III.

*Versuche über die Einwirkung des Erd-Magnetismus
auf bewegliche Electro-Magnete,*

zur sichern Begründung seiner Theorie der Circular-Polarität,
und zur Widerlegung der Ampère'schen Ansichten;

von

POHL, Prof. d. Math. u. Ph. am Fr. W. Gymn. in Berlin.

Die folgenden Versuche sind mit einem Apparate gemacht, der Triaden-weise zusammengesetzt war, aus 16 Kupferplatten von 18,5 Zoll Länge und 12,5 Zoll Breite, aus halb so viel beinahe eben so grossen Zinkplatten, und aus Pappscheiben, die mit verdünnter Schwefelsäure getränkt wurden. Sämmtliche Kupferplatten waren auf der einen Seite durch angelöthete, rechtwinklig in die Hölle gebogene Kupferstreifen verbunden, welche mit einer Schraubzwinge von Messing an einander geprefst wurden. Eben so waren auf der entgegengesetzten Seite alle Zinkplatten zu einer einzigen zusammenhängenden Fläche vereinigt. Lange und starke Messingdrähte, mit amalgamirten kupfernen Endspitzen versehen, leiteten die Wirkungen von den beiden Schraubzwingen in zwei mit Quecksilber gefüllte Gefässe, aus denen die beweglichen Leiter ihren Magnetismus empfangen.

Mit dem Theoretischen dieser Versuche, und mit der Ueberzeugung von der innern Nothwendigkeit ihres Erfolgs, bin ich schon seit geraumer Zeit im Rei-

nen gewesen. Das Technische dieser Art von Experimenten bietet indeß mancherlei eigenthümliche Schwierigkeiten dar, die ich bei den vielen Unterbrechungen und Hindernissen, unter welchen meine Lage mir nur zu experimentiren gestattet, erst nach einigen mißlungenen Bemühungen und nach beträchtlichem Zeitverluste überwunden habe. Jetzt halte ich mich für berechtigt, diese Versuche als eine Hauptstütze der Theorie der electro-magnetischen Circular-Polarität zu betrachten, und durch sie die Phänomenologie des neuen physikalischen Gebiets in dem Grade gelichtet zu sehn, daß die einzelnen Erscheinungen auf demselben einem sicheren, auf zuverlässige Principien gegründeten Calcul völlig zugänglich sind.

Um diese Darlegungen zu einem selbstständigen, für sich verständlichen Ganzen zu machen, sey es mir erlaubt, ehe ich zur Beschreibung der Versuche selbst übergehe, das *Wesen der Circular-Polarität*, als leitende Grundidee des Ganzen, hier in wenig Worten vorher anzusprechen.

1. Jeder (metallische) von (galvanischer) Electricität ergriffene, oder, wie man sagt, durchströmte Leiter, wird eben dadurch auch zu einem Magnete, dergestalt, daß jede Querzone desselben, welche auf der Richtung des hypothetischen Stroms senkrecht oder beinahe senkrecht ist, eine in sich zurücklaufende Magnetnadel, oder einen *Circular-Magnet* bildet, so daß, wenn man in Gedanken dem Strom der + E folgt, überall rings herum nach der Linken hin Südpolarität, nach der Rechten hin Nordpolarität statf findet.

2. Wenn also in a , Taf. IV Fig. 1, der horizontale Durchschnitt eines verticalen cylindrischen Leiters ist, in dessen oberes Ende die $+E$ eintritt, so zeigt sich auf der Oberfläche dieses Leiters, in diesem und jedem andern horizontalen Durchschnitte, rings herum nach der Richtung $bcde$ magnetische Nord-Polarität, nach der entgegengesetzten Richtung $bedc$ Süd-Polarität. — Einen Nord- und Süd-Pol giebt es hier also gar nicht, oder man müßte uneigentlicher Weise jeden Punkt als Nord- und Süd-Pol zugleich ansehen, und mithin deren unendlich viele annehmen; welches physikalisch ganz in demselben widerspruchlosen Sinne zu fassen ist, in welchem man in der Mathematik den Kreis und die Curven als Polygone von unendlich vielen geraden Seiten betrachtet.

3. Wenn daher f als ein magnetisch-erregter oder erregbarer Punkt gesetzt wird, und man zieht an die Durchschnitte-Curve a , in deren Ebene f liegt, von f die Tangenten fg , fh , und durch die Berührungspunkte b und c in der Oberfläche des Leiters, auf den Durchschnitt senkrechte gerade Linien, so wirkt das von den letzteren eingeschlossene Stück der Oberfläche des Leiters auf f wie ein Transversal-Magnet, dessen äußerste durch c und b gehende Polarkanten, jene nordpolar, diese süd-polar wären.

4. Ist also f der Nordpol einer um i beweglichen Magnetnadel, so wird f von der Nordpolar-Linie nach k hin abgestoßen, und von der Südpolar-Linie eben dahin angezogen, und die Nadel erhält eine dem gemäße Abweichung ik . Ist hingegen in f der Nordpol eines starken Magnets und der Leiter beweglich, so wird letzterer, wenn die Wirkung kräftig genug

ist die mechanischen Hindernisse zu besiegen, nach entgegengesetzten Tangential - Richtungen, welche durch die besondern Bedingungen seiner Beweglichkeit bestimmt werden, sich bewegen. Er wird z. B. um seine Axe in der Richtung *bede* rotiren, wenn die Unbeweglichkeit der Axe selbst ihm keine andere Bewegung gestattet; oder er wird in der Richtung *nam* einen größern oder kleinern Bogen des zum Halbmesser *la* gehörigen Kreises durchlaufen, wenn es ihm allein gestattet ist, um das feste Centrum in *l* sich zu drehen; oder er kann beide Bewegungen in gleicher Richtung zugleich machen etc.

Man denke sich nun statt der Wirkung aus *f*, die Wirkung des Erd-Magnetismus auf den electromagnetischen Leiter, welche, wie aus einem unendlich entfernten Punkte, in der sich parallelen Richtung der magnetischen Inclination vor sich geht. Bei gehöriger Beweglichkeit und hinlänglich starker Erregung, können durch sie gleichfalls wieder den besondern Bedingungen gemäße Bewegungen dieses Leiters erfolgen; und diese sind es, welche in gegenwärtiger Abhandlung besonders beobachtet und untersucht werden sollen. Die Fundamental-Verfuche habe ich zunächst mit *geradlinien* Leitern angestellt. Nach ihnen ist es nicht schwer auch auf die zusammengesetzten Erscheinungen zu schließen, welche andere Leiter darbieten, die entweder aus lauter geradlinien Theilen, oder aus unendlich viel geradlinien Elementen bestehen, in welchem letztern Falle die Bestimmung des Verhältnisses ihrer richtenden oder rotirenden Kraft bei gegebener Form und Masse, unter sonst

gleichen Umständen, allemal von einer Integration abhängig seyn wird.

Es kommt bei den Fundamental-Verfuchen auf den Winkel an, den der geradlinie Leiter mit der Richtung der magnetischen Inclination macht; also, wenn die letztere für den Ort des Experiments ein für alle Mal gegeben ist, auf die Neigung des Leiters gegen den Horizont. Die einfachsten und ersten Fälle sind hier diejenigen, in welchen der Leiter horizontal, oder auf der Ebene des Horizonts senkrecht ist; mit einem nach dem andern derselben fange ich die Betrachtung an.

I. Wirkung des Erd-Magnetismus auf einen horizontalen Leiter.

Es sey *ab*, Fig. 2, ein horizontal-liegender, um die feste senkrechte Axe bei *b* drehbarer Leiter, und in das frei bewegliche Ende *a* desselben, trete die $+E$ ein. Es zeigen die horizontalen punktirten Pfeile für diesen Fall die Richtung der Circular-Polarität an der untern, der Erde zugekehrten Fläche dieses Leiters, welche sich also gegen den Erd-Magnetismus wie ein Transversal-Magnet verhält, dessen eine Kante *cd* nordpolar, die andere *ef* südpolare ist. Es bedeuten *g . . . g* die in allen Punkten parallel einfallenden Richtungen der Inclination des auf den Leiter wirkenden Erd-Magnetismus. Da nun dieser in unserer Hemisphäre von unten herauf wie der Südpol eines Magnets wirkt, so wird von ihm die südpolare Kante *ef* nach der Richtung NOS fortgestoßen, die nordpolare Kante *cd* nach eben der Richtung gezogen, und diese Wirkung wiederholt sich in jeder neuen Lage des Leiters immer von neuem; also muß er unablässig

in der Richtung von N durch O nach S in einem Kreise umher laufen. Wenn dagegen in das Axenende bei *b* die + E eintritt, so wird die Rotation in entgegengesetzter Richtung, von N durch W nach S erfolgen, weil dann die Richtung der Circular-Polarität der vorigen entgegengesetzt ist.

Ein gemeiner Transversal-Magnet, der an seinen in fixirten Linien abgegränzten Polarkanten, auch von außen her durch den Erd-Magnetismus sollicitirt wird, muß sich zwar in gleichen Lagen und bei gleicher Beweglichkeit nach denselben Richtungen drehen, unfehlbar aber im östlichen oder westlichen Azimuth (mit der nordpolaren Kante nach N, mit der südpolaren nach S gerichtet) zur Ruhe kommen. Der obige electro-magnetische Leiter hingegen, auf welchem diese Polarkanten nicht reell, auf eine äußerliche Weise, sondern nur vermöge einer aus der Mitte und aus dem Innern der sollicitirten Fläche hervorgehenden Thätigkeit vorhanden sind, wird unablässig rotiren. Diese Rotation muß da am schnellsten und leichtesten erfolgen, wo die Wirkung des Erd-Magnetismus den beweglichen horizontalen Leiter senkrecht trifft, also da, wo die Inclination 90° ist, oder auf den magnetischen Polen der Erde. Je geringer die magnetische Breite ist, desto geringer wird dieser Erfolg seyn, und unter dem magnetischen Aequator wird er gar nicht statt finden. Zugleich ist klar, daß unter sonst gleichen Umständen der bewegliche Leiter in beiden Hemisphären nach entgegengesetzten Richtungen rotiren muß.

Versuch 4. Auf einem durch drei Seitenschrauben horizontal gerichteten Brette befand sich eine

Kreisrinne aus Messingblech, von 8" Durchmesser, (ab, Fig. 5), deren Seitenwände, mit aufgelöstem Siegelack stark überzogen, 0,4" hoch und 0,5" von einander entfernt waren. Auf einer freien 0,75" hohen Stahlspitze im Centrum *c* der Rinne, schwebte auf einem Agathütchen eine aus sehr dünnem Kupferblech verfertigte, 0,2" breite und 3,75" lange Nadel. An ihrem vordern Ende bei *b* endete sie in einen rechtwinklig nach unten umgebogenen Kupferdraht, das herabgebogene Ende 0,4" lang; und an ihrem hintern Ende befand sich ein dünner, 2" langer Messingdraht mit einem Schrauben-Gewinde, auf dem ein kleines Messing-Kügelchen *d*, als Gegengewicht hin und her geschraubt werden konnte. Die Fassung des Agathütchens erweiterte sich nach oben zu einem kleinen Cylinder-Gefäße, das ein Paar Tropfen Quecksilber faßte. Die Kreisrinne wurde ungefähr bis zur Hälfte der Höhe ihrer Seitenwände mit sehr reinem Quecksilber gefüllt, und das Laufgewicht *d* so weit nach hinten geschraubt, daß die Spitze des herabgebogenen Drahtendes die Oberfläche des Quecksilbers so eben berührte. In das Quecksilber, mit welchem die Fassung des Hütchens gefüllt war, tauchte die Spitze eines mit dem Zinkpole der Kette verbundenen *Drahtes*, wie man aus der Figur ohne weitere Erläuterung übersieht. In dem Augenblicke, in welchem die Kette durch die Verbindung des Quecksilbers in der Rinne mit dem Kupferpole geschlossen wurde, begann die Nadel ihre Rotation von N durch O nach S mit lebhafter Geschwindigkeit, in 16 Secunden den ganzen Umfang 10 mal durchlaufend. Es ist ein bedeutungsvoller Anblick, dieselbe geheimnißvolle Kraft, die so

viele Jahrhunderte hindurch vornehmlich nur in der starren Richtung der Magnetnadel angeschaut wurde, hier plötzlich in der Form eines regen, flüchtig bewegten Kreislaufs sich offenbaren zu sehn. — Ich brachte die Nadel durch den über ihre obere Fläche gehaltenen Südpol eines künstlichen Magneten in möglichst schnelle entgegengesetzte Rotation; aber gleich nach der Entfernung des Magnets nahm die Geschwindigkeit dieser Bewegung ab, wurde schon nach einem halben Kreisläufe 0, und die Nadel begann nach einem momentanen Stillstande sogleich wieder in die vorige Richtung von N durch O nach S zu rotiren. — Wurde die Kette geöffnet, so stand die Nadel sehr bald still, und wenn ich entgegengesetzt schloß, geschah dieselbe Bewegung auch wieder in entgegengesetzter Richtung von N durch W nach S, und hielt an, so lange die Kette geschlossen war *).

Etwas ganz anderes ist es, wenn man die Axe in die Mitte des beweglichen Leiters versetzt, so daß der Punkt, in welchen die + E einströmt, eben so weit als der, bei welchem sie wieder austritt, von der Axe absteht. Denn wenn man nun die beiden an den entgegengesetzten Seiten der Axe befindlichen Hälften der Nadel auf völlig gleiche Weise magnetisch erregt,

*) Zum Gelingen dieses und der folgenden Versuche wird höchst reines Quecksilber erfordert, das man zur Verhütung der schnellen Oxydation der Oberfläche, durch welche die Beweglichkeit unglaublich gehemmt wird, mit stark verdünnter Salpetersäure übergießt. Auch diese muß chemisch rein seyn, weil die fremdartigen Beimischungen störende Niederschläge erzeugen. Die auf dem Quecksilber aufliegende Spitze des rotirenden Leiters muß geglättet und durch salpetersaures Queck-

vernichten sich die Wirkungen des Erd-Magnetismus, die beide nach einer und derselben Richtung zu drehen streben, und die Nadel bleibt in jeder Lage unbewegt. Dieses zeigt der folgende Versuch.

Versuch 2. Es wurde auf die Stahlspitze *c* eine Magnetnadel von doppelter Länge, als die vorigen, mit dem in ihrer Mitte befindlichen Agathütchen gelegt. Ihre beiden, senkrecht herabgebogenen, 0,4“ langen Drahtenden, berührten gleichmäßig die Oberfläche des Quecksilbers in der Rinne, und ein Paar kleine mit Siegellack überzogene Querwände von Pappe, die an zwei diametral entgegengesetzten Stellen zwischen die beiden Seitenwände der Kreisrinne eingeklemmt waren, sonderten das Quecksilber in zwei halbkreisförmige Hälften. Jede dieser beiden Hälften wurde mit einem der Zuleitungs-Drähte verbunden, so daß also die $\pm E$ aus dem einen Halbkreise, die ganze Nadel entlang, in den andern Halbkreis und aus diesem zur Kette zurückgeführt wurde. Die Nadel blieb während der Schließung in jeder Lage, in die sie vor oder während des Schließens versetzt werden mochte, durch den Erd-Magnetismus völlig unbewegt, (welches sie namentlich nach der Ampère-

silber amalgamirt, und die ganze über dem Quecksilber befindliche Oberfläche des Drahts mit aufgelöstem Siegellack überzogen seyn, weil sonst die höher liegenden Theile des Drahts von der Amalgamation allmählig mit ergriffen und in das Quecksilber herabgezogen werden, wodurch die Bewegung ebenfalls beträchtlich oder ganz gehemmt wird. Unter diesen Vorichtsmafsregeln wird derselbe Versuch in unsern, und noch viel mehr in höhern Breiten, gewifs auch mit viel schwächer wirkenden Apparaten auszuführen seyn. P.

schen Hypothese nicht müßte). Dafs nicht etwa mechanische und zufällige Hemmungen, oder eine nachtheilige Construction der Nadel selbst, diese Unbeweglichkeit bewirke, zeigte einestheils die einseitige Wirkung eines genäherten künstlichen Magneten, dem die Nadel nach allen Richtungen sehr lebhaft folgte, anderntheils der folgende Versuch.

Versuch 3. Die Zuleitungs-Drähte in obigem Versuche wurden ausgehängt, die Sperrwände fortgenommen, so dafs nun wieder alle Theile des Quecksilberkreises in leitender Verbindung waren, und die nach oben konisch erweiterte Fassung des Agathütchens der Nadel mit ein wenig Quecksilber gefüllt. In dieses tauchte ich die Spitze des vom Kupferpol ausgehenden Zuleitungsdrahtes der Kette, und hängte dann den andern Zuleitungsdraht in den Quecksilberring, so dafs nun die + E von der Mitte der Nadel aus, durch beide Hälften derselben in entgegengesetzter Richtung strömte. Es mußten sich daher nun die Nadel mit den untern Flächen ihrer beiden Hälften wie zwei entgegengesetzt polare Transversal-Magnete gegen den Erd-Magnetismus verhalten, und durch ihn nach entgegengesetzten Richtungen sollicitirt werden. Bei der entgegengesetzten Lage beider Hälften, der Nadel summirten beide Wirkungen sich dergestalt, dafs die Nadel mit dem Moment der Schließung von N durch W nach S zu rotiren begann, und in dieser Bewegung so lange beharrte, als die Kette geschlossen blieb. Bei umgekehrter Schließung war der Erfolg derselbe, nur die Richtung der Bewegung, wie es seyn mußte, die entgegengesetzte, von N durch O nach S.

II. Wirkung des Erd-Magnetismus auf einen *vertikalen* Leiter.

Es sey *ab*, Fig. 4, ein vertikaler, an dem wag-rechten Hebelarm *cd* befestigter, und mit diesem um den festen Endpunkt *c* des letzteren beweglicher Leiter, in dessen unteres Ende bei *a* die $+E$ eintrete, und der dem gemäß an seiner nach Aufsen gerichteten Seite die in der Figur angedeutete magnetische Polarität erhält. Der, in der Inclinations-Richtung $g \dots g$ von N her auf ihn wirkende Erd-Magnetismus wird ihn folglich in der Richtung NWS hernun treiben. Von dem Augenblicke an, in welchem der Leiter im Endpunkte W des nordwestlichen Azimuthal-Quadranten angelangt ist, und von dort mit früher erlangter Geschwindigkeit sich noch weiter nach S hin zu bewegen fortfährt, beginnt er seine hintere, wie in *ef* polarisirte und folglich auch nach entgegengesetzter Richtung sollicitirte Seite, der Wirkung des Erd-Magnetismus entgegen zu wenden. Die Geschwindigkeit muß also bald bis auf 0 abnehmen, sodann eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung nach W zurück eintreten, und der Leiter nach mehr oder weniger Oscillationen endlich in W zur Ruhe kommen, in welchem Azimuth er sich auch beim Beginnen der Wirkung befunden haben mochte. In W selbst wird die Wirkung der ganzen Kraft, welche der Leiter dort sollicitirt, durch den festen Hebelarm *cd* aufgehoben, und der außer W nach Tangential-Richtungen wirksame Theil derselben, ist desto geringer, je näher der Leiter bereits an W ist. — Wäre die $+E$ nicht in das untere Ende, sondern in das obere bei *b* eingetreten, so würde der Leiter auf gleiche Weise durch den

Erd-Magnetismus nach der Mitte des östlichen Azimuth hingetrieben und nach mehr oder weniger Oscillationen dort festgehalten worden seyn.

Man denke sich zwei solche an den Endpunkten eines horizontalen zweiarmigen Hebels befestigte Leiter, die um die Mitte des letzteren in horizontaler Richtung drehbar sind. Wenn + E in das untere Ende des einen und in das obere Ende des andern dieser beiden Leiter eintritt, so kehren beide dem Erdmagnetismus in jeder Lage entgegengesetzt polarisirte Seiten zu, werden daher auch beide nach entgegengesetzten Richtungen sollicitirt, und da diese Wirkungen auf diametral-entgegengesetzten Punkten stattfinden, summiren sie sich zu gemeinschaftlicher Bewegung, welche den Leiter, in dessen unteres Ende + E eintritt, nach der Mitte des westlichen, den, in dessen oberes Ende + E eintritt, nach der Mitte des östlichen Azimuth hin treibt und darin erhält.

Der vertikale bewegliche electro-magnetische Leiter rotirt also nicht, sondern orientirt sich. Uebrigens erfordert diese Orientirung, wenn sie zu Stande kommen soll, in unsern Breiten, wo die tellurische Wirkung den Leiter nur noch unter dem spitzen Winkel von 20° trifft, schon einen etwas kräftigen Apparat. In höheren magnetischen Breiten wird der Erfolg immer schwieriger, und auf den Polen der Erde findet er aus diesen rein mathematischen Gründen gar nicht mehr Statt, indess er auf dem magnetischen Aequator, wo die Einwirkung unter 90° erfolgt, am leichtesten und schärfsten ausgesprochen ist. In beiden Hemisphären wird unter sonst gleichen Umstän-

den der bewegliche Leiter auf ganz gleiche Weise und in demselben Azimuth sich orientiren. Der Leiter, welcher z. B. in der nördlichen Hemisphäre sich im westl. Azimuth einstellt, indem in sein unteres Ende $\pm$ E eintritt, muß unter eben der Bedingung dasselbe auch in der südlichen Halbkugel thun; zwar wirkt hier von S her die entgegengesetzte Polarkraft auf ihn, aber er wendet ihr seine entgegengesetzt-polarisirte südliche Seite zu, und der Erfolg bleibt also derselbe. Auch fordert dieses die höhere mathematische Gesetzmäßigkeit, da die orientirende Kraft unter dem Aequator in diesem Falle nicht 0 ist, wie beim horizontalen Leiter, der daher auch in beiden Hemisphären unter gleichen Umständen nach entgegengesetzten Richtungen rotirt.

Versuch 4. Ich hatte über der untern Rinne *ab*, eine zweite gleich große kreisförmige und wagerecht gerichtete Rinne *fg*, Fig. 5, so gestellt, auf drei 8,5" hohen Füßen, daß beider Mittelpunkte lothrecht übereinander waren. Statt der vorigen schrob ich in *c* eine 5" hohe Spitze ein, und legte auf diese einen dünnen, mit einem Agathütchen *c'* versehenen Glasstab *de*. An den gleich weit von *c'* entfernten Enden dieses Glasstabes waren zwei 0,2" breite Streifen aus dünnem Kupferblech befestigt, welche sich, wenn das Stäbchen im Gleichgewichte schwebte, in lothrechter Lage befanden, und beide oben und unten in dünne Kupferdräthe endigten, deren amalgamirte (die oberen umgebogene) Enden die Oberfläche des Quecksilbers, mit dem beide Rinnen ungefähr bis zur Hälfte ihrer Höhe gefüllt wurden, nur eben berührten. Das

Quecksilber in der untern Rinne war, wie in Verf. 2, durch eine bei *n* und *s* angebrachte nördliche und südliche kleine Querwand in zwei halbkreisförmige Hälften geschieden, von denen die westliche mit dem Kupferpole, die östliche mit dem Zinkpole des galvanischen Apparats durch die eingehängten Zuleitungsdrähte verbunden wurden. Die $+E$ trat also aus dem westlichen Halbkreise in das untere Ende *a* des einen Streifen *af* ein, folgte demselben bis in den obern Quecksilberkreis, trat aus diesem in das obere Ende *g* des zweiten Streifen *gb* ein, und gelangte durch ihn wieder in den untern östlichen Halbkreis und aus diesem zur Kette zurück. — Im Momente des Schließens setzten sich die beiden Streifen langsam in Bewegung, bis sie nach einigen Secunden stehen blieben, *af* im westlichen, *gb* im östlichen Azimuth. Führt ich vor dem Schließen der Kette den Streifen *af* bis an die nördliche, also *gb* bis an die südliche Scheidewand, so setzte sich, wenn die Kette geschlossen wurde, *af* von N nach W, *gb* von S nach O in Bewegung; wurde dagegen *gb* an *n*, *af* an *s* gelehnt, so wurde beim Schließen der Kette *gb* von N nach O, *af* von S nach W getrieben und dort fest gehalten. — Wenn aber der östliche Halbkreis mit dem Kupferpol, der westliche mit dem Zinkpol der Kette verbunden wurde, so daß die $+E$ jetzt in das untere Ende *b* des Streifen *bg* und in das obere *f* des Streifen *fa* eintrat, so bewegte sich jeder Streifen der ihm zunächst befindlichen Scheidewand zu, und legte sich mit seinem untern Ende an dieselbe an, indem sie ihn hinderte, seiner jetzigen, mit diesem Erfolg offenbar ausgesprochenen und der

Theorie gemäßen Sollicitation nach dem entgegengesetzten Azimuthe hin zu folgen.

Vergleicht man diesen Versuch mit dem im 10ten Stücke des vorigen Jahrgangs dieser Annalen S. 130 beschriebenen, von Hrn de la Rive angestellten, so sieht man in beiden ganz gleiche Resultate, ungeachtet in jenem die lothrechten Seitenarme an ihren obern Enden durch einen horizontalen Draht verbunden waren. Aber eben dieses horizontale Stück, in welchem Herr de la Rive, auf Veranlassung der Ampère'schen Hypothese den Grund der Erscheinungen zu suchen geneigt war, ist (wie der horizontale Leiter in Versuch 2) ganz bewegungslos, und vollkommen unschuldig an dem Hergange, der vielmehr einzig und allein durch die verticalen Schenkel bestimmt, und mit allen Umständen eine so klare und unmittelbare Folge der Theorie der Circular-Polarität ist, daß ich aus dieser die Idee seiner Darstellung und die Nothwendigkeit desselben schon lange zuvor geschöpft hatte, ehe jener de la Rive'sche Versuch bekannt wurde *).

Was wird nun aber geschehn, wenn die $\pm E$ in beiden verticalen Schenkeln gleichmäßig hinab oder gleichmäßig hinauf geleitet wird? Diese Frage beant-

*) Bei der Wiederholung des Versuchs in unfern oder noch höhern Breiten, wird es gut seyn, zur Vermehrung der Momente, den Halbmesser der Rinnen und die Länge der verticalen Seitenarme etwa um ein Drittel der von mir gewählten Längen, oder um noch mehr zu vergrößern. Ungeachtet meines kräftigen Apparats war die Bewegung, wenn gleich völlig entschieden und unzweideutig, doch nur langsam und matt, wozu freilich die etwas größere Schwere des Leiters und seine vierfache Berührung mit dem Quecksilber das übrige beigetragen hat. P.

wortet sich aus dem Bisherigen auf eine ganz unzweideutige Weise. Beide Schenkel wenden nämlich alsdann dem auf sie wirkenden Erd-Magnetismus in jeder Lage völlig gleich polarisirte Seiten zu, sie werden mithin beide nach gleichen Richtungen, aber auf entgegengesetzten Seiten des Hebels sollicitirt, und es müssen folglich die Wirkungen sich aufheben, und beide Leiter in jeder Lage ohne alle Bewegung bleiben. Dieses bestätigt der folgende Versuch.

Versuch 5. Es blieb alles wie in Vers. 4, nur wurden die Scheidewände in z und s fortgenommen, so daß nun auch der untere Queckfilberring ein leitendes Continuum bildete, und die Ringe jetzt durch Zuleitungsdrähte mit den entgegengesetzten Polen der Kette verbunden. Je nachdem der obere oder der untere Kreis mit dem Kupferpol verbunden war, ging nun also die $+E$ in beiden lothrechten Armen zugleich entweder hinab oder herauf. In beiden Fällen blieb der bewegliche Leiter ohne Bewegung, welche Lage er auch haben mochte. Ein dem einen oder dem andern vertikalen Arme nahe gebrachter künstlicher Magnet, trieb dagegen den beweglichen Leiter sehr rasch aus der Stelle, und gab das wirkliche Vorhandenseyn einer bedeutenden magnetischen Erregung auf das unzweifelhafteste zu erkennen.

Bei dem sogenannten *electrisch - dynamischen Drehungs-Apparate des Hrn Ampère*, welcher im 11ten Stücke des vorigen Jahrg. dies. Annalen S. 257 f. beschrieben und auf Taf. III Fig. 1 abgebildet worden, wird ein Leiter mit zwei vertikal herabhängenden Armen, in dessen Mitte die Electricität eintritt und sich von da durch ein horizontales Stück des Leiters in beide

lothrechte Seitenarme desselben gleichförmig ergießet, durch den Erd-Magnetismus in beständige Rotation versetzt (das. S. 263 u. f.). Hr. Ampère deducirt dort nach seiner Hypothese diesen Erfolg, auf eine künstliche und scharfsinnige Weise, aus seinen hypothetischen tellurisch-electrischen Strömen und aus den galvanisch-electrischen Strömen, die in gleicher Richtung durch beide *Vertical-Arme* des Leiters sich ergießen. Diese Deduction ist ein indirecter Beweis gegen die Zulässigkeit seiner Hypothese selbst, in so fern der vorhergehende Versuch und die ganze bisherige Darlegung es factisch und theoretisch unwidersprechlich darthun, daß die Vertikal-Arme unter den stattfindenden Umständen durchaus unschuldig an der Rotation sind, und daß diese im Gegentheil bloß die Folge von der magnetischen Erregung des horizontalen Theils zwischen den beiden Vertikal-Armen des drehbaren Leiters ist. Hr. Ampère hat diesen horizontalen Theil wie gar nicht vorhanden behandelt, und gänzlich außer Acht gelassen, und doch ist er (aus denselben Gründen, wie der horizontale Leiter in Versuch 5) hier der allein das Rotiren bewirkende Theil, der die Vertikal-Arme als nutzlose, den Erfolg eher hindernde Glieder, mit sich herum führt. Es herrscht daher bei dem De-la-Rive'schen Orientirungs-Versuch und bei diesem Ampère'schen Rotations-Versuch, eine zwar entgegengesetzte aber gleich unrichtige Umkehrung der wahren Ansicht des Hergangs in beiden Fällen. Bei jenem Versuche wurde die richtende Kraft von Hrn Ampère allein in dem horizontalen Stücke des Leiters gesucht, und doch sind es nur die außer Betracht gelassenen Vertikal-Arme, welche den

Erfolg bedingten, der auch unterblieb, als diese Arme bis auf 1,5" verkürzt wurden. Bei diesem Versuche dagegen wurde umgekehrt die rotirende Kraft nur in die Seiten - Arme gelegt, indess einzig und allein der obere, in der Betrachtung vernachlässigte horizontale Theil des Leiters es ist, mittelst dessen die Rotation statt findet.

III. Wirkung des Erd-Magnetismus auf einen aus bloß *horizontalen* und *vertikalen* Theilen zusammengesetzten Leiter.

So einfach diese Bedingungen des drehbaren Leiters sind, so gestatten sie doch schon eine solche Mannigfaltigkeit von Fällen, daß es zu weitläufig seyn würde sie alle der Reihe nach durchzugehen. Ich beschränke daher die Betrachtung hier nur auf den Fall, wenn der bewegliche Leiter die Gestalt eines rechtwinkligen Parallelogramms hat, und sich um eine Axe dreht, welche durch die Mitte seiner beiden horizontalen Seiten geht, und wenn die $+E$ an dem obern oder untern Ende dieser Axe in den Leiter eintritt. Hierbei finden die beiden untergeordneten Fälle statt, daß *entweder* die $+E$ sich von dem Eintrittspunkte nach beiden Seiten, rechts und links, in dem Leiter verbreitet, und am gegenüber liegenden Punkte der Axe wieder austritt; *oder* daß sie von dem Eintrittspunkte aus in einerlei Sinn den ganzen Leiter durchläuft, und in der Nähe des ersten Eintrittspunktes wieder austritt.

a. Es sey *abcd*, Fig. 6, ein Leiter, der durch metallische Fortsätze bei *e* und *f* mit dem Kupfer- und Zinkpol der Kette verbunden, und um die Halbirungs-Axe *ef* drehbar ist. Die $+E$ tritt also bei *e*

ein, verbreitet sich zu beiden Seiten in den Richtungen $ebcf$, $eadf$ und tritt bei f vereinigt wieder aus. Vermöge Vers. 5 ist alsdann in den vertikalen Theilen bc und ad die richtende Kraft $= 0$. Jeder der beiden horizontalen Theile würde für sich allein rotiren, vermöge Vers. 3; da aber die $+E$ in ab bei e , in cd hingegen bei c und d eintritt, so ist die Rotations-Richtung in beiden entgegengesetzt, die rotirende Kraft also gleichfalls $= 0$, und der Leiter bleibt mitten in jeder Lage unbeweglich durch den Erd-Magnetismus.

Ein unter andern Bedingungen angestellter, aber im Wesentlichen aus denselben Gründen von dem hier angegebenen Erfolg begleiteter Versuch, der dieses völlig bewährt, kommt weiter unten, bei der Betrachtung des Verhaltens gekrümmter Leiter vor.

b. Es sey $abcd$, Fig. 7, der drehbare Leiter, den ein in den kleinen von ihm getragenen Quecksilber-Behälter e tauchender Draht mit dem Kupferpol k verbindet, und ein zweiter als Träger dienender Zuleitungs-Draht fz , auf welchem der Leiter mit einer in Quecksilber tauchenden Spitze im Gleichgewichte schwebt, mit dem Zinkpol der Kette in Verbindung setzt. Bei g gestattet der den Zuleiter ringförmig umgebende Theil freie Beweglichkeit, und zwischen e und f sind die genäherten Theile des Leiters durch eine dünne nicht leitende Schicht zusammen gehalten. Die $+E$ tritt also bei e ein, und indem sie den Leiter in der Richtung $ebcdf$ durchläuft, tritt sie bei f wieder aus. Den obern horizontalen Theil durchströmt sie also seiner ganzen Länge nach in der Richtung ab , die rotirende Kraft ist in ihm daher auch $= 0$, vermöge Versuch 2;

eben so ist sie in dem untern Theil $= 0$, und es kommt also ganz allein auf das Verhalten der vertikalen Seitentheile an. In den einen, *ad*, tritt die $+E$ am untern Ende *d*, in den andern, *bc*, tritt sie am obern Ende *b* ein; also wird, vermöge Verf. 4, jener nach dem westlichen, dieser nach dem östlichen Azimuth getrieben und da fest gehalten werden, so daß die Ebene des beweglichen Leiters sich senkrecht auf den magnetischen Meridian richten muß, und zwar auf die Art, daß, der bekannten Regel gemäß, die $+E$ im untern Theile desselben von O nach W fließt. An dieser Richtung des Leiters haben also die wagerechten Seiten außer der bloßen Function als Leiter weiter keinen Antheil, als daß sie durch ihre Länge das Moment der richtenden Kraft mit bestimmen. Bei zwei Leitern, deren wagerechte Seiten gleich sind, muß sich sonach das Verhältniß der richtenden Kraft bei gleichen Massen und unter sonst gleichen Umständen, nur nach dem Verhältniß der Länge ihrer vertikalen Seiten richten, und wenn die Länge dieser vertikalen Seiten sehr klein wird oder ganz verschwindet, muß auch die richtende Kraft sehr vermindert oder ganz $= 0$ werden. — Von dem Verhalten des Erfolgs unter verschiedenen Breiten gilt begreiflich ganz dasselbe, was oben in der Einleitung zu Versuch 4 gesagt worden ist.

Versuch 6. Dieser Versuch wurde erst am zweiten Tage nach der Zusammenfetzung des Apparats, als derselbe durch vielfältigen Gebrauch schon beträchtlich an Kraft verloren hatte, angestellt. Ein 0,06" starker Messingdraht, wie in Fig. 7 eingerichtet, dessen horizontale Seite 3", die vertikale 9" lang war,

richtete sich, dem obigen entsprechend, noch sehr bestimmt in die magnetische Ost-West-Ebene, und wenn die Batterie eine Zeit lang Ruhe gehabt hatte und dann plötzlich geschlossen wurde, geschah dieses mit einigen, wiewohl nur matten Schwingungen in einigen Sekunden. Ein zweiter eben so eingerichteter Draht von gleicher Stärke, dessen horizontale Seite ebenfalls 8", die vertikale aber nur 1,3" lang war, zeigte dagegen unter den günstigsten Umständen keine Spur mehr von richtender Kraft, obgleich er einem schwachen Magnetstabe sehr lebhaft folgte, und von einem andern electro-magnetischen Leiter angezogen und abgestoßen wurde, indess der erstere Draht, als er gleich nach ihm in die geschlossene Kette gebracht wurde, wieder sehr bestimmt sich orientirte.

Ich habe jenen zweiten Draht mit einem ihm ähnlichen, etwas größeren Leiter, *nopq* Fig. 8, aus starkem Messingblech umgeben, der an den einen Zuleitungsdraht mit seinem Ende *m* angeschraubt war, und mit einer durch das andere Ende gehenden Schraube *r* in das kleine Quecksilber-Gefäß des beweglichen Drahtleiters tauchte, wodurch die in Fig. 8 abgebildete Vorrichtung zu Stande kam. An dieser Vorrichtung versichtbarte sich leicht Anziehung und Abstoßung zwischen electro-magnetischen Leitern, je nachdem sie in gleicher oder entgegengesetzter Richtung von dem hypothetischen Strom der $+E$ durchflossen werden.

Aus Besorgniß, daß dieser Bericht zu einer für die *Annalen* unverhältnißmäßigen GröÙe anwachse, breche ich hier ab, und behalte mir die fernere Mittheilung von Versuchen und Bemerkungen über geradlinige Leiter, die gegen den Horizont geneigt sind, und über solche Leiter, in welchen jene als endliche Theile, oder als unendlich kleine Elemente vorkommen, für eins der folgenden Stücke vor. Berlin d. 27 Juni 1823. *G. F. Pohl.*