auf den Messingcylinder aufliegende Ende des Leitungsdrahts ein kurzer angelötheter Messingdraht genommen.

Bei der *zweiten* Vorrichtung erhalten wir die in den sechs Magneten, durch ihre Drehung um eine gemeinschaftliche Axe, hervorgerufenen Inductionsströme, wenn wir den äußeren Cylinder fortnehmen und den zweiten Galvanometerdraht an den Umfang der aufgeschobenen metallischen Scheibe halten.



Bei der *dritten* Vorrichtung endlich erhalten wir die Gesamtwirkung der drei Inductionsströme.

19. Ein starker Inductionsstrom ergibt sich, wenn man einen dicken kupfernen Cylinder, seiner Länge nach, mehrfach durchbohrt und in die Durchbohrungen cylindrische Magnete einsteckt, deren gleichnamige Pole gleich gerichtet sind und wenn dann, während der Cylinder um seine Axe gedreht wird, die Drahtenden des Galvanometers den Umfang desselben in der Mitte und an einem der Enden berühren.

20. Wenn der hohle kupferne Cylinder des Apparates der 8. Figur abgenommen und über die eine Hälfte der Magnete, ohne sie zu berühren, gehalten wird, und man im Innern desselben diese Magnete rotiren läßt, so zeigt sich *keine Spur von Strom*, wenn die beiden Drahtenden des Galvanometers den Umfang des Cylinders an seinen beiden Enden berühren.

Denken wir uns bei diesem Versuche den hohlen Kupfercylinder aus lauter geradlinigen Streifen bestehend, so beschreibt jeder derselben bei jeder Umdrehung einen in sich geschlossenen Kreis, der außershalb jedes dieser Streifen liegt.

21. Zugleich mit der Rotation eines magnetischen Poles um den Leitungsdraht hat Hr. Faraday, bald nach der Oersted'schen Entdeckung, auch die Rotation des Leitungsdrahtes um den magnetischen Pol gezeigt. Hier weist der Versuch ebenfalls die reciproke Inductions-Erscheinung nach.

22. In einem ersten Versuche wurde ein hohler Cylinder von dickem Kupferbleche (Fig. 9.), etwa 30<sup>mm</sup> weit und 150<sup>mm</sup> lang, mit seinem untern Ende auf eine Messingscheibe aufgelöthet und, mit dieser, um seine Axe gedreht, während die Enden des Galvanometerdrahtes an der Scheibe und dem oberen Rande des Cylinders federnd anlagen. Ein Magnetstab wurde mit einer seiner Hälften in den Cylinder concentrisch so hineingehalten, daß keine Berührung stattfand. Das Galvanometer zeigte auch hier

einen continuirlichen Strom an, der mit der Drehungsgeschwindigkeit zunahm und sich umkehrte, einmal zugleich mit der Polarität der eingesteckten Hälfte des Magnetstabes, das andere Mal zugleich mit der Drehungsrichtung. Dreht sich der Cylinder umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr, deren Zifferblatt nach Oben gekehrt ist, und wird das Nordende (*pôle austral*) des Magneten von Oben in den Cylinder hineingehalten, so tritt in Folge der Drehung am unten aufstehenden Ende des Cylinders die *positive*, am obern Ende desselben die *negative* Elektricität auf. Die elektrische Vertheilung und die Richtung des entsprechenden Stromes sind hierbei ganz dieselben, als wenn das Nordende des Magneten nach derselben Richtung um den ruhenden oder mitrotirenden Cylinder sich drehte.

23. Denken wir uns den Cylinder aus lauter zusammengefügt verticalen Stäbchen bestehend, so bildet sich in jedem einzelnen dieser Stäbchen ein Strom und Alles verhält sich hier gerade so, als ob der magnetische Pol um das ruhende Stäbchen einen Kreis beschrieb.

24. Hr. Fessel hat dem Apparate eine andere Form gegeben, bei welcher der kupferne Cylinder, welcher auch durch einen oder mehrere Kupferdrähte ersetzt werden kann, um eine horizontale Axe rotirt (Fig. 10 *a u. b*). Der Apparat ist so construirt, daß, während in der Mitte der Magnet und der hohle Kupfercylinder sich nicht berühren, 1) der Magnet allein, 2) der kupferne hohle Cylinder allein, 3) beide zugleich um ihre gemeinschaftliche Axe, und endlich 4) beide, Magnet und Cylinder, mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht werden können. Um die Drehung zu bewerkstelligen, ist eine hölzerne Scheibe (*A*) angebracht und diese an ihrem Umfange doppelt eingefurcht. Den beiden Furchen entsprechend ist einmal der Cylinder in der Nähe eines seiner Enden (*a*) ebenfalls eingefurcht, das andere Mal eine kleine Scheibe (*b*) auf das entsprechende Ende des Magneten aufgesetzt. Leiten wir eine Schnur über die Scheibe *A* und gleichzeitig, entweder über *a* oder über *b*, so drehen sich Magnet und

Cylinder in Folge der Reibung beide zugleich. Im ersten Falle kann aber der Magnet durch Anziehen der Schrauben (*f*) festgeklemmt, im zweiten Falle der Cylinder durch einen von der Säule *B* ausgehenden Kupferdraht (*g*) festgehalten werden. Dieser Draht kann mit seinem freien Ende in eine mit Elfenbein ausgefüllte Oeffnung (*c*) des Cylinders eingesteckt werden, wobei er den rotirenden Magneten entweder nicht berührt, oder wenn er mit der Hand niedergedrückt wird, berührt. Endlich ist noch eine Oeffnung (*d*), der Oeffnung *c* gegenüberstehend, angebracht, in welcher, nicht isolirt, ein mit Federkraft gegen den Magneten drückender Draht eingesteckt werden kann, welcher, bei jeder beliebigen gegenseitigen Drehung des Magneten und des Kupferdrahtes, beide in ihrer Mitte leitend verbindet. Wenn man zweier Schnüre, die über *a* und *b* gehen, gleichzeitig sich bedient und eine derselben kreuzt, so bewegen sich Magnet und Cylinder mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung.

In der Mitte des Cylinders ist eine Scheibe aufgesetzt, welche in Quecksilber taucht, das vermittelt eines Kupferdrahtes mit der Säule *B* in Verbindung ist. Die Enden der Umdrehungsaxe werden durch die Säulen *C* und *D* getragen und diese können durch einen eingeklemmten Leitungsdraht beide mit der Säule *E* leitend verbunden werden. Bei den Versuchen war das eine Drahtende des Galvanometers beständig in die Säule *B* eingeklemmt, das andere Ende entweder in die Säulen *C* oder *D* oder in die Säule *E*, oder sie wurden, federnd, gegen den Umfang des Cylinders an einem seiner Faden angeedrückt.

In dem Kupfercylinder gab es keinen Inductionsstrom, wenn blofs der Magnet in seinem Innern sich drehte. Wenn der Cylinder gedreht wurde, so hatte der Inductionsstrom in demselben anscheinend gleiche Stärke, gleichviel, ob der Magnet in seinem Innern in Ruhe war oder nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung gedreht wurde. Bei mäßiger Drehung war der Strom stark genug, der Nadel einen ersten Ausschlag von über  $90^\circ$  zu geben, ob-

gleich der Magnet nur 156<sup>mm</sup> lang und 6<sup>mm</sup> dick war, und der hohle Kupfercylinder, bei 2<sup>mm</sup> Dicke, nur 13<sup>mm</sup> als äusseren Durchmesser hatte.

Bei Herstellung der leitenden Verbindung in der Mitte summirte sich der Inductionsstrom in dem Magneten, der auch allein für sich beobachtet werden konnte, zu dem Inductionsstrome in dem ihn umgebenden hohlen Kupfercylinder, oder es ergab sich die Differenz der beiden Ströme, je nachdem Magnet und Cylinder beide nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung gedreht wurden.

25. Wenn ein magnetischer Pol sich in Gegenwart eines galvanischen Stromes befindet, so ergibt sich, wenn wir die ganze Kraftäufserung betrachten, ein *Kräftenpaar*, welches, wenn Pol und Leitungsdraht dasselbe Trägheitsmoment haben, eine Rotation beider in gleichem Sinne um eine Axe, die dem Leitungsdrahte parallel ist und in der Mitte zwischen demselben und dem magnetischen Pole liegt. In dem Apparate der Figur 11 ist der Leitungsdraht durch einen zweiten gleichen Magneten ersetzt. Beide Magnete werden in der Mitte durch eine metallische Scheibe (die nach Belieben auch mit ihrem Rande in Quecksilber eingetaucht werden kann) an den Enden durch zwei metallische Bügel verbunden, in welchen die Axen sich befinden. Leiten wir den Strom eines Grove'schen Elementes von der Scheibe zu einem der Enden der Axe oder umgekehrt, so rotiren beide Magnete mit großer Schnelligkeit um einander.

Wenn wir, umgekehrt, den Apparat in Rotation versetzen und die Enden des Galvanometers mit dem Umfange der Scheibe und einem Ende der Rotationsaxe verbinden, so entsteht ein unerwartet starker Inductionsstrom. Die Richtung desselben läßt sich aus der Bezeichnung der Figur leicht für alle Fälle ableiten.

26. Die Wirkung bei dem Versuche der vorigen Nummer ist eine complicirte. 1) Jeder Magnet libirt bei jeder Umdrehung um die gemeinsame Axe, 2) jeder derselben rotirt um den andern und hierbei ist jeder derselben

erstlich als Magnetpol zu betrachten, der um den andern als Leiter, und zweitens ist jeder derselben als Leiter zu betrachten, der um den andern als Pol rotirt. In jedem der beiden Magnete findet also aus dreifachem Grunde elektrische Vertheilung und zwar in demselben Sinne statt, und überdies stimmt auch in beiden Magneten diese Wirkung überein, um Ströme von gleicher Richtung zu geben, wenn die Scheibe mit den Enden derselben in leitende Verbindung gebracht wird.

27. Wenn wir den einen Magneten von der Scheibe isoliren, oder auch ganz entfernen, so haben wir nur die in der vorigen Nummer unter 1) angeführte, bereits in der 17. Nummer besprochene Wirkung.

28. Wenn wir den einen Magneten isoliren und den andern durch einen Kupferdraht ersetzen, so erhalten wir die am Anfange der 22. Nummer erwähnte doppelte Wirkung, zu der die Wirkung der vorigen Nummer noch hinzukommt, wenn der Magnet nicht isolirt ist.

29. Endlich wurde noch auf eine (messingene) Axe eine kupferne Scheibe von 60<sup>mm</sup> Durchmesser aufgelöthet und diese an verschiedenen Stellen durchbohrt, um einen Magneten und einen Kupfercylinder, jener 96<sup>mm</sup> lang und 11<sup>mm</sup> dick, dieser 100<sup>mm</sup> lang und 8<sup>mm</sup> dick, aufzunehmen. Beide wurden außerdem durch eine zweite, auf die Axe aufgeschobene Scheibe mit entsprechenden Durchbohrungen gehalten. Die Scheibe war von Holz und mit einem kupfernen Reif umgeben, der beliebig mit dem bezüglichlichen Ende des Magneten und des Kupfercylinders in leitende Verbindung gebracht werden konnte. Der Magnet war mit seiner Mitte in die Messingscheibe, der Kupfercylinder mit einem seiner Enden so eingeklemmt, daß der Pol des erstern der Mitte des letztern gegenüber stand. Die Drahtenden des Galvanometers berührten bezüglich den Rand der messingenen Scheibe und den kupfernen Reif. Die Resultate der Versuche waren:

1) Der in dem Magneten durch seine Drehung um eine feste, der seinigen parallelen, Axe hervorgerufene Strom,

war, so viel beobachtet werden konnte, immer gleich stark, gleichviel in welcher Entfernung von der Axe der Magnet eingeklemmt wurde (der Kupfercylinder wurde hier ganz fortgelassen).

2) In jeder beliebigen gegenseitigen Lage des Kupfercylinders und des Magneten, war in ersterem der Inductionsstrom derselbe, es mochten Kupfercylinder und Magnet, beide auf derselben durch die Umdrehungsaxe gehenden Richtung liegen und hierbei auf derselben Seite der Axe oder auf entgegengesetzter Seite derselben, und einmal der Magnet, das andere Mal der Kupfercylinder der Axe sich näher befinden, oder es mochten beide bei der Drehung auf dem Umfange desselben Kreises sich bewegen und hierbei ein beliebiger von beiden dem andern vorangehen.

30. Zur Controle der vorstehenden Beobachtungen wurden zwei ganz gleiche Magnete in verschiedene Oeffnungen so eingesteckt, dafs die gleichnamigen Pole entgegengesetzt gerichtet waren: die Inductionsströme in den beiden Magneten gaben alsdann, wenn sie in entsprechender Weise durch den Galvanometerdraht geleitet wurden, *keine* Ablenkung der Nadel, sie waren gleich und entgegengesetzt; in dem Kupferdraht hob sich die, durch die beiden Magnetpole hervorgebrachte entgegengesetzte Induction vollkommen auf.

31. Aus dem unter 2) in der 29. Nummer aufgeführten Resultate der vorigen Nummer ziehen wir den Schlufs, dafs in einem unbegrenzten Leitungsdrahte immer dieselbe Induction stattfindet, wenn die relative Lage desselben gegen einen magnetischen Pol, während einer vollen scheinbaren Umdrehung beider um einander, wiederum die ursprüngliche wird. Ob hierbei beide, Draht und Pol, ihre absolute Lage ändern, oder ob einer von beiden fest bleibt, macht keinen Unterschied.

Bei den in der 29. Nummer betrachteten Fällen ist in jedem einzelnen Augenblick die Winkelgeschwindigkeit bei der relativen Umdrehung von Pol und Leitungsdraht

eine sehr verschiedene. In Folge der festen Verbindung aber wird diese Umdrehung bei jeder ganzen Umdrehung des Systems einmal vollendet, gerade so, als ob Leitungsdraht oder Pol unbeweglich in der Mitte sich befänden.

32. Durch die in dem Vorstehenden enthaltenen Versuche sind die Gesetze aller in Rede stehenden Erscheinungen auf diejenigen Gesetze, nach welchen ein magnetischer Pol, der um einen ruhenden Leitungsdraht rotirt, in diesem einen Inductionsstrom hervorruft, zurückgeführt. Die Intensität eines solchen Stromes ist abhängig 1) von der Drehungs-Geschwindigkeit, 2) von dem Abstände des Poles von dem Leitungsdrahte, 3) von der Leitungsfähigkeit des Drahtes.

33. Was den ersten Punkt, die Abhängigkeit der inducirten Stromstärke von der Geschwindigkeit betrifft, so habe ich zwar einen Apparat zur Hervorbringung grosser Umdrehungsgeschwindigkeiten schon vor längerer Zeit ausführen lassen, bei schnellerer Umdrehung aber darin eine Schwierigkeit gefunden, dafs die den Strom überleitenden Federn nicht gleichmäfsig anlagen. Eigentliche Messungen wurden daher einstweilen nicht angestellt und ich mufste mich damit begnügen aus ungenauen Beobachtungen, das wahrscheinliche Resultat zu ziehen, dafs die Stromstärke der Umdrehungs-Geschwindigkeit proportional ist, oder mit andern Worten, dafs jede Umdrehung eine gleiche Elektrizitätsmenge durch den in sich geschlossenen Leitungsdraht sendet.

34. In Betreff des zweiten Punktes beweiset der in dem Folgenden beschriebene Versuch, dafs die Stärke des Stromes, bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit, von dem Radius des Kreises, den der Pol um den Leitungsdraht beschreibt, unabhängig ist.

Es wurde eine runde Kupferplatte, 200<sup>mm</sup> im Durchmesser, mit umgebogenem Rande, so ausgeschnitten, dafs aufser diesem letztern nur ein schmaler durch den Mittelpunkt gehender Streifen übrig blieb. Dieser Streifen hatte, aufser in der Mitte, wo er auf eine verticale längere kup-

ferne Axe aufgeschoben wurde, in seiner einen Hälfte, nahe der Umdrehungsaxe, eine runde Oeffnung *A'* und in seiner andern Hälfte sechs solcher gleichen Oeffnungen *A, B, C, D, E* und *F*, in verschiedenen Abständen von der Mitte. Die Oeffnungen *A* und *A'* hatten zu beiden Seiten gleichen Abstand. Von den sechs bereits früher (2 und 9) erwähnten, aus demselben Stahlstabe geschnittenen kleinen Magneten, wurden zwei von nahe gleicher Stärke ausgewählt, mit messingenen Hülzen versehen, die bis zur Mitte derselben aufgeschoben wurden und in jene Oeffnungen paßten. Eines der Enden des Galvanometerdrahtes wurde mit der Axe, das andere Ende mit dem Rande in leitende Verbindung gesetzt.

Wenn einer der beiden Magnete nach einander in die sechs Oeffnungen *A, B, C, D, E* und *F* gesteckt wurde, so wich, bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit, die Galvanometernadel anscheinend immer um einen gleichen constanten Winkel ab, der leicht bis auf  $20^\circ$  gebracht werden konnte, und dieser constante Winkel war auch dann derselbe, wenn der zweite Magnet in die Oeffnung *A'* gesteckt wurde. Nach diesem, bloß vorläufigen, Versuche wurden die beiden Magnete gleichzeitig in die Oeffnungen *A* und *A'* eingesteckt, jedoch so, daß ihre ungleichnamigen Pole nach Oben gekehrt waren. Auch bei einer starken Drehung zeigte die Nadel durchaus keine Ablenkung. (Wenn sie es dennoch gethan hätte, so war darin, daß die Magnete in ihren Hülzen verschoben werden konnten, das Mittel gegeben, die Wirkung der beiden Magnete vollständig zu neutralisiren.) Hierauf wurde endlich der erste Magnet nach einander in die Oeffnungen *B, C, D, E* und *F* gebracht, wobei derselbe Pol immer nach Oben gerichtet blieb. Die Nadel verhielt sich fortwährend vollkommen unbeweglich.

35. Als unmittelbare Folge aus dem Gesetze der vorigen Nummer erweist sich die Unmöglichkeit durch die Umdrehung eines Magneten um einen unbegrenzten Leitungsdraht, gegen den er irgend eine beliebige Lage hat,



in diesem einen Strom zu induciren. Denn wir sind ja gezwungen anzunehmen, daß beide magnetische Polaritäten in demselben gleich stark entwickelt sind.

36. Aus den Gesetzen der 33. und 34. Nummer ergibt sich, daß dieselbe Elementarbewegung des Poles senkrecht gegen diejenige Ebene, welche durch diesen Pol und den Leitungsdraht geht, einen Strom erzeugt, dessen Stärke sich umgekehrt wie die Entfernung verhält.

37. Endlich ist noch die dritte Frage zu discutiren, wie die Dicke und überhaupt die Leitungsfähigkeit eines Drahtes, in welchem durch die Bewegung eines Magnetpols ein Strom inducirt wird, auf die Stärke dieses Stromes Einfluß hat. Es ist von vorne herein höchst unwahrscheinlich, daß dieser Einfluß nicht die Erregung selbst betreffe, sondern bloß auf die Leitung des bereits erregten Stroms sich beziehe. Wenn die Kraft des Magneten dadurch, daß er in dem Leitungsdrahte, mit dem oder um den er rotirt, einen Strom hervorruft, sich nicht theilweise erschöpft — dem analog, wie ein Strom in nachweisbarer Art nicht geschwächt wird, indem er das Eisen, welches er umkreiset, magnetisch macht — so muß offenbar, nach Maßgabe als der zu inducirende Leitungsdraht dicker wird, der Strom an Stärke zunehmen.

38. Um hier die Frage zur vorläufigen Entscheidung zu bringen, wurde der Apparat der 9. Nummer dahin abgeändert, daß die kupferne Axe ihrer Länge nach durchgesägt, und die beiden gleichen Hälften, wieder, von einander isolirt, zusammengefügt wurden. In der Mitte der 230<sup>mm</sup> langen und 13<sup>mm</sup> dicken Axe, war eine dicke Kupferscheibe aufgelöthet, von welcher drei Magnete, 160<sup>mm</sup> lang und 8<sup>mm</sup> dick, in ihrer Mitte getragen wurden. An einem Ende der Axe waren zwei kupferne Ringe ( $\alpha$ ) übergeschoben, von welchen jeder eine der beiden Hälften metallisch berührte, während er von der andern isolirt war. Die beiden Ringe konnten durch einen kleinen metallischen Schieber verbunden werden, wonach die beiden Hälften der Axe nicht mehr von einander isolirt waren. Am andern Ende  
der

der Axe war ein, beide Hälften berührender, kupferner Ring (*b*) aufgeschoben.

Ein Drahteude des Galvanometers wurde mit der Mitte des Apparates in Verbindung gesetzt, das andere mit dem Umfange eines der beiden aufgesetzten Ringe *a*: wenn gedreht wurde, zeigte die Nadel einen starken Strom an, der anscheinend sich gleich blieb, wenn statt des einen Ringes der andere berührt wurde. Während die Verbindung mit einem der beiden Ringe in der angezeigten Weise hergestellt worden war, wurde, unabhängig von dem Galvanometer, gleichzeitig die Mitte mit dem zweiten Ringe durch einen Kupferdraht verbunden: es blieb hiernach die Ablenkung der Galvanometernadel, soviel der Augenschein ergab, dieselbe wie früher. Wir sind hiernach, wie es scheint, zu dem Schlusse berechtigt, daß die Erregung in einer der beiden isolirten Axenhälften durch die Erregung in der andern nicht gestört wird, daß demnach die Erregung in einer kupfernen Axe von doppeltem Querschnitte auch doppelt so groß ist als die Erregung in einer Axe von einfachem Querschnitte, daß überhaupt endlich die Erregung in der Axe dem Querschnitte derselben proportional ist, also wahrscheinlich bei Axen aus verschiedenem Metalle der Leitungsfähigkeit.

39. Mit dem in der vorigen Nummer beschriebenen Apparate wurde noch ein zweiter Versuch angestellt, der unsere Art, die fraglichen Erscheinungen aufzufassen, zu unterstützen scheint.

Das eine Ende des Galvanometer-Drahtes wurde mit dem beide Axenhälften berührenden Ringe (*b*) auf der einen Seite, das andere mit einem der beiden, von einer Axenhälfte isolirten, Ringe *a* auf der andern Seite in Berührung gesetzt. Es zeigte sich nur ein sehr schwacher Strom von derselben Ordnung als die zufälligen thermischen Ströme, die man, wenn bloße Leitungsdrähte zur Herstellung der Verbindungen angewendet werden, nie ganz vermeiden kann, die aber gegen die in der vorigen Nummer besprochenen Ströme bedeutend zurücktreten und leicht

zu unterscheiden sind. (18) Ungeachtet also die in Rechnung zu bringende elektrische Erregung auf der einen Seite doppelt so groß war als auf der andern, so zeigte sich dennoch kein namhafter Strom. Die kupferne Axe verhält sich hiernach bei diesen Versuchen nicht *bloß* leitend und es scheint nicht, daß bei unterbrochener äußerer Leitung, merkliche elektrische Strömungen in derselben, während der Drehung, *nicht* stattfinden.

40. Als Ausdruck für die Erscheinungen haben wir eine, durch die Drehung des Elektromagneten hervorgerufene elektromotorische Kraft angenommen, welche die Elektricitäten in jeder Hälfte der Axe (von der Mitte aus genommen) nach entgegengesetzter Richtung treibt und auf *diesem* Wege ihre Wiedervereinigung nicht gestattet, gerade so, wie nach Volta an der Berührungsstelle von Kupfer und Zink. An den beiden Enden der Axe sammelt sich die eine Elektricität an und zwar in verschiedener Menge bei verschiedener Leitungsfähigkeit der beiden Hälften, die andere Elektricität in der Mitte und in der Art, daß die Menge derselben hier der Summe der Elektricitätsmengen an den beiden Enden gleich ist. Durch die gleichzeitige Berührung der beiden Enden mit einem Leitungsdrahte kann die verschiedene elektrische Spannung sich zwar ausgleichen, aber so lange, als nicht die entgegengesetzte Elektricität in der Mitte *fortgeführt* wird, kann kein Strom entstehen.

Als auch die Verbindung der Mitte der Axe mit den beiden Drahtenden des Galvanometers durch zwei Kupferdrähte hergestellt wurde, zeigte sich ein namhafter Strom, dessen Richtung mit der Richtung des stärkern Stromes in den beiden (von der Mitte aus gerechneten) Hälften der Axe übereinstimmt.

41. In ähnlicher Weise ergaben sich nur sehr schwache Ströme, wenn man, zu dem Apparate der 8. Figur zurückkehrend, die beiden Enden des Galvanometerdrahtes 1) bloß mit den äußern Enden des aufgeschobenen hohlen, kupfernen und messingenen, Cylinders leitend verbindet,

oder auch 2) mit dem äußern Ende des Kupfercylinders und dem entsprechenden Ende der kupfernen Axe <sup>1)</sup>. Es ergaben sich aber namhafte Ströme, wenn, wie in der Figur angedeutet ist, außerdem noch die Mitte des Apparates durch zwei neue Drähte mit den Drahtenden des Galvanometers verbunden wurden, und die Richtung des Stromes bestimmte sich, wie in der vorigen Nummer.

42. Die vorstehenden Experimental-Untersuchungen waren unabhängig von frühern ähnlichen Untersuchungen an-

1) Dieser letzte Versuch ist einem bereits erwähnten Versuche des Hrn. Faraday analog, den er mit folgenden Worten beschreibt:

*»A compound bar magnet was so fitted up that it could revolve on its axis, and a broad circular copper ring was fixed on it at the middle distance or equator, so as to give a cylindrical exterior at that place. A copper wire being made fast to this ring within, then proceeded to the middle of the magnet, and afterwards along its axis and out at one end. A second wire, touched, by a spring contact, the outside of the copper ring, and was then continued outwards six inches, after which it rose and finally turned over the upper pole towards the first wire, and was attached to a cylinder insulated from but moving round it. This cylinder and the wire passing through it were connected with the galvanometer so that the circuit was complete; but that circuit had its course down the middle of the magnet, then outwards at the equator and back again on the outside, and whilst always perfect, allowed the magnet to be rotated without the external part of the circuit, or the latter without the magnet, or both together. When the magnet and external wire were revolved together, as one arrangement fixed in its parts, there was no effect at the galvanometer, however long the rotation was continued. When the magnet with the internal wire made four revolutions, as the hand of a watch, the outer conductor being still, the galvanometer needle was deflected 35° or 40° in one direction: when the magnet was still, and the outer wire made four revolutions as the hands of a watch, the galvanometer needle was deflected as much as before in the contrary direction: and in the more careful experiments the amount of deflection for four revolutions was precisely the same, whatever the course of the external wire, either close to or far from the pole of the magnet.*

Den beiden andern Versuchen entsprechen früher bereits beschriebene (2, 23, 24).

gestellt worden. Als ich den Versuch mit dem um seine Axe rotirenden Magneten dem Wesentlichen nach in der zweiten Reihe von Faraday's *Experimental Researches* wiederfand, überzeugte ich mich, daß meine Auffassungsweise eine wesentlich verschiedene war. Arago's schöne Entdeckung des sogenannten Rotations-Magnetismus war die Quelle aus der Faraday's schönere Entdeckung der magneto-elektrischen Induction floss. In der unter einem Magnetpole rotirenden Kupferscheibe entstehen Ströme die von dem Mittelpunkte der Scheibe zum Rande oder umgekehrt gehen. Solche Ströme zeigen sich bei einer Drehung auch dann, wenn die Scheibe mit ihrer Mitte (isolirt) auf das eine Ende des Magneten aufgekittet ist (*Ex. R. 218*), auch dann wenn die Platte isolirt um den magnetischen Pol als Hülse herumgebogen wird (*219*), auch dann endlich, wenn der Magnet, allein für sich, in einem engen Gefäße in senkrechter Lage auf Quecksilber schwimmend, gedreht wird. In diesem Falle zeigt sich ein verhältnißmäfsig starker Strom, wenn das eine Drahtende des Galvanometers das obere *Ende der Axe* des rotirenden Magneten berührt, und das andere in das Quecksilber taucht. Der Strom geht nach Herrn Faraday von der Axe des Magneten nach dem Umfange, oder umgekehrt.

Dieselbe Ansicht adoptirt auch Herr Weber in seiner Abhandlung „*Unipolare Induction*“, die schon in den Resultaten des magnetischen Vereins für das Jahr 1839 abgedruckt ist, mir aber erst nach der Redaction des Vorstehenden zu Gesichte kam. Die Sache schien mir einen Augenblick für meine Auffassungsweise um so mehr bedenklich, als Herr Weber sich dabei auf die Resultate seiner klassischen Beobachtungsweise stützte. <sup>1)</sup>

43. Ein Versuch namentlich schien meiner Ansicht der

- 1) Durch directe Messungen ist hiernach für den Fall eines um seine Axe rotirenden Magneten, daß Gesetz festgestellt, daß, wenn man ein Ende der Axe mit einem Punkte des Umfangs in leitende Verbindung bringt, die Stromstärke der Umdrehungs-Geschwindigkeit proportional ist (Vergl. die 33. Nummer).

fraglichen Erscheinungen auf den ersten Blick zu widersprechen. Eine Modification desselben Versuches hebt indess den scheinbaren Widerspruch wieder auf.

In der 6. und 7. Versuchsreihe bediente sich Hr. Weber eines Magneten, der 502<sup>mm</sup> lang und 25<sup>mm</sup> dick war. Ein Drahtende des Magnetometers war, wie in *allen* Versuchen, mit der Axe des Magneten in Verbindung, das andere tauchte in Quecksilber zugleich mit einer Scheibe, die auf dem Magneten verschoben werden konnte. Befand sich diese Scheibe in der Mitte, so betrug bei 30 Umdrehungen in 7 Sekunden die doppelte Ablenkung des Magnetometers

61,70

Scalentheile. Wenn die Scheibe an ein Ende des Magneten verschoben wurde, so betrug bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit, dieselbe doppelte Ablenkung in Scalentheilen

21,66

20,44

je nachdem die Leitung nach dem nahen oder dem entfernten Ende der Axe ging. Hr. Weber betrachtet in diesen letzten beiden Fällen die Inductionsströme als gleich. <sup>1)</sup>

Ich meinerseits modificirte hiernach den Versuch der 14ten Nummer dahin, daß ich zwei verschiebbare Hülsen (Fig. 12), welche mit Scheiben versehen waren, die, zugleich mit den Drahtenden des Galvanometers, in bewegliche Quecksilbergefäße eintauchten, an dem Magnetstabe

1) »Betrachtet man die Resultate der 5. und 7. Versuchsreihe, wo nämlich die Ablenkung des Stromes von der Oberfläche des Cylinders nicht in der Mitte, wie bei den übrigen Versuchsreihen, sondern am Ende statt fand, so findet man fast dasselbe Resultat, sowohl wenn der galvanische Strom die ganze Länge des Cylinders durchlaufen muß, um von der Stelle, wo er eintritt, zu der Stelle, wo er austritt, zu gelangen, als auch wenn er dabei die Länge des Cylinders nicht zu durchlaufen braucht . . . woraus man vermuthen kann, daß der galvanische Strom nur bei seinem *Eintritt* und *Austritt*, d. i. hier an den nahe gleich stark magnetischen Enden des Cylinders, von der Oberfläche zur Drehungsaxe übergeht. (Unipolare Induction p. 88.) (Auch d. Ann. Bd. 52. S. 353.)

anbrachte, der 256<sup>mm</sup> lang und 15<sup>mm</sup> dick war und um seine horizontale Axe rotirte. Die frühern Beobachtungen wurden vollständig bestätigt. Wenn die eine Scheibe in der Mitte sich befand, so nahm, bei einer constanten Drehung des Magneten, der Inductionsstrom fortwährend zu, je mehr die zweite Scheibe sich einem der beiden Enden des Magneten näherte, und wenn sie ganz an das Ende gerückt war, konnte ich, freilich bloß nach ungefährender Schätzung, keine Aenderung wahrnehmen, wenn der Strom statt von der *Scheibe* von der *Axe* des Magneten abgeleitet wurde.

Wenn die Scheiben fortgenommen wurden und ein Drahtende des Galvanometers den *Umfang* des Magneten in der Nähe einer seiner Endflächen, und das andere nach einander den *Umfang* jeder der beiden Endflächen selbst berührte, so zeigte sich beide Mal ein Strom von wenigstens nahe gleicher Intensität.

Es zeigte sich nur ein schwacher Strom, wenn das eine Drahtende den Mittelpunkt der Endfläche des Magneten (die *Axe*), das andere den Umfang derselben berührte, so daß dieser Strom nur als ein untergeordneter mir erscheinen mußte.

44. Die Ausgleichung der beiden verschiedenen Auffassungsweisen, welche beide zu ihrer Begründung das Experiment in Anspruch nehmen, ist in dem zweiten, theoretischen Theile dieser Abhandlung zu suchen. Ich schliesse hier mit einer kurzen Bemerkung:

Wenn, wie bei dem Arago'schen Versuche, eine Kupferscheibe unter einem magnetischen Pole, der außerhalb der Umdrehungs-Axe liegt, rotirt, so beschreiben gewissermaßen die unter dem Pole hinweggehenden Punkte der Kupferscheibe in derselben Elemente von Kreisbögen und rufen demnach nach der Richtung der Radien eine elektrische Induction hervor. Wenn wir den entsprechenden Strom unter dem Pole in den *wechselnden* Radien nehmen, so ist das Verhältniß offenbar dasselbe, als wenn der Radius um den Pol, oder der Pol um den als fest betrachteten Radius sich drehte. So erklärt sich die Grund-

erscheinung des Rotations-Magnetismus und so erklärt sich auch, daß bei einem rotirenden Magneten in jedem senkrecht auf der Axe stehenden Durchschnitt nach der Richtung der Radial Induction stattfindet, hervorgerufen in entgegengesetztem Sinne durch die auf beiden Seiten derselben rotirenden magnetischen Molecüle. Um diese, wie ich glaube, untergeordnete Wirkung von derjenigen zu trennen, die wir in dem Obigen betrachtet haben, und um die Beziehung beider zu einander mit aller Bestimmtheit feststellen zu können, scheinen mir neue Versuche erforderlich zu seyn.

## §. 2. Theoretisches.

45. Wenn man erwägt, daß ein galvanischer Strom die Masse eines Magneten in Bewegung setzt, so wie umgekehrt der Leitungsdraht, an welchem der Strom gebunden ist, von dem Magnete in Bewegung gesetzt wird, so ist es, vom mathematisch-mechanischem Standpunkte aus, schwer, sich des Gedankens zu erwehren, daß der galvanische Strom nicht selbst ein mechanisches Moment habe, daß, wenn wir uns die Elektrizität als materiell denken, die Masse derselben und ihre Geschwindigkeit zu Factoren hat. Welche Bedeutung diese Auffassungsweise in Beziehung auf die Entstehung des Stromes habe, muß einstweilen unberührt bleiben <sup>1)</sup>, wir wollen hier den Strom als vorhanden betrachten und gleich den Versuch ins Auge fassen, wo er einen Magneten um sich herum in rotirende Bewegung setzt. Dann müssen wir diese Bewegung, in

1) Dem Grundsatz getreu, bei jeder Mittheilung einer Arbeit, die Veranlassung anzugeben, die sie hervorgerufen hat, nenne ich hier den höchst merkwürdigen Versuch, durch welchen Peltier nachgewiesen hat, daß ein galvanischer Strom, durch die Berührungsstelle eines thermoelektrischen Elementes geleitet, dann eine Erkältung derselben hervorbringt, wenn er die Richtung desjenigen Stromes hat, der durch Erwärmung der Berührungsstelle entstehen würde. Dieser Versuch war es, der mich schon vor längerer Zeit zu einer theoretischen Auffassungsweise führte, aus welcher insbesondere auch die gegenwärtige Abhandlung allein hervorging.



gewissem Sinne, als die Reaction des Stromes betrachten: und daraus die Folgerung ziehen, daß wenn wir durch eine *äußere* Kraft dem Magneten dieselbe Bewegung geben, in dem Leitungsdrahte, wenn kein Strom vorhanden ist, ein Strom von entgegengesetzter Richtung entstehen muß.

46. Weitläufigeren Ausführungen mag hier ein triviales Beispiel uns überheben. Wenn ich aus dem Nachen ans Land springe, so nimmt dieser dieselbe Bewegung an (die Bewegungsgröße ist dieselbe) als wenn ich, von Außen her mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung in den Nachen hineinspringe.

47. Die Herren Biot und Savart stellten in einer Mittheilung, die sie schon unterm 30. Nov. 1820 der Pariser Akademie machten, das aus directen Versuchen abgeleitete Gesetz auf, daß die Wirkung eines unbegrenzten galvanischen Stromes auf einen Magnetpol im umgekehrten Verhältnisse der kürzesten Entfernung beider von einander abnehme. Gleich darauf zeigte Laplace, wie daraus durch Rechnung sich ergebe, daß jedes Strom-Element auf den Pol (oder ein magnetisches Element) umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung wirke, daß aber in dem Ausdrucke dieser Wirkung ein von der Richtung des Strom-Elementes abhängiger Coëfficient enthalten seyn könne. Diesen bestimmte Hr. Biot durch das Experiment und führte dadurch die Bestimmung der Wirkung eines Stromes von durchaus beliebiger Richtung im Raume auf eine bloße Integration zurück.

48. Nach Hrn. Biot erhalten wir für die Wirkung, welche das Stromelement  $SS'$  (Fig. 13) auf den magnetischen Pol  $M$  ausübt

$$\mu \rho k \frac{ds \sin \lambda}{r^2}$$

wobei  $k$  eine Constante bedeutet und  $\rho$  und  $\mu$  zwei Coëfficienten sind, die von der Stromstärke und der Stärke des magnetischen Poles abhängen.  $ds$  bezeichnet das Stromelement,  $r$  die Entfernung desselben von dem Pole und  $\lambda$

denjenigen Winkel, welchen die Richtung des Stromelementes mit  $r$  bildet. Diese Wirkung findet statt, senkrecht gegen diejenige Ebene, welche durch das Stromelement und den Pol geht. Wenn der Pol nicht frei sich bewegen kann, sondern gezwungen ist, nach einer gegebenen Richtung, welche mit der, auf jener Ebene senkrechten Richtung irgend einen Winkel  $\omega$  bildet, sich fortzubewegen, so geht der obige Ausdruck für die fragliche Wirkung in den folgenden über:

$$\mu \rho k \frac{ds \sin \lambda \cos \omega}{r^3} \quad (A)$$

Es ist dieses die volle Wirkung, zerlegt nach der gegebenen Richtung.

Die Coëfficienten  $\mu$  und  $\rho$  ändern bezüglich ihr Zeichen, wenn die magnetische Polarität und die Stromrichtung sich umkehren. Wir wollen beide dann positiv nehmen, wenn die Richtung des Stromes mit der positiven Erstreckung des Leiters zusammenfällt und  $M$  der Nordpol (*pôle austral*) ist. Dann tritt dieser Pol, in Folge der elektromagnetischen Wirkung, wenn wir uns das Dreieck  $SMS'$  in der Ebene der Tafel liegend denken, aus dieser Ebene nach vorne hervor. Die Richtung, nach welcher diese Wirkung statt hat, und demnach auch der vom Magnetpole im ersten Momente beschriebene Weg sey  $d\sigma$ .

49. Wir wollen uns, den allgemeinen Gesichtspunkt der 45. Nummer festhaltend, sogleich zu der reciproken Wirkung wenden, und hier scheint es am natürlichsten anzunehmen, daß durch die kleine Bewegung  $d\sigma$  des magnetischen Poles  $M$  in dem Elemente  $ds$  eine gewisse Menge gebundener Elektricität frei werde, die dann durch den Leitungsdraht, wenn er in sich selbst geschlossen ist, fortgeführt wird, wo nicht, an den Enden desselben eine elektrische Spannung hervorbringt. Die Menge dieser Elektricität, getheilt durch die Dauer der Erregung, könnte man die *in dem Stromelemente hervorgerufene elektromotorische Kraft* nennen, und diese durch den Gesamtwider-

stand in dem geschlossenen Leitungsdrahte getheilt, würde dann die entsprechende Stromstärke geben. (Vergl. die 40. Nummer.)

50. Um die in dem Elemente  $ds$  durch die Bewegung des Poles durch das Weg-Element  $d\sigma$  frei werdende Electricität auszudrücken, erhalten wir nach der vorigen Nummer

$$- \mu \kappa k \frac{ds \sin \lambda \cos \omega d\sigma}{r^2} \quad (B.)$$

wobei  $\kappa$  einen von der Leitungsfähigkeit des Elementes  $ds$  abhängigen Coëfficienten bezeichnet und alle übrigen Gröfsen dieselbe Bedeutung als früher haben. Das Zeichen dieses Ausdruckes giebt die Richtung des inducirten Stromes und hängt vom Zeichen von  $\mu$  und  $d\sigma$  ab.

51. Um in dem allgemeinsten Falle die Gröfse und Richtung der von einem beliebigen in  $S_0$  und  $S^0$  begrenzten Strom auf den Magnetpol  $M$  ausgeübte Kraft zu finden, müssen wir drei auf einander senkrechte Axen durch diesen Pol legen und auf diese nach einander den veränderlichen Winkel  $\omega$  beziehen. Die drei bezüglichen Integrale

$$\mu \varrho k \int_{s_0}^{s^0} \frac{ds \sin \lambda \cos \omega}{r^2} \quad (I.)$$

geben dann drei Seitenkräfte, aus denen die gesuchte resultirende Kraft sich unmittelbar der Gröfse und Richtung nach ergibt.

Die Form dieser Integrale vereinfacht sich, wenn wir, statt  $s$  denjenigen Winkel  $\varphi$  einführen, welchen, nach der Abwicklung der durch die Stromcurve und den Magnetpol bestimmten Kegelfläche, ein beliebiger Radius rector  $MS$  mit einem festen  $MO$  bildet. Alsdann ist

$$ds \sin \lambda = r d\varphi$$

wonach der letzte Ausdruck in den folgenden übergeht:

$$\mu \varrho k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} \frac{d\varphi}{r} \cos \omega \quad (II.)$$

Wenn die Stromcurve eine ebene Curve ist, so haben  $r$  und  $\varphi$  die Bedeutung gewöhnlicher Polar-Coordinationen.

52. Wir wollen hier nur, zugleich mit Rücksicht auf die reciproke Wirkung, solche einfache Fälle betrachten, welche Resultate liefern, die sich mit der Beobachtung vergleichen lassen.

Es sey *erstens* der gegebene Strom ein geradliniger, nach beiden Seiten hin unbegrenzter (Fig. 14). Füllen wir vom magnetischen Pole  $M$  ein Perpendikel  $MO=c$  auf die Stromrichtung, und rechnen von diesem Perpendikel an den Winkel  $\varphi$ , so ist

$$\cos \omega = 1 \quad r \cos \varphi = c$$

und mithin das letzte Integral II:

$$\frac{\mu q k}{c} \int_{-\frac{1}{2}\pi}^{+\frac{1}{2}\pi} \cos \varphi d\varphi = \frac{2\mu q k}{c}.$$

Dieser Ausdruck enthält das von Biot und Savart aus der Beobachtung abgeleitete Gesetz.

53. Betrachten wir *zweitens* einen kreisförmigen Strom, dessen Radius gleich  $R$  ist, und legen den Magnetpol in die Axe desselben, in einer Entfernung gleich  $z$ , so ist klar, daß die resultirende Wirkung nach dieser Axe gerichtet ist. Für diesen Fall ist

$$r^2 = R^2 + z^2, \quad \sin \lambda = 1, \quad \cos \omega = \sin \varphi,$$

wobei  $\varphi$  den constanten Winkel bedeutet, den eine gerade Linie, die von dem magnetischen Pole nach einem beliebigen Stromelemente gezogen wird, mit der Axe des Stromkreises bildet. Das Integral II giebt für diesen Fall

$$\frac{\mu q k \sin \varphi}{r^2} \int_0^{2\pi R} ds = \frac{2\pi \mu q k R \sin \varphi}{R^2 + z^2}.$$

Wenn der magnetische Pol mit dem Mittelpunkte des kreisförmigen Stromes zusammenfällt, so reducirt sich dieser Ausdruck auf

$$\frac{2\pi \mu q k}{R}.$$

54. Die Wirkung einer Spirale auf einen in ihrer Axe befindlichen magnetischen Pol reducirt sich auf die Wirkung kreisförmiger Ströme, deren Anzahl der Anzahl der Windungen gleich ist (Fig. 15). Nehmen wir an diese Anzahl sey unendlich groß, während die Höhe der einzelnen Windungen unendlich klein ist, so erhalten wir, nach der vorigen Nummer, für die Differential-Wirkung einer einzelnen Windung

$$\frac{2\pi\mu\varrho k R \sin\varphi dz}{r^2}$$

und für die Gesamtwirkung

$$2\pi\mu\varrho k \int_{z_0}^{z^0} \frac{R \sin\varphi dz}{r^2},$$

wobei  $z$  den Abstand des Poles von dem Mittelpunkte der jedesmaligen Windung und  $z^0 - z_0$  die Höhe der Spiralen bedeutet. Es ist

$$z \tan\varphi = R$$

mithin

$$dz = - \frac{z d\varphi}{\sin\varphi \cos\varphi}$$

und hiernach

$$\frac{R dz}{r^2} = - \frac{R z d\varphi}{r^2 \sin\varphi \cos\varphi} = - d\varphi.$$

Das obige Integral verwandelt sich also in das folgende:

$$- 2\pi\mu\varrho k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} \sin\varphi d\varphi = 2\pi\mu\varrho k (\cos\varphi_0 - \cos\varphi^0).$$

Dieser Ausdruck reducirt sich, wenn der Pol in der Mitte der Spiralen sich befindet, auf

$$4\pi\mu\varrho k \cos\varphi^0$$

und wenn die Spirale nach beiden Seiten unbestimmt verlängert ist, auf

$$4\pi\mu\varrho k.$$

Die letzte Wirkung ist von der *Weite* der Spiralen unabhängig.

55. Der Gedanke liegt nahe, daß wir es einer und derselben Kraft-Aeußerung zuschreiben, wenn eine Spirale in ihrem Innern, einerseits, die beiden Pole eines Magneten, nach entgegengesetzter Richtung, ihrer Axe entlang, treibt und, andererseits, ein in ihrer Axe befindliches Eisentheilchen in der Art magnetisch macht, daß die bezüglichen Pole nach denjenigen Richtungen hin auftreten, nach welchen die gleichnamigen Pole in dem fertigen Magneten, die Masse desselben nach sich ziehend, getrieben werden. Es schließt sich diese Anschauung an die gewöhnliche Auffassungsweise an, daß jedes kleinste Theilchen eines Magneten, dadurch, daß die beiden an dasselbe gebundenen magnetischen Fluida sich trennen, selbst zum Magneten wird. Nach der vorigen Nummer wäre also die magnetisirende Kraft einer, nach beiden Seiten unbegrenzten, Spiralen für ein in ihrer Mitte befindliches Eisentheilchen *unabhängig von der Weite ihrer Windungen*, wobei das Gesetz selbst, wonach sich die Stärke des auftretenden Magnetismus bestimmt, in keiner Weise in Betracht kommt. Dieses Resultat der Rechnung stimmt mit der bekannten Thatsache, daß, innerhalb gewisser Gränzen, ein Eisenkern in einer engen und weiten Spirale, nahe gleich stark magnetisch wird, überein.

56. Wenn wir den Werth der Constanten  $\rho$  der Stromstärke proportional nehmen, so sind es auch die Ausdrücke, welche wir in der vorletzten Nummer für die Wirkung einer Spirale auf einen magnetischen Pol gefunden haben, vorausgesetzt, daß  $\mu$  unverändert bleibe. Diese Voraussetzung entspricht der Wirklichkeit niemals ganz, weil die Spirale die Intensität des Poles ändert. Wenn wir, statt des Magneten einen Stab weichen Eisens in die Spirale bringen, so ruft der Strom in demselben den Magnetismus erst hervor, auf welchen er wirkt. Nehmen wir im Einklange mit der vorigen Nummer diese Erregung und demnach  $\mu$  der Stromstärke ebenfalls proportional, so erhalten wir das von Hrn. Hankel, auf Grund von Messungen mitgetheilte Gesetz, daß innerhalb gewisser Gränzen die

Wirkung einer Spirale auf einen Kern weichen Eisens dem Quadrate der Stromstärke proportional ist.

57. Wir kehren zu unserem eigentlichen Gegenstande zurück.

Um die Menge der Elektrizität zu bestimmen, die in einem gegebenen Leitungsdrahte dadurch in Bewegung gesetzt wird, ist, in Gemäßheit der 50. Nummer, durch das Doppel-Integral

$$-\mu k \int_{s_0}^{s^0} \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{x ds d\sigma \sin \lambda \cos \omega}{r^2} \quad (\text{III.})$$

gegeben. Wenn der Leitungsdraht aus demselben Metalle besteht und überall dieselbe Dicke hat, so ist  $x$  constant. In welcher Ordnung wir integrieren, ist gleichgültig. Integrieren wir zuerst in Beziehung auf  $\sigma$ , so erhalten wir die in dem Strom-Elemente  $ds$ , in Folge der Bewegung des Poles, in Bewegung gesetzte Elektrizität

$$-\mu x k ds \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \sin \lambda \cos \omega}{r^2} \quad (\text{IV.})$$

58. Wir wollen *erstens* den Fall eines kreisförmigen Leitungsdrahtes betrachten und den Magnetpol nach der Axe desselben sich bewegen lassen. Dann wird, wenn wir, wie bisher, den Radius des kreisförmigen Drahtes durch  $R$  und denjenigen Winkel, welchen eine von dem Pole, in seiner jedesmaligen Lage, nach einem Punkte des Stromes gezogene gerade Linie mit der Axe bildet, durch  $\varphi$  bezeichnen, das obige Doppel-Integral das folgende (54)

$$\begin{aligned} -2\pi \mu x k R \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \sin \varphi}{r^2} &= 2\pi \mu x k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} \sin \varphi d\varphi \\ &= -2\pi \mu x k (\cos \varphi^0 - \cos \varphi_0). \end{aligned}$$

Bewegt sich der Pol durch die ganze Strecke der Axe, wo seine inducirende Wirkung noch merklich ist, so giebt der letzte Ausdruck:

$$-2\pi \mu x k,$$

wonach die Wirkung unabhängig ist von dem Radius des kreisförmigen Drahtes.

Die Stromerregung in einem Bogen des Leitungsdrahts ist offenbar demjenigen Winkel proportional, der diesen Bogen misst.

59. Es sey *zweitens* der Leitungsdraht ein geradliniger und nach beiden Seiten hin unbegrenzter, und es bewege sich der Pol in einer beliebigen Curve. Wir wollen für diese Curve zuvörderst eine solche nehmen, deren Ebene auf dem Leitungsdrahte senkrecht steht. Ihre Gleichung in Polar-Coordinationen sey

$$F(r, \varphi) = 0,$$

wobei wir den Pol dieser Coordinationen in den Leitungsdraht legen. Für diesen Fall giebt die allgemeine Integralformel III:

$$-2\mu\kappa k \int_{\sigma_0}^{\sigma^0} \frac{d\sigma \cos \omega}{r}.$$

Es ist aber

$$d\sigma \cos \omega = r d\varphi$$

und somit kommt:

$$-2\mu\kappa k \int_{\varphi_0}^{\varphi^0} d\varphi = -2\mu\kappa k (\varphi^0 - \varphi_0) \quad (1.)$$

Wenn die Curve eine in sich selbst geschlossene ist, so ist ein doppelter Fall zu unterscheiden, entweder umschließt diese Curve den Leitungsdraht oder nicht. In dem ersten Falle ist von 0 bis  $2\pi$  zu integrieren und es kommt

$$4\pi\mu\kappa k.$$

Im zweiten Falle zerfällt das Integral in zwei oder mehrere, deren Gränzen von der Lage der Tangenten, die von dem Leitungsdrahte an die Curve sich legen lassen, abhängen. Die Summe dieser Integrale ist von der Form

$2\mu\kappa k [(\varphi_1 - \varphi_0) + (\varphi_2 - \varphi_1) + \dots + (\varphi_n - \varphi_{n-1}) + (\varphi_0 - \varphi_n)]$   
und verschwindet also.

60. Wenn wir, statt der bisher betrachteten ebenen



Curve, welche der Magnetpol beschreibt, irgend eine Curve doppelter Krümmung nehmen, so können wir, nach gewöhnlichem Verfahren, die Bewegung des Magneten durch jedes Element dieser Curve, in zwei Bewegungen zerlegen, von welchen die eine parallel mit dem Leitungsdrahte ist und die andere in einer gegen denselben senkrechten Ebene gerichtet ist. Die erste kann, was der Ausdruck (*B*) sagt, nichts zur Stromerregung beitragen. Die zweite bringt, wenn der Träger des Stromes ein unbegrenzter ist, dieselbe Wirkung hervor, wenn sie, parallel mit sich selbst, nach der Richtung des Stromes verschoben wird. Es ist also für die Stromerzeugung gleichbedeutend, ob der magnetische Pol irgend eine gegebene Curve im Raume oder ihre Projection auf irgend eine zur Stromrichtung senkrechten Ebene durchläuft.

61. Die Bewegung des Poles durch das Element der projecirten Curve können wir wiederum in zwei Bewegungen zerlegen, die eine senkrecht gegen den unbegrenzten Leitungsdraht, die andere nach dem Bogen eines Kreises, dessen Mittelpunkt im Leitungsdrahte liegt. Die erste Bewegung ist, in Gemäfsheit des Ausdruckes (*B*), ohne Wirkung, die zweite (1) unabhängig von dem Radius des Kreises. Wir können also den Magneten, statt durch die projecirte Curve, durch einen beliebigen Kreisbogen sich bewegen lassen, vorausgesetzt, daß die Endpunkte beider denselben Werthen von  $\varphi$  entsprechen. Wir gelangen hiernach zu dem Resultate der 59. Nummer, wenn wir aus der Beobachtung die Thatsache entnehmen, daß der erregte Strom derselbe ist, wenn um denselben unbegrenzten und geradlinigen Leitungsdraht ein magnetischer Pol in Kreisen von verschiedenem Radius mit derselben Winkelgeschwindigkeit sich bewegt (31).

62. Auch dem Resultate der 58. Nummer können wir in analoger Weise eine viel größere Allgemeinheit geben. Wir können nämlich einen Leitungsdraht von ganz beliebiger Form nehmen und jedes Element desselben in drei Elemente zerlegen, von welchen das erste dem Leitungs-

drahte

drahte parallel, das zweite senkrecht gegen denselben gerichtet ist und das dritte einem Kreise angehört, dessen Mittelpunkt in dem Leitungsdrahte liegt. In den beiden ersten Elementen findet keine Erregung statt; die Erregung in dem letzten hängt nicht von dem Radius sondern nur von dem Winkel ab, welcher dem Kreisbogen-Elemente entspricht. Hiernach können wir, ohne die Wirkung irgendwie zu ändern, statt des gegebenen ganz beliebigen Leiters die Projection desselben auf eine beliebige Ebene nehmen, die auf der von dem Pole beschriebenen geraden Linie senkrecht steht, und diese erste Projection wiederum auf den Umfang eines Kreises von beliebigem Radius projectiren, der in derselben Ebene liegt und dessen Mittelpunkt auf jener geraden Linie liegt.

63. Indem wir zusammenfassen ergeben sich die nachstehenden Resultate.

I. Wenn ein geradliniger und als unbegrenzt zu betrachtender Leiter und irgend zwei Punkte gegeben sind, so ist die Strom-Erregung durch einen magnetischen Pol immer dieselbe, gleichviel auf welchem Wege der Magnet von dem einen Punkte zu dem anderen in gleichem Sinne bewegt wird. Insbesondere ist diese Erregung dieselbe, wenn der magnetische Pol von einer beliebigen Lage ausgeht, und nachdem er eine beliebige Curve, den Leitungsdraht umkreisend, durchlaufen hat, wieder zu der ursprünglichen Lage zurückgeht. Hiernach ist, wenn auch die Dauer der jedesmaligen Umkreisung des Drahtes sich gleichbleibt, die elektromotorische Kraft und, bei gleichem Widerstande, auch die Stromstärke dieselbe. Wenn die in sich geschlossene, von dem Pol beschriebene, Curve den Leitungsdraht *nicht* umschließt, so verschwindet die Strom-Erregung oder vielmehr die bei jeder Umkreisung des Leitungsdrahtes stattfindenden entgegengesetzten Strom-Erregungen heben sich gegenseitig auf.

II. Wenn ein magnetischer Pol eine unbegrenzte gerade Linie durchläuft, so ist die Erregung des Stromes immer dieselbe, wie auch der Träger desselben von einem

ersten festen Punkte zu einem zweiten festen Punkte geleitet wird. Insbesondere ist diese Erregung also auch dann dieselbe, wenn der Leitungsdraht sich um den magnetischen Pol in irgend einer beliebigen in sich geschlossenen Curve hinzieht, und zwar auch derjenigen in einem unbegrenzten geradlinigen Leiter gleich, um welchen derselbe Pol in einer beliebigen in sich geschlossenen Curve sich herumdreht. Die Erregung verschwindet für jeden in sich geschlossenen Leiter, wenn die von dem Pole beschriebene gerade Linie aufserhalb desselben liegt.

Ich breche hier ab.

Bonn, den 16. August 1852.

### III. *Zur Theorie der Saxton'schen Maschine; von J. H. Koosen.*

Mit der Construction einer grossen magneto-elektrischen Maschine beschäftigt, welche zur Darstellung eines galvanischen Stromes von sehr geringem wesentlichem Leitungswiderstande oder, wie man es auch nennt, von grosser *Quantität* dienen sollte, eines Stromes, welcher wesentlich zur Magnetisirung weichen Eisens und zur Entwicklung von Wärme in kurzen und dicken Drähten benutzt werden konnte, war mir sehr darum zu thun, einige bisher noch dunkle Punkte in der Theorie der magneto-elektrischen Maschinen aufzuklären, um womöglich hiervon einigen Nutzen in der Construction des erwähnten Apparates zu ziehen. Namentlich gehört hierher die Frage, ob der von der Saxton'schen Maschine erzeugte Strom fortwährend mit der Geschwindigkeit des Drehens und proportional mit der letzteren zunehme, oder nicht? Die bisherigen Versuche zahlreicher Experimentatoren haben ergeben, daß im Allgemeinen die Stromstärke mit der Geschwindigkeit