
ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE.

JAHRGANG 1833, DRITTES STÜCK.

I. *Physicalische Theorie der elektro-dynamischen
Vertheilung;*

von Hrn. L. Nobili in Florenz.

(Aus einem vom Verfasser übersandten besonderen Auszug der in
No. 142 der *Antologia di Firenze* von 1832 erschienenen Ab-
handlung.)

In einer unserer früheren Arbeiten über den Magneto-Elektrismus sind wir, der Ritter Antinori und ich, insbesondere mit dem Rotationsmagnetismus beschäftigt gewesen *). Wir hielten damals die physicalische Theorie dieses Magnetismus für reif, und fühlten uns in dieser Meinung bestärkt durch die Resultate, welche wir erhielten, als wir die Arago'schen Scheiben mittelst der Drähte des Galvanometers so prüften, daß sich das doppelte System von Strömen, welches sich beim Rotiren unter den Einfluß eines Magneten in ihnen entwickelt, versichtbaren mußte. Ohne zu verhehlen, daß uns die Gesamtheit unserer Beobachtungen Zutrauen eingeflößt hatte, bekennen wir nun frei, daß es nothwendig sey, unsere Untersuchungen wieder aufzunehmen, um den Gegenstand weiter aufzuhellen, und die Schwierigkeiten zu beseitigen, welche sich nach der Bekanntmachung unserer Arbeit erhoben haben.

*) *Antologia* N. 134. (Annalen, Bd. XXIV (100) S. 621.)

Damals kannten wir die Versuche des Hrn. Faraday nur aus dem Wink, den die Zeitungen von ihnen gegeben hatten; jetzt aber ist diese wahrhaft originelle Arbeit ausführlich bekannt, und so sind wir im Stande sie nach Verdienst zu würdigen *). Hr. Faraday hat überall die Hauptpunkte der Aufgabe angegriffen, und sie durch eine solche Fülle von Versuchen erläutert, daß der Gegenstand beinahe erschöpft ist.

Seine Untersuchungen zerfallen in sechs Abschnitte, von denen der vierte vom Rotationsmagnetismus handelt. Bei Durchlesung dieser Arbeit glaubte ich anfangs, es bedürfe, nach unserer ersten Theorie, nichts weiter, als eines Anhangs, der die neuen Resultate umfasse, und, wo es nöthig sey, die Erklärung berichtige. Kaum hatte ich aber Hand an's Werk gelegt, als ich einsah, daß alle Aufgaben so innig mit einander zusammenhängen, daß man, um sie zu lösen, zur Analyse der früheren That-sachen zurückgehen müsse. So entstand die gegenwärtige Abhandlung, die anfangs ein bloßer Anhang werden sollte, aber so anwuchs, daß sie den ganzen Kreis der elektro-dynamischen Vertheilung umfasste.

Grundgesetz des Hrn. Faraday.

Die Volta'schen, d. h. von einem elektrischen Strom durchlaufenen Drähte, haben unter gewissen Umständen das Vermögen, instantane Ströme in anderen Drähten zu erregen. Diese Erregung **) findet in zwei Fällen statt: wenn der indifferente Draht dem Volta'schen Draht in paralleler Lage genähert, und wenn er eben so von ihm entfernt wird. Im ersten Fall ist der *erregte* Strom von

*) Die beiden Abhandlungen des Hrn. Faraday sind ausführlich in dies. Annal. Bd. XXV (101) S. 91 und 142 mitgetheilt. P.

**) Erregung ist hier immer der Act genannt, den Hr. Nobili nach Hrn. Faraday's Beispiel *induzione* nennt; eben so hat man unter *erregten* Strömen stets die durch Vertheilung entwickelten zu verstehen. P.

entgegengesetzter Richtung als der *erregende*, im zweiten aber von gleicher Richtung mit ihm. Die Stärke des erregten Stromes wächst mit der Schnelligkeit der Bewegung, nimmt ab, wie diese langsamer wird, und erlischt ganz im Zustand der Ruhe *).

Es ist einerlei für die Wirkung, welcher von den beiden Drähten bewegt wird. Auch können beide in Ruhe bleiben, und doch zu derselben Erregung Anlaß geben, sobald man nur den elektrischen Strom in dem Volta'schen Draht aufhören und wieder eintreten läßt. In dem Augenblick, wo der Strom in den Volta'schen Draht eintritt, entwickelt sich in dem andern Draht ein Strom von entgegengesetzter Richtung, im Augenblick aber, wo er aufhört, ein Strom von gleicher Richtung mit ihm. In den beiden letzten Fällen findet zwar keine Bewegung der Drähte statt, aber der zur Erregung bestimmte Draht wird, wie in den beiden ersten Fällen,

*) Die erregten Ströme sind im Allgemeinen zu schwach, als daß es gelänge, sie mit einem einzigen Volta'schen Draht wahrnehmbar zu machen. Dieser Fall ist aber der einfachste, und deshalb ist es zur Fixirung der Ideen zweckmäßig von ihm auszugehen. Wie bekannt braucht man übrigens einen langen Draht nur spiralförmig aufzuwinden, um die Erregung bis zum deutlichen Hervortreten zu verstärken. Ich pflege die Versuche mit zwei *quadratischen Multiplicatoren*, jeder von 100 Windungen, anzustellen. Der eine ist mit einem guten Galvanometer verbunden, der andere mit einer einfachen Kette, nach Vollaſton's Einrichtung, von 20 bis 24 Quadratz. Oberfläche. Die Windungen dieser Quadrate liegen in Einer Ebene, so daß sie mit zwei ihrer Seiten einander parallel gegenüber gebracht werden können. Durch gegenseitiges Nähern dieser Seiten erhält man den einen Strom, durch Entfernen den andern. Es ist gut mit diesem Versuche anzufangen, um den einfachsten Fall der Einwirkung eines geradlinigen Stroms auf einen gleichfalls geradlinigen Draht nachzuweisen. Legt man darauf das eine Quadrat auf das andere, so vervierfacht sich die Wirkung. Die Quadrate halten 6 bis 7 Zoll in Seite, und sind aus einem 50 Fuß langen, etwa 1 Millimeter dicken, mit Seide besponnenen Kupferdraht gebildet.

schleunig dem Einfluß eines Volta'schen Stromes ausgesetzt und entzogen.

Einwirkung elektrischer Ströme auf eine bewegte
Metallmasse.

Es sind hier zwei Fälle zu betrachten: der, wo der Strom *senkrecht*, und der, wo er *parallel* gegen die Richtung der Bewegung ist. Die schiefe Lage läßt sich leicht auf diese beiden Fälle zurückführen. Beginnen wir mit dem ersten.

Senkrechte Combination.

Zu dieser diente ein Kupferreifen, der am Rande einer Scheibe von Holz oder einer andern nicht leitenden Substanz unverrückbar befestigt war, und durch eins der gewöhnlichen Mittel neben einem Volta'schen Strom in Umdrehung versetzt ward. Der Kupferreifen *OOO*, Fig. 1 Taf. II, hielt 5" 3''' im Durchmesser, 17''' in Höhe und 1''' in Dicke. Seine Ränder muß man sich als horizontal denken, seine Axe also als vertical, und als parallel dem Volta'schen Draht *AB*, vor welchem der Reifen in horizontaler Richtung rotirte. Die Prüfdrähte *) des Galvanometers wurden an den oberen und unteren Rand des Reifens, dießs- und jenseits des Drahtes *AB*, angesetzt, um die daselbst in dem Metall erregten Ströme zu entdecken. Drehte sich die Scheibe in Richtung der Pfeile *RR'*, und ging der Volta'sche Strom in dem Draht *AB* von unten nach oben, wie es in der Figur ebenfalls durch einen Pfeil angedeutet ist, so waren es die Theile *cd*, welche in den Wirkungskreis des Stro-

*) So nennt Hr. Nobili die Endstücke der Galvanometerdrähte (S. Annal. Bd. XXIV S. 622), wenn er sie in einem gegebenen Ort an die Scheibe setzt, um die daselbst etwa befindlichen Ströme zu erforschen. Um dabei nicht in Irrthum zu fallen, sind gewisse Vorsichtsmaßregeln nöthig, die am Schlusse dieser Abhandlung in einem Zusatz angegeben werden.

mes eintraten, und hier fanden sich Ströme cd , die dem Strom AB entgegengesetzt waren. An der anderen Seite des Drahts AB zeigte sich die umgekehrte Erscheinung, nämlich Ströme ab von gleicher Richtung mit AB .

Diese Resultate bedürfen keiner Erklärung; sie ergeben sich unmittelbar aus dem vorhin angegebenen Gesetz, dem gemäß durch das Nähern und Entfernen Ströme von entgegengesetzter Richtung erregt werden, im ersten Fall nämlich von umgekehrter, und im zweiten von gleicher Richtung mit dem erregenden Strom.

Die so erregten Ströme sind sehr schwach, wenn man sich dabei auf einen einzigen Volta'schen Draht beschränkt. Nimmt man aber statt dieses Drahts eine Seite eines rechteckigen Multiplicators, so steigert man die Wirkung im Verhältniß der Zahl der Windungen, und macht dadurch auch die schwache Kraft deutlich erkennbar.

Außer den entgegengesetzten Strömen $ab \dots, cd \dots$ lassen sich durch die Prüfdrähte des Galvanometers noch andere, unter sich gleichfalls entgegengesetzte Ströme an dem oberen und unteren Rande des Reifens entdecken, wie sie durch die Pfeile bc und da in Fig. 1 Taf. II bezeichnet sind.

Die Entstehung dieser horizontalen Ströme ist leicht zu begreifen: sie sind nichts anderes als die Fortsetzung der verticalen Ströme. Man denke sich zwei Volta'sche Säulen $rz, r'z'$ (Fig. 2 Taf. II) senkrecht, aber in umgekehrter Richtung, neben einander gestellt, und durch zwei Metallstäbe bc, da verbunden. Diese Stäbe schließen den Bogen der beiden Säulen, und werden in der Richtung, wie es die Pfeile anzeigen, von dem elektrischen Strome durchlaufen, der sich aus einer Säule in die andere ergießt. Gerade eben so entladen sich auf dem Reifen die verticalen Ströme $ab \dots, cd$ in einander, weil sie durch dieselbe leitende Substanz, in der sie erregt wurden, mit einander in Verbindung stehen. Noch

passender wird der Vergleich, wenn man sich die beiden Volta'schen Säulen durch zwei thermo-elektrische Ketten ersetzt denkt, die so erregt werden, daß man in den Verbindungsstäben die entgegengesetzten Ströme *bc*, *da* erhält; weil dann der Bogen, wie der auf dem Reifen unter Einwirkung des Drahts *AB* entstehende, ganz metallisch ist.

Für verwickeltere Fälle ist es zweckmäßig, das in dem Reifen erregte Stromsystem zu vergleichen mit dem eines elektro-dynamischen Cylinders, welcher bekanntlich die Erscheinungen eines gewöhnlichen Magnetstabes in so weit nachahmt, daß er, wie dieser, mit seinen Enden anziehend und abstoßend wirkt. In diesem Vergleiche findet man, daß der Strom *abcd* der ist, welcher dem Südpol eines elektro-dynamischen Cylinders entspricht. Die Wirkung des Volta'schen Drahts *AB* auf den Reifen kann also einfach so ausgedrückt werden, daß man sagt, es werde durch sie ein *Südpol* erregt. Der Buchstabe *S* auf dem Pfeil *AB* dient zur leichteren Erinnerung an diese, besonders für das Folgende nützliche Vorstellung.

Fig. 1 Taf. II bezeichnet den Fall, wo der erregende Strom in dem Draht *AB* in *die Höhe* steigt. Geht er von *oben nach unten*, so entstehen umgekehrte Wirkungen, wie sie in Fig. 3 vorgestellt sind. Das alsdann erregte Stromsystem entspricht dem *Nordpol* eines elektro-dynamischen Cylinders oder Magnetstabes, worauf auch der Buchstabe *N* in dieser Figur anspielt.

In dem Draht *AB*, Fig. 1, geht der Strom von *unten nach oben*, in dem Draht *CD*, Fig. 3, dagegen von *oben nach unten*. Bringt man nun beide Drähte zugleich vor den rotirenden Reifen und prüft das zwischen ihnen befindliche Stück desselben, so findet man in diesem ganzen Raum sehr deutliche Ströme, die von *oben nach unten* gehen, wie es Fig. 4 verdeutlicht, und wie es auch aus den Figuren 1 und 3 leicht vorherzusehen war. Die

Theile, welche aus der Wirkung des Stromes CD treten, treten in die Wirkung des entgegengesetzten Stroms AB ; der durch das Entfernen vom Draht CD erregte Strom $c'd'$ geht von oben nach unten, wie der Strom CD ; bei Annäherung an den Draht AB wird cd erregt, der dem in die Höhe steigenden AB entgegengesetzt ist, d. h. wie der $c'd'$ von oben nach unten geht. Beide Wirkungen gehen also in gleicher Richtung und verstärken einander.

Dieses Resultat verdient vor allen übrigen ausgezeichnet zu werden, weil die erregenden Ströme nicht vortheilhafter auf das Metall angelegt werden können, wie es schon jetzt einleuchtend ist, und wie man es beim Fortgange dieser Untersuchung noch deutlicher einsehen wird. Aufser den hinabgehenden Strömen cd , $c'd'$ bilden sich auf dem Reifen noch andere, die indess den ersteren untergeordnet sind, und hier übergangen werden können. Es reicht hin zu wissen, daß sie alle von dem Theil rz ausgehen, wie wenn hier eine elektromotorische Kraft vorhanden wäre, welche die Elektrizität von oben nach unten in Bewegung setzte.

Bei Umkehrung der erregenden Ströme AB , CD kehren sich auch die Ströme rz um; sie steigen jetzt, während sie vorhin hinabgingen. Immer aber bleiben sie dabei parallel den erregenden Strömen und senkrecht gegen die Richtung der Bewegung. Dieses ist die erste Regel für den Fall, wo sich das Metall *senkrecht* gegen den elektrischen Strom bewegt. Gehen wir jetzt zu der *parallelen* Combination über.

Parallele Combination.

Es sey BC , Fig. 5, ein Volta'scher Draht, horizontal ausgespannt vor dem Rande des Reifens OO ; dieser rotire wie vorhin, und in dem Draht BC gehe der Strom von der Rechten zur Linken, wie es der Pfeil andeutet.

Man könnte im ersten Augenblick vermuthen, daß in diesem Falle horizontale Ströme auf der Cylinderfläche des Reifens entstanden. Legt man aber die Prüfdrähte des Galvanometers an, so findet man in dieser Richtung keine oder höchst unbedeutende Spuren von Strömen; dagegen findet man recht deutliche Ströme in der Quere des Reifens, und zwar, wie im vorhergehenden Fall, von oben nach unten gehend, wie es der Pfeil rz anzeigt.

Es sind hier also zwei Resultate zu erklären: das negative in horizontaler Richtung, d. h. in der der Bewegung, und das positive in verticaler oder auf der Bewegung senkrechter Richtung.

Das negative Resultat ist leicht begreiflich. Man betrachte ein Drahtstück xy , Fig. 6, welches parallel neben einem unbegrenzten Strom BC dahin geführt wird, und zwar, wie in Fig. 5, in Richtung des Pfeils R . Bei einer solchen Bewegung entfernt sich das Drahtstück xy von dem Strom rC , und dadurch strebt sich, vermöge des Grundgesetzes, in ihm ein Strom $r'c$ von gleicher Richtung mit rC zu bilden. Während aber der Draht xy sich von rC entfernt, nähert er sich auch dem Strome Br , und dadurch sucht sich in ihm ein entgegengesetzter Strom $r'b$ zu erzeugen. Die beiden Erregungen cr' , br' sind nicht allein entgegengesetzt, sondern auch gleich stark, sie zerstören also einander vollkommen.

Anders verhält es sich mit der senkrechten Richtung. Man braucht nur die mit dem Draht BC parallele Lage xy gegen die senkrechte $x'y'$ (Fig. 7) zu vertauschen, um sogleich einerlei Richtung in beiden Strömen $r'c'$, $b'r'$ entstehen zu sehen. Der erste $r'c'$, erregt durch Entfernen, geht wie rC' ; der andere $b'r'$, erregt durch Nähern, ist dem Strom $B'r$ entgegengesetzt, geht also in gleicher Richtung mit $r'c'$ *).

*) Noch einleuchtender wird dieß Resultat mit Hülfe des Satzes von der Zerlegung der Kräfte, dessen sich schon Hr. Ampère

Dieser Fall wiederholt sich nun offenbar rings um den Draht BC , d. h. auf allen Radien einer Scheibe $z''z''$ (Fig. 9), durch die, gleichsam wie eine Axe, ein elektrischer Strom hindurchgeht. Jeder Radius rz der Scheibe befindet sich unter gleichen Umständen wie das Drahtstück $x'y'$ (Fig. 7), und wird also der Sitz eines Stromes, der vom Mittelpunkt zum Umfang geht.

Wenn sich die Richtung des Stroms in dem Volta'schen Draht umkehrt, kehrt sich blofs die Strahlung um, wie aus Fig. 10 ohne Weiteres erhellt.

Bei *senkrechter* Bewegung gegen die Richtung des Volta'schen Drahts (Fig. 1 und 3) waren die im Metall erregten Ströme parallel der Richtung dieses Drahts, also senkrecht gegen die Richtung der Bewegung, und an der Ein- und Austrittsseite des Drahts einander entgegengesetzt. Diefes war das Gesetz für den vorhergehenden Fall; im gegenwärtigen, wo die Bewegung *parallel* dem Volta'schen Draht geschieht, ist der erregte Strom zwar ebenfalls senkrecht gegen die Richtung der Bewegung, aber auch senkrecht gegen die Richtung des Drahts, so dafs dieser zum Mittelpunkt einer Irradiation

in seiner Theorie bediente, nachdem er die Genauigkeit desselben durch directe Versuche nachgewiesen hatte.

Man nehme in gleicher Entfernung vom Punkt r , diefs- und jenseits desselben, zwei Strom-Elemente mo , pt , und zerlege sie in die Elemente mn , no und pq , qt , wie man sie mittelst der gleichschenkligen und in n und q rechtwinklichen Dreiecke mno und pqt erhält. Gleichergestalt zerlege man das Element xy des bewegten Metalls in die beiden Elemente xh und xk parallel mit no und pq . Bei der Bewegung von der Rechten zur Linken entfernt sich das Metall-Element xk von dem Strom pq , und es bildet sich also in ihm der Strom xk von gleicher Richtung mit pq . Während deß nähert sich aber das Element xh dem Strom no , und es entsteht also in ihm der Strom xh von entgegengesetzter Richtung mit no . Die Ströme xh und xk gehen nach der Seite von y , und lassen sich über xy zu dem verticalen, von oben nach unten gehenden Strom zusammensetzen, welcher vorhin nachgewiesen worden ist.

wird, die, je nachdem man das Metall in diesem oder jenem Sinne bewegt, von innen nach außen, oder von außen nach innen geht.

Diese zweite Regel führt zu einer analogen Folgerung wie die erste. Im Fall die Drähte senkrecht waren, wirkten die Ströme AB , CD (Fig. 4) so auf das daneben rotirende Metall, daß der Effect verdoppelt wurde. Um eben so die Wirkung des horizontalen Stroms BC auf dem Ring OO , Fig. 5, zu verdoppeln, braucht man nur am unteren Rand einen zweiten, und zwar dem ersten BC entgegengesetzten Strom DA anzubringen. Der Versuch beweist die Richtigkeit dieser Behauptung, und die Theorie erklärt sie sogleich, indem dieser Fall schon in den intermediären Theilen der Fig. 9 und 10 enthalten ist, wo die Pfeile rz , $r'z'$ der erregten Ströme in gleichem Sinne gehen.

Die eine wie die andere dieser Figuren erklärt auch, was dem Reifen geschehen würde, wenn der Strom vor der Mitte seiner Seitenwand vorbei ginge. Gesetzt nämlich der Strom DA , Fig. 10, sey in Thätigkeit, so haben wir in der oberen Hälfte des Reifens (Fig. 11) den erregten Strom $r'z$, in der unteren Hälfte den entgegengesetzten rz . Nähme man statt des Einen Drahts deren so viele, daß die ganze obere Hälfte des Ringes damit bedeckt würde, so wird jeder hinzugefügte Draht die Erregung in der unteren Hälfte zu verstärken trachten. Eben so würde durch eine Vermehrung der Drähte um die untere Hälfte die Erregung in der oberen verstärkt werden. Die Wirkung des um die Mitte geschlungenen Drahts ändert also ihren Charakter nicht durch Hinzufügung neuer Ströme unterhalb und oberhalb; sie wird nur vergrößert, wie wenn man, ohne die Anzahl der Ströme zu vermehren, den centralen Strom DA zweckmäßig verstärkt hätte.

Vereinigung der senkrechten und parallelen
Combination.

Der unmittelbare Vergleich dieser beiden in Fig. 4 und 5 abgebildeten Anordnungen zeigt, daß ihre Wirkungen auf das dazwischen befindliche Metall *rz*, was die Richtung der Erregung betrifft, gleich sind, aber in der Stärke sind sie verschieden. Die kräftigere Anordnung ist die senkrechte in Fig. 4. Ihre Ueberlegenheit erklärt sich daraus, daß die verticalen Ströme *AB*, *CD* weit unmittelbarer auf die Elemente des rotirenden Metalls einwirken, als die horizontalen Ströme *BC* und *DA* in Fig. 5.

Beide Paare von Strömen lassen sich zur gleichzeitigen Einwirkung auf das Metall mit einander verbinden, wodurch dann die Erregung sehr verstärkt wird. Ein einziger Volta'scher Draht, gebogen in Gestalt eines Rechtecks, wie *ABCD* in Fig. 12, vereinigt ohne weiteres die beiden Anordnungen in sich, da seine verticalen Seiten *AB*, *CD* die Ströme der Fig. 4, und seine horizontalen Seiten *BC*, *DA* die der Fig. 5 erregen.

Mehr oder weniger thut jeder ganz oder fast geschlossene Bogen dieselbe Wirkung, der übrigens auch von unregelmäßiger Form seyn kann, da sich jede derselben mit Hülfe des Satzes von der Zerlegung der Kräfte auf einen rechteckigen Bogen zurückführen läßt. Es ist nur deshalb von diesen und den kreisförmigen *abcd*, Fig. 12, die Rede, weil sie die gewöhnlichen Formen sind, welche man den, zur Nachahmung der Wirkung des Magneten bestimmten, elektro-dynamischen Spiralen giebt.

Nach Auseinandersetzung dieser Resultate können wir uns kürzer fassen, denn jeder fernere Versuch ist nur ein Corollar von den vorhergehenden. Es wird daher auch die bloße Darlegung der Thatsachen zu ihrem Verständnisse hinreichend seyn. Um die Versuche nicht übermäßig zu vermehren, wählen wir aus ihnen nur die

interessanteren aus, die glücklicherweise auch die einfacheren sind, und so zusammenhängen, daß zwischen ihnen keine erhebliche Lücke bleibt.

Rotirende Scheiben und Kugeln.

Es sey $zz'z''z'''$ (Fig. 13) eine Kupferscheibe, welche neben einem in ihrer Ebene befindlichen Volta'schen Draht rotire. Geht der Strom im Sinn der Rotation, wie es die Pfeile der Figur ausdrücken, so entwickeln sich auf der Scheibe strahlenförmige Ströme vom Mittelpunkt zum Umfang.

Um diese schöne Thatsache zu verstehen, braucht man seine Aufmerksamkeit nur auf die beiden, mit dem Draht DA parallelen Radien rz und rz'' zu richten. Bei der Rotation der Scheibe nähert sich der Radius rz dem Strome DA , und der auf ihm erregte Strom rz ist also dem DA entgegengesetzt. Zur selben Zeit aber entfernt sich auf der andern Seite der Radius rz'' von dem Strom DA , und folglich hat der auf ihm erregte Strom rz'' gleiche Richtung mit dem DA .

In Betreff der übrigen Radien ist die Sache eben so klar, wenn man sich die Scheibe durch den Durchmesser $z'z'''$ in die beiden Hälften getheilt denkt, die in den und aus dem Einfluß des Stromes DA treten. Alle Radien der rechten Hälfte treten nämlich nach und nach in diesen Einfluß, bis sie in rz' angelangt sind, wo sie in die andere Hälfte übergehen und sich von dem Strome DA entfernen. Die Radien der rechten Hälfte theilen also mehr oder weniger das Schicksal von rz , wie die auf der linken das von rz'' , und so breitet sich über die ganze Scheibe das System von strahlenförmigen Strömen aus, das in Fig. 13 abgebildet ist.

Dieses System ist sehr schwach und neben einem einzigen Volta'schen Draht fast unmerklich. Deutlicher tritt es hervor gegenüber der Seite eines rechteckigen Multiplicators, und noch stärker, wenn man die Scheibe

in eine sie am Rande ganz umfassende Spirale bringt. Die vortheilhafteste Form der Spirale für diesen Fall ist die kreisförmige, weil sie in allen ihren Punkten die Wirkung am nächsten an die rotirende Scheibe bringt. Uebrigens ist die Erhöhung des Effects in allen diesen Fällen eine offenbare Folge eines und desselben Principis, indem man nichts weiter thut, als die Kraft zu vervielfältigen, und sie, bei der kreisförmigen Spirale, auf die vortheilhafteste Weise um die Metallmasse zu vertheilen. Die Anbringung eines elektro-dynamischen Ringes um die Scheibe ist nicht bloß die wirksamste, sondern auch, in practischer Hinsicht, die einfachste und bequemste. Der Experimentator wird sie daher allen übrigen vorziehen.

So lange die Scheiben, wie gewöhnlich, nur wenige Linien in der Dicke halten, sind auf ihnen mit den Prüfdrähten des Galvanometers nur die strahlenförmigen Ströme zu entdecken, und zwar auf beiden Seiten in gleicher Weise. Haben aber die Scheiben eine grössere Dicke, z. B. von sechs Linien mehr, so treten auch an ihrem Rande Ströme auf, und zwar in doppelter Richtung, wie in Fig. 11, welche auch auf gegenwärtigen Fall paßt. Die Gesamtwirkung zeigt Fig. 14, wo die punktirte Linie die Lage der elektro-dynamischen Spirale bezeichnet.

Wir haben die Ideen auf eine dicke Scheibe geleitet, um den Vortrag leichter an die vorhergehenden Beobachtungen anzuschliessen. Das Resultat hängt übrigens nur von der Symmetrie der Metallmasse ab, und daher wird eine Kugel, wegen der vollkommenen Symmetrie in allen ihren Theilen, gewissermassen der Typus der Erscheinung. Aus diesem Grunde ist neben der Scheibe OO in Fig. 14 eine Kugel $O'O'$ abgebildet.

Aufser dieser schönen Combination, auf die wir sogleich zurückkommen werden, ist noch die beachtenswerth, wo eine dicke Metallscheibe senkrecht gegen die Ebene der elektro-dynamischen Spirale rotirt. Diesen

Fall zeigt Fig. 15, wo $abcd$ die ringförmige Spirale, und OO die innerhalb derselben rotirende Scheibe ist. Behält man für die Rotation und den Volta'schen Strom die in Fig. 3 angenommenen Richtungen bei, so bildet sich am Rande gegenüber dem herabfließenden Strom cd dasjenige Stromsystem, welches dem Nordpol N eines elektro-dynamischen Cylinders entspricht. Auf der entgegengesetzten Seite S steigt der erregende Strom in die Höhe, die Wirkung ist umgekehrt, und folglich bildet sich daselbst ein Südpol.

So verwandelt sich jede rotirende Masse, sey sie Scheibe oder Kugel oder von anderer Form, in einen wahrhaften elektro-dynamischen Magnet, welcher die Linie NS , die Durchschnittslinie der Rotationsebene mit der Ebene des erregenden Stroms $abcd$, zur Axe hat. Eine solche Umwandlung, durch die sich in N ein Nord- und in S ein Südpol erzeugt, ist unter die neuen Sätze aufzunehmen, um sie mit Erfolg und Leichtigkeit auf alle die Versuche anzuwenden, welche Barlow und selbst Faraday angestellt hat, zur Entdeckung des magnetischen Einflusses, den Kugeln vermöge ihrer bloßen Rotation ausüben. Einige Betrachtungen über die Natur der strahlenden Ströme in Fig. 14 werden die wichtigste dieser Anwendungen zeigen.

Betrachtungen über die Natur der strahlenförmigen Erregung.

Wenn das in einer Metallmasse erregte Stromsystem von der Art ist, daß es sich in dieser Masse von einer oder mehreren Zonen entladet, so kommt der Fall auf eine der gewöhnlichen Volta'schen oder thermo-elektrischen Combination zurück, und es ist dabei nichts Neues, als die Art der Erregung. Sehr ungewöhnlich aber ist die in Fig. 14 abgebildete Strahlung der Ströme. Hier sieht man nicht ein, von welcher Seite her die Ströme sich schliessen, und, wenn sie ungeschlossen bleiben, wie sie

bestehen können, auch, durch welche Volta'sche Combination sie vollkommen oder wenigstens annähernd nachgeahmt werden könnten.

Betrachten wir insbesondere die Irradiation auf der Scheibe OO (Fig. 14), und denken uns zu dem Ende über derselben Linie zwei Säulen $rr'z$, $rr'z'$ (Fig. 16) mit einander verbunden, bestehend aus kreisförmigen Elementen, welche die Punkte zz' zu Mittelpunkten haben, und so aufgebaut, daß sie an der Berührungslinie rr' mit Einem, z. B. dem negativen Metalle anfangen, und von da nach beiden Seiten hin in gleicher Ordnung fortschreiten, so daß sie in den Punkten zz' mit dem andern, also dem positiven Metall endigen. So hat man zwei Säulen, die zwar in ungewöhnlicher Weise aufgebaut sind, sonst aber keine neue Eigenschaften darbieten. Sie sind an ihren positiven Enden zz' isolirt, und im Grunde auch an den andern, wo sie einander berühren, weil beide hier eine gleich starke negative Elektrizität entwickeln, folglich auch kein Uebergang von Elektrizität aus einer Säule in die andere stattfindet. Bis so weit ist kein elektrischer Strom vorhanden. Die Säulen sind isolirt, und die Elektrizität befindet sich nur in dem gewöhnlichen Spannungszustande, in welchem die Anzeigen am condensirenden Elektrometer niemals fehlen. Der Strom beginnt aber sogleich, so wie man die Isolation zerstört und die Elektrizität des einen Endes durch einen leitenden Draht in die des andern entladet. Nimmt man zu diesen Bogen den Draht eines Galvanometers, so wird dieß Instrument, bei Prüfung des Umfangs beider Säulen, die vier erzeugten Ströme nachweisen, welche eben so gegen einander gehen, wie die in irgend einem rechteckigen Durchschnitt der Scheibe OO (Figur 14).

Aus dieser Betrachtung scheinen sich zwei Folgerungen zu ergeben, nämlich erstens, daß es in der rotirenden Scheibe wirklich keine strahlenförmigen Ströme,

sondern nur Spannungselektricität giebt; und zweitens, daß diese Spannung am Aequator DA der Metallmasse (Fig. 14) aufgesucht werden müsse, weil die Masse durch den Zapfen r' , um den sie rotirt, mit dem Boden in Verbindung steht, also in dieser Gegend nothwendig im natürlichen Zustand bleiben muß.

Wir haben, wie natürlich, diese Folgerungen thatsächlich zu bestätigen gesucht; allein trotz der zu verschiedenen Zeiten wiederholten Prüfungen ist es uns nie gelungen, an irgend einer Stelle der rotirenden Masse ein Zeichen von Spannungselektricität zu erhalten. Das Ausbleiben dieser Anzeigen könnte besorgen lassen, daß in der Deduction ein Fehler begangen sey, könnte z. B. die Vermuthung erregen, daß die strahlenförmigen Ströme, statt in ihrem Laufe gehemmt zu seyn, und, wie gesagt, in Spannung überzugehen, sich in das Innere der Metallmasse hineinbügen, und so einen vollständig geschlossenen, in sich zurücklaufenden Wirbel bildeten. Sollte man zu dieser Vorstellung geneigt seyn, so muß man bedenken, daß die elektro-dynamische Erregung in allen Richtungen stattfindet, und daß also, wie auf der Oberfläche des Metalls, so auch nothwendig im Innern desselben, strahlenförmige Ströme vorhanden seyn müssen. Daher scheint uns auch die Idee von dem Umbeugen der Ströme in das Innere der Masse keinesweges annehmbar, und das Ausbleiben der elektrometrischen Anzeigen ist für uns kein Beweis gegen das Daseyn dieser Spannung, sondern nur einer für die Schwierigkeit, sie sichtbar zu machen, sey es wegen ihrer ungemeinen Schwäche, oder wegen eines anderen noch nicht gehörig ermittelten Umstandes. Uebrigens ist dieß ein Punkt in der Theorie, den man sich hüten muß oberflächlich zu behandeln, weil er leicht zu einer bedeutenden Folgerung führen könnte.

Erdmagnetismus.

Die Erde ist ein großer Magnet, und übt in dieser Eigenschaft auf bewegte Metallmassen einen Einfluß aus, von dem bisher abgesehen wurde, um nicht die aus unmittelbarer Wirkung der elektro-dynamischen Ströme entspringenden Gesetze verwickelt zu machen. Jetzt soll diese Lücke ausgefüllt werden. Zuvor bemerken wir, daß es für den gegenwärtigen Zweck wenig darauf ankommt, zu wissen, durch welche Ursache eigentlich die Erde in einen Magnet verwandelt wird. So viel ist gewiß, daß freischwebende Magnetnadeln an jedem Ort der Erde die Richtung der erdmagnetischen Kraft nachweisen, und diese Kenntniß reicht hin, um anzugeben, welche Richtung ein elektrischer Strom haben müßte, um denselben Effect hervorzubringen.

Wir haben gesehen, was sich mit einer Metallscheibe begiebt, wenn sie neben einem Volta'schen Draht (Figur 13) oder innerhalb einer elektro-dynamischen Spirale *AD* (Fig. 14) rotirt. Die Scheibe wird alsdann der Sitz eines Systems von strahlenförmigen Strömen. Diese Thatsache hat Hr. Faraday nachgewiesen, indem er seine Metallscheiben in einer pafslichen Ebene rotiren liefs. Die zweckmäfsigste Ebene hiezu ist offenbar die auf Richtung der Inclination senkrecht stehende, doch erhält man eine hinreichende Wirkung auch schon in der horizontalen Ebene, da diese sich von jener nur um etwa 27° entfernt. Das Maximum der Irradiation findet aber, wie auch Hr. Faraday zeigte, in der auf der Inclination senkrechten Ebene statt *).

Gesetzt nun die Spirale *AD* (Fig. 14) befände sich in dieser (auf der Inclination senkrechten) Ebene, und die Kugel rotire von Ost nach West um eine Axe, die zugleich in dem magnetischen Meridian und senkrecht auf der Inclination liege. Wir haben dann den Fall der Fig. 15, und statt der Irradiation der Fig. 14 haben wir

*) Annal. Bd. XXV S. 146, No. 153.

auf der Kugel ein System von Strömen, durch welches sie in eine Art von elektro-dynamischen Magneten verwandelt wird, dessen Nordpol gen Ost und dessen Südpol gen Westen liegt.

Auch diese Thatsache, die allen übrigen derselben Art zum Grunde liegt, ist von Hrn. Faraday mit einer astaticisch gemachten Nadel nachgewiesen. Er sah nämlich, daß der Nordpol dieser Nadel von der Ostseite der Kugel abgestoßen und von der Westseite derselben angezogen wurde *).

Um eine Magnetnadel dem Einfluß des Erdmagnetismus zu entziehen, besitzen wir zwei Methoden. Die gewöhnliche beruht darauf, daß man mit einer Nadel eine zweite eben so starke in umgekehrter Lage verbindet; die andere besteht darin, daß man die Nadel bloß in einer auf der Inclination senkrechten Ebene beweglich macht. Für eine sich bewegende Metallmasse giebt es, wegen ihrer Ausdehnung, kein solches Hülfsmittel. In welcher Ebene sie auch rotire, empfindet sie doch den erregenden Einfluß der Erde, der immer Anlaß giebt, entweder zu einer Irradiation, wie in Fig. 14, oder zu geschlossenen Strömen, wie Fig. 15, oder zu einem System, das zwischen diesen beiden mehr oder weniger in der Mitte steht, je nachdem die Rotationsebene mehr nach der einen oder der anderen Seite neigt.

Diese Bemerkung war nöthig, um nicht eine Stelle *buchstäblich* auszulegen, wo Hr. Faraday sagt: *wenn die Metallscheiben in der Ebene des magnetischen Meridians waren, brachte die Rotation keine Wirkung auf den Galvanometer hervor ***). Es ist dieß einer von den Fällen, wo die Irradiation zerstört wird, wo sie aber ersetzt wird durch ein anderes Stromsystem, das sich wegen seiner Schwäche wohl dem Galvanometer entzie-

*) Faraday's Abhandl., Annal. Bd. XXV S. 150, Art. 164.

**) Ebendasselbst, S. 146 No. 153.

ben kann, dessen Daseyn jedoch nicht bezweifelt werden darf, da es unter weniger ungünstigen Umständen nachgewiesen worden ist.

Uebrigens ist die terrestrische Erregung bei einer Metallmasse im Allgemeinen noch viel schwächer als die, welche man mit einer elektro-dynamischen Spirale erhält. Diese braucht nur eine gewisse Stärke zu besitzen, um ein so entschiedenes Uebergewicht über jene Erregung zu erlangen, daß dadurch jede hieraus entstehende Verwirrung verhütet wird. Diefes ist das beste, ja das einzige Mittel, ein Element, so weit es möglich ist, vom Erdmagnetismus zu befreien.

Rotirende Magnetstäbe.

Bisher haben wir nur Metallmassen betrachtet, die neben ganz von ihnen unabhängigen Volta'schen Drähten rotiren. Jetzt fragt es sich, was würde mit einer Metallmasse geschehen, die in sich selbst die erregende Ursache, d. h. die elektrische Ströme enthielte, welche vorhin von außen auf sie wirkten.

Zur Beantwortung dieser Frage, die den natürlichen Uebergang zu Hrn. Faraday's schönen Resultaten mit rotirenden Magneten bildet, ist vor Allem nöthig zu bemerken, daß man außer den Metallmassen auch die elektro-dynamischen Drähte oder Spiralen rotiren lassen kann, ohne dadurch die Bedingungen der Erscheinung zu ändern. Um mit dem einfachsten Fall zu beginnen, sey *oo* (Fig. 17) eine Kupferscheibe, welche neben einem in ihrer Ebene befindlichen elektro-dynamischen Ringe *abcd* rotire. In diesem Fall wird der wirksame Strom der nähere seyn, und dieser wird auf der Scheibe die Irradiation von Fig. 13 hervorrufen. Diefes ist ohne Zweifel die Wirkung der Spirale *abcd*, wenn sie sich unbeweglich vor der rotirenden Scheibe befindet. Man lasse nun auch die Spirale um ihren eigenen Mittelpunkt rotiren, in diesem oder jenem Sinn, mit gleicher oder

verschiedener Geschwindigkeit als die Scheibe. Diese zweite Bewegung wird nichts in der Wirkung der ersten ändern. Die Scheibe wird immer dieselbe Einwirkung von Seiten des Ringes *abcd* erfahren, wenn dieser in *ab* wie anderswo immer von demselben Strom durchlaufen wird. Dieser Strom erneuert sich zwar in jedem Augenblick; allein diese Erneuerung hat auch statt, wenn der Volta'sche Draht ruhen bleibt.

Dieses gesetzt, schlage man die Spirale *abcd* um die Scheibe *oo*, so daß diese innerhalb derselben rotire, wie in Fig. 14, nur mit dem Unterschiede, daß hier auch die Spirale um denselben Mittelpunkt rotire. Wir sind in Bezug auf diese zweite Bewegung in gleichem Fall wie zuvor, und wie damals eine solche Bewegung gleichgültig war für die Wirkung, so ist sie es auch jetzt; alle Ströme der Spirale tragen zur Erzeugung desselben Resultates bei, zur Verstärkung der Irradiation, ohne irgend etwas Neues zu bewirken. Die Bewegung der Spirale ist eine Art Täuschung, welche sogleich verschwindet, wie man erwägt, daß der Strom seine Wirkungsweise nicht ändert, er mag sich in einem ruhenden oder einem bewegten Drahte befinden. Und wie sollte auch hieraus ein Unterschied entspringen können, da die ungeheure Schnelligkeit der elektrischen Ströme keinen Vergleich duldet mit der des schnellsten Mechanismus.

Noch ein Schritt, und wir sind auf dem Punkt, zu dem wir gelangen wollten. Es sey die Spirale *abcd* nicht von der Scheibe getrennt, sondern an derselben befestigt, so daß sie mit ihr gemeinschaftlich rotirt; auch jetzt wird noch die elektro-dynamische Vertheilung ganz dieselbe seyn. Aber der Draht ist immer mit Seide besponnen, und folglich von der Metallscheibe getrennt. Es werde nun auch diese Bekleidung entfernt, der Draht in unmittelbare Berührung mit der Scheibe gebracht, und angenommen, der elektrische Strom ergreife die ganze Scheibe, circulire aber in derselben in eben so vielen

concentrischen Kreisen. Gesetzt, dieß sey möglich, was würde erfolgen? Wir haben hier sowohl Ströme als eine Metallmasse in Bewegung. Zuvor waren beide getrennt, jetzt sind sie vereinigt, mit einander verschmolzen. Entsteht hiebei ein neues Phänomen, oder verhalten sich die erregten Ströme gemäß dem gewöhnlichen Gesetze?

In Ermangelung einer directen Antwort, welche man nicht geben kann, weil es unmöglich ist, auf einer Metallscheibe das vorhin erdachte Stromsystem zu verwirklichen, nehme man Magnete zu Hülfe, welche die Frage zwar indirect, aber wegen der wohlbekannten und wohl-erwiesenen Analogie zwischen dem gewöhnlichen und elektro-dynamischen Magnetismus in entscheidender Weise beantworten.

Ein magnetischer Stab oder Cylinder, der um seine eigene Axe rotirt, bringt auf sich selbst die nämliche Art von Erregung hervor, welche die Scheibe *OO* (Figur 14) von außerhalb durch die elektro-dynamische Spirale erfährt. Diese Scheibe war breit und dünn; ein cylindrischer Magnet aber hat einen geringen Durchmesser und eine große Höhe. Mit Ausnahme dieses Unterschieds, wodurch der größere Theil der Irradiation auf die Seitenwand des Magneten versetzt wird (Fig. 18), ist kein anderer vorhanden, und die Wirkung ist ganz dieselbe, wie bei einem eben so großen Kupfercylinder *sn*, der seiner ganzen Länge nach mit einer elektro-dynamischen Spirale auf solche Weise umwunden ist, daß in *n* und *s* dieselben Pole erzeugt werden, welche ein gewöhnlicher Magnet daselbst besitzen würde.

Wiewohl es gerade nicht nöthig ist, so erinnere man sich doch, der größeren Deutlichkeit wegen, der Anordnung der beiden Säulen mit kreisrunden Elementen (Fig. 16), mittelst der sich die elektro-dynamische Vertheilung der Kupferscheiben vorstellen läßt. Diese Vorstellung paßt auch hier, und wir empfehlen sie dem Leser, weil sie auf verschiedene Fragen hinsichtlich rotirender Magnete

die Antwort liefert, die man sonst anderswo suchen müßte. Wo z. B. sind die Drähte des Galvanometers anzulegen, damit man das Maximum des Effects erhalte? Der eine am Aequator, der andere am Axenende des Magneten, weil dieser Abstand die ganze erregende Kraft, die ganze Höhe der Säule *rz* umfaßt. An jedem anderen Ort verliert man einen Theil dieser Kraft, wie wenn, unter gleichen Umständen, einige Plattenpaare von der Säule *rz* fortgenommen worden wären.

So sieht man, sagt Hr. Faraday, nachdem er die elektro-dynamische Vertheilung im Innern eines Magneten mittelst der bloßen Rotation desselben entdeckt hat, *so sieht man bis zur Evidenz eine sonderbare Unabhängigkeit zwischen dem Stabe und dem in ihm vorhandenen Magnetismus* *). Auffallend ist es zwar, daß aus einem rotirenden Magnetstabe Ströme entspringen, die in ihrem Laufe ganz abweichen von denen, welche man, nach Hrn. Ampère's elektro-dynamischen Untersuchungen, genöthigt ist im Innern der Magnete anzunehmen. Nichts destoweniger verschwindet aber das Wunder, so wie man erwägt, daß sich in den Magneten nicht *elektrische Ströme* zu entwickeln scheinen, sondern *elektrische Spannungen*, welche unabhängig von der Elektricität existiren können, welche man als circulirend im Innern des magnetischen Metalls annehmen muß.

Phänomen des Hrn. Arago.

Diese Phänomene lassen sich sowohl mit elektro-dynamischen als gewöhnlichen Magneten erhalten. Wir werden bald von diesen, bald von jenen sprechen, ohne die kleinen Unterschiede zu berücksichtigen, welche zwischen der Wirkungsweise beider Magnetismen vorhanden sind. Diese Unterschiede sind übrigens bekannt, und man weiß, daß ibrentwegen Hr. Ampère seine frühere Annahme, daß in den Magneten eine Circulation der Ströme

*) Diese Annal. Bd. XXV S. 172, No. 220.

in Masse um eine einzige Axe stattfindet, gegen die vertauscht hat, daß die Ströme um jedes einzelne Theilchen circuliren. Aber hier handelt es sich um eine Klasse von Thatsachen, für die man die Magnete geradeswegs als elektro-dynamische Spiralen betrachten kann, ohne in einen Irrthum zu gerathen.

Die von Hrn. Arago beobachteten Erscheinungen kommen auf drei zurück: 1) das Streben der Magnetpole, der Rotationsbewegung der unter ihnen befindlichen Scheibe zu folgen, 2) die Abstossung derselben Pole von unten nach oben, und 3) die Anziehung zum Mittelpunkt, falls sie einen gewissen Abstand von demselben haben, oder zum Umfang, falls sie diesem näher sind.

1) Streben zur Rotationsbewegung.

Es sey OE (Fig. 19) eine horizontale Kupferscheibe, die in Richtung der Pfeile RR rotire, und zwar unter dem Einfluß eines darüber aufgehängten Magnetcyinders. Der Nordpol desselben sey der Scheibe zugekehrt, und das Kreischen rz stelle die Projection desselben auf die Scheibe vor.

An diesem Pole rotiren die Ströme wie $abcd$ (Figur 12). Der auf der Scheibe erregte Strom geht also in Richtung der Pfeile rz . Aber dieser Strom, erregt wie er ist in einer gut leitenden Substanz, breitet sich nach beiden Seiten hin gleichmäfsig aus, so die ganze Scheibe umfassend und Wirbel bildend, deren Bahn in Fig. 19 annähernd durch die punktirten Linien angedeutet sind.

Wenig kommt darauf an, genau die Form dieser Curven zu kennen; wichtig aber ist es zu wissen: 1) daß die Ströme wirklich vorhanden sind, wovon man sich durch Anlegung der Galvanometerdrähte überzeugen kann; 2) daß die beiden Wirbel entgegengesetzt laufen, und zwar so, daß während der eine, der um n , dem Wirbel $abcd$ des Nordpols entgegengesetzt ist, der andere,

der um s , sich in gleichem Sinne wie der dieses Pols bewegt; 3) endlich, daß, angenommen die Punkte s und n seyen die Wirkungsmittelpunkte zweier entgegengesetzten Systeme, in n ein den Nordpol abstoßendes, und in s ein denselben anziehendes Centrum vorhanden ist. Die eine wie die andere Kraft strebt den Magnetstab in gleicher Richtung, d. h. in Richtung der Rotation der Scheibe, fortzutreiben *).

Ich habe mich anderswo des Ausdrucks: *Doppelmagnetismus*, bedient, um diese sonderbare Erscheinung zu bezeichnen. Der Ausdruck scheint mir richtig, und verdient vielleicht in der Wissenschaft erhalten zu werden. Denn wirklich kommt die Einwirkung eines Magnetpols auf eine unter ihm rotirende Scheibe darauf zurück, daß in dieser beide magnetische Polaritäten erzeugt werden, *hinter* dem Pol, in den von ihm weichen Theilen, die *freundschaftliche*, *vor* ihm, in den sich ihm nähernden Theilen, die *feindschaftliche*.

Diese Doppelwirkung hängt offenbar mit einem Umstande zusammen, der nur in einem Falle fehlt, nämlich dann, wenn der Magnetpol über dem Mittelpunkt der Scheibe schwebt. Hier giebt es weder vordere noch hintere Theile; die Radien der Scheibe sind alle gleichmäßig der erregenden Kraft des über ihnen befindlichen Poles ausgesetzt. Dadurch entsteht wieder die Irradiation der Fig. 14, eine Erregungsart, welche den Magnetstab keine Bewegung mehr mittheilen kann, da die Elektrizität sich auf diesen Radien im Zustande der Spannung, und nicht in dem der Strömung befindet, wie wir an seinem Ort bemerkt haben. Indefs, wenn auch, gegen unsere Meinung, die Elektrizität im strömenden Zustande vorhanden wäre, würde es doch für die Nadel einerlei seyn, wovon man den Grund weiterhinein se-

*) Diese Erklärung ist identisch mit der in unserer früheren Theorie (S. Annal. Bd. XXIV S. 626).

hen wird *). Jedenfalls ist der folgende Versuch auffallend genug, da er die sonderbare Ausnahme, von der die Rede ist, zur Evidenz bringt.

Man hänge einen cylindrischen Magnet über dem Mittelpunkt einer Kupferscheibe auf, und bringe an seinen unteren Pol ein leichtes Scheibchen von weichem Eisen, das vermöge seines geringen Gewichts daran hängen bleibt. Ist die Scheibchen gut centrirt mit dem Cylinder, so bewegt es sich beim Rotiren der Scheibe nicht; ist dasselbe aber ein wenig excentrisch, so fängt auch es zu rotiren an.

2) Abstossung von unten nach oben.

Diese Thatsache erfordert nichts weiter zu ihrer Erklärung, als dafs der in N projecirte Magnetpol dem abstossenden Mittelpunkt n näher sey als dem anziehenden s . Die Richtigkeit dieses Satzes läfst sich durch directe Beobachtung erweisen, und ergibt sich auch durch blosses Nachdenken. Geht man nämlich zu der Ursache zurück, welche die Ströme rz neben einem elektrodynamischen Bogen $ABCD$ (Figur 12) erregt, so sieht man, dafs die in der Nähe von AB , wo die Vertheilung zu Ende geht, stärker seyn müssen, als bei CD , wo dieselbe anfängt. Die Vertheilung von AB summirt sich zwar mit der von CD , aber diese Summierung geschieht nicht in einem untheilbaren Augenblick, sondern in einem, auch wie kurzen, Zeitraum, und dadurch langt der Strom, welcher bei CD entsteht, mit der ganzen Stärke in AB an, welche er auf dem Wege dahin empfangt **).

Der thatsächliche Beweis für die Richtigkeit der obi-

*) In unserer früheren Theorie hielten wir die Wirkung für Null, da wir in diesem Fall keine Vertheilung bekamen. Die Vertheilung ist indess deutlich da, wie dieser Paragraph zeigen wird.

**) Auch Hr. Faraday berührt im Vorbeigehen die Möglichkeit dieser Verstärkung der Ströme (Ann. Bd. XXV S. 135, No. 125).

gen Behauptung, liefert folgende Beobachtung, die auch in unserer früheren Abhandlung angeführt ist *). Man lasse eine Kupferscheibe unter dem Einfluß der beiden Pole eines Hufeisenmagneten rotiren, so daß diese symmetrisch über der Scheibe schweben, wie es die Projectionen $N'S'$ in Fig. 21 andeuten. Man untersuche die Scheibe auf gewöhnliche Weise mittelst der Galvanometerdrähte, und wird deutlich finden, daß der Lauf der Ströme zwar sehr nahe so ausfällt, wie es die symmetrische Anordnung der Pfeile zeigt, daß aber dennoch das eine System wirklich gegen das andere überwiegt und die Centrallinie NS überschreitet, weil die Prüfdrähte des Galvanometers, von denen der eine im Mittelpunkt, und der andere am Umfang angesetzt ist, nur dann keine Wirkung geben, wenn sie sich auf einem Durchmesser XY befinden, der schief gegen NS liegt, und nicht auf dem gegen NS senkrechten Durchmesser OE , wie es doch nothwendig der Fall seyn müßte, wenn nicht eine Ursache vorhanden wäre, welche die Symmetrie der Verbreitung in den beiden entgegengesetzten Wirbeln $nnn \dots, sss \dots$ störte.

- 3) Nahe beim Mittelpunkt Anziehung zu ihm, weiterhin
Abstoßung von ihm.

Dieser Wechsel von Bewegung hängt ab von der Lage der beiden Wirkungsmittelpunkte n, s in Bezug auf den in N projecirten Magnetpol. In dem in Fig. 19 betrachteten Fall liegen die Punkte n, s gegen den Mittelpunkt C hin, und der Magnetpol nach dem Umfang zu. Unter diesen Umständen wird der Pol N wegen der überwiegenden Repulsivkraft des Punktes n nothwendig gegen den Umfang hingetrieben.

In diesem Falle wird die Erscheinung durch die Nähe des Pols N an dem Umfang bedingt, denn vermöge dieser Nähe erstreckt sich die von diesem Pol be-

*) Annalen, Bd. XXIV S. 630.

wirkte Vertheilung nicht merklich über den Mittelpunkt C hinaus auf die Substanz ccc . Dieser Theil der Scheibe verrichtet alsdann blofs die Dienste eines Leiters, indem er blofs die Ströme aufnimmt, welche auf der anderen Seite der Scheibe unter dem Pol N entspringen. In Bezug auf diesen Ursprung liegt die Materie, auf welcher sich die erregten Ströme ausbreiten, gleichsam ganz auf Seite des Mittelpunkts C , und die Punkte n und s fallen nothwendig auch in diese Gegend, da sie sich immer mitten in ihren respectiven Wirbeln befinden müssen.

Nähern wir nun den Pol N dem Mittelpunkt der Scheibe, so sehen wir sogleich die Wirkungsmittelpunkte nach Seite des Umfangs gehen, wie es Fig. 20 zeigt. In der That bringt man den Pol N so nahe an das Centrum C , dafs der Theil ccc nicht mehr wie zuvor vor dem erregenden Einflufs dieses Pols geschützt ist, so ist derselbe nicht mehr blofs passiv, nicht mehr ein blofser Leiter für die Ströme, welche sich auf der anderen Seite unter dem Pol N entwickeln. Auch er erleidet nun denselben Einflufs, und da seine Bewegung die umgekehrte ist von der des gegenüberliegenden Theils, wo sich sn befinden, so wird er der Sitz von Strömen, die den Strömen rz entgegengesetzt sind, welche letztere sich ihrerseits der Ausbreitung der ersteren widersetzen. Wenn der Pol N bei seinem Vorrücken gegen den Mittelpunkt nicht streben würde auf der anderen Seite ccc das Zeichen der Vertheilung zu ändern, so ist einleuchtend, dafs, sobald er genau über der Mitte der Scheibe angekommen wäre, die Verbreitung der Ströme nach beiden Seiten gleich seyn würde, und die Wirkungsmittelpunkte n, s nothwendig auf den Durchmesser OE (Fig. 19) fallen müßten. Aber die Vertheilung ändert ihr Zeichen, und die Ströme rz , welche sich in N bilden, können sich nicht mit der Leichtigkeit wie zuvor auf der gegenüberliegenden Seite ccc ausbreiten. Es bleibt ihnen völlig frei nur der Raum sn gegen den Umfang, wo sie

sich mehr als anderswo ausbreiten, und den größten Theil ihrer Kraft concentriren. Es bleibt also immer die Ursache da, welche dem abstossenden Punkt n einen Kraftüberschuss über den anziehenden s verleiht, und vermöge dieses Ueberschusses wird jetzt der Pol N gegen den Mittelpunkt C getrieben, wie er früher (Fig. 19) gegen den Umfang getrieben ward; ein sonderbares und sogar hier unerwartetes Spiel von Kräften, aber eine nothwendige Folge aus den Gesetzen der elektro-dynamischen Vertheilung *).

Verfahren, den Rotationsmagnetismus nachzuahmen.

Im Jahre 1821, ein Jahr nach Oersted's Entdeckung, gelang es Hrn. Faraday, und zwar ihm zuerst, einen beweglichen Leiter um einen festen Magnet, und umgekehrt einen beweglichen Magnet um einen festen Leiter zur Rotation zu bringen. Der Apparat zu der letzteren Rotation, welcher nun für unseren Gegenstand Interesse hat, ist sehr einfach. Er besteht aus einem Glasgefäß VV (Fig. 22) voll Quecksilber, in das man einen Leitdraht zc hinabgehen läßt, nachdem man darin einen cylindrischen Magnet ns durch ein Gegengewicht p von Platin zum Schwimmen gebracht hat. Setzt man, während der Draht zc mit dem einen Pol der Säule verbunden ist, das Quecksilber des Gefäßes durch einen zweiten Draht rr mit dem andern Pol in Verbindung,

*) Diese Erklärung geht von demselben Grundsatz aus, welchen wir in unserer ersten Theorie angenommen haben, nämlich von dem dem repulsiven Centrum n beigelegten Kraftüberschuss. In der Anwendung dieses Satzes ist jedoch ein Unterschied eingetreten. Während nämlich früher angenommen wurde, daß die centralen Theile der Scheibe bei Annäherung des Pols N , wegen fehlender Erregung, unthätig seyen, werden sie es jetzt durch eine Art von Gleichgewicht, welches sich zwischen den beiden entgegengesetzten Vertheilungen einstellt. Das Endresultat ist dasselbe, aber die Ursache, wie man sieht, verschieden.

so rotirt der Magnet ns ohne weiteres um den festen Leiter zc .

Nach Herrn Faraday würden die Magnetnadeln, welche über der Arago'schen Scheibe rotiren, ein Phänomen von gleicher Natur constituiren *). Meiner Ansicht nach sind aber die Erscheinungen sehr verschieden, so sehr, daß man die eine nicht mit Hülfe der anderen nachahmen kann, ohne nicht eine neue Bedingung einzuführen. Eine Scheibe, welche unter dem Einfluß eines Magnetpols rotirt, muß, nach Hrn. Faraday's Ansicht, als der Sitz von Strömen betrachtet werden, welche aus dem Mittelpunkt nach dem Umfang strahlen, und es sind diese Ströme, welche, indem sie unter dem Magnetpol hinweggehen, die Nadel zur Rotation bestimmen, vermöge der Kraft, mit welcher sie denselben, je nach den Umständen, nach der Rechten oder der Linken fortstoßen. Wäre dieß die Ursache der Erscheinung, so würde nichts leichter seyn, als sie durch ein System von, aus dem Mittelpunkt zum Umfang strahlenden Strömen in einer Metallmasse nachzuahmen. Man nehme z. B. einen metallenen Trichter MM (Fig. 23), stelle ihn vertical auf, und verschließe ihn am oberen Ende mit Kitt, so daß er eine Schicht Quecksilber aufnehmen kann, das man hineingießt. Durch den Kitt, in der Axe des Trichters, stecke man von unten einen Metalldraht zc , so daß er das Quecksilber in dessen Mittelpunkt berührt. Man verbinde endlich diesen Draht zc mit dem positiven Pol einer Säule und den Rand des Trichters durch einen andern Draht rr mit dem negativen; dann wird man auf der Quecksilberschicht die Irradiation der Ströme vom Mittelpunkt nach dem Umfang haben, welche, nach Hrn. Faraday, eine über dem Apparat zweckmäßig aufgehängte und balancirte Magnetnadel sn in Rotation versetzen würde. Nun ist es aber ausgemacht, daß die

*) Annal. Bd. XXV S. 134, No. 121.

Magnetnadel unter diesen Umständen keine Bewegung annimmt.

Man kann sie übrigens zum Umherkreisen bringen, wenn man folgenden Kunstgriff anwendet. Den Draht zc , welcher den Strom des Quecksilbers leitet, behalte man bei, aber den andern Draht rr nehme man vom Rande des Trichters ab, und tauche ihn geradezu in das Quecksilber, dicht neben dem Rande des Quecksilbers und in Richtung des Radius cr , welcher die Projection der Nadel sn enthält. In Augenblick, wo man diese Eintauchung bewirkt, macht die Nadel sn einen kleinen Schritt nach der Rechten, geht aber nicht weiter, sobald man den Draht rr an der Stelle läßt, wo er eingetaucht war. Wenn man aber mit diesem Draht der Nadel folgt, so daß auf diese die erste Wirkung erneut wird, so erhält die Nadel in jedem Augenblick einen neuen Anstoß nach derselben Seite, und sie rotirt mit dem Draht rr , wenn dieser ihr immer folgt. Wenn man ihn aber bei dieser Begleitung ein wenig der Nadel vorausgehen läßt, so wird diese in die Höhe gestossen, wie bei dem von Herrn Arago beobachteten Phänomen.

Dies ist das Verfahren zur Nachahmung des Rotationsmagnetismus; zur Nachahmung, weil man nicht dahin gelangt, das dritte Phänomen des Hrn. Arago damit hervorzubringen, und weil es, als nothwendig abhängig von einer der elektro-magnetischen Rotation fremdartigen Bedingung, unserer Ansicht nach, nicht mit dieser Rotation verglichen werden kann, da diese vollkommen gelingt, ohne daß der strahlende Strom cr (Fig. 22) den Magneten ns auf seiner Bewegung begleitet *).

Wir können diese Erörterung nicht schließen, ohne die Lücke auszufüllen, welche wir offen ließen, als wir

*) Die mathematische Theorie des Hrn. Ampère setzt scharf die Umstände fest, unter denen eine continuirliche Bewegung möglich ist oder nicht. Uebereinstimmend mit der Erfahrung sind diese Bedingungen bei dem Gefäße VV (Fig. 22) erfüllt, nicht aber beim Trichter MM (Fig. 23).

den besonderen Fall behandelten, wo die von Hrn. Arago entdeckte Rotation verschwindet. Diese Rotation gelingt immer, außer wenn der Magnetpol sich über dem Mittelpunkt der Scheibe befindet. In diesem Fall stellt sich auf der Scheibe die Irradiation der Fig. 14 ein, die man entweder als eine *elektro-statische* oder als eine *elektro-dynamische* betrachten kann, da die erste natürlich ohne Wirkung auf die Nadel ist, und die zweite ebenfalls auf eine Wirkungslosigkeit zurückkommt, wie es die Strahlung der Ströme auf dem Trichter *MM* (Fig. 23) beweiset, die, wie sie ohne Wirkung auf die excentrische Nadel ist, es gleichfalls auf die concentrische seyn muß.

Magneto-elektrische Oscillationen.

Eine schwingende Magnetnadel büßt ihre Bewegung viel schneller ein, wenn sie sich über einer Kupferscheibe befindet, als ohne dieselbe. Diefs ist, wie bekannt, die Beobachtung, durch welche Hr. Arago zu dem Rotationsmagnetismus geführt ward.

Auf unserem gegenwärtigen Standpunkt bleibt uns wenig über diese Schwingungen zu sagen übrig. Ihre Verzögerung ist nämlich die sehr offenbare Folge von den beiden Arten von Magnetismus, welche die Magnetpole bei ihren Hin- und Hergängen vor und hinter sich auf der Scheibe ausstreuen. Wenn die Scheibe sich unter einem Magnetpole bewegt, so streut dieser hinter sich den freundschaftlichen Magnetismus aus, welcher ihn anzieht, und vor sich den feindlichen, welcher ihn abstößt. Diefs ist der gewöhnliche Fall der rotirenden Scheiben (Fig. 19). Ist es aber die Nadel, welche sich bewegt, sey es schwingend oder auf andere Weise, so ist der Vorgang umgekehrt: der Pol erregt hinter sich den freundschaftlichen Magnetismus, welcher ihn durch Anziehung in seinem Laufe verzögert, und vor sich den feindschaftlichen, der ihn durch seine Abstossung noch mehr verlangsamt. Diese Art von Widerstand ist so beträcht-

lich, daß eine anfängliche Amplitude von 40° bis 50° nach drei bis vier Oscillationen auf eine von wenigen Graden zurückkommt, während ohne den Einfluß der Kupferscheibe zwanzig bis dreißig Oscillationen dazu erforderlich gewesen wären.

Man muß übrigens nicht die Dauer mit der Weite der Schwingungen verwechseln. Die Weite oder Amplitude ändert sich stark, die Zeit dagegen sehr wenig, vermöge der Compensation zwischen der Verkürzung des Weges und des Verlustes an Geschwindigkeit. Es giebt hiebei aber nichts Neues, da die Verzögerung, welche die Nadeln bei ihren Schwingungen über einer Metallscheibe erleiden, immer mit der von einem widerstehenden Mittel verglichen, und dem gemäß nach den bekannten Gesetzen der Mechanik behandelt werden kann.

Berühren wir noch im Vorbeigehen die magnetischen Metalle. Auch diese sind, wie die unmagnetischen, der elektro-dynamischen Vertheilung fähig, ohne dadurch etwas von ihren früheren Eigenschaften zu verlieren. Ein Magnetpol, der einer mit Eisenfeilicht bedeckten Eisenscheibe genähert wird, bringt die bekannte Wirkung hervor, daß er die Feilspäne strahlenförmig zu sich in die Höhe zieht, und man sieht daraus, bis wie weit sich die magnetische Kraft dieses Pols merklich erstreckt. Diefß gesetzt, lasse man nun den Pol über den Feilspänen oscilliren, und beobachte, wie diese sich an den Orten unter dem Pole aufrichten, und an den Orten, wo er bereits vorbeigegangen ist, wieder niederlegen. Aus diesen Bewegungen ergeben sich deutlich die Gesetze, nach denen das Eisen unter einem sich bewegendem Magnet gewöhnlichen Magnetismus erhält und verliert. Dieser Magnetismus ist nämlich überall von einerlei Namen; der andere, durch elektro-dynamische Vertheilung erregte, aber von beiderlei Namen. In Eisen, das sich bewegt, werden also drei magnetische Polaritäten erzeugt, nämlich: die beiden entgegengesetzten der elektro-dynamischen Ver-

Vertheilung an zwei verschiedenen Stellen, die eine hinter, die andere vor dem oscillirenden Pol, und drittens die gewöhnliche Polarität an jenen beiden Stellen zugleich, wodurch an der einen die Wirkung verstärkt, an der andern geschwächt wird. Diese Verstärkung oder Schwächung ist nach den Umständen verschieden, am meisten nach der sogenannten Coërcitivkraft, welche im weichen Eisen sehr schwach, mäßig im ungehärteten Stahl, und sehr groß im gehärteten Stahl ist. Inmitten so vieler Kräfte und Widerstände wird das Phänomen sehr verwickelt, doch da keine neuen Elemente in die Aufgabe eintreten, sind die aufgestellten Grundsätze für sie hinreichend.

S c h l u s s.

Die elektro-dynamischen Erscheinungen werden in der Theorie des Hrn. Ampère auf eine einzige Thatsache zurückgeführt, auf die Anziehung und Abstossung, welche die Volta'schen Ströme auf einander ausüben, je nachdem sie in gleicher oder entgegengesetzter Richtung gehen. Die *elektro-dynamische Vertheilung*, diese neue Klasse von Thatsachen erfordert, wie ich glaube, eine der Ampère'schen nachgebildete Theorie. Bei den elektro-dynamischen Erscheinungen reduciren sich die verwickelteren Aufgaben auf die gegenseitige Einwirkung zweier Volta'schen Drähte; bei der elektro-dynamischen Vertheilung kommen die Aufgaben auf denselben Grad von Einfachheit zurück, auf zwei Drähte, von denen der eine den elektrischen Strom leitet, der andere aber sich bewegt.

Die Originalabhandlung des Hrn. Faraday besteht aus zwei Theilen, die nach einander der K. Gesellschaft in London mitgetheilt sind *). Im ersten spricht er einige Ideen aus, die er im zweiten modificirt. Seiner An-

*) Der erste ist vom 24. November 1831, der andere vom 12. Januar 1832.

sicht nach hat jedes elektro-dynamische System, es sey complicirt, wie ein Magnet, oder einfach, wie ein Volta'scher Draht, um sich seine *magnetischen Curven*, welche die Art anzeigen, nach der sich Eisenfeilspäne um diese Systeme ordnen und magnetisiren. Diese Curven werden von dem bewegten Metall durchschnitten, und es sind diese Durchschnitte, wo sich die erregten Ströme, senkrecht gegen die Richtung der Bewegung, erzeugen.

Auch ich nahm bis zum Jahre 1824 magnetische Curven zu Hülfe, um die elektro-dynamischen Erscheinungen zu erklären *). Diese Ansicht ist so zu sagen materieller, aber weniger philosophisch als die von Hrn. Ampère, welche allgemeinen Beifall erhalten hat, und mit Recht, weil sie den anzustellenden Untersuchungen durchaus nicht schadet, als Leitfaden bei den Aufgaben dient, und überdies den Vortheil hat, daß sich die Thatsachen, unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, viel leichter der Rechnung unterwerfen lassen. Hr. Ampère, als Physiker und Mathematiker gleich ausgezeichnet, hat durch seine Theorie eine große Lücke in der Wissenschaft ausgefüllt.

Zusatz. Vorsichtsmaßregeln beim Gebrauch des Galvanometers.

Seit einigen Jahren ist die Methode in Gebrauch, mittelst der Galvanometerdrähte die Richtung und Stärke elektrischer Ströme zu ermitteln. Namentlich hat Herr Becquerel diese Methode angewandt, um zu sehen, ob der Strom der Säule in den Verbindungsdrähten überall von gleicher Stärke sey, oder von einem Punkt zum andern variire **). Auch hat sich Hr. De La Rive derselben bedient, um zu erfahren, ob sich in den Flüssigkeiten, die er in die Volta'schen Ketten gebracht hatte, die Ströme durch die ganze Masse verbreiteten oder nicht. Ich selbst war einer der ersten, welcher sie anwandte, und zwar bei einer Reihe elektro-physiologischer Ver-

*) *Questioni sul magnetismo. Modena 1824.*

**) *Annalen, Bd. VIII S. 359.*

suche, die in der Absicht unternommen wurden, zu sehen, ob in den thierischen oder pflanzlichen Organen eine Spur von elektrischen Strömen vorhanden sey *).

In diesen und ähnlichen Fällen stimmen die galvanometrischen Anzeigen überein mit dem Satz von der Verbreitung des Stroms durch den ganzen leitenden Bogen. Es leite z. B. der Draht Ff (Fig. 24) den elektrischen Strom, der von irgend einem Elektromotor, z. B. von der Säule rz ausgehe, und es seyen A, B die Punkte, wo man die Enden der Galvanometerdrähte Aa, Bb anlegt. Der in A angelegte Strom findet zwei Wege, um nach B zu kommen: den kürzeren AB und den viel längeren durch den ganzen Bogen des Galvanometers. Dessen ungeachtet geht eine kleine Portion des Stroms auch durch den langen Weg, tritt durch Aa ein und durch Bb aus, nachdem er sämmtliche Windungen des Galvanometers durchlaufen und auf die Magnetnadel ablenkend gewirkt hat. Bis dahin giebt es hier nichts Neues; der Galvanometer zeigt in AB nur die Fortsetzung des Stroms FA an. Wenn aber AB , statt ein bloß leitendes Drahtstück zu seyn, die elektromotorische Kraft ganz oder theilweis in sich enthielte, alsdann würde der Galvanometerdraht, den man, wie zuvor, in A und B anlege, ein zweiter Entladungsdraht werden, der den Strom vom positiven zum negativen Pol leitete, der Strom würde durch Bb ein- und durch Aa austreten, wie es die dies- und jenseits der Säule rz angebrachten Drähte $B'b'$ und $A'a'$ zeigen. Zwar hat der Strom dieselbe Richtung in AB wie in $A'B'$, aber die Angaben des Galvanometers sind umgekehrt, weil die Art, wie dieser in beiden Fällen den Strom leitet, umgekehrt ist. Man muß daher wohl unterscheiden, ob die Enden der Galvanometerdrähte den *thätigen*, d. h. den elektromotorischen Theil des Bogens *zwischen* sich fassen oder nicht. Im ersten Fall dienen sie geradeswegs zur Entladung, der Strom tritt zum po-

*) *Annali di Fisica e Chimica, di Pavia* 1825, *Bimastre* 4°.

sitiven Ende ein und zum negativen aus; im zweiten Fall bilden die Prüfdrähte nur eine bloße Verzweigung des Stroms, sie verlieren den Namen positiv und negativ, und geben, für dieselbe Richtung des Stroms, ein umgekehrtes Resultat in Bezug auf das frühere.

Bei den Arago'schen Scheiben geht die unter den Magnetpolen befindliche elektromotorische Kraft in Richtung des Radius. Hier verrichten also die Galvanometerdrähte die Dienste der Entlader; an jeder andern Stelle dienen sie als Leiter. Ohne diese Unterscheidung kann man leicht in Irrthum fallen, und den wahren Lauf eines Stroms mit der entgegengesetzten Richtung verwechseln. Die Ströme $N'N$, SS' in der Fig. 5 unseres früheren Aufsatzes (Annal. Bd. XXIV Tafel VI) *) sind aus einem solchen Doppelsinne unrichtig gezeichnet; sie treten nicht aus dem allgemeinen Lauf aller übrigen Ströme heraus, und die zu ihrer Bezeichnung dienenden Pfeile müssen entweder umgekehrt oder fortgelassen werden, wie es in Fig. 21 Taf. II der gegenwärtigen Abhandlung geschehen ist, wo sie nicht mehr nöthig sind.

II. Neuer elektro-dynamischer Condensator; von L. Nobili.

(Aus der *Antologia di Firenze* No. 136; vom Verfasser übersandt.)

Um das Problem der Darstellung eines magnetischen Funkens zu lösen sind wir, der Ritter Antinori und ich, von einer Eigenschaft ausgegangen, die entweder früher nicht beobachtet oder als geringfügig übersehen worden ist. Diese Eigenschaft besteht in dem Unterschiede,

*) Es fehlen in dieser die Buchstaben N und S , von denen der erste oberhalb des Pfeils über N' , und der letztere unterhalb des Pfeils unter S' zu setzen ist. P.