

ner wirklichen Zertheilung stattfindet (127.); auch mögen die elektrischen Ströme an den Grenzen ähnlicher Krystallgruppen plötzlich abgelenkt, und auf diese Weise leichter und vollständiger innerhalb der Masse entladen werden.

---

IV. *Zweite Reihe von Experimental - Untersuchungen über Elektrizität;*  
*von Hrn. Michael Faraday.*

(Frei übersetzt aus den *Phil. Transact. f. 1832, p. 153.*)

---

V. *Magneto-elektrische Vertheilung durch Erdmagnetismus.*

140) **N**ach Entdeckung der im vorigen Aufsatz beschriebenen Hauptthatsachen, und nach Ausmittlung des Gesetzes über die Richtung bei der magneto-elektrischen Vertheilung (114), war es nicht schwierig einzusehen, daß die Erde gleiche Wirkungen wie ein Magnet hervorbringen würde, vielleicht bis zu dem Grade, daß man sie zur Erbauung einer neuen Elektrisirmaschine benutzen könne. Das Nachstehende enthält einige der Resultate, welche bei Verfolgung dieser Ansicht gewonnen wurden.

141) Der schon (6) beschriebene hohle Schraubendraht wurde durch acht Fufs lange Drähte mit dem Galvanometer verbunden, und der weiche Eisencylinder (34.), nachdem er zur Entfernung jeder Spur von Magnetismus bis zum Rothglühen erhitzt und darauf langsam erkaltet worden, in den Schraubendraht gesteckt, und so befestigt, daß beide Enden gleichweit herausragten. Der so mit dem Eisenstab verbundene Schraubendraht wurde in die Richtung der Neigungsnadel gestellt und dann umgekehrt, so daß das untere Ende oben, und das Ganze wieder in dieselbe Richtung kam, hierauf abermals

umgekehrt; nach zwei- bis dreimaliger Wiederholung dieser Umkehrung, in Uebereinstimmung mit den Schwingungen der (anfangs ruhigen) Galvanometernadel, beschrieb diese zuletzt einen Bogen von  $150^{\circ}$  bis  $160^{\circ}$ .

142) Die Ablenkung der Nadel blieb dieselbe, das obere Ende des Schraubendrahts mochte in dieser oder jener Richtung nach unten gedreht werden, und eben so ward sie nicht geändert, d. h. blieb immer der Ablenkung im eben genannten Fall entgegengesetzt, in welcher Richtung man das Ende *A* wieder nach oben kehrte.

143) Wurde der Schraubendraht in einer gegebenen Stellung umgekehrt, so war die Wirkung eben so, wie wenn ein Magnetstab, mit seinem gezeichneten Pol nach unten, von oben in den umgekehrten Schraubendraht gesteckt worden wäre. Werden die beiden Enden des Schraubendrahts mit *A* und *B* bezeichnet, und befindet sich das Ende *B* oben, so wird, wenn man einen solchen Magnet von oben einsteckt, die Galvanometernadel z. B. nach Westen abweichen. Dieselbe Ablenkung findet statt, wenn, während das Ende *A* oben und der Eisenstab hineingesteckt ist, das Ganze umgekehrt wird.

144) Wurde der Eisenstab aus dem Schraubendraht gezogen, und letzterer, in verschiedenen Richtungen umgekehrt, so zeigte sich nicht die geringste Wirkung an dem vier Fufs entfernten Galvanometer.

145) Diese Erscheinungen sind eine nothwendige Folge der vertheilenden Kraft des Erdmagnetismus, wodurch der Eisencylinder zu einem Magneten wird, dessen gezeichneter Pol nach unten liegt. Der Versuch ist dem ähnlich, worin zwei Magnetstäbe zur Magnetisirung desselben Eisencylinders in demselben Schraubendraht angewandt wurden (36.); und die Umkehrung der Stellung im gegenwärtigen Versuche ist gleichwerthig der Polumkehrung in jenem Versuche.

146) Der Schraubendraht wurde nun allein in der Richtung der Neigungsnadel gehalten, und dann ein wei-

cher Eisencylinder hineingesteckt; augenblicklich wich die Galvanometernadel ab. Beim Herausziehen des Cylinders kehrte die Nadel zurück, und als beide Operationen mehrmals in Uebereinstimmung mit den Schwingungen wiederholt wurden, wuchsen letztere bis zu  $180^\circ$ . Die Wirkungen waren genau so, wie bei Anwendung eines Magnetstabes mit dem gezeichneten Pol nach unten; und die Richtung der Bewegung u. s. w. stand in völliger Uebereinstimmung mit den Resultaten, welche in früheren Versuchen mit einem solchen Magneten (39.) erhalten wurden. Es wurde darauf ein Magnet in derselben Richtung angewandt; er gab dieselben Ablenkungen, nur stärker. Wurde der Schraubendraht rechtwinklig gegen die Richtung der Neigungsnadel gestellt, so brachte das Hineinstecken oder Herausziehen des weichen Eisenstabes keine Wirkung auf die Nadel hervor. Jede Richtung, die mit der Linie der Neigungsnadel einen scharfen Winkel bildete, gab gleiche Resultate wie die beschriebenen; doch stärkere, je kleiner der Winkel war.

147) Obgleich der cylindrische Magnet beim Einstecken in den Schraubendraht, wie beim Herausziehen, sehr stark auf den Galvanometer wirkte, so vermochte er doch nicht eine bleibende Ablenkung hervorzubringen (39), und daher kehrte, wenn er auch darin gelassen wurde, die Nadel bald in ihre ursprüngliche Lage zurück. Allein, als der Versuch der Umkehrung in Richtung der magnetischen Inclination (141.) mit diesem Magnetstab wiederholt wurde, wich die Nadel so stark ab wie zuvor; woraus hervorgeht, dafs die vertheilende Kraft des Erdmagnetismus auf den magnetisirenden Stahl fast, wenn nicht ganz, so schnell und stark wirkt als auf das weiche Eisen. Wahrscheinlich werden auf diesem Wege magneto-elektrische Vorrichtungen sehr nützlich zur Nachweisung von Störungen der magnetischen Kräfte in Fällen seyn, wo andere Mittel nicht anwendbar sind. Denn es ist nicht die gesammte magnetische Kraft, welche die  
sicht-

sichtbare Wirkung hervorbringt, sondern nur die Differenz, herrührend von störenden Ursachen.

148) Diese günstigen Resultate ließen mich hoffen, daß die directe magneto-elektrische Vertheilung des Erdmagnetismus versichtbart werden könne; und zuletzt gelang es mir wirklich auf mehreren Wegen. Wurde der eben erwähnte Schraubendraht (141. 6.), ohne den Eisen- oder Stahlstab, in die Richtung der Neigungsnadel gestellt und dann umgekehrt, so war eine schwache Wirkung an der Magnetenadel zu beobachten. Nach zehn- oder zwölfmaliger Umkehrung, in solchen Zeiten, daß die ablenkenden Kräfte, welche die erregten Ströme ausübten, das Moment der Nadel verstärkten (39.), wurde diese bald zu Schwingungen von  $80^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  gebracht. Hier waren also, ohne Hülfe einer eisenhaltigen Substanz, durch die directe Vertheilungskraft des Erdmagnetismus, auf ein Metall, das keine der gewöhnlichen magnetischen Erscheinungen zu zeigen vermochte, elektrische Ströme erzeugt worden. Der Versuch gab in jeder Hinsicht dieselben Erscheinungen, welche bei Annäherung des nämlichen Schraubendrahts an einen, oder die beiden Pole eines kräftigen Magnetstabes entstehen (50.).

149) Geleitet durch das bereits (114.) ausgesprochene Gesetz, erwartete ich nun, daß sich alle elektrischen Erscheinungen der rotirenden Scheibe ohne irgend einen andern Magnetismus als den der Erde erzeugen lassen würden. Die oft erwähnte Scheibe (85.) wurde deshalb so aufgestellt, daß sie in einer horizontalen Ebene rotiren konnte. Die magnetische Curve der Erde, d. h. die Neigungslinie (114. Anmerkung), schnitt diese Ebene unter einem Winkel von etwa  $70^{\circ}$ , welche Lage der Senkrechten nahe genug war, um eine zur Erzeugung elektrischer Ströme hinlänglich kräftige elektro-magnetische Vertheilung zuzulassen.

150) Bei der Rotation dieser Scheibe mußten die Ströme, gemäß dem Gesetze (114. 121.), die Richtung

der Radian in *allen* Theilen der Scheibe einzuschlagen suchen, entweder vom Mittelpunkt zum Umkreis oder vom Umkreis zum Mittelpunkt, je nachdem die Platte in dieser oder jener Richtung rotirte. Einer der Galvanometerdrähte wurde demnach mit der Axe der Scheibe, und der andere durch einen bleiernen Conductor oder Collector (86.) mit dem amalgamirten Rand der Scheibe in Berührung gesetzt. Beim Rotiren der Scheibe fand eine deutliche Wirkung auf die Galvanometernadel statt, bei umgekehrter Rotation ging die Nadel nach entgegengesetzter Seite; und als die Wirkung der Scheibe in Uebereinstimmung mit den Vibrationen der Nadel gesetzt wurde, beschrieb diese einen halben Kreis.

151) Welchen Theil vom Rande der Scheibe der Conductor auch berühren mochte, so war doch der elektrische Strom derselbe, vorausgesetzt die Richtung der Rotation blieb dieselbe.

152) Drehte sich die Scheibe schraubenrecht (*screw-fashion*) oder wie der Zeiger einer Uhr, so ging der elektrische Strom (150.) vom Mittelpunkt nach dem Umfang. Bei umgekehrter Richtung der Rotation ging er vom Umfang zum Mittelpunkt. Diese Richtungen waren denen gleich, die mit dem neben die rotirende Scheibe gesetzten gezeichneten Pol eines Magneten erhalten wurden.

153) Befand sich die Scheibe im magnetischen Meridian oder in irgend einer anderen mit der Neigungslinie zusammenfallenden Ebene, so brachte die Rotation keine Wirkung auf den Galvanometer hervor. Neigte sie nur wenige Grade gegen die Inclinationslinie, so begann Elektrizität beim Rotiren zu erscheinen. Stand sie z. B. aufrecht und gegen den Meridian senkrecht, neigte sie also gegen die Inclinationslinie nur um  $20^{\circ}$ , so wurde Elektrizität beim Rotiren entwickelt. Wurde dieser Winkel vergrößert, so ward auch die Elektrizität kräftiger, und als derselbe  $90^{\circ}$  betrug, die Scheibe sich also im magnetischen Aequator befand, war die Elektrizität für eine gegebene Geschwindigkeit der Scheibe ein Maximum.

154) Es ist auffallend zu sehen, daß die rotirende Kupferscheibe auf diese Weise zu einer neuen Elektrisirmaschine wird, und sonderbare Resultate ergeben sich, wenn man sie mit der gewöhnlichen Elektrisirmaschine vergleicht. In der letzteren ist die Scheibe eine der schlechtest leitenden Substanzen, die man anwenden kann, in der ersten ist sie der vollkommenste Leiter; bei jener ist Isolation wesentlich, bei dieser schädlich. Im Vergleich der erzeugten Elektrizitätsmengen steht die metallene Maschine nicht ganz hinter der gläsernen zurück; denn sie kann einen constanten, die Galvanometernadel ablenkenden Strom erzeugen, was die letztere nicht vermag. Freilich hat die Kraft des so entwickelten Stromes noch nicht so weit verstärkt werden können, daß sie zu einer unserer gewöhnlichen Anwendungen der Elektrizität nutzbar wäre; allein es läßt sich mit allem Grund erwarten, daß dies in der Folge geschehen werde, und wahrscheinlich auf mehr als eine Weise. Wie schwach auch der Strom erscheinen mag, ist er doch eben so stark, wo nicht stärker, als irgend ein thermo-elektrischer Strom; denn er geht durch Flüssigkeiten (23.), erschüttert das Nervensystem, und bringt, bei Anwendung von Elektromagneten, Funken hervor (32.).

155) Eine  $\frac{1}{3}$  Zoll dicke Kupferscheibe von nur  $1\frac{1}{2}$  Zoll im Durchmesser wurde am Rande amalgamirt, und in ein eben so dickes, viereckiges Stück Blei (Kupfer würde besser gewesen seyn) ein kreisrundes Loch geschnitten, von solcher Größe, daß die Scheibe es lose füllte. Ein wenig Quecksilber vervollständigte die metallische Communication zwischen der Scheibe und dem sie umgebenden Ring. Mit letzterem wurde der eine Galvanometerdraht verbunden, und der andere wurde in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen getaucht, welches auf dem oberen Ende der Kupferaxe des Scheibchens befestigt war. Als die Scheibe in horizontaler Ebene rotirte, wich die Galvanometernadel ab, wiewohl kein anderer

Magnetismus als der terrestrische angewandt wurde, und der Radius der Scheibe nur drei Viertelzoll betrug, der Strom also nur in einem so kleinen Raum entwickelt wurde.

156) Als der Pol eines Magnetstabs unter die rotierende Scheibe gestellt wurde, liefs sich eine beständige Ablenkung der Nadel erhalten.

157) Bei Anwendung von  $\frac{1}{8}$  Zoll dicken Kupferdrähten statt der dünnen, die bisher beständig angewandt wurden (86), waren auch die Wirkungen weit kräftiger. Vielleicht dafs noch auffallendere Wirkungen erzeugt worden wären, wenn der Galvanometer, statt der vielen Windungen von dünnem Draht, wenige von einem dicken enthalten hätte.

158) Eine Form dieses Apparats bestand darin, dafs mehrere Scheiben über einander angebracht waren. Die Scheiben waren, abwechselnd an den Rändern und an den Mittelpunkten metallisch, mittelst Quecksilber verbunden, und wurden dann abwechselnd in entgegengesetzter Richtung gedreht, d. h. die erste, dritte, fünfte u. s. w. gegen die Rechte, und die zweite, vierte, sechste u. s. w. gegen die Linke. Das Ganze wurde so aufgestellt, dafs die Scheiben gegen die Neigungslinie senkrecht waren, oder die magnetischen Curven kräftiger Magnetstäbe meist senkrecht schnitten. In der einen Scheibenreihe geht die Elektrizität vom Mittelpunkt zum Umfang, in der andern vom Umfang zum Mittelpunkt. Dadurch geht aus der vereinten Wirkung des Ganzen ein kräftigerer Strom hervor.

159) Ich habe mehr dahin getrachtet, neue Thatsachen und neue Beziehungen der magneto - elektrischen Vertheilung zu entdecken, als die Stärke der schon ermittelten zu erhöhen, in der Ueberzeugung, dafs das letztere seine volle Entwicklung späterhin finden werde.

160) In meinem früheren Aufsatz sprach ich von dem wahrscheinlichen Einfluss, den die erdmagneto - elektrische

Vertheilung (137.) ganz oder zum Theil auf die Hervorbringung der von den HH. Christie und Barlow \*) beim Rotiren eiserner Körper beobachteten Erscheinungen ausübte, besonders auf die, welche Letzterer bei schneller Rotation einer Bombe wahrnahm, und durch eine Aenderung in der gewöhnlichen Anordnung des Magnetismus in der Eisenmasse zu erklären suchte.

161) Erinuert man sich des bereits (114.) aufgestellten Gesetzes, so scheint es unmöglich, dafs eine Metallkugel unter den natürlichen Verhältnissen anders rotiren könne, als mit Entwicklung elektrischer Ströme, die in einer auf der Umdrehungsebene senkrechten Ebene in derselben umherkreisen, vorausgesetzt, die Umdrehungsaxe falle nicht mit der Neigungslinie zusammen. Wie es scheint, wird der Strom am stärksten seyn, wenn die Umdrehungsaxe senkrecht gegen die Neigungsnadel liegt. Denn alsdann schneiden bei der Rotation alle Theile der Kugel, welche unterhalb einer, durch deren Mittelpunkt gebenden und auf der Neigungslinie senkrecht stehenden Ebene liegen, die magnetischen Curven in einer Richtung, während alle über jener Ebene befindlichen Theile sie in entgegengesetzter Richtung schneiden. Es werden daher in diesen rotirenden Theilen Ströme vorhanden seyn, welche von einem Rotationspol zum andern gehen. Da aber die oberen Ströme in entgegengesetzter Richtung als die unteren gehen, so werden sie in Vereinigung mit ihnen eine continuirliche Circulation der Elektrizität zu Wege bringen.

162) Da die elektrischen Ströme nirgends in der Kugel unterbrochen sind, so erwartete ich starke Wirkungen, und ich bemühte mich daher, sie mit einem einfachen Apparat zu erhalten. Die angewandte Kugel war von Messing (sie gehörte zu einer alten Elektrisirmaschine), hohl, dünn (zu dünn), und 4 Zoll im Durchmesser. Es wurde

\*) Christie, *Phil. Transact.* 1025, p. 88, 347 etc. Barlow, *ibid.* p. 317.



ein Messingdraht eingeschraubt, und die Kugel entweder mit der Hand an dem Drahte umgedreht, oder zuweilen mit ihrem Draht auf ein ausgekerbtes Stück Holz gelegt und mit der Hand in Umdrehung versetzt. Bei Ruhe gab sie keine Anzeigen von Magnetismus.

163) Zur Entdeckung der Ströme wurde eine doppelte Magnetnadel von folgender Construction angewandt. Eine Nähnaedel wurde, nachdem der Kopf und die Spitze von ihr abgebrochen worden, magnetisirt, dann in der Mitte durchbrochen, und jeder der beiden dadurch erhaltenen Magnete in einen Strohalm unter rechtem Winkel eingesteckt, etwa vier Zoll von einander entfernt, zwar in einer und derselben Ebene, aber in umgekehrter Lage unter sich. Der Halm wurde an einem etwa sechs Zoll langen Faden ungesponnener Seide aufgehängt, und letzterer an einen Stift befestigt, der durch den Pfropf in der Mündung einer cylindrischen Flasche ging. Der so erhaltene Apparat war völlig gegen die Luft gesichert, dem Einfluß des Erdmagnetismus wenig unterworfen, aber doch sehr empfindlich gegen magnetische und elektrische Kräfte, die in die Nähe einer oder der andern dieser Nadeln gebracht wurden.

164) Nachdem die Nadeln in die Ebene des magnetischen Meridians gebracht worden, wurde die Kugel neben der Flasche westlich von den Nadeln aufgestellt, so daß ihr Mittelpunkt mit der oberen Nadel in einer Horizontal-Ebene, und ihre Axe in dem magnetischen Meridian, senkrecht gegen die Neigungslinie lag. Beim Rotiren der Kugel fand sogleich eine Wirkung auf die Magnetnadeln statt; bei Umkehrung der Rotation wich die Nadel wiederum ab, aber nach der entgegengesetzten Seite. Rotirte die Kugel von Ost aufwärts nach West, so ging der gezeichnete Pol westwärts oder nach der Kugel hin. Hatte man die Kugel an der Ostseite der Nadeln aufgestellt, und rotirte sie, wie vorhin, von Ost aufwärts nach West, so wich die Nadel noch in derselben

Weise ab, d. h. der gezeichnete Pol ging ostwärts oder gegen die Kugel. Geschah die Rotation in entgegengesetzter Richtung, so ging der gezeichnete Pol westwärts.

165) Durch Drehung des Seidenfadens wurden die Nadeln in eine senkrechte Lage gegen die Ebene des magnetischen Meridians gebracht, und die Kugel, bei Parallelismus ihrer Axe mit den Nadeln, abermals in Umlauf versetzt. Die Nadel wurde, wie zuvor, abgelenkt, und aus der Art ihrer Ablenkung ging hervor, dafs in diesem wie im vorhergehenden Falle nur die in der Messingkugel vorhandenen elektrischen Ströme auf die Nadel eingewirkt hatten.

166) Betrachtet man den oberen Theil der rotirenden Kugel als einen Draht, der sich von Ost nach West über den ungezeichneten Pol der Erde bewegt, so mufs der elektrische Strom in ihr von Nord nach Süd gehen (99. 114. 150.). Sieht man eben so den unteren Theil als einen Draht an, der von West nach Ost über denselben Pol hinweggeht, so mufs der elektrische Strom von Süd nach Nord gehen, und daher wird die Circulation in einer unter unseren Breiten von Ost aufwärts nach West rotirenden Kugel ihren Weg oben von Nord nach Süd und unten zurück nach Nord nehmen. Diese Ströme nun sind aber gerade erforderlich, um der Nadel in dem obigen Versuch die angegebenen Richtungen zu ertheilen; mithin stimmt die Theorie, aus der die Versuche hergeleitet wurden, vollkommen mit diesen Versuchen.

167) Auch bei beträchtlicher Neigung der Rotationsaxe wirkte die rotirende Kugel noch auf die Magnetnadel, und erst bei kleinen Winkeln mit der Richtung der magnetischen Inclination verschwanden die Wirkungen selbst auf diesen Apparat (153.). Läfst man die Kugel um die der magnetischen Neigung parallel gestellte Axe rotiren, so wird sie offenbar der Kupferscheibe analog. Die Electricität der einen Art wird man an ihrem Aequator, die die der andern Art an ihren Polen sammeln können.

168) Obgleich ein Strom in solcher Kugel, wie die oben (161.) beschriebene, die Nadel in gleicher Richtung ablenken muß, diese mag sich rechts oder links von der Kugel und ihrer Umdrehungsaxe befinden, so muß er dieselbe doch in entgegengesetztem Sinne ablenken, wenn sie über oder unter der Kugel hängt; denn dann wird oder muß der Strom in entgegengesetzter Richtung auf die Nadel wirken. Diese Erwartungen wurden gerechtfertigt, als ich die Kugel unter der, in ihrer Flasche befindlichen Magnetnadel rotiren ließ. Rotirte die Kugel von Ost aufwärts nach West, so ging der gezeichnete Pol der Nadel, statt gen Osten, westwärts, und geschah die Rotation von West aufwärts nach Ost, so wich er nach Osten ab.

169) Die so mit einer Messingkugel erhaltenen Ablenkungen der Magnetnadel sind genau von gleicher Richtung mit denen, welche Hr. Barlow bei einer rotirenden Bombe beobachtet hat; und nach der Art, in welcher das Eisen die Erscheinungen der magneto-elektrischen Vertheilung eben so wie jedes andere Metall und abweichend von seinen besonderen magnetischen Eigenschaften (132.) darbot, ist es unmöglich, daß hier nicht elektrische Ströme erregt und in diesen Versuchen wirksam gewesen seyn sollten. Wieviel der Gesamtwirkung von dieser Ursache herrührt, kann nur erst nach einer reiferen Untersuchung aller dieser Erscheinungen entschieden werden.

170) Diese Resultate, verbunden mit dem vorhin aufgestellten Gesetz, führten mich auf einen Versuch von ungemeiner Einfachheit, der aber dennoch, bei der Ausführung, seinem Zweck vollkommen entsprach. Die Ausschließung aller fremdartigen Umstände, die Einfachheit des Apparats und die Deutlichkeit seiner Angaben, machen diesen einzigen Versuch zu einem Inbegriff von fast allen Thatsachen der magneto-elektrischen Vertheilung.

171) Ein etwa acht Fuß langes Stück, 0,05 Zoll

dicken Kupferdrahts wurde mit seinen Enden an die Enden der Galvanometerdrähte befestigt, so daß der galvanometrische Bogen vollständig geschlossen war, und dann roh in die Gestalt eines Rechtecks gebogen; die untere Seite dieses Rechtecks nebst dem damit verbundenen Galvanometer wurde befestigt, die obere Seite aber beweglich gelassen, damit sie zu und von dem Galvanometer geführt werden konnte (Fig. 26). Wurde dies Rechteck von der Rechten zur Linken über den Galvanometer fortgeführt, so wich die Nadel augenblicklich ab; wurde es zurückgeführt, so wich sie nach entgegengesetzter Seite ab. Wurden diese Bewegungen des Rechtecks in Uebereinstimmung mit den Vibrationen der Magnetnadel wiederholt (39), so schwang diese bald durch einen Bogen von  $90^\circ$  und mehr.

172) Um die Beziehung des im Draht erregten elektrischen Stroms zu den Bewegungen des Drahts aufzufassen, denke man sich die Windungen am Galvanometer fortgenommen, und bloß das Rechteck mit seiner unteren Seite horizontal, in der Ebene des magnetischen Meridians liegend, und über der Mitte dieser Seite eine Magnetnadel, bloß von der Erde gerichtet, aufgehängt (Fig. 26). Führt man den oberen Theil des Rechtecks von West nach Ost in die durch die punktirte Linie vorgestellte Lage, so geht der gezeichnete Pol der Magnetnadel gen Westen. Der elektrische Strom läuft demnach in dem unter der Nadel liegenden Theil des Drahts von Nord nach Süd, und in dem oberen Theile des Parallelogramms, der bewegt worden, von Süd nach Nord. Führt man den oberen Theil des Rechtecks von Ost nach West über den Galvanometer hinweg, so geht der gezeichnete Pol der Nadel gen Ost, und der elektrische Strom daher in umgekehrter Richtung als vorhin.

173) Wurde das Rechteck in eine von Ost nach West gehende Ebene gebracht, und die Magnetnadel demselben parallel gestellt, entweder durch Torsion des Fadens oder

durch einen seitwärts hingelegeten Magnet, so waren die Erscheinungen im Allgemeinen dieselben. Bei Fortführung der oberen Seite des Rechtecks von Nord nach Süd, ging der gezeichnete Pol der Nadel gen Nord, wurde es in der entgegengesetzten Richtung bewegt, ging derselbe nach Süd. Dieselbe Erscheinung trat ein, wenn die Bewegung des Drahts in irgend einem anderen Azimuth geschah. Die Richtung des Stroms stimmte immer mit dem (114.) aufgestellten Gesetz überein, und auch mit den Richtungen, welche mit der rotirenden Kugel erhalten wurden (164.).

174) Es ist bei diesen Versuchen nicht nothwendig, den Galvanometer oder die Nadel aus ihrer ersten Lage zu entfernen. Es ist völlig hinreichend, wenn man den Draht des Rechtecks dort, wo er das Instrument verläßt, so biegt, daß der obere Theil sich in der verlangten Richtung bewegen lassen kann.

175) Der bewegliche Theil des Drahts ward nun *unter* dem Galvanometer angebracht, so daß er sich senkrecht gegen die magnetische Inclination bewegen liefs. Er wirkte auf dies Instrument wie zuvor und in derselben Richtung, d. h. wenn er unter demselben von West nach Ost geführt wurde, ging das gezeichnete Ende der Nadel nach West, wie zuvor.

176) Wenn  $dp$ , Fig. 27, der magnetischen Inclination parallel ist, und  $BA$  den oberen Theil des Rechtecks (171.) vorstellt, welches, nebst dem daran sitzenden Pfeil  $c$ , eine beliebige Lage, in einer gegen die Inclinationslinie senkrechten Ebene haben mag, und man führt nun  $BA$  in Richtung des Pfeiles fort, so geht in diesem Draht der elektrische Strom von  $B$  nach  $A$ .

177) Führt man den Draht hinauf und herab parallel der Inclinationslinie, so findet keine Wirkung auf den Galvanometer statt. Neigt die Richtung der Bewegung etwas gegen die Inclinationslinie, so zeigt sich Elek-

tricität, und sie erreicht ihr Maximum, wenn die Bewegung rechtwinklig gegen jene Linie geschieht.

178) Eben so starke Wirkungen werden erhalten, wenn man den Draht in andere Formen biegt und bewegt, besonders wenn man, statt des Rechtecks, ihn in Form einer doppelten Kettenlinie an der einen Seite des Galvanometers anbringt, und die beiden Hälften oder einfachen Curven zugleich in entgegengesetzten Richtungen schwingen läßt. Ihre Wirkungen afficiren dann gemeinschaftlich den Galvanometer; indess sind alle diese Resultate auf die oben beschriebenen zurückführbar.

179) Je länger der bewegte Draht und je größer die Bahn seiner Bewegung ist, desto stärker ist auch die Wirkung auf den Galvanometer.

180) Wegen der Leichtigkeit, mit welcher elektrische Ströme in Metallen, bei Bewegung unter dem Einfluß von Magneten, erzeugt werden, hat man sich künftig bei Versuchen mit Metallen und Magneten wohl gegen diese Wirkungen in Acht zu nehmen. Bedenkt man die Allgegenwart des Erdmagnetismus, so gelangt man zu dem auffallenden Schlufs, dafs schwerlich ein Stück Metall, in Berührung mit andern, entweder ruhenden oder mit verschiedener Geschwindigkeit, oder in anderer Richtung sich bewegenden Metallstücken, bewegt werden kann, ohne dafs nicht elektrische Ströme in demselben auftreten. Wahrscheinlich finden sich unter den Theilen der Dampfmaschinen und anderer metallener Maschinen zufällig sonderbare magneto-elektrische Combinationen, welche Wirkungen hervorbringen, die niemals bemerkt, oder wenigstens niemals verstanden worden sind.

181) Beim Nachdenken über die vorhin beschriebenen Wirkungen der erdmagneto-elektrischen Vertheilung ist es fast unmöglich, sich des Gedankens zu enthalten, dafs ähnliche, aber unendlich stärkere Wirkungen durch die Action des Magnets der Erdkugel auf deren eigene

Masse, in Folge ihrer täglichen Axendrehung, hervorgebracht werden mögen. Es scheint, daß, wenn unter unseren Breiten ein Metallstab parallel dem magnetischen Meridian auf die Oberfläche der Erde gelegt wird, ein elektrischer Strom denselben von Süden nach Norden zu durchlaufen trachtet, in Folge seiner Fortführung von West nach Ost (172.) durch die Umdrehung der Erde; daß ein Stab, der in derselben Richtung durch Drähte mit dem ersten verbunden worden ist, den Strom dieses ersten Stabs nicht zu entladen vermag, weil er eine gleiche Tendenz hat, in derselben Richtung einen Strom in sich erregen zu lassen, daß aber, wenn der letztere von Ost nach West fortgeführt wird, was so viel ist, als eine Verminderung der ihm von der Erde (172.) mitgetheilten Bewegung, ein elektrischer Strom von Süden nach Norden in dem ersten Stab sichtbar wird, in Folge seiner gleichzeitigen Entladung durch den zweiten.

182) Angenommen, die Erde sucht durch magneto-elektrische Vertheilung elektrische Ströme in ihrer eigenen Masse hervorzurufen, so würden diese, gemäß dem (114.) aufgestellten Gesetz und den Versuchen, wenigstens auf der Oberfläche, von den der Aequatorial-Ebene benachbarten Gegenden in entgegengesetzten Richtungen nach den Polen gehen; und wenn man Collectoren auf den Aequator und die Pole setzte, wie es bei der rotirenden Kupferscheibe (150.) und bei den Magneten (220.) geschah, so würde man negative Elektrizität am Aequator, und positive an beiden Polen (222.) auffangen. Allein ohne Collectoren oder eine ihnen ähnliche Vorrichtung würden offenbar diese Ströme nicht existiren können, da sie sich nicht zu entladen vermöchten.

183) Es schien mir nicht unmöglich, daß die Körper in Bezug auf die Intensität der Ströme, welche die magneto-elektrische Vertheilung in ihnen erregt oder zu erregen sucht, gewisse natürliche Unterschiede darbieten möchten, besonders da die HH. Arago, Babbage, Her-

schel und Harris bei ihren Rotationsversuchen, in der Fähigkeit, Bewegung von einem Magnet zu erhalten oder ihm mitzutheilen (130.), große Unterschiede gefunden haben, nicht nur zwischen den Metallen und anderen Substanzen, sondern selbst zwischen den Metallen unter sich. Ich nahm deshalb zwei Drähte, jeden von 120 Fufs Länge, den einen von Kupfer, den andern von Eisen. Diese wurden an ihren Enden mit einander verbunden, und dann in Richtung des magnetischen Meridians ausgespannt, so dafs sie zwei fast parallele Linien bildeten, indess ohne sich anderswo als an den Enden zu berühren. Der Kupferdraht wurde dann in der Mitte durchschnitten und mittelst eines empfindlichen Galvanometers untersucht; allein es war keine Spur von einem elektrischen Strom zu erhalten.

184) Durch Verwendung Seiner Königl. Hoheit (des Herzogs von Sussex), des Präsidenten der Königl. Gesellschaft, erhielt ich von Seiner Majestät dem Könige die Erlaubnifs, Versuche an dem See im Garten des Pallastes von Kensington anzustellen, um in ähnlicher Weise Wasser und Metall zu vergleichen. Dieser See hat ein künstliches Becken, und wird von der Chelsea-Compagnie mit Wasser versehen; es fliefst keine Quelle in denselben, und er bietet dar, was ich suchte, eine ruhige Masse reinen Wassers mit Ufern, die nahe von West nach Ost und von Nord nach Süd laufen.

185) Zwei vollkommen reine Kupferplatten, jede von vier Quadratfufs Oberfläche, wurden an die Enden eines Kupferdrahts gelöthet, und darauf, die eine im Süden von der andern, in das Wasser getaucht, so dafs der Draht am Ufer auf dem Grase lag. Die Platten lagen in gerader Linie etwa 480 Fufs aus einander, und der Draht war wahrscheinlich 600 Fufs lang; dieser Draht wurde darauf in der Mitte durchschnitten, und durch zwei Näpfchen voll Quecksilber mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden.



186) Anfänglich wurden Anzeigen von elektrischen Strömen erhalten; allein durch Umkehrung der Berührung und durch andere Mittel ergab sich, daß dieselben von anderen, als der gesuchten Ursache herrührten. Ein kleiner Temperaturunterschied, eine kleine Portion des zur Amalgamation der Drähte gebrauchten salpetersauren Quecksilberoxyds, die in das zur Zurückführung der beiden Quecksilbernäpfe auf dieselbe Temperatur angewandte Wasser gekommen war, reichte hin, elektrische Ströme zu erregen, die, ungeachtet sie eine Strecke von 600 Fufs im Wasser zu durchlaufen hatten, auf den Galvanometer wirkten. Hatte man diese und andere störende Ursachen entfernt, so wurde keine Wirkung erhalten; und es schien, daß selbst so unähnliche Substanzen, wie Wasser und Kupfer, beim Durchschneiden der magnetischen Curven der Erde mit gleicher Schnelligkeit, einander in ihren Wirkungen vollkommen neutralisiren.

187) Hr. Fox hat einige höchst wichtige Resultate in Bezug auf die Elektrizität der Metallgänge in den Gruben von Cornwall erhalten, welche in den *Philosoph. Transact. f. 1830, p. 399*, bekannt gemacht sind \*). Ich habe diesen Aufsatz mit der Absicht gelesen, ob wohl eine der Erscheinungen auf eine magneto-elektrische Vertheilung zurückführbar sey, glaube indess, obgleich ich keine recht bestimmte Meinung fassen konnte, daß es nicht der Fall sey. Wenn parallele, von Ost nach West laufende Gänge verglichen wurden, ging die vorwaltende Tendenz der Elektrizität *in den Drähten* von Nord nach Süd; wurde der Vergleich zwischen Theilen an der Oberfläche und in einiger Tiefe angestellt, so ging der elektrische Strom in den Drähten von oben nach unten. Sollte in der Kraft der elektrischen Ströme, die durch magneto-elektrische Vertheilung in verschiedenartigen Substanzen oder in verschiedenen Lagen mit der Erde sich bewegenden Substanzen erregt wird, irgend ein natürli-

\*) Vergl. diese Ann. Bd. XII (98) S. 150.

cher Unterschied vorhanden seyn, welcher bei Vermehrung der dieser Einwirkung unterworfenen Massen sichtbar wurde, so könnten vielleicht die Drähte und Gänge, mit denen Hr. Fox experimentirte, als Entlader der Elektrizität der zwischen denselben eingeschlossenen Schichtmassen gewirkt haben, und die Richtungen der Ströme würden den vorhin beobachteten gleich gewesen seyn.

188) Obgleich die Elektrizität, welche durch magneto-elektrische Vertheilung aus einem wenige Fufs langen Draht erhalten wird, nur von geringer Intensität ist, und bis jetzt nur bei Metallen und einer Koble von besonderer Beschaffenheit beobachtet wurde, so vermag sie doch durch Kochsalzlösung (23.) zu gehen, und da eine Verlängerung der Drähte eine Verstärkung der Intensität hervorbringt, so hoffte ich Wirkungen von grossen strömenden Wassermassen zu erhalten, wiewohl ruhende keine gaben. Ich spannte daher auf der Brustwehr der Waterloo-Brücke einen 960 Fufs langen Kupferdraht aus, und liess von seinen Enden andere Drähte, an denen grosse Metallplatten hingen, hinab, bis letztere unter Wasser getaucht waren. Der Draht und das Wasser bildeten so einen einzigen leitenden Bogen; und da das Wasser durch die Fluth auf- und abströmte, so hoffte ich analoge Ströme wie bei der Messingkugel zu erhalten (161).

189) Wirklich erhielt ich beständig Ablenkungen am Galvanometer, allein sie waren sehr unregelmässig, und deshalb von anderen als der gesuchten Ursache hervorgebracht. Die verschiedene Reinheit des Wassers an dieser und jener Seite des Stroms; ein Temperaturunterschied; geringe Verschiedenheiten in den Platten, in dem gebrauchten Schnellloth, in dem mehr oder weniger vollkommenen Contact der zusammengeflochtenen oder auf andere Weise verbundenen Drähte; alle diese Umstände trugen mit zu den Wirkungen bei. Auch als ich den Versuch blofs mit dem durch die mittleren Brückenbo-

gen fließenden Wasser anstellte, Platinplatten statt der Kupferplatten anwandte, und jede andere Vorsichtsmaßregel traf, so konnte ich doch nach drei Tagen kein genügendes Resultat erhalten.

190) Von theoretischer Seite scheint es eine nothwendige Folgerung, daß wo Wasser fließt auch elektrische Ströme gebildet werden, denkt man sich z. B. eine Linie gezogen von Dover nach Calais durch die See und unter dem Wasser durch den Boden nach Dover zurück, so bildet dieselbe einen leitenden Bogen, von denen der eine Theil, wenn das Wasser im Kanal hin- und herströmt, die magnetischen Curven der Erde schneidet, während der andere relativ in Ruhe bleibt. Diefes ist eine Wiederholung des Draht-Versuchs (171), aber mit schlechteren Leitern. Indefs kann man mit vollem Grunde glauben, daß elektrische Ströme in einer oder der andern Richtung den oben beschriebenen Bogen durchlaufen, je nachdem das Wasser in dem Kanal hin- und herströmt. Wo das fließende Wasser eine außerordentlich große Ausdehnung in die Breite hat, ist es nicht unwahrscheinlich, daß Wirkungen sichtbar werden, und der Gulfstrom mag vielleicht auf diese Weise, vermöge der durch die Erde mittelst magneto-elektrischer Vertheilung erzeugten und ihn durchkreuzenden elektrischen Ströme, einen merklichen Einfluß auf die Gestalt der magnetischen Abweichungslinien ausüben \*).

191) Obgleich bis jetzt keine positiven Resultate in Betreff der Wirkung des Erdkörpers auf Wasser und wässrige Flüssigkeiten erhalten wurden, so ist doch,  
da

\*) Theoretisch genommen, würde selbst jedes Schiff oder Boot, das unter nördlichen oder südlichen Breiten auf dem Wasser fährt, senkrecht gegen die Richtung seiner Bewegung von elektrischen Strömen durchschnitten seyn; und ähnliche Ströme würden beim Vorüberfließen des Wassers an der Seite des ruhenden Schiffs, der Abker u. s. w. erzeugt werden.

da die Versuche in einem sehr kleinen Maafsstabe angestellt wurden, und dergleichen Flüssigkeiten doch mit künstlichen Magneten elektrische Ströme lieferten (23.); denn Uebertragung des Stroms ist Beweis von seiner Erzeugung (213.)), die Annahme, dafs die Erde diese vertheilten Ströme in Folge der täglichen Axendrehung hervorbringe, sehr wahrscheinlich (222. 223.); und wenn man erwägt, dafs die sich bewegenden Massen die magnetischen Curven auf tausende von Meilen durchsetzen, und sie sowohl im Inneren als an der Oberfläche der Erde in verschiedenen Richtungen schneiden, so ist es möglich, dafs die Elektrizität zu einer beträchtlichen Stärke anwächst.

192) Kaum wage ich, selbst in der hypothetischsten Form, zu fragen, ob das Nord- und Südlicht die Entladung von Elektrizität sey, die, so nach den Erdpolen getrieben, durch natürliche und bestimmte Wege oberhalb der Erde zu den Aequatorialregionen zurückzukehren sucht. Das Nichtvorkommen dieses Phänomens in sehr hohen Breiten steht keinesweges in Widerspruch mit dieser Annahme; und es ist merkwürdig, dafs Hr. Fox, welcher die Ablenkungen der Magnetnadel durch das Nordlicht zu Falmouth beobachtete, derselben diejenige Richtung giebt, welche vollkommen mit der gegenwärtigen Ansicht übereinstimmt. Seiner Angabe nach geschehen bei Nacht alle Ablenkungen gegen Ost \*); und gerade dies würde sich ereignen, wenn elektrische Ströme in der Erde von Süd nach Nord, und über der Nadel von Nord nach Süd getrieben werden.

VI. Allgemeine Bemerkungen und Erläuterungen über die Kraft und Richtung der magneto-elektrischen Vertheilung.

193) Bei der Wiederholung und Abänderung, welche die HH. Babbage, Herschel und Harris mit dem Arago'schen Versuche vornahmen, richteten diese Phy-

\*) *Philosoph. Transact. f. 1831, p. 202.*

*Annal. d. Physik. B. 101. St. 1. J. 1832. St. 5.*

siker ihre Aufmerksamkeit auf die Kraftunterschiede, welche unter den Metallen und anderen Substanzen hinsichtlich ihrer Wirkung auf einen Magnet beobachtet wurden. Diese Unterschiede waren sehr groß \*), und erregten in mir die Hoffnung, daß sich wichtige Resultate durch mechanische Combinationen verschiedener Metalle erhalten lassen würden (183.). Deshalb wurden die folgenden Versuche angestellt, in der Absicht, wo möglich, irgend einen derartigen Unterschied in der Wirkung zweier Metalle zu erhalten.

194) Ein mit Baumwolle besponnener Mützen-Draht (*Bonnet-wire*) von weichem Eisen wurde an einem Ende von seiner Bekleidung entblößt, blank geputzt und daselbst mit dem blanken Ende eines Kupferdrahts in metallische Berührung gesetzt. Beide Drähte wurden, auf einer Strecke von 18 bis 20 Zoll, wie ein Strick zusammengedreht, die nicht zusammengedrehten Enden aus einander gebogen und mit den Galvanometerdrähten verbunden. Der Eisendraht war etwa zwei Fuß lang, die Verlängerung nach dem Galvanometer war von Kupfer.

195) Der zusammengedrehte Kupfer- und Eisendraht (welche sich nirgends als an den Enden berührten) wurde dann zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets (Taf. V Fig. 28) gebracht; allein es konnte nicht die geringste Wirkung am Galvanometer beobachtet werden, obgleich die Vorrichtung geeignet schien, einen etwaigen elektrischen Unterschied zwischen den beiden Metallen hinsichtlich der Einwirkung des Magneten zu entdecken.

196) Es wurde nun ein Cylinder von weichem Eisen in der Mitte mit Papier überzogen, das zusammengedrehte Ende des obigen Doppeldrahts in Schraubengestalt um denselben gewickelt, und dann die Enden *A* und *B* mit dem Galvanometer verbunden. Hierauf wurde der Eisencylinder mit den Polen eines starken Magnets von dreißig Pfund Tragkraft in Berührung gesetzt; allein

\*) *Philosoph. Transact. f.* 1825, p. 472; 1831, p. 78.

es erschienen keine Zeichen von Elektrizität am Galvanometer. Beim Vollziehen und Aufheben der Berührung war jede Vorsicht getroffen, die Wirkung anzuhäufen; allein dennoch ließen sich keine Anzeigen von einem Strome erhalten.

197) Kupfer und Zinn, Kupfer und Zink, Zinn und Zink, Zinn und Eisen, Zink und Eisen wurden gegen einander in ähnlicher Weise (174.) geprüft; allein ohne daß das geringste Zeichen von elektrischen Strömen erlangt werden konnte.

198) Zwei flache Spiralen, eine von Kupfer und eine von Eisen, und beide 18 Zoll Draht enthaltend, wurden, nachdem sie mit einander und mit dem Galvanometer verbunden worden waren, einander gegenüber aufgestellt, so daß die Windungen in entgegengesetzter Richtung liefen. Als sie indess dem Magnetpol (53.) genähert wurden, waren keine Anzeigen von Elektrizität am Galvanometer zu beobachten. Wenn eine der Spiralen herumgedreht wurde, so daß in beiden die Windungen gleiche Richtung hatten, so war die Wirkung auf den Galvanometer sehr kräftig.

199) An dem früher (8.) beschriebenen zusammengesetzten Schraubendraht von Kupfer und Eisen wurden alle Eisenwindungen, zusammen 214 F., zu einem Schraubendraht, und alle Kupferwindungen, 208 Fufs betragend, zu einem zweiten Schraubendraht verbunden. Die beiden ähnlich liegenden Enden *AA* dieser beiden Schraubendrähte von Kupfer und Eisen wurden mit einander vereint, und ihre beiden andern Enden *BB* mit dem Galvanometer verbunden, so daß, wenn man einen Magnet in die Axe der Windungen steckte, die in dem Eisen und Kupfer erregten Ströme streben mußten in entgegengesetzter Richtung zu gehen. Indess es mochte ein Magnetstab hineingeführt werden, oder ein hineingestellter weicher Eisenstab durch Berührung mit Magnetpolen

magnetisirt werden, so wurde doch keine Wirkung auf die Nadel hervorgebracht.

200) Ein etwa 14 Zoll langes Glasrohr wurde mit starker Schwefelsäure gefüllt, dann ein blanker Kupferdraht mit einem seiner Enden, das auf eine Strecke von 12 Zoll zu einem Bündel zusammengebogen war, um der Säure eine große Oberfläche darzubieten, in die Röhre gesteckt, und das Uebrige des Drahts aus der Röhre zum Galvanometer geführt. Ein zweiter an seinem Ende ähnlich zusammengebogener Draht wurde in das andere Ende der Schwefelsäure getaucht und auch mit dem Galvanometer verbunden; so daß in diesem Versuch Säure und Kupfer in derselben Relation zu einander waren, wie im vorbergehenden (194.) Eisen und Kupfer. Als diese Vorrichtung in ähnlicher Weise zwischen die Pole des Magneten gebracht wurde, konnte nicht die geringste Wirkung am Galvanometer wahrgenommen werden.

201) Aus diesen Versuchen erhellt, daß, wenn verschiedenartige Metalle, zu einem Bogen vereint, der magneto-elektrischen Vertheilung in jeder Hinsicht gleich unterworfen werden, sie in Bezug auf die elektrischen Ströme, welche sich in ihnen entweder bilden oder zu bilden trachten, genau gleiche Kräfte zeigen. Dasselbe scheint mit Flüssigkeiten und wahrscheinlich mit allen übrigen Substanzen der Fall zu seyn.

202) Doch schien es unmöglich, daß diese Resultate die relative vertheilende Kraft des Magnets auf die verschiedenen Metalle anzeigen konnten; denn daß die Wirkung in gewisser Beziehung zu dem Leitungsvermögen stehe, schien eine nothwendige Folge (139.), da der Einfluß rotirender Scheiben auf Magnete, wie gefunden worden, in allgemeiner Beziehung zu dem Leitungsvermögen der angewandten Substanz steht.

203) In dem Rotationsversuch (81.) wird der elektrische Strom in derselben Substanz erregt und entladen, sie mag ein guter oder schlechter Leiter seyn; allein bei

den eben beschriebenen Versuchen konnte der im Eisen erregte Strom sich nicht anders als durch Kupfer fortpflanzen, und der im Kupfer erregte nur durch Eisen, d. h. angenommen, daß in den Metallen, proportional ihrem Leitungsvermögen, Ströme von ungleicher Stärke erregt werden, so hatte der stärkere Strom durch den schlechtesten Leiter, und der schwächere durch den besten zu gehen.

204) Es wurden daher verschiedene Metalle, isolirt von einander, zwischen die Pole eines Magnets geführt, während ihre entgegengesetzten Enden mit demselben Ende des Galvanometerdrahts verbunden waren, so daß die gebildeten und zum Galvanometer übergeführten Ströme entgegengesetzte Richtung haben mußten. Bei Anwendung beträchtlicher Längen von verschiedenen Drähten wurden schwache Ablenkungen erhalten.

205) Um ganz genügende Resultate zu erhalten, wurde ein neuer Galvanometer construirt, bestehend aus zwei unabhängigen Gewinden, von denen jedes einen 18 Fufs langen, mit Seide besponnenen Kupferdraht enthielt. Diese Gewinde waren an Gestalt und in der Zahl der Umläufe genau einander gleich; die Windungen liefen neben einander weg und ließen einen kleinen Zwischenraum, worin eine Doppelnadel, genau wie in dem früheren Instrument (87.), an einen Seidenfaden aufgehängt wurde. Wenn durch diese Gewinde, die mit den Buchstaben *K* und *L* bezeichnet seyn mögen, elektrische Ströme in gleicher Richtung geleitet wurden, so wirkten sie mit der Summe ihrer Kräfte auf die Nadel, bei entgegengesetzter Richtung der Ströme aber mit dem Unterschiede ihrer Kräfte.

206) Nun wurde der zusammengesetzte Schraubendraht (199. 8.) in Verbindung gesetzt durch die Enden *A* und *B* des Eisens mit den Enden *A* und *B* des Galvanometer-Gewindes *K*, und die Enden *A* und *B* des Kupfers mit den Enden *B* und *A* des Galvanometer-Ge-



windes *L*, so dafs die in den beiden Schraubendrähten erregten Ströme in umgekehrter Richtung durch die Gewinde *K* und *L* gehen mußten. Bei Einsteckung eines kleinen cylindrischen Magnetstabs in die Schraubendrähte wurde die Galvanometer-Nadel stark abgelenkt. Als der eiserne Schraubendraht abgetrennt ward, bewirkte der Magnetstab mit dem kupfernen Schraubendraht allein eine noch stärkere Ablenkung in derselben Richtung. Als der eiserne Schraubendraht wieder verbunden und der kupferne abgetrennt ward, bewirkte der Magnet eine mäßige Ablenkung in entgegengesetzter Richtung. Es war also offenbar der in dem Kupferdraht durch den Magnetstab erregte Strom weit kräftiger, als der durch denselben Magnet in einem gleichen Eisendraht erregte.

207) Um jeden Fehler zu vermeiden, der vielleicht dadurch entstehen konnte, dafs das eine Gewinde wegen gröfserer Nähe oder aus sonst einem Grunde stärker als das andere auf die Nadel wirke, wurden die Enden des Kupfer- und des Eisendrahts in Bezug auf die galvanometrischen Gewinde *K* und *L* vertauscht, so dafs dasjenige, welches zuvor den im Kupfer erregten Strom leitete, jetzt den vom Eisen leiten mußte, und umgekehrt. Allein es zeigte sich wie zuvor dieselbe auffallende Uebermacht des Kupfers. Dieselbe Vorsichtsmaßregel wurde bei den ferner noch zu beschreibenden Versuchen mit anderen Metallen getroffen.

208) Ich nahm nun Drähte von Eisen, Zink, Kupfer, Zinn und Blei, von gleichem, etwa  $\frac{1}{16}$  Zoll betragendem Durchmesser, und verglich genau gleich, nämlich 16 Fufs lange Stücke paarweis in folgender Art: Die Enden des Kupferdrahts wurden mit den Enden *A* und *B* des Galvanometer-Gewindes *K*, und die Enden des Zinkdrahts mit den Enden des Galvanometer-Gewindes *L* verbunden. Der mittlere Theil eines jeden Drahts wurde dann sechs Mal um einen mit Papier überzogenen Cylinder von weichem Eisen gewickelt, der lang genug war, um

mit Hrn. Daniell's Hüfeisenmagnet (56.) in Verbindung gesetzt zu werden (Taf. V Fig. 10), so dafs zwei gleiche Schraubendrähte, der eine von Kupfer, der andere von Zink, und jeder von sechs Windungen, den Stab an zwei von einander und von den Magnetpolen gleich weit entfernten Stellen umgaben. Diese Schraubendrähte waren indess in entgegengesetzter Richtung gewunden, so dafs sie entgegengesetzte Ströme durch die Galvanometer-Gewinde *K* und *L* senden mußten.

209) Beim Vollziehen und Aufheben der Berührung zwischen dem Eisenstab und den Magnetpolen fand eine starke Einwirkung auf den Galvanometer statt; eine noch stärkere Einwirkung in gleichem Sinne erlitt er, als der Zinkdraht ausgelöst wurde. Mit Beachtung aller der (207.) angegebenen und sonstigen Vorsichtsmafsregeln, zeigte es sich überreichlich, dafs der durch den Magnet in dem Kupfer erregte Strom weit stärker als der in dem Eisen war.

210) Als darauf das Kupfer in ähnlicher Weise mit Zinn, Blei und Eisen verglichen wurde, zeigte sich, dafs es sie alle übertraf, selbst im höheren Grade als zuvor das Zink. Dann ward das Zink mit Zinn, Blei und Eisen verglichen, und dabei ergab sich, dafs es einen kräftigeren Strom als alle diese Metalle erregte. Auf dieselbe Weise wurde Eisen wirksamer gefunden als Zinn und Blei. Dann kam Zinn und zuletzt Blei.

211) Die Metalle stehen demnach in der Ordnung: Kupfer, Zink, Eisen, Zinn und Blei, also in der, welche sie hinsichtlich ihres Leitungsvermögens für Elektrizität einnehmen; dieselbe Ordnung befolgen sie auch, mit Ausnahme des Eisens, bei den Magneto-Rotationsversuchen der Hh. Babbage, Herschel, Harris u. s. w. Bei den letzteren Versuchen hatte das Eisen, wegen seiner gewöhnlichen magnetischen Eigenschaften, eine gröfsere Kraft, und seine Stelle in Bezug auf die hier in Rede stehende magneto-elektrische Action kann durch

solche Versuche nicht ausgemittelt werden. Auf die oben angegebene Art läßt sie sich aber richtig bestimmen.

212) Es ist noch zu bemerken, daß in diesen Versuchen nicht der Gesamteffect zwischen verschiedenen Metallen erhalten wird; denn von den in jedem Bogen enthaltenen 34 Fufs Draht, waren 18 Fufs, als Galvanometer-Gewinde, in beiden von Kupfer; und da der gesammte Bogen zur resultirenden Kraft des Stromes beiträgt, so muß dadurch der Unterschied, welcher sich zwischen den Metallen, im Fall jeder Bogen gänzlich aus einem einzigen Metall bestände, zeigen würde, vermindert werden. Im gegenwärtigen Fall beträgt der erhaltene Unterschied wahrscheinlich nicht mehr als die Hälfte von dem, welcher sich gezeigt haben würde, wenn jeder Bogen aus einem einzigen Metall bestanden hätte.

213) Diese Resultate scheinen zu beweisen, daß die Stärke der durch magneto-elektrische Vertheilung in Körpern erregten Ströme proportional ist dem Leitungsvermögen dieser Körper. Daß sie *genau* dem Leitungsvermögen proportional sey, und gänzlich von demselben abhängt, ist, wie ich glaube, durch die vollkommene Neutralität erwiesen, welche sich zeigt, wenn zwei Metalle oder andere Substanzen, wie Säure, Wasser, u. s. w. (201. 186.), einander entgegenwirkend aufgestellt werden. Der schwache Strom, welcher sich in dem schlechteren Leiter zu entwickeln sucht, findet in dem besseren Leiter einen leichteren Durchgang, und der stärkere Strom, der in dem letzteren zu entstehen trachtet, wird durch den Widerstand in ersterem geschwächt; und die erzeugenden und hemmenden Kräfte heben einander so vollkommen auf, daß eine vollkommene Neutralisation entsteht. Da nun Hemmung sich umgekehrt wie das Leitungsvermögen verhält, so muß die Tendenz zur Erzeugung eines Stroms sich direct verhalten wie diese Kraft, um dieses vollkommene Gleichgewicht hervorzubringen.

214) Die Ursache der Gleichheit der Wirkung un-

ter den verschieden vorhin beschriebenen Umständen, wo Bögen von Drähten (183.) oder von einem Draht und Wasser (184.) zusammen verbunden waren, welche doch so verschiedene Wirkungen auf den Magnet hervorbringen, ist nun klar und einfach.

215) Die Wirkungen einer rotirenden Substanz auf eine Magnetnadel oder einen Magnetstab müssen, wo der gewöhnliche Magnetismus keinen Einfluss hat, sich direct wie das Leitungsvermögen der Substanz verhalten. Ich wage nun zu behaupten, dass dies wirklich der Fall sey, und dass in allen Fällen, wo man wahrgenommen haben will, dass Nichtleiter diese besondere Wirkung hervorbringen, die Bewegung von einer fremdartigen Ursache entstanden sey, z. B. aus mechanischer Mittheilung von Bewegung durch die Theile des Apparats oder auf sonstige Weise (wie in dem von Hrn. Harris bezeichneten Fall)\*), oder aus den gewöhnlichen magnetischen Anziehungen. Um die Wirkungen der letzteren von denen der erregten elektrischen Ströme zu unterscheiden, habe ich eine sehr vollkommene Probe aufgefunden, welche ich weiterhin (243.) beschreiben werde.

216) Es ist mit allem Grund zu glauben, dass der Magnetstab oder die Magnetnadel ein vortreffliches Maass für das Leitungsvermögen der neben ihnen rotirenden Substanzen sey; denn ich habe durch sorgfältige Versuche gefunden, dass wenn ein constanter elektrischer Strom successiv durch gleich dicke Drähte von Kupfer, Platin, Zink, Silber, Blei und Zinn geleitet wird, die Ablenkungen der Nadel genau gleich waren bei allen. Man muss sich erinnern, dass wenn Körper in einer Horizontalebene rotiren, die Erde weit auf sie wirkt. Da die Wirkung sich über die ganze Scheibe verbreitet, so mag sie in diesen Fällen nicht störend seyn; allein bei einigen Versuchen und Berechnungen mag sie von wichtigem Einfluss seyn.

\*) *Philosoph. Transact.* 1831, p. 68.

217) Ein anderer Punkt, den ich auszumitteln suchte, bestand darin, ob es wesentlich sey oder nicht, daß der sich bewegende Theil des Drahts, bei Durchschneidung der magnetischen Curven, in Stellungen von größerer oder geringerer magnetischer Kraft übergehe; oder ob, bei steter Durchschneidung von Curven gleicher magnetischer Intensität, die bloße Bewegung zur Erzeugung des Stromes hinreichend sey. Die Richtigkeit des letzteren Falls ist bereits bei mehreren Versuchen über die erdmagneto-elektrische Vertheilung bewiesen. So wurden die elektrischen Ströme in der Kupferplatte (149.), die in der rotirenden Kugel (161. etc.) und die in dem bewegten Draht (171.) sämmtlich unter Umständen erzeugt, bei denen die magnetische Kraft während des ganzen Versuchs nicht anders als gleich seyn konnte.

218) Um diesen Punkt für einen gewöhnlichen Magnet zu erweisen, kittete ich eine Kupferscheibe auf dem mit Papier überzogenen Ende eines cylindrischen Magneten fest, setzte den Magnet und die Scheibe zusammen in Rotation, und brachte Collectoren, die mit dem Galvanometer verbunden waren, in Berührung mit dem Umfang und dem centralen Theil der Kupferscheibe. Die Galvanometernadel wurde wie in den früheren Fällen bewegt, und die *Richtung* ihrer Bewegung war *dieselbe*, welche stattgefunden haben würde, wenn nur die Kupferscheibe rotirt hätte und der Magnet befestigt gewesen wäre. Auch war anscheinend kein Unterschied in der GröÙe der Ablenkung. Folglich bringt das Rotiren des Magnets keinen Unterschied in den Resultaten zu Wege; denn ein rotirender und ein stationärer Magnet erzeugen dieselbe Wirkung auf das sich drehende Kupfer.

219) Ein an dem einen Ende verschlossener Kupfercylinder wurde nun auf einen Magnetstab geschoben, so daß er, gleich einer Kappe, die eine Hälfte dessel-

ben umschloß; er war gut befestigt, und durch zwischengelegtes Papier an jeder unmittelbaren Berührung mit dem Magnetstabe gehindert. Diese Vorrichtung wurde dann auf Quecksilber, das sich in einer engen Flasche befand, zum Schwimmen gebracht, so daß der untere Rand des Kupfercylinders das flüssige Metall berührte. Einer der Galvanometerdrähte wurde in dies Quecksilber getaucht, und der andere in eine kleine Grube mitten in dem Deckel der Kupferkappe. Als der Magnet mit dem daran sitzenden Cylinder in Rotation versetzt wurde, ging ein starker elektrischer Strom durch den Galvanometer, in derselben Richtung, wie wenn nur der Cylinder rotirt und der Magnet sich nicht bewegt hätte. Die Resultate sind also dieselben, wie bei der Scheibe (218.).

220) Daß das Metall des Magnetstabes selbst statt des rotirenden Cylinders, Drahts oder der Scheibe genommen werden könne, erschien als eine unausweichliche Folgerung, und zugleich als das Mittel, welches die Wirkungen der magneto-elektrischen Vertheilung in der auffallendsten Form zeigen würde. Ein cylindrischer Magnetstab, an jedem seiner Enden mit einem Grübchen zur Aufnahme eines Tropfen Quecksilbers versehen, wurde in demselben Metall, das sich in einer engen Flasche befand, aufrecht zum Schwimmen gebracht, und dann der eine Galvanometerdraht in das Quecksilber der Flasche, und der andere in den Tropfen im Grübchen am oberen Ende des Stabes getaucht. Als nun der Magnet durch eine umgeschlungene Schnur in Rotation versetzt wurde, wies die Galvanometernadel sogleich einen kräftigen elektrischen Strom nach. Bei Umkehrung der Rotation ging auch der Strom in entgegengesetzter Richtung. Die Richtung des elektrischen Stroms war eben so, wie wenn der Kupfercylinder (219.) oder ein Kupferdraht um den feststehenden Magnetstab rotirt hätte, in gleicher Richtung, in welcher der Magnet gedreht wurde. Hieraus ergibt

sich eine sonderbare Unabhängigkeit zwischen dem Magnetismus und dem Stab, worin er befindlich ist.

221) In dem obigen Versuch reichte das Quecksilber etwa bis zur Mitte des Magnetstabes hinauf; indess, wenn auch die Menge desselben bis auf ein Achtelzoll vom oberen Ende vermehrt, oder bis etwa zu eben dem Abstände vom unteren Ende vermindert wurde, traten dieselben Erscheinungen und *dieselbe Richtung* des elektrischen Stromes ein. Allein bei diesen beiden äußersten Verhältnissen schienen die Wirkungen nicht so stark zu seyn, wie wenn die Quecksilberfläche in der Mitte des Stabes oder zwischen dieser und einem Zoll von einem der Enden lag. Der Magnet war  $8\frac{1}{2}$  Zoll lang, und hielt  $\frac{3}{4}$  Zoll im Durchmesser.

222) Wurde der Magnet umgekehrt, und dann in derselben Richtung zum Rotiren gebracht, d. h. in beiden Fällen entweder schraubenrecht oder umgekehrt, so entstand ein entgegengesetzter elektrischer Strom. Wenn aber der Magnet, in Bezug auf seine *eigene* Axe, fortwährend in der nämlichen Richtung gedreht ward, dann war die Elektrizität, welche an seinem Aequator oder in dessen Nachbarschaft, oder in den demselben entsprechenden Theilen gesammelt wurde, derjenigen entgegengesetzt, welche an den beiden Polen gesammelt ward. Wird der Magnet parallel der Erdaxe gehalten, mit seinem ungezeichneten Pol gegen den Polarstern gerichtet, so daß seine oberen Theile von Westen nach Osten gehen, in Uebereinstimmung mit der Axendrehung der Erde, so kann man positive Elektrizität an seinen beiden Enden, und negative in oder bei seiner Mitte sammeln.

223) War der Galvanometer sehr empfindlich, so reichte, wenn der eine Galvanometerdraht das Ende des Stabes, und der andere die Aequatorial-Theile desselben berührte, das bloße Umherkreisen des Magnetstabs in der Luft hin, einen elektrischen Strom zu erregen und die Nadel abzulenken.

224) Nun wurden Versuche mit einem ähnlichen Magnetstab angestellt, um auszumitteln, ob irgend eine Rückkehr vom elektrischen Strome an den centralen oder Axentheilen stattfindet, da sie gleiche Winkelgeschwindigkeit wie die übrigen Theile haben (259.).

225) Ein cylindrischer Magnetstab, sieben Zoll in Länge und drei Viertelzoll im Durchmesser, wurde an einem Ende, in Richtung seiner Axe, mit einem drei Zoll tiefen und einen Viertelzoll weiten Loch versehen. Ein mit Papier umwickelter und an beiden Enden amalgamirter Kupfercylinder wurde in dem Loch befestigt, so daß er am unteren Ende durch etwas Quecksilber in metallischer Berührung mit der Mitte des Magnets stand, an den Seiten durch Papier isolirt war, und etwa einen Viertelzoll zum oberen Ende des Magnetstabs herausragte. Auf dem Kupferstab wurde eine Federpose geschoben, so daß sie bis zu dem Papier hinabreichte und oben ein Näpfchen bildete, um das zum Schließen des Bogens nöthige Quecksilber aufzunehmen. Auch das obere Ende des Magnetstabs ward mit einem hohen Papierrand umgeben, und in diesen Quecksilber geschüttet, welches indess in keiner metallischen Verbindung mit dem in der Federpose stand, ausgenommen durch den Magnet selbst und den Kupferstab (Taf. V Fig. 11). Die Drähte *A* und *B* von dem Galvanometer wurden in diese beiden Portionen Quecksilber getaucht, und der etwa vorhandene Strom konnte daher durch sie nur hinab nach den Aequatorial-Theilen des Magnets, und von da wieder herauf nach dem Kupferstab gehen, oder umgekehrt.

226) Wenn nach dieser Vorrichtung der Magnetstab schraubenrecht in Rotation gesetzt wurde, wich das gezeichnete Ende der Galvanometernadel nach Westen ab, als Anzeige, daß ein elektrischer Strom durch das Instrument von *A* nach *B*, und folglich durch den Magnet und Kupferdraht von *B* nach *A* ging (Taf. V Fig. 11).

227) Der Magnet wurde nun, wie zuvor (219.), in



eine Flasche mit Quecksilber (Taf. V Fig. 12) gesetzt, der Draht *A* in Berührung mit der Kupferaxe gelassen, aber der Draht *B* in das Quecksilber der Flasche getaucht, also in metallische Communication mit den Aequatorial-Theilen des Magnets gesetzt, statt er früher mit dem Polarende verbunden war. Bei schraubenrechter Axendrehung des Magnets wurde die Galvanometernadel in derselben Richtung wie zuvor abgelenkt, aber weit kräftiger. Es ist indess klar, daß die Theile des Magnets vom Aequator bis zum Pol sich außerhalb des magnetischen Bogens befanden.

228) Darauf wurde der Draht *A* mit dem Quecksilber an dem Ende des Magnets verbunden, während der Draht *B* noch mit dem in der Flasche in Berührung blieb (Taf. V Fig. 13), so daß die Kupferaxe ganz außerhalb des Bogens blieb. Der wiederum schraubenrecht in Rotation versetzte Magnetstab bewirkte abermals eine Ablenkung der Nadel; der Strom war eben so stark wie bei dem letzten Versuch (227.), und viel stärker als bei dem ersten (226.).

229) Hieraus ist klar, daß in der Mitte des Magnets keine Entladung des Stroms stattfindet, denn der, nun frei entwickelte Strom ging aufwärts durch den Magnet, während er in dem ersten Versuch (226.) hinabging. In der That war damals nur der Theil des sich bewegenden Metalls, welcher sich gleich einem Scheibchen vom Ende des Drahts *B* im Quecksilber bis zum Draht *A* erstreckte, der wirksame, d. h. derjenige, welcher sich mit anderer Winkelgeschwindigkeit drehte, als der übrige Bogen (258.); und für diese Portion stimmt die Richtung des Stroms mit den übrigen Resultaten überein.

230) In den beiden letzten Versuchen sind die *Seitentheile* des Magnets oder Kupferstabs die sich bewegenden in Bezug auf die anderen Theile des Bogens, d. h. auf die Galvanometerdrähte; und da sie ausgedehnter sind, mehr magnetische Curven schneiden, oder sich

mit größerer Schnelligkeit bewegen, so erzeugen sie einen größeren Effect. In dem scheibenförmigen Theil geht der durch die Vertheilung erregte Strom immer vom Umfang zum Mittelpunkt.

231) Das Gesetz, nach welchem der elektrische Strom in Körpern, die sich in Bezug auf Magnete bewegen, von der Durchschneidung der magnetischen Curven seitens des Metalls (114.) abhängt, ist dadurch genauer und bestimmter geworden, und scheint nun selbst auf den Fall im ersten Abschnitt des vorbergehenden Aufsatzes anwendbar zu seyn; und indem es einen vollkommenen Grund für die erzeugten Effecte giebt, raubt es jeden für die Annahme des eigenthümlichen Zustandes, welchen ich den elektro-tonischen Zustand zu nennen wage (60).

232) Wenn ein elektrischer Strom durch einen Draht geleitet wird, so ist letzterer an jeder Stelle von magnetischen Curven umgeben, die mit ihrem Abstände von dem Drahte schwächer werden, und sich mit Ringen vergleichen lassen, die in senkrechten Ebenen gegen den Draht, oder vielmehr gegen den in demselben vorhandenen Strom gelegen sind. Diese Curven sind, obwohl von anderer Form, vollkommen denen analog, die zwischen zwei gegenüberliegenden Magnetpolen entgegengesetzter Art existiren; und wenn ein zweiter Draht demjenigen, welcher den Strom durchleitet, in paralleler Lage genähert wird (18.), so geht er durch magnetische Curven genau von gleicher Art mit denen, welche er durchschneiden würde, wenn er in gerader Linie zwischen zwei entgegengesetzte Magnetpole geführt wird (109.); und so wie er sich von dem erregenden Draht entfernt, schneidet er die Curven um denselben in gleicher Weise, als er die zwischen denselben Polen schneiden würde, wenn man ihn in der anderen Richtung zwischen führte.

233) Wenn der Draht  $NP$  (Taf. V Fig. 17) in der Richtung von  $P$  nach  $N$  einen elektrischen Strom

hindurch läßt, so kann der punktirte Ring eine der ihn umgebenden magnetischen Curven vorstellen, und in dieser Richtung stellen bewegliche Magnetnadeln sich so, wie es die Figur zeigt, wo  $n$  und  $s$  die Nord- und Südpole bezeichnen (44. Anmerkung).

234) Wenn man aber den elektrischen Strom für eine Weile unterbricht und Magnetpole zum Richten der Magnetnadeln anwendet, so müssen diese, wenn die Nadeln dieselbe Lage haben sollen, wie vorhin unter dem Einfluß des elektrischen Stroms, in die Taf. V Fig. 18 abgebildete Stellung gebracht werden, d. h. die Pole  $a$   $b$  über dem Draht müssen entgegengesetzte Lage haben, wie die Pole  $a'b'$  unter dem Draht. Für solche Lage haben demnach die magnetischen Curven zwischen den Polen  $ab$  und  $a'b'$  dieselbe allgemeine Richtung mit den entsprechenden Theilen der ringförmigen magnetischen Curve, welche den den elektrischen Strom fortleitenden Draht umgiebt.

235) Wenn nun der zweite Draht  $p'n$  (Taf. V Fig. 17) dem den Strom leitenden Hauptdraht genähert wird, so schneidet er eine Anzahl magnetischer Curven von ähnlicher Richtung wie die abgebildeten, und folglich von ähnlicher Richtung wie die zwischen den Polen  $ab$  der Magnete (Fig. 18); und zwar schneidet er die Curven des Stroms in derselben Weise, wie er die Curven des Magnets schneiden würde, wenn man ihn von oben zwischen durch die Pole nach unten führte. Eine solche Intersection der Curven des Magnets würde aber in dem Draht einen elektrischen Strom von  $p$  nach  $n$  erregen (114.); und da die Curven des Stroms eine gleiche Anordnung haben, so muß aus deren Durchschneidung dieselbe Wirkung entspringen. Diefs ist wirklich der Fall, denn bei der Annäherung wird ein secundärer Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem Hauptstrom (19.) erregt.

236) Wird der Draht  $p'n'$  von unten nach oben  
ge-

geführt, so geht er zwar in entgegengesetzter Richtung zwischen durch die Pole; da aber dann auch die Pole selbst umgekehrt liegen (Taf. V Fig. 18), so behält der secundäre Strom die frühere Richtung (114.). Aus eben so hinlänglichem und einfachem Grunde geht er auch noch in gleicher Richtung, wenn er durch den Einfluss der von dem Draht abhängigen Curven erzeugt wird.

237) Hält man den zweiten Draht in Ruhe neben dem Hauptdraht, so wird kein Strom in ihm erregt, denn er durchschneidet keine magnetischen Curven. Wird er aber von dem Hauptdraht entfernt, so schneidet er die magnetischen Curven in entgegengesetzter Richtung wie zuvor (235.); und deshalb wird ein Strom von umgekehrter Richtung wie früher erregt, d. h. von gleicher Richtung mit dem Hauptstrom (19.). Dasselbe würde geschehen, bewegte man den Draht in Bezug auf die Magnetpole (Fig. 18) in umgekehrter Richtung, so dass er die daselbst vorhandenen Curven in entgegengesetzter Richtung wie zuvor schneiden müsste.

238) Bei den ersten Versuchen (10. 13.) behielten beide Drähte, der erregende wie der erregte, einen festen Abstand von einander, und durch den ersteren wurde der elektrische Strom gesandt. In solchen Fällen muss man annehmen, die magnetischen Curven bewegten sich (wenn dieser Ausdruck erlaubt ist) senkrecht gegen den zweiten Draht, vom Moment der Entwicklung des Stroms bis zu dem seiner grössten Stärke; diese Ausbreitung der Curven bewirkt dasselbe, wie wenn der zweite Draht gegen diese Curven oder gegen den stromleitenden Draht bewegt wird. Aus diesem Grunde hat der in diesen Fällen erregte secundäre Strom entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom (17. 235.). Beim Oeffnen der Volta'schen Batterie kann man sich denken, die magnetischen Curven (was ein bloßer Ausdruck für Anordnung magnetischer Kräfte ist) zögen sich zusammen und kehrten zu dem verschwindenden elektrischen Strom zurück, be-

wegten sich also in entgegengesetzter Richtung senkrecht gegen den Draht, wodurch dann ein secundärer Strom von umgekehrter Richtung wie zuvor erregt wird.

239) Wenn man bei Versuchen mit gewöhnlichen Magneten, diese, statt sie den Drähten zu nähern, sich erst neben ihnen bilden läßt (27. 36.), so kann man annehmen, es finde eine ähnliche progressive Entwicklung der magnetischen Curven statt. Die Wirkungen dabei entsprechen der Bewegung der Drähte in einer Richtung; die Aufhebung der magnetischen Kraft entspricht einer Bewegung der Drähte in entgegengesetzter Richtung.

240) Wenn man, statt die magnetischen Curven des Stroms in einem geraden Draht von einem zweiten Draht mittelst Annähern oder Entfernen durchschneiden zu lassen (235.), eine rotirende Scheibe anwendet, die man zu diesem Zweck neben den Draht, mitten in den magnetischen Curven, aufgestellt hat, so müssen sich in derselben continuirliche elektrische Ströme entwickeln. Und wenn eine Linie vom Draht zu dem Mittelpunkt der Scheibe auf beiden senkrecht steht, muß der secundäre Strom, dem Gesetz (114.) zufolge, die Scheibe von einer Seite nach der andern hin durchkreuzen, rechtwinklig gegen die Richtung des erregenden Stroms.

241) Durch einen einfachen Draht von  $\frac{1}{16}$  Zoll Durchmesser wurde ein elektrischer Strom geleitet und dicht unter demselben, doch nicht in wirklicher Berührung mit demselben (Taf. V Fig. 16), eine kleine Kupferscheibe von anderthalb Zoll Durchmesser zum Rotiren gebracht. An zwei gegenüberliegende Stellen des Scheibenrandes wurden Collectoren gesetzt, und diese durch Drähte mit dem Galvanometer verbunden. Als die Scheibe in einer Richtung rotirte, wich die Nadel nach einer Seite ab; als die Rotation umgekehrt wurde, ging sie nach der entgegengesetzten Seite, übereinstimmend mit den früheren Resultaten.

242) So sind dann die Gründe verschwunden, wel-

the mich bewogen, einen besonderen Zustand in dem Draht anzunehmen. Und obgleich ich es nicht für wahrscheinlich halte, daß ein ruhender Draht in der Nachbarschaft eines anderen, der einen kräftigen elektrischen Strom leitet, ganz indifferent gegen diesen sey, so kenne ich doch keine *Thatsache*, die zu dem Schlusse berechtigte, daß er sich in einem besonderen Zustande befinde.

243) Beim Nachdenken über die Natur der Ursache, die ich in diesen Aufsätzen zur Erklärung des gegenseitigen Einflusses von Magnetstäben und bewegten Metallen angeführt habe, und beim Vergleiche derselben mit der bisher angenommenen, nämlich der Erregung eines schwachen Magnetismus gleich dem im Eisen erzeugten, fiel es mir bei, daß sich über die Richtigkeit der beiden Ansichten ein sehr entscheidender Versuch anstellen lasse (215.).

244) Keine andere bekannte Kraft wirkt in ähnlicher Richtung, wie die zwischen einem elektrischen Strom und einem Magnetpol. Sie wirkt tangential, während alle anderen in Distanz thätigen Kräfte direct wirken. Wenn demnach ein Magnetpol, der sich an einer Seite einer rotirenden Scheibe befindet, ihrem Laufe folgt, indem er der Tangentialkraft gehorcht, welche auf ihn von dem eben durch ihn erregten elektrischen Strom ausgeübt wird, so müßte ein gleichnamiger Pol, an der anderen Seite der Scheibe angebracht, diesen sogleich von jener Kraft befreien; denn die Ströme, welche sich durch die Action der beiden Pole zu bilden suchen, haben entgegengesetzte Richtungen; oder vielmehr es würde kein Strom erregt, oder keine magnetische Curve geschnitten (114) und folglich der Magnet in Ruhe bleiben. Wenn dagegen die Wirkung des Magnetpols dahin geht, Südpolarität in den nächsten Theilen der Kupferscheibe, und sonst überall eine diffuse Nordpolarität (82.) hervorzurufen, wie es wirklich beim Eisen der Fall ist, dann müßte die Anwendung eines zweiten Nordpols auf der entgegengesetz-

ten Seite derselben Stelle der Scheibe die Wirkung, statt sie zu zerstören, verdoppeln, und eben so auch die Tendenz des ersten Magnets, sich mit der Scheibe zu bewegen.

245) Eine dicke Kupferscheibe (85.) wurde deshalb an einer Verticalaxe befestigt und ein Magnetstab an einer seidenen Schnur so aufgehängt, daß sein gezeichneter Pol über dem Rand der Scheibe schwebte. Nachdem ein Bogen Papier zwischen gelegt worden, wurde die Scheibe in Rotation versetzt; augenblicklich gehorchte der Magnetpol ihrer Bewegung und ging in gleicher Richtung mit ihr fort. Nun wurde ein zweiter Magnet von gleicher Größe und Stärke mit dem ersten aufgehängt, so daß sein gezeichneter Pol, wie es Taf. V Fig. 14 zeigt, sich unter dem Scheibenrand befand, eben so weit von demselben und ähnlich liegend wie der obere Stab. Dann wurde wie zuvor ein Papierschild dazwischen geschoben und die Scheibe in Umdrehung versetzt; indess zeigten sich die Pole ganz indifferent gegen ihre Bewegung, wiewohl sie einzeln für sich dem Laufe der Rotation gefolgt seyn würden.

246) Kehrete man den einen Magnetstab um, so daß ungleichnamige Pole einander gegenüber lagen, so war die Wirkung zwischen den Polen und der sich drehenden Scheibe ein Maximum.

247) Hing man einen einzigen Magnet so auf, daß er mit seiner Axe im Niveau der Scheibe lag, und diesen oder jenen Pol dem Rande zuekehrte, so wurde er beim Rotiren der Scheibe nicht bewegt. Die von der Vertheilung abhängigen elektrischen Ströme würden nun suchen, sich in verticaler Richtung, der Dicke der Platte nach, zu entwickeln, konnten sich aber nicht entladen, oder wenigstens nicht bis zu dem Grade, daß dadurch sichtbare Wirkungen hervorgebracht wurden. Die gewöhnliche magnetische Vertheilung, wie sie eine Eisen-

platte zeigt, würde sich eben so kräftig, wenn nicht gar kräftiger, in einer solchen Lage entwickelt haben.

248) Der gezeichnete Pol eines grossen Magnetstabs wurde unter den Rand der Platte gestellt, und dann die Scheibe, nachdem Collectoren (86) an ihrer Axe und ihrem Rand angesetzt und mit dem Galvanometer verbunden waren (Taf. V Fig. 15), in Rotation versetzt; sogleich ging ein kräftiger Strom in das Instrument. Nun wurde ein ähnlicher Magnet oberhalb der Platte aufgestellt, so dass ungleichnamige Pole einander gegenüber lagen. Beim Rotiren der Platte wurde ein noch kräftigerer Strom erregt. Darauf wurde der letztere Magnet umgedreht, so dass über und unter derselben Stelle der Platte gezeichnete Pole befindlich waren. Nachdem der Abstand der Pole (von der Platte) ihrer relativen Stärke gemäß ajustirt worden war, wurden sie in ihrer vertheilenden Wirkung auf die Platte zuletzt zu einer so vollkommenen Neutralisation gebracht, dass bei der schnellsten Rotation keine Elektrizität mehr erhalten werden konnte.

249) Ich schritt nun zum Vergleiche der Wirkungen gleich- und ungleichnamiger Pole auf Eisen und Kupfer, und bediente mich dazu Hrn. Sturgeon's nützlicher Abänderung des Arago'schen Versuchs. Diese besteht darin, dass man eine runde Metallscheibe von einer horizontalen Axe in einer verticalen Ebene tragen lässt, und sie entweder an einer Randstelle etwas beschwert, oder ihre Axe etwas excentrisch macht, so dass sie gleich einem Pendel schwingen kann. Die Pole der Magnete werden dann an der Seite oder an dem Rande dieser Scheibe aufgestellt, und die Zahl der Schwingungen aufgezeichnet, welche erforderlich sind, um den Schwingungsbogen auf eine gewisse constante Grösse zurückzuführen. Bei Beschreibung dieses Instruments \*) wird gesagt, die ungleichnamigen Pole bewirkten die

\*) *Edinb. Phil. Journ.* 1825. p. 124.



größte Verzögerung, und die gleichnamigen keine; und doch wird weiterhin die Wirkung als gleichartig mit der im Eisen erzeugten betrachtet.

250) Ich hatte zwei solcher Scheiben, eine von Eisen, und die andere von Kupfer verfertigen lassen. Die Kupferscheibe machte für sich, im Mittel aus mehreren Versuchen, sechszig Schwingungen, ehe der Schwingungsbogen auf eine angezeichnete constante GröÙe herabsank. Nachdem dies- und jenseits der Platte, nahe bei einer und derselben Stelle, ungleichnamige Pole hingestellt worden waren, wurden die Schwingungen auf funfzehn reducirt. Als gleichnamige Pole dahin gebracht wurden, stiegen sie auf funfzig, und als die Magnetstäbe durch zwei eben so große Holzstäbe ersetzt wurden, auf zwei- und funfzig. Bei Anwendung gleichnamiger Pole war also die magnetische Wirkung schwach oder Null (denn die Verzögerung rührte vielmehr von der Auffangung der Luft her), während sie bei ungleichnamigen Polen ihr Maximum erreichte. Wenn ein Pol dem Rande der Scheibe gegenüber aufgestellt ward, fand keine Verzögerung statt.

251) Die Eisenscheibe machte für sich allein zwei- und dreißig Vibrationen, während der Schwingungsbogen um eine gewisse GröÙe abnahm. Als ein Magnetpol dem Rande dieser Scheibe (247.) gegenüber gehalten wurde, machte sie nur elf Schwingungen, ja nur gar fünf, als der Pol dem Rande bis auf einen halben Zoll genähert ward.

252) Als der gezeichnete Pol zur Seite der Scheibe in einem gewissen Abstände aufgestellt wurde, machte sie nur fünf Schwingungen. Wurde nun der gezeichnete Pol des zweiten Magnetstabs an der anderen Seite der Scheibe, in gleichem Abstände von ihr, (250.) aufgestellt, so nahmen die Schwingungen bis auf zwei ab. War aber der zweite Pol ein ungezeichneter, sonst aber genau in derselben Lage, so stiegen die Schwingungen bis auf zweiundzwanzig. Wurde der stärkere dieser beiden ungleichnamigen Pole ein wenig weiter von der Platte

abgerückt, so stieg die Zahl der Schwingungen bis auf einunddreißig, also nahe bis zur ursprünglichen Menge. Als er aber gänzlich entfernt wurde, sank diese Zahl bis auf fünf oder sechs herab.

253) Nichts kann demnach deutlicher seyn, als das beim Eisen und bei anderen Körpern, die der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung fähig sind, *ungleichnamige* Pole an entgegengesetzten Seiten des Randes der Scheibe einander in ihren Wirkungen aufheben, während *gleichnamige* Pole die Wirkung verstärken. Allein beim Kupfer und bei anderen Substanzen, die nicht für die gewöhnliche magnetische Einwirkung empfindlich sind, neutralisiren *gleichnamige* Pole einander, *ungleichnamige* erhöhen die Wirkung, und ein einziger Pol vor dem Rande bewirkt nichts.

254) Nichts kann vollständiger die gänzliche Unabhängigkeit der von Hrn. Arago mit Metallen erhaltenen Wirkungen von denen der gewöhnlichen magnetischen Kräfte darthun; und deshalb wird in's Künftige die Anwendung zweier Pole auf bewegte Substanzen, die magnetisch zu seyn scheinen, ein Prüfmittel geben, von welcher Art ihre magnetischen Wirkungen sind. Wenn ungleichnamige Pole stärker wirken als ein einziger Pol, so rührt die Kraft von elektrischen Strömen her. Wirken dagegen gleichnamige Pole stärker als ein einziger Pol, so ist die Kraft nicht elektrisch. Das bei der Bewegung Thätige in den Metallen und der Kohle ist wohl nicht gleich, und in vielen Fällen wird man wahrscheinlich finden, das die Wirkungen nicht einmal magnetischer Abkunft sind, sondern aus zufälligen, bisher noch nicht beachteten Ursachen entstehen.

255) Die Resultate dieser Untersuchungen scheinen zu beweisen, das es wirklich, aber nur in sehr geringer Zahl, Körper giebt, die nach Art des Eisens magnetisch sind. Ich habe oft nach Anzeigen dieser Kraft in den gewöhnlichen Metallen und anderen Substanzen gesucht,

und einmal, zur Erläuterung von Hrn. Arago's Einwand (82), und in Hoffnung, das Daseyn von Strömen in Metallen durch momentane Näherung eines Magneten zu ermitteln, eine Kupferscheibe an einem einfachen Seidenfaden in einem vortrefflichen Vacuo aufgehängt, und, ausserhalb der Glocke, kräftige Magnete genähert und entfernt, in Uebereinstimmung mit einem Pendel das vibrirte wie es die Scheibe hätte thun sollen; aber es war keine Bewegung zu erhalten; durch das Nähern und Entfernen des Magneten wurden nicht nur keine Anzeigen von gewöhnlichem Magnetismus, sondern auch keine von irgend einem *elektrischen Strom* erhalten. Ich wage daher die Substanzen, in magnetischer Beziehung, in drei Klassen zu theilen; zur ersten gehören die, welche schon bei Ruhe eine Einwirkung erleiden, wie das Eisen, Nickel u. s. w., also die, welche die gewöhnlichen magnetischen Eigenschaften besitzen; die zweite Klasse begreift die, welche eine Einwirkung erfahren, wenn sie sich bewegen, sie sind Elektrizitätsleiter, in denen durch die vertheilende Kraft eines Magneten elektrische Ströme erregt werden; die dritte Klasse umfaßt die, welche sowohl in Ruhe als auch in Bewegung völlig indifferent gegen den Magneten sind.

256) Obgleich zur richtigen Kenntnifs der Wirkungsart zwischen einem Magnet und einem bewegenden Metall noch fernere experimentelle wie mathematische Untersuchungen nöthig sind, so scheinen doch einige der bereits erhaltenen Resultate klar und einfach genug, um einen Ausdruck in einer etwas allgemeinen Weise zu erlauben. Wenn man einen Draht von begränzter Länge bewegt, so daß er eine magnetische Curve schneidet, so wird eine Kraft in Thätigkeit gesetzt, welche längs ihm einen elektrischen Strom hindurchzutreiben sucht; allein dieser Strom wird nicht eher in's Daseyn gerufen, ehe nicht an den Enden des Drahts Vorkehrungen zu seiner Entladung und Erneuerung getroffen sind.

257) Bewegt sich ein zweiter Draht in gleicher Richtung mit dem ersten, so wird auf ihn dieselbe Kraft ausgeübt, und er ist daher unfähig, den Zustand des ersten zu ändern. Denn es scheinen unter den Substanzen keine natürlichen Unterschiede vorhanden zu seyn, vermöge welcher, wenn man sie zu einem Bogen verbindet und gegen den Magnet unter gleichen Umständen bewegt, die eine einen kräftigeren elektrischen Funken in dem ganzen Bogen, als die andere hervorzurufen suchte (201. 214.).

258) Bewegt sich aber der zweite Draht mit einer anderen Schnelligkeit oder in anderer Richtung als der erste, dann finden Kraftveränderungen statt, und wenn man sie an den Enden verbindet, geht längs ihnen ein elektrischer Strom durch.

259) Nimmt man nun eine Metallmasse oder einen endlosen Draht, und alle Theile bewegen sich in Beziehung auf den Magnetpol als einen Wirkungsmittelpunkt (was, wiewohl es nicht streng richtig ist, hier des leichteren Ausdrucks halber erlaubt seyn mag), in gleicher Richtung und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit, und durch magnetische Curven von constanter Intensität, so werden keine elektrischen Ströme erregt. Diefs ist bei Massen, die dem Erdmagnetismus unterworfen werden, leicht zu beobachten, und auch in Bezug auf kleine Magnete zu beweisen; bei Rotation derselben wird kein elektrischer Strom hervorgerufen.

260) Wenn ein Theil des Drahts oder Metalls die magnetischen Curven schneidet, während der andere ruhend bleibt, so werden Ströme erregt. Alle mit dem Galvanometer zu erhaltende Resultate sind mehr oder minder von dieser Natur, da das galvanometrische Ende der stillstehende Theil ist. Selbst die mit dem Draht, dem Galvanometer und der Erde (170.) können, ohne merklichen Fehler in dem Resultat, als hieher gehörig betrachtet werden.

261) Bewegt sich das Metall in derselben Richtung, aber in seinen einzelnen Theilen mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit gegen den Magnetpol, so sind Ströme da. Diefs ist der Fall in Arago's Versuch, und auch bei dem Draht, welcher, als er von West gen Ost geführt ward, der erdmagnetischen Vertheilung unterworfen war (112.).

262) Wird der Magnet den Apparaten nicht geradezu genähert oder von ihnen entfernt, sondern seitwärts bewegt, dann ist der Fall dem letzten ähnlich.

263) Werden verschiedene Theile in entgegengesetzten Richtungen senkrecht gegen die magnetischen Curven bewegt, dann ist der Effect ein Maximum für gleiche Geschwindigkeiten.

264) Alles dieses sind in der That nur Variationen einer einfachen Bedingung, nämlich, dafs sämtliche Theile der Masse sich nicht in gleicher Richtung gegen die Curven und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit bewegen.

---

### V. *Einfache Hervorbringung des magnetischen Funkens.*

---

**D**er mittlere Theil des Ankers eines horizontal gelegten Hufeisen-Magneten *NMS* (Fig. 19 Taf. V), von 10 bis 12 Pfund Tragkraft, ist mit etwa 50 Windungen in mehreren Lagen eines mit Seide besponnenen  $\frac{1}{4}$  Linie dicken Kupferdrahts umwickelt. Die beiden Drahtenden *AB*, *CD*, Fig. 19 Taf. V, jedes 6 bis 7 Zoll lang, werden von Seide entblößt und in die Ebene des Magneten gebogen, so dafs sie an der Stelle *E* sich berühren. In dieser Lage bleiben sie leicht, wenn man die Stellen *A* und *C* an der Drahtspirale mit einem Faden festbindet.