I. *Ueber die Verknüpfung der Faraday'schen Inductions-Erscheinungen mit den Ampère'schen elektro-dynamischen Erscheinungen; von G. Th. Fechner¹⁾.*

Bis jetzt hat man die Faraday'schen Inductions-Erscheinungen mit den Ampère'schen elektro-dynamischen Erscheinungen nur durch eine empirische Regel in Beziehung gesetzt. Ihre Verknüpfung ergiebt sich indess mit wenigstens theilweiser Nothwendigkeit als eine Folgerung nachstehender zwei Fundamentalsätze, die sich selbst nur als die einfache Analyse bekannter Grunderfahrungen im Sinne jetzt gültig gehaltener Ansichten betrachten lassen:

- 1) Alle, welche Theilnahme hegten an dem merkwürdigen Schicksale des talentvollen Verfassers, der nach mehrjähriger Blindheit wie durch ein Wunder die Kraft seiner Augen wieder erlangte, werden sicher diese erste Probe seiner erneuten Thätigkeit für die Wissenschaft mit der aufrichtigsten Freude entgegennehmen. Aber leider muß diese Freude sehr getrübt werden durch das Schreiben, mit welchem der Verfasser die Absendung seines Aufsatzes an mich begleitet hat. „Es ist seit langer Zeit das erste Mal“, heißt es darin, „daß ich mich wieder in Beziehung mit Ihnen setzen kann; und wollte der Himmel, daß es auch nicht für lange Zeit das letzte Mal seyn möchte. Der Zustand meiner Augen hatte sich innerhalb kurzer Zeit wie durch ein Wunder so gebessert, daß ich auf gänzliche Wiederherstellung hoffte, hat aber seitdem wieder solche Rückschritte gemacht, daß ich selbst diese Zeilen, so wie einige Stücke der beiliegenden Abhandlung, von fremder Hand schreiben lassen mußte und mich aufs Neue fast zu völliger Unthätigkeit verurtheilt sehe.“ — Hoffen wir indess, daß diese trüben Aussichten sich nicht zur Wirklichkeit gestalten, sondern die Kraft der Jahre, deren sich der Verfasser erfreut, das drohende Uebel noch einmal und für immer überwältige. In diesem Wunsche, ich bin es gewiß, werden seine zahlreichen Freunde, nah und fern, denen letztern diese Zeilen gewidmet sind, insgesamt mit mir übereinstimmen!

P.

1) Jede Wirkung eines Stromelements läßt sich ansehen als zusammengesetzt aus der Wirkung eines positiven und eines gleich starken negativen Elektricitätstheilchens, die gleichzeitig dasselbe Raumelement in entgegengesetztem Sinne durchlaufen.

2) Die Wirkung zweier Stromelemente auf einander läßt sich mit Rücksicht auf diese Zusammensetzung durch die Voraussetzung repräsentiren, daß gleichartige Elektricitäten anziehend auf einander wirken, wenn sie in gleichem Sinne oder nach einer gemeinschaftlichen Winkelspitze hin gehen, entgegengesetzte Elektricitäten aber, wenn sie in entgegengesetztem Sinne gehen, oder so, daß die eine sich der gemeinschaftlichen Winkelspitze nähert, während sich die andere davon entfernt.

Bisher hat man allerdings uur die Wirkung der Stromelemente im Ganzen auf einander in Betracht gezogen; offenbar aber steht der Analyse der Totalwirkung in die Wirkung der einzelnen Bestandtheile, welche im Vorigen aufgestellt wird, nichts im Wege, sofern sie einerseits den erfahrungsmäßigen Erfolg wiedergiebt, andererseits eben von hieraus sich ein Weg zur verlangten Verknüpfung finden läßt.

Uebrigens sind die im Vorigen in Betracht gezogenen Wirkungen der bewegten Elektricität unstreitig nicht die eigentlichen vollen Wirkungen derselben, sondern nur diejenigen, welche bei der Wechselwirkung der ganzen Ströme uncompensirt bleiben, worauf es hier allein nöthig ist, Rücksicht zu nehmen. Denn es läßt sich nicht annehmen, daß die Abstofung, welche zwei gleichartige Elektricitätstheilchen im ruhenden Zustande auf einander äußern, sich sofort in Anziehung verkehren werde, wenn sie in irgend welche noch so langsame Bewegung in demselben Sinne gerathen, sondern nur, daß sie sich mindern werde, entweder absolut, oder, sofern es hiebei nur auf Relation der Bewegungen ankommen sollte, im Verhältniß zu dem Fall, wo die Bewegung in entgegengesetztem

Sinne eintritt ¹⁾). Bei der Wechselwirkung der ganzen Ströme aber unter einander, so wie bei natürlicher Elektrizität, wo sich alle Wirkungen, welche die Elektricitäten, als ruhend zu einander betrachtet, äußern, compensiren, wird es sich, wie die Analyse der Erscheinungen selbst lehrt, doch immer so ansehen lassen, als wenn gleichartige Elektricitäten sich anziehen, wenn sie in gleichem Sinne gehen, und sich abstoßen, wenn sie im entgegengesetzten Sinne gehen, worauf wir daher auch im Folgenden fußen werden.

Betrachten wir nun den ersten Hauptfall der Inductions-Erscheinungen, wo ein neutraler, d. i. vom Strom nicht erregter, Draht $a'b'$ einem andern, ihm parallelen durchströmten Draht ab so genähert wird, daß ihre Richtungen parallel bleiben.

In diesem Falle werden die, zu natürlicher Elektricität verbundenen, entgegengesetzten Elektricitäten des neutralen Drahts beide gleichzeitig senkrecht gegen den durchströmten Draht fortbewegt. Wenn es nun für die Natur der Bewegung gleichgültig ist, wodurch sie erzeugt worden, so wird es auch hier in Betreff der von der Bewegung abhängigen Folgen als gleichgültig anzusehen seyn, ob diese Fortbewegung durch den Einfluß der eigenthümlichen galvanischen Kräfte, oder mechanisch durch unsere Willkühr geschieht.

Unser Fall kommt also mit dem überein, wo zwei Strömungen gleich starker entgegengesetzter Elektricität sich in *gleichem* Sinne rechtwinklich gegen eine doppel-sinnige Strömung fortbewegen.

Um nun die inducierende Wirkung zu erfahren, welche der Draht $a'b'$ vom Drahte ab er-

1) Aus den später zu erwähnenden Untersuchungen Weber's geht hervor, daß man bei letzterer Annahme stehen bleiben muß.

leidet, wollen wir die Wirkung in Betracht ziehen, welche ein beliebiges Doppeltheilchen natürlicher Elektricität np von je zwei beliebigen Stromtheilchen m und m' erfährt, die zu beiden Seiten der Senkrechten npo liegen, wobei es hinreicht, bloß auf die eine Art Elektricität in den Theilchen m und m' acht zu haben, da, wie sich leicht ergibt, die andere mit ihr in der Wirkung harmonirt.

Solchergestalt setzt sich die Gesamtwirkung der Theilchen m und m' auf das positive Theilchen p und negative Theilchen n aus vier einzelnen Kräften zusammen, die wir nach der Richtung des Drahts $a'b'$ zu zerlegen haben, um die inducirende Wirkung auf diesen Draht zu finden. Legen wir nur hierbei die Annahme Ampère's zu Grunde, daß die Kräfte zwischen zwei Stromelementen der Richtung ihrer Verbindungslinie folgen, und ziehen das Gesetz der Winkelströme nach Satz 2) in Betracht, so findet sich, daß die inducirenden Seitenkräfte jener vier einzelnen Kräfte dahin zusammenstimmen, p nach entgegengesetzter Richtung als n zu treiben, also einen doppelsinnigen Strom, oder Strom schlechthin im gewöhnlichen Sinne des Worts, zu geben, und zwar einen Strom, von der Richtung, welche die Erfahrung bestätigt. Dahingegen gehen die Seitenkräfte, welche senkrecht auf den Draht $a'b'$ fallen, dahin, n nach derselben Richtung als p zu treiben, beide ziehen sich also in Betreff der Stromerweckung von einander ab und müssen sich, sofern m und m' symmetrisch gegen die Senkrechte npo genommen sind, compensiren.

Wollte man von vorn herein nicht zugeben, daß die Art, wie die Bewegung der Elektricität entstanden ist, auf die Wirkung derselben einflußlos sey, so könnte man in der Uebereinstimmung der vorigen Folgerungen mit der Erfahrung unstreitig einen der besten Beweise dafür finden. Es zeigt sich gleichgültig, ob ich die Elektricität mit den Händen fortführe, oder ob sie den Im-

puls ihrer Bewegung durch die galvanische Berührung erhalten hat.

Anstatt bei dem Inductions-Versuche den Draht $a'b'$ nach dem ruhenden Drahte ab hin zu bewegen, könnte man umgekehrt verfahren, und die Induction würde immer noch entstehen. Diefs muß als ein Erfahrungsdatum zum Beweise angenommen werden, daß es hiebei bloß auf die Relation der Bewegungen ankommt, und daß es erlaubt ist, für Bewegung des erregten Drahts und Ruhe des neutralen Drahts das Umgekehrte zu substituiren, um das Princip in der angegebenen Form anwenden zu können.

Im bisher betrachteten Falle wirkte ein doppelsinniger Strom auf einen einsinnigen ¹⁾ Strom, der mit ihm *parallel* ist. Als ein anderer Hauptfall läßt sich der betrachten, wo die Bewegung des einen der beiden Ströme *senkrecht* auf die des andern ist, wie z. B., wenn ein erregter kreisförmiger Leiter oder der ihm aequivalente Querschnitt eines Magneten sich in seiner Ebene dreht, während ein ruhender neutraler Leiter so mit ihm in Beziehung steht, wie es die Figur zeigt. Auch für diesen Fall findet man nach den angegebenen Principien mit Rücksicht auf das Gesetz über die Relation der Bewegungen das erfahrungsmäßige Resultat wieder.

Die allgemeine Regel von Lenz über die Reciprocität zwischen den Ampère'schen und Faraday'schen Phänomenen wird sich mit den angeführten Principien durch den bekannten Satz aus der Lehre vom Parallelogramm der Kräfte in Beziehung setzen lassen, daß, wenn P , Q als Seitenkräfte von R hervorgehen, umgekehrt R und Q als Seitenkräfte durch Zerlegung von P erscheinen, wenn man Q in entgegengesetzter Richtung von vorher anbringt.

1) Zur kurzen Bezeichnung des Gegensatzes sey es erlaubt, letzteres Wort für bewegte natürliche Elektrizität zu brauchen.

Wenn die aufgestellten Principien richtig sind, so wird sich wahrscheinlich ein Mittel darauf gründen lassen, die wirkliche oder translatorische Geschwindigkeit der Elektrizität zu bestimmen¹⁾, indem durch diese Principien eine Beziehung zwischen der leicht bestimmbaren Geschwindigkeit, mit der *wir* die natürliche Elektrizität in dem zu inducirenden Leiter fortbewegen, und der Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrizität unter dem Einflusse eigenthümlicher Kräfte sich selbst bewegt, gesetzt wird.

Es schien mir anfangs schwer, eine Methode aufzufinden, wodurch diese Ermittlung mit Genauigkeit bewerkstelligt werden könnte. Inzwischen hat mir Hr. Prof. W. Weber eine solche angedeutet, die in seinen Händen Alles zu leisten verspricht, was wir wünschen können.

Noch ergeben sich nachstehende Folgerungen aus dem Vorigen:

1) Wenn ein mit einer Art Elektrizität geladener Stab um seine Axe gedreht wird, muß er, außer dem gewöhnlichen elektrischen, auch noch magnetische oder den magnetischen völlig analoge Erscheinungen zeigen, demgemäß auch in genäherten Leitern Ströme induciren.

2) Wenn einem um eine Axe drehbaren, aber nicht gedrehten Stabe, der mit einer Art Elektrizität geladen ist, ein Magnet unter solchen Verhältnissen genähert wird, daß der Stab, als Eisenstab betrachtet, longitudinal magnetisirt werden würde, so wird der Stab hierdurch von selbst in Drehung gerathen.

Nach dem Zusammenhange der beiden vorigen Folgerungen ergibt sich dann ferner die, allerdings nicht direct

1) Es verdient Bemerkung, daß das, was man bisher als Geschwindigkeit der Elektrizität bestimmt hat, nicht die wirkliche Geschwindigkeit ihrer Theilchen, sondern bloß die Geschwindigkeit ihrer Wellenfortpflanzung ist, ein, wie es scheint, bisher wenig beachteter und doch sehr beachtenswerther Unterschied, auf den meines Wissens zuerst W. Weber aufmerksam gemacht hat.

aus den bisherigen Principien ableitbare, sonderbare Vermuthung, daß, wenn man einem, um seine Axe gedrehten, nicht elektrischen leitenden Stabe einen Magnet unter den angemessenen Verhältnissen näherte, derselbe von selbst die Erscheinungen freier Elektricität, und zwar nur einer einzigen Art von Elektricität, zeigen würde ¹⁾).

Unstreitig wird es schwer seyn, vorstehende Folgerungen durch den Versuch zu bewähren. Denn wenn man sich erinnert, daß nach den Versuchen von Faraday und Gaus enorme Quantitäten oder Geschwindigkeiten von Maschinen-Elektricität erforderlich sind, um nur mässige Strömungs-Wirkungen zu erzeugen, während doch beträchtliche Ströme dazu gehören, um deutliche magnetische oder inducirende Wirkungen zu äußern, daß ferner ein Magnet oder galvanisch erregter Leiter als mit Strömen ganz erfüllt angesehen werden kann, während ein gedrehter elektrischer Leiter nur von einer einzigen Elektricitätsschicht umhüllt ist, so wird sich voraussehen lassen, daß nur außerordentlich große Drehungsgeschwindigkeiten oder starke Elektrisirungen bei den angedeuteten Versuchen einen Erfolg geben können, und es war mir daher auch nicht unerwartet, daß ich mit den geringen, mir in dieser Beziehung zu Gebote stehenden Versuchsmitteln einen solchen nicht zu erhalten vermochte. Indessen möchte für Andere, welche kräftigere Mittel zur Verfügung haben, in dem Vorigen eine Aufforderung liegen, auf diese Versuche zurückzukommen.

- 1) Hienach müßte denn auch ferner ein um seine Axe gedrehter Magnetstab schon für sich allein die Erscheinungen freier Elektricität zeigen, je nach seiner Drehungsrichtung von entgegengesetzter Art; und daß dieß wirklich der Fall sey, scheint dadurch bestätigt zu werden, daß, wenn man mit einem Punkte der Axe und einem Punkte des Umfangs eines gedrehten Magneten einen Draht in Verbindung setzt, ein Strom in diesem entsteht; nach der Analogie mit den galvanischen Apparaten läßt sich nämlich voraussetzen, daß nach Entfernung dieses verbindenden Drahtes an den Trennungsstellen freie Elektricität entweder von differenter Beschaffenheit oder differenter Größe sich

Es ist nicht in Abrede zu stellen, daß unsere Verknüpfung noch etwas zu wünschen übrig läßt. Nämlich der oben aufgestellte Satz, daß es bloß auf Relation der Bewegungen ankomme, kann in der That bloß als ein Erfahrungssatz hingestellt, nicht aber als eine Folgerung aus den obigen Principien abgeleitet werden. Dasselbe gilt von dem Satze, den wir, um das ganze Gebiet der Inductions-Erscheinungen zu decken, noch hinzufügen müssen, daß Entstehen oder Verstärken des Stroms einer Näherung, Verschwinden oder Schwächen des Stroms einer Entfernung desselben ähnlich wirke. Inzwischen kann diese Unvollständigkeit unserer Verknüpfung uns nicht veranlassen, das, was wir mittelst derselben erfahren haben, um dessentwillen fallen zu lassen, was wir mittelst derselben nicht erfahren können.

In der That liegt die Unzulänglichkeit, die sich hier noch zeigt, unstreitig nicht in einem Fehler der Methode, die Wirkung der bewegten Elektrizität für beide elektrische Bestandtheile gesondert aufzufassen, worauf der im Vorigen gewonnene Fortschritt einzig und allein fußt, als in einer Unzulänglichkeit der Sätze, nach denen wir die Wirkung der bewegten Elektrizität selbst bisher betrachten. Es läßt sich leicht zeigen, daß unsere bisher in der Elektrizitätslehre gebrauchten Sätze wirklich gar nicht die *Möglichkeit* enthalten, das ganze Gebiet der Wirkungen strömender Elektrizität überhaupt zu decken, daß mithin neue Annahmen zutreten müssen.

In der That, beide noch zu erklärende Klassen von Erscheinungen beweisen unwidersprechlich, daß bewegte Elektrizität einen Einfluß haben kann auf ruhende. Dieser Einfluß, wie er sich bei jenen Erscheinungen stellt, kann aber weder enthalten seyn unter den Sätzen, welche die statische Elektrizität betreffen, weil positive und negative Elektrizität dabei immer in gleicher Stärke und

zeigen werde, wie auch wohl mittelst des Condensators bei hinreichend schneller Drehung starker Magnete nachweisbar seyn würde.

aus gleicher Entfernung wirken, also nach diesen Sätzen stets ein Resultat gleich null auf andere Elektricitäten geben, noch unter den Ampère'schen Sätzen, weil diese zwischen bewegter und nicht bewegter Elektricität überhaupt keine Wirkung finden lassen.

Vielleicht liefse sich der Versuch machen, die Erweiterung der Principien, welche im Stande wäre, dem noch zu Erklärenden zu genügen, aus einer Analyse der zu erklärenden Erscheinungen selbst abzuleiten; indess würde es unnöthig seyn, hierauf einzugehen, da, wie ich mich freue ankündigen zu können, Prof. W. Weber durch aus allgemeinen Gesichtspunkten geführte Untersuchungen zu einem Princip gelangt ist, wodurch nicht allein alle Wirkung der bewegten, sondern auch der ruhenden Elektricitäten unter sich, wie in gegenseitigem Bezuge zu einander, von einem allgemeinen Gesetze ableitbar wäre, so daß die Erscheinungen der statischen Elektricität, die Ampère'schen und die sämmtlichen Inductions-Erscheinungen nur als besondere Fälle unter dieses Gesetz treten. Ich wünsche demnach, daß diese kleine Arbeit nur als Vorläufer jener Untersuchungen angesehen werde, deren Bekanntmachung wir demnächst zu erwarten haben.

II. *Einige die Theorie und Anwendung der Elektricität betreffende Bemerkungen;* *von F. C. Henrici.*

I.

Man pflegt anzunehmen, aus der zwischen den Theilchen gleichnamiger Elektricität vorausgesetzten Abstofsung folge, daß die freie Elektricität eines beliebigen Leiters sich auf dessen Oberfläche verbreiten und daselbst eine Schicht von geringer Dicke bilden müsse. Aber einer-