

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die moderne Entwicklung der elektrischen Principien

Rosenberger, Ferdinand

Leipzig, 1898

II. Die Theorien der elektrischen Imponderabilien in unserem Jahrhundert

II.

Die Theorien der elektrischen Imponderabilien in unserem Jahrhundert.

Während die Elektriker am längsten von allen Physikern an den DESCARTES'schen Anschauungen festhielten und nur zögernd und nicht ohne Kampf die NEWTON'schen Fundamentalanschauungen für die Erklärung der elektrischen Erscheinungen annahmen, wurden merkwürdiger Weise sehr bald nach dieser Zeit gerade diese Erscheinungen die besten Zeugen für die allgemeine Gültigkeit des NEWTON'schen Kraftgesetzes in der ganzen Welt der physikalischen Erscheinungen. Freilich geschah diese Wandlung nicht sowohl durch die Experimentalphysiker, denen immer die anschauliche Vermittelung der Naturwirkungen durch Zwischenmaterien sympathischer war, als vielmehr durch Physiko-Mathematiker, die von Anfang an den abstracten NEWTON'schen Kraftbegriff begünstigt hatten. Dementsprechend war ein Ingenieur, der Oberstlieutenant im französischen Geniecorps CHARLES AUGUSTIN COULOMB, der erste, welcher die Menge und die Kraft der Elektrizität exakt zu messen sich vornahm, und ihm gelang es auch direct, die elektrischen sowohl wie die magnetischen Kräfte, dem Gesetz der einfachen Proportionalität mit der Masse und der umgekehrten Proportionalität mit dem Quadrat der Entfernung sicher unterzuordnen. Durch ihn wurde auf diese Weise erst die Möglichkeit gezeigt, das NEWTON'sche Kraftgesetz, das bis dahin nur die gemeine ponderable Materie beherrscht hatte, auch auf die Wirkungen der Imponderabilien und somit über das ganze Gebiet der Physik und vielleicht auch der Chemie auszudehnen. Erst nach ihm konnten somit die NEWTON'schen Kraftideen die Herrschaft in dem ganzen Reiche der Naturkräfte beanspruchen, und in der That liess danach die NEWTON'sche Physik lange Zeit keinen Raum mehr für andere physikalische Fundamente frei.

Nachdem COULOMB schon im Jahre 1784 die Gesetze der Torsionskraft eines Drahtes bestimmt, beschrieb er in einer Abhandlung, die er im nächsten Jahre der Pariser Akademie überreichte, seine bekannte Torsionswaage, durch die er „mit der grössten Genauigkeit den elektrischen Zustand und die elektrische Kraft eines Körpers, wie gering auch der Grad der

Elektrisirung sei“, messen konnte.¹⁾ Die Ergebnisse seiner sehr exakten und geschickten Messungen fasste er in einer folgenden Abhandlung in die präzisen Sätze zusammen: 1. dass sowohl die abstossende wie die anziehende Wirkung zweier elektrisirten Kugeln, und folglich zweier elektrischen Molecüle, im geraden Verhältniss der Dichtigkeiten des elektrischen Fluidums der beiden elektrisirten Molecüle und im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernungen steht; 2. dass bei einer nach der Methode des Doppelstrichs magnetisirten Nadel von 20 bis 25 Zoll Länge das magnetische Fluidum auf 10 Linien von den Enden der Nadel aus concentrirt gedacht werden kann; 3. dass, wenn eine Nadel magnetisirt ist, sie immer, in welcher Lage sie sich in einer horizontalen Ebene auch gegen ihren magnetischen Meridian befinde, in diesen Meridian von einer constanten, dem Meridiane parallelen Kraft zurückgezogen wird, deren Resultante stets durch denselben Punkt der aufgehängten Nadel hindurchgeht; und endlich 4. dass die anziehende und abstossende Kraft des magnetischen Fluidums, genau so, wie beim elektrischen Fluidum, in geradem Verhältniss zu den Dichtigkeiten und in umgekehrtem Verhältniss zum Quadrat der Abstände der magnetischen Molecüle steht.

COULOMB war danach von der Existenz nicht bloß eines elektrischen, sondern auch eines magnetischen Fluidums sicher überzeugt. „Da magnetisirte Körper, so sagt er, auf einander in endlichen Entfernungen anziehend und abstossend einwirken, ebenso wie die elektrisirten Körper, so scheint das magnetische Fluidum, wenn nicht in seiner Natur, so doch wenigstens in dieser Eigenschaft dem elektrischen Fluidum analog zu sein.“ Für andere Anziehungs- und Abstossungserscheinungen dagegen, wie die der Cohäsion, der Elasticität und der chemischen Affinität, die nur auf sehr kleine Entfernungen hin wirksam sind, nimmt COULOMB nach dem Beispiele von NEWTON und KELL²⁾ ein schärferes Gesetz, nämlich das der umgekehrten Proportionalität mit der dritten Potenz der Entfernung an. Trotz dieser so constatirten Unterscheidung der chemischen und elektrischen Kräfte macht COULOMB aber doch, so viel wir wissen zum ersten Male, auf einen möglichen Zusammenhang dieser Kräfte aufmerksam, indem er andeutet, dass möglicher Weise die chemischen Affinitäten ausser von der nur bei der Berührung wirkenden cohäsiven Kraft noch von zwei entgegen-

¹⁾ Die elektrischen Abhandlungen COULOMB's erschienen während der Jahre 1785 und 1786 in den *Histoire et Mémoires de l'Académie royale des sciences*. Sie sind, von W. KÖNIG ins Deutsche übersetzt, erschienen in Ostwald's *Klassikern der exakten Wissenschaften* no. 13.

²⁾ Vergl. ROSENBERGER: *Isaac Newton und seine physikalischen Principien*, Leipzig 1895, S. 348.

gesetzten Wirkungen abhängen, die denjenigen analog sind, die wir bei der Elektrizität und dem Magnetismus finden.¹⁾ Mit Hilfe seiner Torsionswaage begann dann COULOMB auch schon die Vertheilung der Elektrizität in grösseren Körpern zu untersuchen und kam dabei zu dem wichtigen Satze, dass in leitenden Körpern die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche anhäuft; ein Satz, den allerdings CAVENDISH schon einige Jahre vor ihm angegeben hatte, ohne dass aber seine Ableitungen bekannt geworden wären.

Wie fest nun schon bei der Allgemeinheit die Ideen der mit NEWTON'schen Kräften begabten elektrischen und magnetischen Imponderabilien sich eingepägt hatten, ersieht man auch aus dem berühmten Werke, welches TIBERIUS CAVALLO im Jahre 1787 über den Magnetismus²⁾ erscheinen liess und in welchem die Theorie des Magnetismus ganz der FRANKLIN'schen Theorie der Elektrizität nachgebildet war. „Als sich unsre Kenntnisse von der Elektrizität, heisst es da sehr charakteristisch³⁾, noch ganz allein auf die Eigenschaften des Bernsteins und einiger wenigen andern Substanzen, welche nach dem Reiben leichte Körper anziehen, beschränkten, konnte man diese Anziehung schwerlich von der magnetischen unterscheiden; und in der That gedenken ältere Schriftsteller der angeführten Eigenschaften des Bernsteins oft unter dem Namen eines Magnetismus desselben. Die neueren Erweiterungen der Wissenschaften aber, vornehmlich vom gegenwärtigen Jahrhundert, haben gezeigt, dass die Elektrizität und der Magnetismus zwei ganz von einander unterschiedene Naturkräfte sind; dann scheint es mir nöthig, die Umstände anzuführen, in welchen der Magnetismus und die Elektrizität einander ähnlich sind, dabei aber auch derjenigen zu gedenken, in welchen sie sich noch weit wesentlicher von

¹⁾ Vier Abhandl. ü. d. Elektrizität u. d. Magnetismus v. COULOMB. Uebers. u. herausg. v. WALTER KÖNIG. Ostwald's Klassiker no. 13, S. 22, Anm.: „Es scheint aus dieser Rechnung hervorzugehen, dass die Cohäsion, die Elasticität und alle chemischen Affinitäten . . . unter sich nur nach einem Verhältniss wirken können, das dem umgekehrten Verhältniss des Cubus der Entfernungen sehr nahe kommt. Vielleicht hängen ausserdem alle chemischen Affinitäten von zwei Wirkungen ab, einer abstossenden und einer anziehenden, analog denjenigen, welche wir bei der Elektrizität und dem Magnetismus finden.“ Chemische Wirkungen des elektrischen Funkens wollte man schon seit dem Jahre 1758 beobachtet haben, doch wurden solche Behauptungen auch wieder bestritten. Seit der Mitte der achtziger Jahre des achtzehnten Jahrhunderts aber wurden solche Beobachtungen immer mannigfaltiger und zugleich sicherer. Vergl. ROSENBERGER, Geschichte der Physik, III. Theil, S. 87.

²⁾ TIBERIUS CAVALLO: A Treatise on Magnetism . . . with original experiments, London 1787. Theoretische und praktische Abhandlung der Lehre vom Magnet mit eignen Versuchen von TIBERIUS CAVALLO, Leipzig 1788.

³⁾ Theoret. und prakt. Abhandl. der Lehre vom Magnet, Leipzig 1788, S. 77—85.

einander unterscheiden. Die Kraft, welche die Naturforscher die Elektrizität nennen, ist von doppelter Art, nemlich die positive und negative Elektrizität; und es ist in dieser Lehre ein Gesetz ohne Ausnahme, dass Körper, welche einerlei Elektrizität haben, einander zurückstossen, da hingegen diejenigen, welche verschiedene Elektrizitäten zeigen, einander anziehen. Ebenso giebt es beim Magnet einen Nord- und einen Südpol; und diejenigen Theile magnetischer Körper, welche einerlei Polarität haben, stossen sich zurück, da hingegen diejenigen, welche verschiedene Polaritäten besitzen, einander anziehen. Wenn bei der Elektrizität ein im natürlichen Zustande befindlicher Körper in den Wirkungskreis eines elektrisirten gebracht wird, so wird er selbst elektrisirt, erhält die entgegengesetzte Elektrizität von jenem, und es erfolgt eine Anziehung; so dass es in der That keine elektrische Anziehung giebt, ausser zwischen Körpern von entgegengesetzten Elektrizitäten. Ebenso kann auch ein eisenartiger Körper, der in den Wirkungskreis eines Magnets kommt, von keinem Pole des letzteren angezogen werden, er habe denn zuvor eine entgegengesetzte Polarität erhalten. Keine Art der Elektrizität kann allein hervorgebracht werden, sondern sie ist allezeit von der andern begleitet; auf eben diese Art sind allezeit beide magnetische Pole zugleich vorhanden; und man kann nie einen Körper hervorbringen, der nur die eine Polarität und nicht auch zugleich die andere hätte. Man kann die elektrische Kraft durch gewisse Körper, z. B. Glas, Bernstein, Harze u. s. w., welche elektrische genannt werden, aufhalten und einschliessen; andere Körper hingegen, welche Leiter oder Nichtelektrische heissen, werden ohne Schwierigkeit von ihr durchdrungen. So wird auch die magnetische Kraft von den eisenartigen Substanzen, besonders den harten, z. B. harten Stahl und Magnetstein, aufgehalten: hingegen dringt sie leicht und ohne merkliche Hinderung durch alle andere Arten von Körpern. Auf der andern Seite aber ist auch die magnetische Kraft von der elektrischen in vielen Stücken unterschieden. Erstens wirkt sie auf unsere Sinne nie durch Licht, Geruch, Gefühl und Schall. Dahingegen der elektrische Funken, Geruch und Schlag jedem, der mit elektrischen Versuchen umgeht, bekannt sind. Zweitens zieht der Magnet blos Eisen oder solche Körper an, welche dieses Metall in irgend einem Zustande enthalten, dahingegen die elektrische Kraft Körper jeder Art anzieht. Drittens hat die elektrische Kraft ihren Sitz auf der Oberfläche elektrisirter Körper, die magnetische aber ganz in ihrem Innern. Endlich verliert der Magnet durch die Mittheilung an andere Körper nichts von seiner Kraft; ein elektrisirter Körper aber verliert allerdings einen Theil seiner Elektrizität, wenn er andere elektrisirt. Inzwischen ist hiebei zu

bemerken, dass dieser Verlust nur dann stattfindet, wenn sich beide Körper wirklich berühren, und der andere Körper dadurch ebendieselbe Art der Elektrizität erhält; wird aber der andere Körper bloß dadurch elektrisirt, dass man ihn in den Wirkungskreis des ersteren bringt, in welchem Falle er die entgegengesetzte Elektrizität erhält, so verliert jener nichts von seiner Kraft“ . . .

„Die Hauptfrage bei der Lehre vom Magnet ist diese, was es für eine Ursache sei, welche in einem Magnete von dieser oder jener Art, die Anziehung, Repulsion und andere magnetische Erscheinungen hervorbringt. Es ist in der That sehr überraschend, dass ein Stück Stahl u. dergl. durch die bloße Berührung oder auch nur durch die Nähe eines Magnets verschiedene ausserordentliche Eigenschaften annimmt, welche es auch hernach beibehält, und wobei doch sein Gewicht, seine Gestalt, Farbe und Härte gar nicht merklich geändert wird; dass es ferner hiebei nicht das Ansehen hat, als ob dem Stahle etwas vom Magnet mitgetheilt würde, oder aus dem Letzteren in den Ersteren überginge, was man entweder durch die Sinne bemerken, oder durch Dazwischenkunft irgend eines bekannten Körpers abhalten und hindern könnte. Zwar hat die Einbildungskraft der Menschen, welche immer bereit ist, die Lücken der Sachkenntnisse auszufüllen, eine Menge von Hypothesen auf die Bahn gebracht, aber die Unzulänglichkeit derselben zur Erklärung der verschiedenen Phänomene des Magnetismus zeigt bald, dass die meisten davon unwahrscheinlich, und viele sogar widersprechend und thöricht sind. Einige haben sich vorgestellt, dass die Zwischenräume der eisenartigen Körper mit Klappen versehen wären, welche der magnetischen Materie den Durchgang nach der einen Richtung verstatteten, nach der anderen aber derselben die Rückkehr versperreten. Andere haben angenommen, es gebe in jedem Magnet einen beständigen Umlauf einer gewissen flüssigen Materie von einem Pole zum anderen; mithin gebe es auch in der Erdkugel, welche ein grosser Magnet sei, einen solchen beständigen Umlauf oder Strom der magnetischen Materie von den Gegenden des einen Poles zu den Gegenden des anderen.“

„Ich will hier bloss die Meinung des Herrn AEPINUS vortragen, welche zwar einigen Einwendungen ausgesetzt, dennoch aber immer unter allen die wahrscheinlichste zu sein scheint. Herr AEPINUS leitet aus der Analogie mit der gewöhnlich angenommenen Hypothese über die Elektrizität die Vermuthung her, dass es eine flüssige Materie gäbe, welche alle magnetische Erscheinungen hervorbringe, und die man daher die magnetische Materie nennen müsse, dass diese Materie fein genug sei, um durch die Zwischenräume aller Körper zu dringen, und dass sie elastisch sei, oder dass ihre Theile einander zurückstossen.

Er nimmt ferner eine wechselseitige Anziehung zwischen der magnetischen Materie und dem Eisen und anderen eisenartigen Körpern an; alle anderen Substanzen aber sollen nach ihm gegen diese Materie unwirksam sein, so dass zwischen ihnen und der letzteren weder Anziehung noch Repulsion stattfindet. Er bemerkt hierauf, dass zwischen den eisenartigen und den idioelektrischen oder nichtleitenden Körpern viel Aehnlichkeit stattfindet; denn die magnetische Materie gehe schwer durch die Zwischenräume des Eisens, so wie die elektrische Materie nicht anders als mit Schwierigkeit durch die Zwischenräume der Nichtleiter dringe. Nach dieser Hypothese nun enthalten das Eisen und alle eisenartige Substanzen eine gewisse Menge magnetischer Materie, welche gleichförmig durch sie verbreitet ist, wenn sie nicht im magnetischen Zustande sind. Sie zeigen daher in diesem Zustande weder Anziehung noch Repulsion gegeneinander, weil die Repulsion zwischen den Theilen der magnetischen Materie von der Anziehung zwischen der Materie der Körper und dem magnetischen Fluido gerade aufgehoben wird, in welchem Falle man von diesen Körpern sagt, dass sie sich im natürlichen Zustande befinden. Wenn aber in einem eisenartigen Körper die ihm zugehörige magnetische Materie in das eine Ende getrieben wird, so wird dasselbe mit dieser Materie überladen, das andere Ende hingegen enthält davon zu wenig. In solchen, d. i. in magnetisirten Körpern, äussert sich eine Repulsion zwischen ihren überladenen Enden, weil sich die Theile des Ueberschusses von magnetischer Materie, welcher von der Anziehung der Materie der Körper nicht ganz im Gleichgewichte erhalten werden kann, zurückstossen. Auch zeigt sich eine Anziehung zwischen dem überladenen Ende eines magnetischen Körpers, und dem zu wenig enthaltenden Ende eines anderen, wegen der Anziehung zwischen der magnetischen Materie und der Masse des Körpers. Um aber die Repulsion zwischen den beiden zu wenig enthaltenden Enden zu erklären, muss man sich entweder vorstellen, dass die Massen der eisenartigen Körper, wenn sie ihrer zugehörigen magnetischen Materie beraubt sind, in ihren Theilen einander selbst zurückstossen, oder dass die zu wenig enthaltenden Enden sich nur darum zurückzustossen scheinen, weil beide die entgegengesetzten überladenen Enden anziehen. Beide Voraussetzungen aber sind ihren Schwierigkeiten ausgesetzt. Demnach wird ein eisenartiger Körper magnetisch, wenn die gleichförmige Vertheilung der magnetischen Materie durch seine Substanz gestört wird, so dass er an einem oder mehreren Theilen einen Ueberfluss und an einem oder mehreren andern Theilen einen Mangel an selbiger hat; und er bleibt so lange magnetisch, als seine Undurch-

dringlichkeit die Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen den überladenen und den zu wenig enthaltenden Theilen verhindert. Hieraus erhellet, dass man, wenn man einen Körper, z. B. ein Stück Stahl, magnetisch machen will, dazu einen Magnet von solcher Stärke gebrauchen müsse, welche den Widerstand, den die Substanz des Stahls dem freien Durchgange der magnetischen Materie entgegengesetzt, überwinden kann; daher lässt sich weicher Stahl leichter magnetisch machen, als harter; und daher kann auch ein stärkerer Magnet eisenartige Körper magnetisiren, auf welche ein anderer schwächerer Magnet keine Wirkung thut.“

Wie er selbst bemerkt, folgte CAVALLO bei dieser Theorie im Wesentlichen AEPINUS, der schon in seiner Abhandlung „von der Aehnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kräfte“ (Grätz 1771, S. 42 und 43) behauptet hatte, 1) „dass es eine magnetische flüssige Materie giebt, welche sehr subtil ist, deren Theile unter einander sich zurückstossen, von eisernen Körpern aber . . . angezogen werden; dass aber die übrigen Körper, weder durch das Anziehen, noch durch das Zurückstossen, weder auf die flüssige Materie, noch diese auf die erstere wirken; 2) dass die magnetische flüssige Materie in den Theilen der eisernen Körper sehr schwer bewegt wird, ja wie es scheint, noch schwerer, als die elektrische Materie, in denen von sich selbst elektrischen Körpern sich bewegt. Dass es aber keine Körper giebt, die fähig wären, die magnetische Kraft anzunehmen, und welche denen nicht von sich selbst elektrischen Körpern ähnlich wären, da es keine giebt, welche eine leichte Bewegung der magnetischen Materie in ihren Theilen annehmen. Dass es aber scheint, dass gleichsam eine gewisse Gradation hier statt hat, dass nämlich das weiche Eisen diese Bewegung nicht so stark hindert, als der Stahl und dieser wieder um so viel weniger, je weniger er gehärtet ist.“

Fast interessanter aber noch als diese Theorie selbst sind die Sätze, welche AEPINUS in einer Anmerkung (S. 42) über die Art der elektrischen und magnetischen Kräfte beifügt. „Es wird ohne Zweifel, so sagt er, den meisten von meinen Lesern anstössig seyn, dass ich mich unterstehe, die magnetischen Phänomene aus der anziehenden und zurückstossenden Kraft abzuleiten. Denn die Kräfte werden von den mehresten zu den verborgenen Eigenschaften (occultis qualitibus), wie man sie zu nennen pflegt, gerechnet. Ich halte aber diese Beschuldigung für sehr unbillig. Denn es giebt wirklich in der Natur dergleichen anziehende und zurücktreibende Kräfte, und dieselben sind gleichsam die ursprünglichen, worauf sich die übrigen gründen; die Ursachen derselben sind uns zwar unbekannt; allein wir sehen deutlich, dass unzählige andere Begebenheiten davon abhängen.

Und ich begreife nicht, worinnen derjenige fehlet, der die Phänomene aus den ursprünglichen Kräften, und worauf sich alle übrigen gründen, ableitet, ob wir gleich bis itzo den Ursprung nicht wissen. Es ist zwar an dem, dass einige unvorsichtige Schüler des grossen NEWTON's die Sätze ihres berühmten Lehrmeisters sehr verdrehet haben, da sie die anziehenden und zurücktreibenden Kräfte für eingepflanzte Kräfte (*vires insitas*) halten, und keine äusserliche Ursache derselben erkennen wollen. Ich nehme aber diese Lehre nicht an, und gestehe gern, dass die Attraction und Repulsion, die wir in der Natur wahrnehmen, von einer äusserlichen Ursache herrühren, allein, ich will lieber gestehen, dass ich nicht weiss, was es für eine ist, als erdichtete Hypothesen annehmen.“

Man sieht aus diesen Worten, dass um die sechsziger Jahre des Jahrhunderts noch immer viele deutsche Physiker namentlich sich gegen die extremsten englischen Anschauungen von der primitiven Natur der NEWTON'schen Kräfte sträubten; doch aber nahmen sie nach und nach alle aus Mangel an Besserem solche Kräfte, wenn auch mit mehr oder weniger Vorhalten, die jedoch bald vergessen wurden, als Fundament ihrer physikalischen Anschauungen an. Jedenfalls war die Zeit, um die Wende des Jahrhunderts, die Epoche, in welchem die NEWTON'schen Fundamente der Physik am unerschütterlichsten erschienen und es in der That auch waren. Zwar wuchs in unserem Jahrhundert zuerst noch immer das Ansehen derselben, und äusserlich wurde die Festigkeit des Gebäudes in den Gemüthern der Gelehrten noch immer vergrössert; aber die innere Festigkeit, die sachliche Wahrheit begann doch schon, wenn auch noch unsichtbar, abzunehmen und neue Beobachtungen, die sich dem NEWTON'schen System nur mit grösserem Zwange anpassen liessen, begannen immer zahlreicher aufzutreten. Wie vielfach im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung wuchs die Beharrungskraft der geltenden Ideen noch in den Geistern, während der Fortschritt der Erfahrung schon die thatsächliche Richtigkeit dieser Ideen immer mehr verminderte. Das Meiste trug zu einer solchen allmählichen Umwandlung der Vorstellungen jedenfalls die Entdeckung der strömenden Elektrizität und ihrer so mannigfaltigen neuartigen Wirkungen bei. Zwar ahnten die ersten Beobachter der neuen Elektrizitätsarten selbst die tiefer gehenden Wirkungen ihrer Arbeiten noch kaum in ihrem eigentlichen Wesen, doch aber treten auch schon in ihren Beobachtungen dem Kundigen die revolutionären Momente deutlich vor Augen.

GALVANI¹⁾, der eigentliche Urheber der neuen Bewegung,

¹⁾ GALVANI's Hauptarbeit erschien im Jahre 1791 in dem VII. Bande der Berichte der Akademie Bologna unter dem Titel *De viribus*

wird vielfach als ein blosser Günstling des Zufalls ohne besondere theoretische Anlage und ohne besondere wissenschaftliche Verdienste betrachtet. In dieser ungerechtfertigten Beurtheilung haben die glänzenden Leistungen seines theoretischen Gegners VOLTA aber jedenfalls viel weiter, als recht ist, geführt, denn GALVANI war, gerade so wie sein Widersacher, nicht bloss ein sehr geschickter Experimentator, sondern auch ein weitblickender Theoretiker, der nur an einer Stelle einem allerdings unglücklichen Irrthume nicht zu entgehen vermochte und den vielleicht doch nur der Tod daran hinderte, diesen Fehler noch zu berichtigen.

GALVANI bemerkte zwar zufällig, dass präparirte Froschschenkel zusammenzuckten, so oft in der Nähe Funken einer Elektrisirmaschine übersprangen, aber er beobachtete dann bewusst und zweckdienlich, dass die auftretenden Muskelcontractionen, sowohl der Stärke der Funken als der Ausdehnung der leitenden Nerven direct, wie auch der Entfernung vom Conductor der Maschine indirect proportional waren und schloss daraus gut wissenschaftlich, dass die elektrischen Strömungen, welche entweder direct von der Maschine durch die Muskeln gingen oder von ihr nur in den Muskeln inducirt waren, die Ursachen der Muskelcontractionen seien.¹⁾ Funken eines Elektrophors wirkten ganz wie die aus der Elektrisirmaschine und auch die Blitze, die Funken atmosphärischer Elektricität, verhielten sich ebenso. Dagegen konnte GALVANI trotz langer Beobachtung keine Wirkung gewöhnlicher atmosphärischer Elektricität ohne Funken wahrnehmen. Nur als er ungeduldig die ehernen Haken gegen das eiserne Balkongeländer, an das die Froschschenkel bei diesen Beobachtungen gehängt waren, zu quetschen und zu drücken begann, bemerkte er häufig Muskelcontractionen, die aber mit den verschiedenen elektrischen Zuständen der Atmosphäre jedenfalls nichts zu thun hatten.

electricitatis in motu musculari commentarius, sie wurde schon im Jahre 1793 von Dr. JOH. MAYER ins Deutsche übersetzt unter dem Titel *Abhandl. über d. Kräfte der thierischen Elektricität auf die Bewegung der Muskeln*, Prag 1793. In der neuesten Zeit hat A. J. von OERTINGEN in Ostwald's *Klassikern der exakten Wissenschaften* no. 52 abermals eine deutsche Uebersetzung des Werkes gegeben.

¹⁾ GALVANI weist nicht namentlich auf die Induktion hin, dass er aber die Zuckungen vielfach auf Induktionselektricität zurückführte, ersieht man aus den Versuchen, bei denen er das directe Einströmen des elektrischen Fluidums von der Maschine in die Muskeln zu hindern suchte. Er schloss nämlich die präparirten Froschschenkel in Gläser ein, deren Oeffnungen gegen die äussere Luft vollständig verkittet waren und auch dann traten mit jedem Funken der Elektrisirmaschine die Muskelzuckungen ein (*Abhandl. über die Kräfte der Elektricität bei der Muskelbewegung* v. A. GALVANI, Ostwald's *Klassiker* no. 52, S. 15).

Als ich diese Contractionen, so sagt GALVANI über diesen wichtigen Fortschritt¹⁾, noch nicht anders als in freier Luft beobachtet hatte, so fehlte nicht viel, und ich hätte der atmosphärischen Elektrizität, welche in das Thier kriecht und sich daselbst anhäuft und bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich entweicht, solche Contractionen zugesprochen. Als ich aber das Thier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Contractionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt; und dasselbe Ergebniss, nur dass die Contractionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schliesslich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektrizität leiteten, nämlich aus Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz bestehende und zwar trocken zu dem Experiment zu verwenden, nichts Aehnliches trat ein, es liessen sich keine Muskelcontractionen und Bewegungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und liess die Vermuthung in uns aufsteigen, dass dem Thiere selbst Elektrizität inwohne. Wir wurden in beiderlei Hinsicht bestärkt durch die Annahme eines sehr feinen Nervenfluidums, das während der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln flicse, ähnlich dem elektrischen Strome einer Leydener Flasche. Denn während ich selbst mit der einen Hand den präparirten Frosch an dem in das Rückenmark gehefteten Haken hielt und zwar so, dass er mit den Füssen auf einer silbernen Kapsel stand, dabei aber mit der anderen Hand an den Deckel der Kapsel, auf der der Frosch mit den Füssen ruhte, oder an ihren Rand mit irgend einem Metallstück stiess, sah ich wider Erwarten den Frosch in starke Zuckungen verfallen und zwar jedesmal, sobald ich diesen Kunstgriff anwendete. Dies regte mich sehr an, selbst mit einer Hand das Thier, wie früher, zu halten, mit der anderen aber die eines anderen Herrn und ihn zu bitten, mit seiner anderen Hand die Kapsel anzurühren oder zu stossen, damit dadurch gleichsam eine Art elektrischer Kette hergestellt wurde. Sogleich trat die Erscheinung der Contractionen ebenso wieder ein, nicht ohne unsere Freude und Verwunderung. Sie blieb jedoch wieder aus, wenn wir unsere Hände trennten, erschien wieder, wenn wir die Hände wieder vereinigten. Danach entschlossen wir uns, nicht nur durch Ineinanderlegen der Hände, sondern auch durch Dazwischen-

¹⁾ Ibid., S. 22.

halten bald eines nichtleitenden Körpers, nämlich eines Glasstabes, bald eines leitenden Körpers, nämlich eines Metallstabes, die Kette zu bilden. Bei dem Versuche aber sahen wir bei Anwendung des Metallstabes zu unserer grössten Freude die Erscheinung eintreten, bei Anwendung des gläsernen aber gänzlich aufhören und die Kapsel vergeblich mit dem leitenden Körper berührt oder mit derben Schlägen erschüttert werden, so dass wir deshalb glaubten festgestellt zu haben, dass die Elektrizität derartige Contractionen erzeuge, auf welche Weise solches zu Stande kommen möge. Um aber die Sache noch besser klar zu legen, habe ich mit dem grössten Erfolge den Frosch auf eine nicht leitende Platte, nämlich aus Glas oder Harz, gelegt und bald einen leitenden, bald einen ganz oder nur zum Theil nicht leitenden Bogen angewendet und mit dessen einem Ende den in das Rückenmark gehefteten Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskeln oder die Füsse berührt. Bei dem Versuche sahen wir bei der Anwendung des leitenden Bogens die Contractionen eintreten, dann aber bei der Anwendung eines zum Theil nicht leitenden Bogens ausbleiben. Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aber aus einem Messingdraht. Ausserdem aber glückte es uns, das eigenthümliche und bemerkenswerthe Phänomen zu beobachten, dass nämlich die Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit der Substanz des Metalls zur Erregung wie auch besonders zur Vermehrung der Muskelcontractionen viel beiträgt und zwar bei weitem mehr als bei Anwendung ein und derselben Metallsubstanz. So z. B. wenn der ganze Bogen eisern war oder der Haken eisern und ebenso die leitende Platte, blieben nur allzu oft die Contractionen aus oder waren ganz gering. Wenn aber z. B. das eine von ihnen eisern war, das andere aber aus Messing, noch besser, wenn es aus Silber war (Silber nämlich schien uns vor allen übrigen Metallen zum Leiten der thierischen Elektrizität geeignet zu sein), traten wiederholt weit grössere und andauernde Contractionen ein.

Aus der Entdeckung eines Kreislaufs eines derartigen Nervenfluidums, gewissermaassen eines **elektrischen Feuers**, schien uns naturgemäss zu folgen, dass eine zwiefache und zwar verschiedenartige oder besser entgegengesetzte Elektrizität die Erscheinung hervorrufft, wie es eine zwiefache Elektrizität in der Leydener Flasche und im magischen Quadrat ist, durch welche das elektrische Fluidum in ihnen gleichsam seinen Kreislauf bewerkstelligt. Es kann nämlich, wie die Physiker bewiesen haben, ein Strömen und ein Kreislauf der Elektrizität nicht stattfinden, ausser bei der Wiederherstellung des Gleichgewichtes und zwar nur (oder meist) zwischen verschiedenen Elektrizitäten. **Dass aber jene in ein und derselben Metall-**

platte verborgen seien, schien der Natur gänzlich zuwiderlaufend und auch den Beobachtungen widersprechend. Es blieb daher nur übrig, dass sie beide in dem Thier sassen.

Hier liegt der Fehlschluss GALVANI's offen zu Tage. Er hat richtig abgeleitet, dass es strömende Elektricität ist, welche die Muskelcontractionen hervorruft, scheidert aber bei der Frage nach der Quelle dieser Elektricität. Die Beobachtung, dass zur Hervorbringung der Muskelcontractionen immer Thiere sowohl wie Metalle nöthig waren, führt ihn, weil die Elektricität doch nicht in den Metallen, die sich dabei nicht verändern, entstanden sein könne, zu dem falschen Schlusse, dass die Elektricität aus den Thieren stammen müsse. Leider übersieht er dabei, vielleicht nur weil er selbst mehr Physiologe als Physiker war, dass doch bei der Berührung von Metallen, vor allem verschiedenen Metallen, und thierischen Säften oder auch nur der Luft, chemische Veränderungen vor sich gehen können, und dass er selbst viel stärkere elektrische Wirkungen bei der Anwendung verschiedener Metalle statt homogener festgestellt hat. GALVANI bringt das elektrische Fluidum direct mit den thierischen Nervenströmungen zusammen und meint sogar, durch seine Entdeckungen einen Theil des Dunkels, das über dem Wesen der Seele liegt, aufgehellt zu haben. Diese weite Perspektive, die seine Entdeckungen damit zu eröffnen schienen, liess ihn dann an seiner Anschauung von der Wirkung blosser thierischer Elektricität bei den beobachteten Muskelcontractionen auch noch festhalten, als ihm schon sein glücklicherer Gegner VOLTA die Entstehung von Elektricität bei der Berührung verschiedener Metalle und die Wirksamkeit dieser auch in seinen Versuchen schon fast unzweifelhaft nachgewiesen hatte, und er glaubt zu dieser Beharrung um so mehr berechtigt zu sein, als es ihm schliesslich doch gelang, Muskelcontractionen, wenn auch nur sehr schwache, auch ohne Anwendung irgend eines Metalls, hervorzurufen, und so wirklich eine, freilich sehr geringe, thierische Elektricität zu constatiren.

Abgesehen aber von diesem Irrthum in der Quelle erforschte GALVANI die Eigenschaften seiner Elektricität in physikalisch sicherer und genial erfolgreicher Weise. Er demonstirte die Identität derselben mit den bis jetzt bekannten Elektricitäten durch Constatirung der gemeinsamen Eigenschaften in vollkommen überzeugender Weise. Mit der gewöhnlichen Elektricität hat die GALVANI'sche nämlich gemein¹⁾: „Erstens die freie und leichte Bewegung durch dieselben Stoffe, durch welche die gewöhnliche zu fließen pflegt, nämlich vor allem durch die Metalle, und unter denen am besten

¹⁾ Ostwald's Klassiker, no. 52, S. 51.

durch die vollkommeneren, edlen, als da sind Gold und Silber, dann durch die weniger edlen, nämlich Bronze, Eisen, Zinn, Blei, ausserdem durch die unvollkommenen, zu denen Antimon gehört, und schliesslich durch Erze. Leicht und frei ist der Weg durch Wasser und Flüssigkeiten, schwieriger durch Steine, Erden, Hölzer, unterbrochen schliesslich und gänzlich abgeschlossen durch Körper aus Glas, Harz und Oel. Zweitens beim Ausströmen die Vorliebe für den kurzen und leichten Weg, nämlich für Bogen, Ecken und Spitzen. Drittens ihre Doppelsinnigkeit und ihr zweierlei Vorzeichen, nämlich das eine positiv und das andere negativ. Viertens ihr dauerndes und stundenlang constantes Anhaften an den Muskeln, nicht anders wie bei der gewöhnlichen Elektrizität, die lange an den Körpern zu haften pflegt. Fünftens ihre gewissermaassen freiwillige und nicht geringe Zeit andauernde Erneuerungsfähigkeit. Sechstens die hervorragende Zunahme ihrer Kräfte bei Anwendung des Kunstgriffes der sogenannten Belegung und zwar aus dem Metall, mit dem die Physiker gewöhnlich Harz- und Glaskörper bedecken.“ „Die mit der Elektrizität des Zitterrochens und der anderen Thiere dieser Klasse gemeinsamen Eigenthümlichkeiten sind vor allem folgende: Der Kreislauf der Elektrizität von einem Theile des Thieres zum anderen, und zwar durch den Bogen oder vielmehr durch das an Stelle des Bogens dienende Wasser, wie es die Physiker beobachtet haben. Daraus geht hervor, dass ein solcher Kreislauf nicht allein eine Eigenthümlichkeit des Zitterrochens und ähnlicher, sondern vielleicht der meisten Thiere bei Anwendung unserer Kunstgriffe ist. Ausserdem fehlen bei diesen wie bei jenen die Anzeichen einer noch so zarten Ausstrahlung, es fehlen die Anziehung und Abstossung sehr leichter Körper und schliesslich die Anzeichen auch der geringsten Bewegung in den bisher erfundenen Elektrometern. Mit einer solchen Elektrizität hat ferner unsere thierische Elektrizität auch das gemein, dass sie keiner vorausgehenden Kunstgriffe bedarf, z. B. der Reibung, Erwärmung u. dergl.“

Als einen Unterschied seiner thierischen gegen die gewöhnliche Elektrizität vermag GALVANI noch die Beobachtung anzuführen, dass diese erstere viel „weniger leicht als die gewöhnliche allgemein verbreitete Elektrizität durch die leitenden Körper sich verliert“¹⁾, eine Beobachtung, die schon auf den Unterschied in der Spannung der beiden Elektrizitäten hindeutet.

GALVANI hatte, wie oben berichtet, erkannt, dass die Quelle seiner Elektrizität nur in den Thieren oder in den gebrauchten Metallen gesucht werden konnte, und hatte diese letztere Möglichkeit, als der Natur gänzlich zuwiderlaufend,

¹⁾ Ostwald's Klassiker, no. 52, S. 38.

verneint. Dieser Verneinung aber wurde fast direkt nach ihrer Bekanntmachung durch VOLTA widersprochen und gerade die Metalle wurden von ihm durch Experimente, die den GALVANI'schen congenial waren, als Hauptquelle der beobachteten Elektrizität nachgewiesen. Schon vom Jahre 1793 an drückte VOLTA in Briefen seine Zweifel an der GALVANI'schen Theorie der thierischen Electricität aus; im Jahre 1795 aber trat er wieder in einem Briefe dieser Theorie einer thierischen Elektrizität mit einer wohlausgebildeten Theorie der Metall-elektrizität direkt entgegen.¹⁾ VOLTA wendet sich dabei zuerst gegen die im Anfange besonders bei deutschen Physikern ziemlich verbreitete Meinung, dass die sogenannte thierische Elektrizität gar keine eigentlich elektrische, sondern eine durch die Lebenskraft erregte Nervenflüssigkeit sei, die keine andere Funktion habe, als die Muskeln zur Contraction zu bringen. „Es ist gar kein Zweifel,“ so sagt er²⁾, „dass die in dergleichen Versuchen in Bewegung gesetzte Flüssigkeit nicht die wahre ächte elektrische sei, d. h. jene, welche sich in den Versuchen mit der gewöhnlichen Elektrizität, aus dem Gleichgewichte bringt, sich sammelt und entladet etc. Ich kann nicht begreifen, wie sich manche es haben einfallen lassen, dass es eine andere, von der elektrischen gänzlich verschiedene, oder eine bloss analoge, aber keine identische Flüssigkeit sei; eine spezifische thierische, auf eine gewisse Art elektrische, ja wohl dabei wahre elektrische Flüssigkeit selbst, nur verschiedentlich modificirt, mehr oder weniger ihrer natürlichen Eigenschaften beraubt, oder mit mehreren begabt, auf eine gewisse Art animalisirt, welcher sie den Namen einer elektrisch-thierischen Flüssigkeit beigelegt haben. Das sind leere Begriffe, unnütze, ungründliche Voraussetzungen. Es ist vielmehr nichts anderes, als die gemeine wahre elektrische Flüssigkeit, welche durch die Wirkung (eine neue und wahrlich wunderbare Entdeckung) heterogener, zur gegenseitigen Berührung gebrachten Leiter, in Lauf gesetzt wird, die Nerven reizet, sie angreift, durchläuft und durch sich selbst die Zusammennziehungen in den von ihnen abhängigen Muskeln hervorbringt; ganz das nämliche, welches geschieht, wenn die Nerven von dem elektrischen Fluido durchdrungen werden, welches von einer gewöhnlichen Maschine, mit einer Leydner Flasche u. s. w. auf dieselbe geleitet wird. Die Wirkung auf die Nerven und Muskeln ist auf die eine und die andere Art

¹⁾ Die Briefe wurden abgedruckt in Brugnatelli's *Giornale fisico-medico*; deutsch wurden sie herausgegeben von Dr. JOH. MAYER: *Volta's Abhandlungen über die thierische Elektrizität*, Prag 1793; *Volta's Schreiben an den Herrn Abt Anton Maria Vasali über die thierische Elektrizität*, Prag 1796.

²⁾ *Volta's Schreiben an Vasali*, Prag 1796, S. 2, Anm. 1.

sich ganz gleich. Von dieser Aehnlichkeit auf die Ursache zu schliessen, ist schon an sich selbst ein grosses Argument. Bemerket man noch, dass es eben dieselben Nichtleiter, gute und schlechte Ableiter der gemeinen Elektrizität sowohl als der in Bewegung gesetzten Flüssigkeit obgedachter Versuche sind, so kann gar kein Zweifel mehr obwalten, dass es nicht eine und die nämliche elektrische Flüssigkeit sei. Die Einwürfe, von daher genommen, dass man keine Funken oder ein anderes der gewöhnlichen elektrischen Zeichen bemerke, sind von gar keinem Gewicht. Man nimmt ebenfalls keines dieser Zeichen bei sehr schwach elektrisirten Leitern wahr. Und dennoch sind dies Entladungen der wahren elektrischen Flüssigkeit, die die Leiter durchläuft, welche sie von einem Ende bis an das andere durchlassen. Unter diesen sind auch die empfindlichsten Nerven eines Thieres begriffen und auf eine Art eingerichtet, dass sie den Lauf entweder ganz oder doch grösstentheils durch sich gestatten, und dass dieser, so schwach er auch immer ist, die Nerven dennoch empfindlich zu reizen, einen Geschmack auf der Zunge, ein Blitzen im Auge, und vorzüglich die Zusammenziehungen der von ihnen abhängigen Muskeln hervorzubringen im Stande ist, wie ich es durch verschiedene Versuche mit der gewöhnlichen, künstlichen Elektrizität bewiesen habe. Diese wunderbare Reizbarkeit der Nerven, (vorzüglich jener, welche zu den willkürlichen Bewegungen dienen) auf die elektrische Flüssigkeit, machet aus dem auf die GALVANI'sche Art zubereiteten Frosche ein lebendiges Elektroskopium, welches die feinsten Elektrizitätsmesser mit Goldblättchen u. s. w. an Empfindlichkeit weit übertrifft.“

„Die Meinung, welche ich mit so vielen Beweisgründen und Versuchen behauptet habe und noch behaupte¹⁾, bringt alles auf ein Spiel der geschickt angebrachten Leiter zurück, auf die Kraft, welche ich ihnen beilege, oder besser, mit welcher, wie ich die Entdeckung gemacht habe, sie begabet sind, dass sie nämlich dies reizen und bewegen, wo die Leiter, was immer für einer Klasse der elektrischen Flüssigkeit begegnen oder dieselbe berühren. Daher kommt es auch, dass wenn drei oder mehrere verschiedene Leiter einer den anderen berühren, sie einen Leiterkreis bilden. So z. B. wenn zwischen zwei Metalle: Silber und Eisen, Blei und Messing, Silber und Zink u. s. w. ein anderer oder mehrere nicht metallische Leiter gestellt werden. Ich meine jene Leiter, welche ich die nassen benannt habe, weil sie entweder selbst flüssig sind, oder eine Flüssigkeit in sich enthalten, worunter alle thierischen Körper und alle ihre frischen und saftigen Theile gehören. Kommt nun ein Leiter

1) Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 7.

dieser zweiten Klasse zwischen zwei der ersten, zwischen zwei verschiedene Metalle, und wird von ihnen berührt, so entsteht ein immerwährender Lauf, je nachdem die Wirkung, kraft der Berührung auf der einen oder andern Seite, das Uebergewicht hat.“

„Dieses zeigt hinlänglich an, wie verschieden meine behauptete Elektricität von der vorgeblich thierischen des GALVANI und seiner Anhänger sei. Meine setzt keine Ladung, kein Übergewicht, folglich auch keine Entladung in den thierischen Organen, eben so wenig eine eigentliche Ladung oder Entladung der Leiter, wohl aber einen Kreislauf, ein immerwährendes Vorwärtsgen der elektrischen Flüssigkeit, voraus, welches durch eine geheime, aus der Berührung ungleichartiger Leiter entspringende Kraft erregt und im Gange erhalten wird. Sie sind also bei so bewandten Umständen mehr als einfache Leiter, denn sie reizen zugleich wahrhaft und bewegen.“¹⁾

Dafür sprechen vor Allem „die Versuche des Geschmacks, welchen ich mittelst der Metalle auf der Zunge zu erregen entdeckt habe. Dieser Geschmack ist entweder sauer oder alkalisch, je nachdem die Metalle z. B. das Silber oder das Zink, welche mit der Zunge den Leiterzirkel bilden, die Spitze derselben berühren. Die Wirkung der Leiter, kraft ihrer blossen Berührung, wenn sie nur sonst verschiedener Art sind, ist offenbar (jene Wirkung nämlich, welche die elektrische Flüssigkeit zu einem Kreislaufe zwingt, sobald nur der Zirkel der Leiter vollkommen ist) und lässt sich in dem grössten Teile dieser Versuche mit Händen greifen. Vorzüglich in jenen, in welchen eine Berührung nasser oder Leiter der zweiten Klasse an den entgegengesetzten Enden mit solchen der ersten Klasse oder Metallen sehr verschiedener Art, z. B. mit Gold oder Silber von der einen Seite, von der andern aber mit Eisen, oder besser, mit Blei oder Zinn, am besten aber mit Zink, statt hat. Durch diese Versuche habe ich auch noch die Richtung des durch dergleichen Berührungen hervorgebrachten Laufes der elektrischen Flüssigkeit entdeckt; vom Zinne oder Zinke nämlich mittelst der dazwischen gelegten nassen Leiter auf das Gold oder Silber.“²⁾

Nach der Erregung des Geschmacks construirt VOLTA auch seine erste Spannungsreihe, die nicht blos die Metalle, sondern auch zahlreiche Erze umfasst. Danach aber kommt VOLTA auf einen wunden Punkt seiner Theorie, den GALVANI und seine Anhänger gleich nach den ersten Angriffen VOLTA's aufgedeckt hatten; das ist die Thatsache, dass man an frisch zubereiteten und sehr empfindlichen Fröschen selbst ohne Da-

¹⁾ Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 9, Anm. 2.

²⁾ Ib., S. 10, Anm. 3.

zwischenkunft irgend eines metallischen Leiters oder einer Kohle eine Art von Zusammenziehung der Muskeln hervorbringen konnte, welches VOLTA bis dahin „zu dreist“, wie er selbst sagt, als unmöglich angegeben hatte. „Dieses muss ich, so bekennt er jetzt¹⁾, zurücknehmen, oder meine zu allgemeinen Ausdrücke verbessern, nicht zwar in Rücksicht auf den Hauptsatz, welchen ich behauptet habe, und noch immer behaupte, das ist: dass die Bewegung der elektrischen Flüssigkeit nicht von den thierischen Organen, in welchen sich dieselbe, nach der Meinung der Galvanier als eine Ladung oder ein Uebergewicht befindet, herrühre, wohl aber von der Kraft, welche aus der Berührung ungleichartiger, den Leitungsbogen bildender Leiter, entspringt. Kurz, dass selbst in solchen Versuchen, bei welchen man sich keiner Metalle bedient, eine künstliche, durch eine äussere Ursache, keineswegs aber eine durch eine innere Kraft der Organe, Nerven, oder Muskeln hervorgebrachte Elektrizität stattfinde. Um nun wieder auf diese Versuche zu kommen, so nimmt es mich gar nicht Wunder, dass selbst viele von jenen überraschet worden, welche anfänglich die vorgebliche thierische Elektrizität nicht glaubten und sich nun öffentlich für sie erklären, nämlich alle jene die nur bei diesen stehen blieben und nicht reiflich über alle Umstände nachdachten . . . Diese und ähnliche Versuche, in welchen kein metallischer Leiter, keiner von denen, welche ich Erreger (eccitatori) genannt habe, vorkommt, in welchen ein Theil des Thieres selbst den Leiterbogen ausmacht, oder, wenn er ihn ja nicht ganz ausmacht, dennoch den Leiterzirkel mit andern nassen Leitern ergänzen hülft. Diese Versuche, rufen die Galvanianer, sind entscheidend, sind überzeugend . . . Nun was sagen Sie dazu, mein lieber Freund! geben Sie es Ihnen sogleich schlechterdings gewonnen? oder wollen Sie, um Frieden zu halten, beide Principien gelten lassen, und annehmen, (welches ich auch einmal aber nur eine kurze Zeit that), dass einmal das eine, ein andermal das zweite Princip Ursache dieser Zuckungen sei? Aber sie können kühn glauben, dass die ungleichartigen Metalle mit ihren nassen Mitleitern ganz gewiss die Kraft besitzen, die elektrische Flüssigkeit in Bewegung zu setzen, und dass diese Wirkung, dieser dadurch erregte elektrische Lauf viel zu schwach sei, um durch gewöhnliche Elektrizitätsmesser angezeigt zu werden, aber mehr als hinlänglich stark, um die willkürlichen Nerven, oder besser die respektiven und andere sehr empfindliche Muskeln, durch welche sie vereint durchgeht, zu reitzen. Diesen genugsam wirkenden Lauf, fühlen die schon seit langer Zeit zubereiteten, und schon sehr schwachen Frösche — diesen Lauf fühlen, wie ich entdeckt habe, die

¹⁾ Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 23 u. f.

Nerven des Geschmacks, des Gesichts u. s. w. Können Sie nun meinen vielen Versuchen, in welchen bloss durch Hülfe verschiedener Metalle die obgemeldeten Wirkungen erhalten werden, Glauben beimessen oder nicht? Oder können Sie zur nämlichen Zeit auch noch glauben, oder wenigstens vermuthen, dass die Bewegung elektrischer Flüssigkeit manchmal von einer Ladung oder einem Übergewichte in den thierischen Organen, (wie es die Galvanianer für wahr annehmen), herrühre? Bei der näheren Beleuchtung und Untersuchung dieser Versuche, durch welche mir es gelungen war, Zuckungen in einem Frosche mittelst zweier Belegungen von ein und demselben Metalle, und mittelst eines Bogens aus einem Metalle ohne anderer Belegung, zu erregen, entdeckte ich, dass eine kleine zufällige Verschiedenheit in der Beschaffenheit dieser Belegungen oder den Enden des Bogenleiters, z. B. in der Politur u. s. w. hinreiche, um die elektrische Flüssigkeit in eine Bewegung zu setzen, sie in einen Lauf zu bringen, und einen vollkommen und frisch zubereiteten Frosch zu bewegen. Einige Monate darnach wurde meine Aufmerksamkeit durch die neuern Versuche des Herrn Abts VALLI, bei welchen man sich gar keiner Metalle bedient, aufgeregt. Ich machte sie nach, analysierte sie, wiederholte sie und änderte sie auf verschiedene Arten ab, und fand sehr bald, dass hier nur die Berührung der ungleichartigen Leiter notwendig sei, und dass das ganze Spiel von dieser Verschiedenheit abhängt. Sind denn die nicht metallischen, die nassen, oder irgend eine Feuchtigkeit enthaltenden Leiter der zweiten Klasse nicht auch Aufreger (Eccitatori) wie es die Metalle, oder die Leiter der ersten Klasse, verglichen mit jenen der zweiten sind? Ist ihnen nicht ebenfalls wie den Metallen diese Kraft verliehen? Ganz gewiss, aber nur in einem geringern Grade, so dass sie den metallischen Leitern in der Eigenschaft die elektrische Flüssigkeit zu bewegen, ebenso weit, als in jener sie zu leiten, nachstehen. So dachte ich gleich anfänglich, und erklärte mich darüber in einigen im Sommer 1792 an meine Freunde geschriebenen Briefen. Etwas von dieser Aufregungskraft legte ich auch damals schon den nicht metallischen Leitern, wenn sie von verschiedener Art sind, bei. Ich sage etwas von dieser Kraft, denn ich habe immer geglaubt, und glaube noch, dass diese ungleich geringer sei, als jene, welche sich durch die Berührung eines nicht metallischen Leiters der zweiten Klasse mit zwei verschiedenen metallischen Leitern entwickelt. Auf keinen Fall kann ich nun mehr sagen, sie sei so schwach, dass ihre Wirkung immer unmerklich bleibe, itzt da wir durch neuere Versuche belehret werden, dass in einigen Fällen, unter oben angeführten Umständen, durch eine äusserst geringe Kraft, die beinahe für keine gelten kann, solch ein elektrischer Lauf erregt werde; welcher hinreicht einen

nur erst und auf's beste zubereiteten Frosch in Zuckungen zu versetzen; um diese Wirkung hervorzubringen bedarf es sehr wenig, wie das durch die gewöhnlichen elektrischen Entladungen vorzüglich mit den Leidner Flaschen zu beweisen ist, die schwächsten, welche keinen Funken geben und nur den empfindlichsten, von Ihnen verbesserten BENNAT'schen Elektrizitätsmesser mit Goldblättchen, ein wenig bewegen, reichen hinlänglich aus.“

„Unser Principium¹⁾, dass aus jeder Berührung ungleichartiger Leiter eine Wirkung entstehe, welche die elektrische Flüssigkeit in eine stärkere oder schwächere Bewegung versetzt, wird also ausgedehnter, allgemeiner; so dass, wenn nur der Leiterzirkel aus drei was immer für Leitern, wenn sie nur sonst verschieden sind, zusammengesetzt ist, so erfolgt immer entweder ein mittelmässiger, schwacher, oder der schwächste Lauf dieser Flüssigkeit. Wir lassen hier das Wort die metallischen hinweg, weil es eine nicht allerdings richtige Einschränkung festsetzt, oder wir verwechseln die Worte verschiedene metallische Leiter mit denen verschiedene vorzüglich metallische Leiter, oder der ersten Klasse. Durch dieses vorzüglich behalten die Leiter der ersten Klasse jenen Vorzug, welchen ich ihnen in meinen ersten Abhandlungen eingeräumt habe, dass sie die elektrische Flüssigkeit nicht nur in Bewegung setzen, sondern auch aufregen; eben diese Kraft besitzen auch die Leiter der zweiten Klasse, nur in einem sehr geringen Grade.“

VOLTA hatte für seine neue Theorie bis dahin noch keinen neuen Versuch beigebracht, ausgenommen die Geschmackserregung durch zwei einander berührende Metalle, die sich aber in dem Falle der Elektrizitätserregung durch verschiedene nicht metallische Stoffe nicht einmal nachweisen liess. Trotzdem lässt sich nicht verkennen, dass auch damals schon die klare VOLTA'sche Berührungstheorie der GALVANI'schen, die die dunkle Lebenskraft mit ins Spiel führte, entschieden überlegen war, wenn dies auch die Anhänger GALVANI's, und das war vielleicht damals die Mehrzahl der Physiker, noch nicht anerkennen mochten. Doch erlangte schon nach einigen Jahren, nachdem VOLTA im Jahre 1800 seine Säule und seine Becher- oder Trogapparate beschrieben hatte, seine Theorie nicht blos das vollständige Uebergewicht, sondern vielmehr die absolute Alleinherrschaft. VOLTA bewies durch diese Apparate unwiderleglich, dass man mit Hilfe einer blossen Zusammenstellung von Metallen und Flüssigkeiten alle Erscheinungen der GALVANI'schen Elektrizität in bedeutender Stärke hervorrufen könnte, und er erklärte danach unter allgemeinem Beifalle ohne weitere Bedenken, dass diese Elektrizität durch das blosse Berühren der Leiter, be-

¹⁾ Volta's Schreiben, Prag 1796 S. 66.

sonders metallischer und nasser Leiter untereinander, erzeugt werde. Indessen konnte auch diese mit so grossem Jubel aufgenommene VOLTA'sche Theorie ihre Alleinherrschaft nicht lange behaupten. VOLTA hatte ohne weitere Bestimmung die Berührung verschiedener Stoffe als Ursache der Erregung GALVANI'scher Elektricität angegeben und hatte dabei das Verhalten der verschiedenen, metallischen und nassen Leiter gegeneinander nur sehr flach eindringend berührt. Als die eigentlichen Erregungsorte der Elektricität bezeichnete er die Berührungsstellen der Metalle; den nassen Leitern, obgleich auch sie bei der Berührung Elektricität, freilich nur schwache, erregen könnten, schrieb er für seine Säule oder Batterien doch nur eine rein leitende Wirkung zu, so dass durch diese Leiter die einzelnen Elemente, in ihren elektrisch erregenden Einzelwirkungen ungehemmt, doch elektrisch miteinander verbunden blieben.¹⁾ Aber als Ursache für die fortdauernde Bewegungserregung der elektrischen Materie einen rein statischen Zustand, wie die Berührung verschiedener Stoffe, ohne besondere Kräfte direct anzunehmen, erschien auch zu jener Zeit nicht ohne Weiteres gerechtfertigt und musste als ein gerader Widerspruch gegen das fundamentale Gesetz der Beharrung erkannt werden. So erschien auch nach VOLTA die Frage nach der eigentlichen Ursache der GALVANI'schen Elektricität noch offen und bald zeigte sich in der That eine neue Möglichkeit, die Entstehung derselben aus bekannten Kräften statt einer etwa anzunehmenden räthselhaften Contactkraft abzuleiten.

GALVANI hatte angenommen, dass die Metalle, die er als Bogen und Belegungen der Nerven benutzte, bei der Bewegung der Elektricität nur als Leiter dienten und sonst nicht weiter verändert würden. Bei Benutzung der grossen VOLTA'schen Apparate, die nach jedem Gebrauch neu aufgebaut und ziemlich mühsam gereinigt werden mussten, war aber eine bedeutende chemische Veränderung ihrer Oberfläche gar nicht zu verkennen, ja bessere Beobachter bemerkten noch schärfer, dass diese chemischen Veränderungen beim Durchlaufen eines galvanischen Stromes schneller vor sich gingen als bei einer sonstigen blossen Berührung der einzelnen metallischen und nassen Leiter. Ueberhaupt entdeckte man fast direct nach der Construction der VOLTA'schen Apparate, dass ein galvanischer Strom in einer Flüssigkeit immer chemische Veränderungen hervorrufe und dass somit galvanische Strömungen und chemische Zersetzungen untrennbar miteinander verbunden seien. Damit waren zwei neue Probleme zur Untersuchung gestellt, erstens nämlich, wie

¹⁾ Die betreffenden Abhandlungen VOLTA's sind übersetzt in Gilbert's Annalen der Physik, X, S. 421 und XII, S. 497. Vergl. ROSENBERGER Geschichte der Physik, III. Theil, S. 114.

weit und welche chemischen Veränderungen durch den Strom hervorgerufen werden, und zweitens, ob denn auch umgekehrt aus den natürlichen chemischen Veränderungen einander berührender fester und flüssiger Stoffe Ströme galvanischer Elektrizität hervorgehen könnten? Das erste Problem führte zur Aufstellung einer elektrischen Theorie der chemischen Vorgänge, nach welcher die chemischen Affinitäten nur durch die elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte erzeugt werden; das zweite Problem veranlasste eine neue chemische Theorie der GALVANI'schen Elektrizität, die sich der CONTACTtheorie gegenüberstellte.

GALVANI war schon im Jahre 1798 gestorben und hatte also keine Gelegenheit gefunden, den letzten Erfolgen VOLTA's gegenüber Stellung zu nehmen. Merkwürdiger Weise blieb auch VOLTA, der noch bis zum Jahre 1827 lebte, dem Streite um die chemische Theorie der galvanischen Elektrizität, die seit dem ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts seiner CONTACTtheorie sich entgegensetzte, gänzlich fern. GALVANI und VOLTA waren vor Allem bemüht gewesen, an der neuen Elektrizität alle Eigenschaften der alten nachzuweisen; nach neuen Eigenschaften hatten beide kaum gesucht, und VOLTA, der doch die von ihm bemerkte Geschmacksempfindung so folgenreich benutzte, ging nicht einmal soweit, dieselben auf chemische Veränderungen der Mundflüssigkeiten durch den elektrischen Strom zurückzuführen. Auch nachdem NICHOLSON und CARLISLE noch im Jahre 1800 die Zersetzung des Wassers durch den GALVANI'schen Strom behauptet, brauchte man doch noch ziemliche Zeit, die elektrochemischen Zersetzungen richtig zu beurtheilen oder auch nur richtig zu erkennen. Das Bedeutendste leistete in dieser Beziehung HUMPHRY DAVY, der in einer Abhandlung „Ueber einige chemische Wirkungen der Elektrizität“¹⁾, die er am 20. November 1806 vor der Royal Society las, die Zersetzung des Wassers in Sauerstoff erst über allen Zweifel erhob und damit die feste Grundlage für eine wissenschaftliche Erforschung der Beziehungen zwischen elektrischen und chemischen Kräften legte. „Die chemischen Wirkungen, sagt er in dieser Abhandlung²⁾, welche die Elektrizität hervorbringt, haben seit einiger Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen. Das Neue dieser Erscheinungen, die wenige Analogie derselben mit den bekannten Thatsachen und der scheinbare Widerspruch zwischen einigen der Resultate machen indess,

¹⁾ Phil. Transactions for 1807, p. 1. Deutsch herausgegeben von W. OSTWALD in Ostwald's Klassikern der exakten Wissenschaften, no. 45.

²⁾ Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 1.

dass diese Untersuchung mit dem tiefsten Dunkel bedeckt ist. Schon bei den ersten chemischen Versuchen, die man mit der VOLTA'schen Säule anstellte, hat man Spuren von Säure und von Alkali an den Oberflächen der elektrisirten Metalle wahrgenommen, durch welche ein Strom von Elektricität auf Wasser wirkte. CRUICKSHANK hielt die Säure für Salpetersäure und das Alkali für Ammoniak; DESORMES suchte bald darauf durch Versuche zu beweisen, dass es Salzsäure und Ammoniak sei; und BRUGNATELLI behauptete, es sei eine eigene neue Substanz, die er glaubte elektrische Säure nennen zu müssen. Ich hatte im Anfange des Jahres 1800 gefunden, dass, wenn zwei gesonderte Antheile destillirten Wassers in zwei Glasröhren durch feuchte Blase oder irgend eine andere feuchte thierische oder vegetabilische Materie mit einander verbunden, und der elektrischen Einwirkung der VOLTA'schen Säule durch Golddrähte ausgesetzt werden, in der Röhre des positiven Drahtes eine salpetersalzsaure Goldauflösung, und in der Röhre des negativen Drahtes eine Natronauflösung entsteht. Ich überzeugte mich indess bald darauf, dass in diesem Falle die Salzsäure von den thierischen und vegetabilischen Materien herührt. Aehnliche Schlüsse haben die galvanische Societät in Paris, der Dr. WOLLASTON, welcher die beiden Glasröhren durch befeuchteten Asbest verband, und die Herren BIOT und THÉNARD aus ihren Versuchen gezogen. Was das Natron betrifft, so bemerkte ich, dass, so oft ich davon eine grosse Menge erhielt, das Glas da, wo es von dem Drahte berührt, stark angefressen war; dagegen erhielt ich kein fixes Alkali, wenn ich in einer Achatschale destillirtes Wasser elektrisirte, das durch zwei Platinspitzen mit der VOLTA'schen Säule verbunden war. Dieses bestimmte mich, das Natron hauptsächlich dem Glase zuzuschreiben.“

DAVY zersetzte danach destillirtes Wasser unter den verschiedenartigsten Umständen durch den elektrischen Strom in Thonpfeifenköpfen, in Achatbechern und in Hohlkapseln aus reinem Golde einige Stunden oder auch einige Tage lang, und immer fand er unter den Zersetzungsprodukten Bestandtheile salzartiger Verbindungen, Metalle, Basen und Säuren. Die Beobachtungen aber, dass diese Zersetzungsprodukte in einem besonderen Zusammenhange mit den Bestandtheilen des Zersetzungsgefässes oder mit denen der Destillationsgefässe standen, auch mit der Zeitdauer der Zersetzung sich immer veränderten, liessen ihn die bis dahin vielfach herrschende Meinung, dass der galvanische Strom das Wasser in die betreffenden Zersetzungsstoffe verwandele, gänzlich verwerfen und durch seine Versuche als bewiesen annehmen, dass alle die basischen, sauren und metallischen, bei der elektrischen Zersetzung des Wassers erhaltenen Stoffe nicht aus dem Wasser, sondern aus

den Zersetzungsgefässen oder Destillationsgefässen stammten. Hiernach folgte dann ohne Weiteres der für die Elektrolyse grundlegende Satz, dass chemisch reines Wasser sich durch Elektrizität einzig und allein in Sauerstoff- und in Wasserstoffgas zersetzt. Auch bei der elektrischen Behandlung von Salzlösungen konnte DAVY nie eine sogenannte Verwandelung der Stoffe, sondern immer nur eine Scheidung der Bestandtheile, und zwar, wie er meinte, bis auf die letzten einfachen Bestandtheile der Verbindungen bemerken.

Um diese elektrochemischen Zersetzungen zu erklären, nahm DAVY nach dem Vorgange von BERZELIUS und HISINGER an, dass die Bestandtheile, welche beim Zersetzen der Salze durch Elektrizität sich trennen, von der einen zur anderen der elektrisirten Metallfläche hinübergeführt werden, weil sie von den betreffenden Polflächen je nach ihrer Art angezogen oder abgeschlossen werden, und dass dabei der Wasserstoff, die alkalischen Substanzen, sowie die Metalle und Metalloxyde zum negativen, die Säuren aber zum positiven Pole gehen. Das aber bedingte nach DAVY's Meinung wieder, dass diese Zersetzungsprodukte selbst von Natur aus elektrisch sind und eben durch die Anziehung der elektrischen Pole von einander getrennt werden. Bei der Zersetzung des Wassers würde also beispielsweise der negativ-elektrische Sauerstoff eines Wassertheilchens von der positiven Metallfläche angezogen, der positiv-elektrische Wasserstoff aber von ihr abgestossen; umgekehrt zöge die negative Metallfläche den Wasserstoff des Wassertheilchens an und stiesse den Sauerstoff ab. Im Mittelpunkte des flüssigen Bogens müsste daher nothwendig eine neue Verbindung unter den zurückgestossenen Materien vor sich gehen und es fände nun eine Reihe von Zersetzungen und Wiederaussetzungen von einer der elektrisirten Metallflächen zur anderen statt, so dass schliesslich die Theilchen der äussersten Punkte allein wirksam wären. Nehmen wir aber an, dass die Elemente und ihre Verbindungen von Natur aus elektrisch sind und je nach ihrer besonderen Natur auch eine besondere Art von Elektrizität haben, so wird daraus von selbst folgen, dass Stoffe, deren natürliche Elektrizitäten entgegengesetzter Art sind, sich durch diese Elektrizitäten gegenseitig anziehen und, wenn sie nicht gehindert werden, mit einander verbinden müssen, dass also die chemische Verwandtschaft durchaus identisch mit der elektrischen Attraction ist.

„Die chemische Anziehung zwischen zwei Körpern, sagt DAVY demgemäss¹⁾, lässt sich nicht bloss, wie es scheint, vernichten, dadurch, dass man den einen in einen elektrischen Zustand versetzt, der von seinem natürlichen Zustande ver-

¹⁾ Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 34.

schieden ist, das heisst, indem man ihn durch Kunst in einen gleichartigen elektrischen Zustand mit dem andern versetzt; sondern man kann umgekehrt auch diese chemische Anziehung verstärken, indem man die natürliche Energie eines Körpers erhöht. Während so z. B. das Zink, das oxydirbarste aller Metalle, unfähig ist, sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, so lange es in dem Kreise der Säule negativ, selbst nur durch eine schwache Kraft, elektrisirt wird, vereinigt sich das Silber, eins der am schwersten zu oxydirenden Metalle, sehr willig mit dem Sauerstoffe, wenn es in dem Kreise positiv elektrisirt ist. Dasselbe lässt sich von den übrigen Metallen sagen. Es würde bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse umsonst sein, die entferntere Ursache der elektrischen Kraft, oder den Grund auffinden zu wollen, warum zwei verschiedene Körper in ihrer Berührung sich entgegengesetzt elektrisirt finden. Der Zusammenhang ihrer Elektrizität mit ihrer chemischen Verwandtschaft liegt dagegen ziemlich klar am Tage. Sollte es nicht möglich sein, dass sie überhaupt einerlei mit der Verwandtschaft und eine wesentliche Eigenschaft der Materie wäre. Es würde keine Schwierigkeiten haben, diese Ansicht durch Anwendungen in bestimmten Zahlen noch weiter aufzuklären, und sie überhaupt auf alle Fälle chemischer Verwandtschaften auszudehnen. Bei dem jetzigen Zustande dieser Untersuchung würde es indess voreilig sein, dem hypothetischen Theile des Gegenstandes eine grössere Ausdehnung zu geben.“

Der Behauptung DAVY'S von einer wesentlichen Identität oder wenigstens eines engen Zusammenhanges der elektrischen und chemischen Kräfte konnte nach den vorhandenen Beobachtungen kaum mehr widersprochen werden, wenn es auch zuerst immer noch wunderbar erschien, dass die elektrischen Imponderabilien ausser den vielen schon früher erkannten Wirkungen nun auch noch chemische Kräfte hervorbringen sollten. Leider knüpften sich an diese neue Erkenntniss nur wieder neue Schwierigkeiten und schliesslich ging aus ihr sogar einer der hartnäckigsten und allgemeinsten wissenschaftlichen Kämpfe hervor. Das gleichzeitige Auftreten elektrischer und chemischer Kräfte in der VOLTA'SCHEN Säule führte mit Nothwendigkeit zu der Frage, welches denn dabei die primitive Form der Kraft sei, die elektrische oder die chemische? VOLTA hatte behauptet, dass beim Contact verschiedener Leiter, die in den Stoffen immer vorhandenen Elektrizitäten vertheilt würden, und dass diese Vertheilung fortdaure, so lange die vertheilten Elektrizitäten abströmen könnten. Diese ohne angebbaren Kraftverbrauch möglicherweise bis ins Unendliche fortdauernde

Scheidung und weite Bewegung der Elektricitäten ging schon damals gar manchem Physiker gegen die Ueberzeugung, und solche Physiker waren froh nach der Erkenntniss der gegenseitigen Abhängigkeit chemischer und elektrischer Kräfte die chemischen Vorgänge in der VOLTA'schen Säule als die Ursache der elektrischen Ströme angeben zu können. Freilich verlor man auf der andern Seite dadurch wieder den Vortheil, die leicht beobachtbaren elektrischen Anziehungen und Abstossungen zur Erklärung der gänzlich dunklen und unfassbaren chemischen Verwandtschaften benutzen zu können. Die Chemiker, welche sich in erster Linie natürlich für die Erklärung der letzteren interessirten, blieben darum meist der VOLTA'schen Contacttheorie treu und es entspann sich danach zwischen der chemischen und der Contacttheorie jener lange erbitterte Streit, der in den ersten sechs Jahrzehnten dieses Jahrhunderts mit solcher Heftigkeit geführt wurde, dass die Gegner schliesslich einander gar nicht mehr verstanden und der durch einen Compromiss nur nothdürftig abgeschlossen wurde. Die Anhänger der chemischen Theorie gaben am Ende zu, dass unter allen Umständen zur Erzeugung der GALVANI'schen Elektricität ein Contact heterogener Stoffe nöthig sei, und die Contacttheoretiker konnten danach auch nicht leugnen, dass für die Dauer der elektrischen Ströme ein Aufwand an chemischer Energie nicht entbehrt werden könne. Wie und wo aber die Umsetzung von chemischer Energie in elektrische wirklich vor sich gehe, das genau anzugeben, musste man den Zeiten überlassen, wo die innere Natur dieser Energien erst vollständig erkannt sein würde.

DAVY war übrigens einer vermittelnden Richtung, wie sie später immer mehr zur Anerkennung kam, schon vom Anfange an zugeneigt. „Die elektrischen Kräfte der Metalle, sagt er in der erwähnten Abhandlung¹⁾, eines in Beziehung auf das andere, oder der im Wasser aufgelösten Substanzen, scheinen in den VOLTA'schen und den ähnlichen Apparaten die Ursache der Aufhebung des Gleichgewichts zu sein. Die chemischen Veränderungen scheinen dahin zu streben, das Gleichgewicht wieder herzustellen; und höchst wahrscheinlich hängen die Erscheinungen, welche diese Apparate zeigen, von der vereinten Wirkung beider Ursachen ab. In der VOLTA'schen Säule aus Zink, Kupfer und Kochsalzwasser, welche dem, was man die Bedingung ihrer elektrischen Spannung genannt hat, gemäss angeordnet ist, sind die sich berührenden Kupfer- und Zinkscheiben in entgegengesetzten Zuständen von Elektricität. Für eine Elektricität von so schwacher Intensität ist Wasser ein isolirender Körper. Daher bewirkt jede Kupferscheibe in der ihr gegenüberstehenden Zinkscheibe eine Vermehrung positiver

¹⁾ Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 40.

Elektricität durch Vertheilung, und umgekehrt jede Zinkscheibe in der ihr gegenüberstehenden Kupferscheibe eine Vermehrung der negativen Elektricität, und die Intensität wächst im Verhältnisse der Zahl, die Quantität im Verhältnisse der Grösse der Oberflächen, welche die Reihe ausmachen.¹⁾ Wenn die beiden Enden miteinander in leitende Verbindung gesetzt werden, so streben die beiden entgegengesetzten Elektricitäten, sich gegenseitig aufzuheben. Doch nur, wenn die zwischen den Plattenpaaren befindliche Flüssigkeit unzersetzbar ist, lässt es sich denken, dass das Gleichgewicht wirklich hergestellt und der Kreislauf der Elektricität gehemmt werde. Da aber das Kochsalzwasser aus zwei Paar Elementen besteht, die entgegengesetzte elektrische Kräfte haben, so werden der Sauerstoff und die Säure von dem Zinke, der Wasserstoff und das Alkali²⁾ von dem Kupfer angezogen. Daher besteht nur für einen Augenblick ein Gleichgewicht der Kräfte. Das Zink wird aufgelöst, und der Wasserstoff entbindet sich, die negative Kraft des Kupfers und die positive des Zinks entwickeln sich aufs neue, bloss geschwächt durch die entgegengesetzte Kraft des Natrons, welches das Kupfer berührt, und der Process der elektrischen Bewegung dauert so lange fort, als die chemischen Veränderungen vorgehen können. Diese Theorie vereinigt gewissermaassen miteinander die Hypothese VOLTA's über die Wirksamkeit der Säule, und die Meinung, welche sehr viel englische Physiker angenommen haben, der Galvanismus sei chemischen Ursprungs; sie wird überdies durch eine Menge anderer That-sachen und Erfahrungen bestätigt und verstärkt.“

Die Theorie der elektrischen Imponderabilien und ihrer Kräfte war eine sehr bequeme, sie liess leicht jede neue Beobachtung sich unterordnen. Jede neue Art von Kraftwirkung, die man an der Elektricität beobachtete, brauchte blos als eine neue natürliche Eigenthümlichkeit der elektrischen Imponderabilien angenommen zu werden und das Neue war wie das Alte durch diese hypothetischen Flüssigkeiten erklärt. — Freilich hatte diese Bequemlichkeit auch ihre recht unvortheilhaften Seiten. Der primitive, nur durch die Negation der Schwere bestimmte Begriff der Imponderabilien bot in seiner sonstigen Unbestimmtheit kein einziges Moment, das eine Fortentwicklung angeregt oder auch nur die Richtung und Möglichkeit einer solchen angedeutet hätte. Und wie überhaupt der Begriff der

¹⁾ Intensität bezeichnet hier dieselbe Grösse, welche wir jetzt Spannung nennen; Quantität ist die Intensität des Stromes. FARADAY hat in seinen Abhandlungen diese Ausdrücke in der von DAVY angenommenen Bedeutung beibehalten.

²⁾ Kochsalz ist als salzsaures Natriumoxyd gedacht; die Discussion über die Natur der Salzsäure beginnt erst um diese Zeit vor Allem durch die Initiative DAVY's.

Kraft als einer ganz unbestimmten Ursache der Bewegung, so hatte auch speciell der Begriff der elektrischen Kräfte keinen weiteren Trieb des Fortschritts in sich. Das war jedenfalls mit ein Hauptgrund dafür, dass nach der Entdeckung der chemischen Wirksamkeit fast zwei Jahrzehnte hindurch die Entwicklung der Elektrizität keine weitere Fortschritte machte und dass während dieser Zeit keine neue Eigenthümlichkeit derselben entdeckt wurde, wie das bis dahin fast jedes Jahrzehnt geschehen war.

Nicht einmal die schon ganz nahe liegende Idee einer allgemeinen Umwandlungsfähigkeit aller physikalischen Kräfte wurde von den Experimentalphysikern aus den bisherigen elektrischen Erfahrungen gezogen, und erst ein ganz vager Gedanke der so verachteten Naturphilosophie, die Idee einer Verursachung alles physikalischen Werdens durch einen ganz allgemeinen polaren Gegensatz aller Naturkräfte, musste der Experimentalphysik zu Hülfe kommen, damit dieselbe auch an eine mögliche Polarität des galvanischen Stromes dachte und dann die magnetische Wirksamkeit desselben experimentell nachweisen konnte. Angeregt durch die Beobachtung der allgemeinen Wirksamkeit des Magnetismus und der Elektrizität in der ganzen Natur hatte SCHELLING seit dem Anfange des Jahrhunderts die Idee eines polaren Gegensatzes der Naturkräfte zum Grundprincip alles natürlichen Geschehens gemacht und im Jahre 1820 endlich gelang es in der That einem seiner eifrigsten Anhänger unter den Physikern, HANS OERSTED in Kopenhagen, die angedeutete Polarität des elektrischen Stromes durch die Beobachtung magnetischer Kräfte an demselben nachzuweisen.

OERSTED beschrieb seine, colossales Aufsehen erregende Entdeckung in einer kleinen, nur zwei Quartblätter umfassenden lateinischen Abhandlung¹⁾, die er direct an die bedeutendsten Personen, Gesellschaften und Zeitschriften versandte. „Man bringe ein gradliniges Stück des verbindenden Drahtes, so heisst es darin, in horizontaler Lage über eine gewöhnliche, frei sich bewegende Magnetnadel so, dass er ihr parallel sei; und zu dem Ende kann man den Draht ohne Schaden nach Belieben biegen. Ist alles so eingerichtet, so wird die Magnetnadel in Bewegung kommen, und zwar so, dass sie unter dem vom negativen Ende des galvanischen Apparates herkommenden Theile des verbindenden Drahtes nach Westen zu weicht. Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr

¹⁾ Die Abhandlung führte den Titel *Experimenta circa effiaciam conflictus electrici in Acum magneticam*; sie erschien in der Ursprache in Schweigger's Journ. d. Chemie u. Physik XXIX, S. 275; ins Deutsche übersetzt in Gilbert's Annalen LXVI, S. 295, in neuester Zeit auch in Ostwald's Klassikern, no. 63.

als $\frac{5}{4}$ Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45° . Der verbindende Draht kann nach Osten oder nach Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dass dieses einen andern Einfluss auf den Erfolg hat, als dass die Abweichung kleiner wird. Es lässt sich folglich diese Wirkung keineswegs einer Anziehung zuschreiben; denn derselbe Pol der Magnetnadel, der sich nach dem verbindenden Draht zudreht, wenn er östlich von der Nadel ist, dreht sich von demselben abwärts, wenn er sich westlich von derselben befindet, welches nicht möglich wäre, wenn diese Abweichungen auf Anziehungen und Abstossungen beruhten.“

Dieser letztere Schluss OERSTED's ist, vor Allem in der ersten Zeit, kaum beachtet worden, ruht aber auf gutem Grunde. Eine NEWTON'sche Kraft ist nur von der Entfernung, aber nicht von der Lage der wirkenden Körper abhängig; sie kann also durch eine blossen Lagenveränderung ihren Charakter nicht ändern und nicht aus einer Anziehung in eine Abstossung übergehen, darum, so meint OERSTED, kann die richtende Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel nicht auf gewöhnlichen NEWTON'schen Kräften beruhen. Diesem Schlusse entsprechen auch die folgenden Beobachtungen. „Wenn sich der verbindende Draht in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel befindet, so gehen alle angegebenen Wirkungen nach entgegengesetzter Richtung vor, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene ist, sonst aber auf ganz gleiche Weise. Dreht man den verbindenden Draht in der horizontalen Ebene, so dass er allmählich immer grössere Winkel mit dem magnetischen Meridiane macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes nach dem Orte der gestörten Magnetnadel zuwärts geschieht; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte zurück geschieht.“

Am Ende seiner Abhandlung entwickelt OERSTED in ganz knapper Weise seine Gedanken über eine mögliche Erklärung der beschriebenen Erscheinungen, wobei er Ideen andeutet, die mit den späteren FARADAY'schen Vorstellungen über die Art der magnetischen Kraftlinien des elektrischen Stromes fast identisch sind.¹⁾ Aus den zuletzt angedeuteten Beobachtungen geht hervor, dass die Wirkung eines galvanischen Stromes auf einen magnetischen Pol der Wirkung einer bewegten Materie entspricht, die in Kreisen rotirt, deren Mittelpunkte auf der Strombahn liegen und deren Ebenen zu ihr senkrecht sind, denn eine solche strömende Materie würde z. B. den Pol über der Strombahn nach einer, und unter ihr nach der entgegen-

¹⁾ Auch A. v. OETTINGEN macht auf diese Aehnlichkeit der OERSTED'schen Vorstellungen mit denen von MAXWELL, FARADAY und HERTZ aufmerksam; vergl. Ostwald's Klassiker, no. 63, S. 77, Anm. 8.

gesetzten Richtung führen. Um dann die Wirkung entlang der ganzen Strombahn zu erklären, kann man entweder einen solchen Kreis mit der in ihm strömenden Materie längs der ganzen Strombahn fortrücken lassen, wonach die bewegte Materie in Spirallinien um die Strombahn laufen würde, oder man kann sich die Kreise als feststehend denken und nur die Bewegungen in denselben entsprechend der Fortpflanzung des Stromes als allmählig immer weitergreifend annehmen. Das Erstere entspricht den Vorstellungen OERSTED's, das Zweite, was aber doch ganz auf dasselbe hinauskommt, mehr dem Sprachgebrauch FARADAY's und seiner Anhänger.

OERSTED's eigene Worte über diesen Gegenstand lauten: „Aus allem diesem lassen sich einige Momente zur Erklärung dieser Erscheinungen ableiten. Der elektrische Conflict¹⁾ vermag nur auf die magnetischen Theile der Materie zu wirken. Alle nicht magnetischen Körper scheinen für den elektrischen Conflict durchgängig zu sein, die magnetischen Körper dagegen, oder vielmehr ihre magnetischen Theilchen, dem Hindurchgehen dieses Conflictes zu widerstehen, und daher kommt es, dass sie durch den Stoss der kämpfenden Kräfte in Bewegung gesetzt werden können. Dass der elektrische Conflict nicht in dem leitenden Drahte eingeschlossen, sondern, wie gesagt, zugleich in dem umgebenden Raume ziemlich weithin verbreitet ist, ergibt sich aus den angeführten Beobachtungen hinlänglich. Es lässt sich auch aus dem, was beobachtet worden, schliessen, dass dieser Conflict in Kreisen fortgehe; denn es scheint ohne diese Annahme nicht zu begreifen zu sein, wie derselbe Theil des verbindenden Drahtes, der unter einem Pole der Magnetnadel gestellt, diese nach Osten treibt, sie nach Westen bewegen sollte, wenn er sich über diesem Pole befindet, eine Kreisbewegung geht aber in den beiden entgegengesetzten Enden eines Durchmessers nach entgegengesetzten Richtungen vor sich. Es scheint überdem, es müsse die Kreisbewegung, verbunden mit der fortschreitenden Bewegung nach der Länge des Leiters, eine Schneckenlinie oder Spirale beschreiben, welches jedoch, wenn ich nicht irre, zur Erklärung der bisher beobachteten Erscheinungen nicht beiträgt.“

Der Schlusssatz der ganzen Abhandlung aber zeigt direct die Abhängigkeit des OERSTED'schen Gedankenkreises von der

¹⁾ Elektrischer Conflict bedeutet nichts weiter als die Wirkung der elektrischen Ströme in dem Leitungsdraht. „Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des GALVANI'schen Apparates durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den verbindenden Leiter oder verbindenden Draht nennen; die Wirkung aber, welche in diesem verbindenden Leiter und um denselben her vor sich geht, mit dem Namen elektrischer Conflict bezeichnen.“ Aus diesen Worten OERSTED's ersieht man wieder, dass derselbe stets sein Augenmerk auch auf die Vorgänge ausserhalb des Leitungsdrahtes richtete.

damaligen Naturphilosophie, die schon die Identität aller Naturkräfte behauptete. Und nochmals erscheint dabei die Kreis- oder Rotationsbewegung in ganz modernem Lichte, indem OERSTED dieselbe, trotz der damals noch absolut und allgemein geltenden Emissionstheorie des Lichts, zur Erklärung der Polarisation des Lichts empfiehlt. „Ich füge dem Gesagten, so lautet der Schlusssatz, nur noch hinzu, dass ich in einem schon vor sieben Jahren herausgekommenen Werke bewiesen habe, dass die Wärme und das Licht der elektrische Conflict sind. Aus den neuen hinzu gekommenen Beobachtungen lässt sich schliessen, dass die Bewegung in Kreisen auch in diesen Wirkungen vorkomme; welches zur Aufklärung derjenigen Thatsachen, die man die Polarität des Lichts nennt, wie ich glaube viel beitragen kann.“

OERSTED hatte versucht, die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes durch Bewegungen einer die Strombahn umkreisenden Materie zu erklären; er hatte nicht gewagt, diese Wirkungen aus NEWTON'schen Kräften allein abzuleiten, weil sie sich nicht blos von der Entfernung, sondern auch von der Lage der wirkenden Materien abhängig zeigten. AMPÈRE dagegen, der directe Nachfolger OERSTED's, brachte es doch fertig, auch diese Wirkungen auf primitive, nach dem NEWTON'schen Gesetz wirkende Kräfte zurückzuführen, wenn es dabei auch ohne einige neue Annahmen nicht abging. AMPÈRE's Absicht scheint von vornherein darauf gerichtet gewesen zu sein, auch die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes auf die bekannten Anziehungen und Abstossungen der beiden elektrischen Materien zurückzuführen. Dazu aber war erst noch eine weitere, nämlich die Entdeckung nöthig, dass galvanische Ströme einander ebenso wie die ruhenden elektrischen Imponderabilien anziehen und abstossen können. Nachdem AMPÈRE aber diese Entdeckung wirklich gelungen, war es auch fast selbstverständlich, den Magneten selbst mit einem elektrischen Strom zu identificiren, und so die elektromagnetischen Erscheinungen nach rein elektrischen Gesetzen zu beurtheilen. Die Wechselwirkungen zwischen Strömen und Magneten waren dadurch allerdings auf die Wechselwirkung zwischen strömenden elektrischen Flüssigkeiten zurückgeführt, aber die Erklärung dieser Wechselwirkungen aus den bekannten statischen Kräften der elektrischen Imponderabilien war doch eine mehr hypothetisch analogische als eine empirisch reale. AMPÈRE strebte in erster Linie nach einer mathematischen Formel für die elektrodynamischen Wirkungen, die der von COULOMB für die statische Elektrizität als gültig nachgewiesenen NEWTON'schen Kraftformel entsprach. Da aber diese letztere Formel für bewegte wie für ruhende Massen in ganz gleicher Weise gilt, während die Wechselwirkungen zwischen galvanischen Strömen

augenscheinlich von der Bewegung und besonders von der Richtung derselben abhängig sind, so konnte die gewünschte Formel aus der NEWTON'schen Kraftformel jedenfalls nicht ohne Hypothesen, welche den Einfluss der Bewegung darstellten, hergeleitet werden. AMPÈRE sah das auch ein, meinte aber statt der Hypothesen Erfahrungsthatfachen benutzen zu können und bezeichnete demgemäss auch seine Theorie als eine rein empirische¹⁾, was aber bald von manchen Physikern, vor Allem von W. WEBER, bestritten wurde und augenscheinlich auch nicht richtig ist. Um für seine erstrebte Formel die NEWTON'sche als Grundlage benutzen zu können, setzt AMPÈRE zuerst statt der wirkenden Massen die Produkte aus der Stromintensität I und der Länge des wirksamen Stromelements ds , so dass die Wirkung zweier Stromelemente aufeinander dem Produkt $I_1 ds_1 I_2 ds_2$ proportional wird. Dann nimmt er weiter an, dass die Richtung der zwischen zwei Stromelementen wirkenden Kraft in die Verbindungslinie derselben fällt, dass sie einer Potenz dieser Verbindungslinie umgekehrt proportional ist, dass sie nur abhängt von der relativen Lage der Elemente zu einander und dass endlich die Wirkung eines geschlossenen Stromes gegen ein Element eines anderen Stromes auf der Richtung des Elements senkrecht steht.²⁾

Die AMPÈRE'sche Formel ist empirisch so wohl bestätigt, dass sie für geschlossene Ströme wenigstens keinen Widerspruch gefunden hat, und dass sie auch, wie MAXWELL sagt, „in allen Zeiten als Cardinalformel der Elektrodynamik bestehen bleiben wird.“ Als eine theoretische Erklärung der elektrodynamischen Erscheinungen auf Grund der NEWTON'schen Kraftanschauungen aber, für die man sie vielfach ausgegeben hat, ist sie jedenfalls nicht anzuerkennen, denn die Hypothesen, die zur Ableitung dienen, geben wohl, wie schon bemerkt, den NEWTON'schen analoge, aber durchaus keine identischen Begriffe. Es erscheint sicher noch am plausibelsten, dass man bei Strömen statt der absoluten Menge von elektrischer Materie die durch ein Stromelement in einer Secunde hindurchgehende Menge zu setzen hat, aber das Produkt $I ds$ enthält ausser der Masse auch noch die Richtung des Stromes in sich, und daher kommt es, dass die Kraft, welche $I_1 I_2$ proportional ist, mit der Umkehrung eines Stromes ihr Zeichen ändert und also aus Ab-

¹⁾ Dies geschieht gleich in dem Titel seiner Hauptabhandlung *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes electro-dynamique uniquement déduite de l'expérience*, dans lequel se trouvent réunis les Mémoires que M. AMPÈRE a communiqués à l'Académie royale des Sciences, dans les séances de 4 et 26 décembre 1820, 10 juin 1822, 22 décembre 1823, 12 septembre et 28 novembre 1825; *Mém. de l'Acad. des Sciences*, T. VI, 1823; erschienen 1827.

²⁾ Vergl. die Bemerkung KARL NEUMANN's in Ostwald's Klassikern, no. 10, S. 91.

stossung in Anziehung umwechselft, was bei NEWTON'schen Massen und Kräften niemals der Fall sein kann. Durch die Erfahrung wird ja diese Umkehrung der Kraft sicher bestätigt, aus dem NEWTON'schen Kraftbegriff aber ist sie doch niemals zu deduciren und ist sogar niemals mit ihm zu vereinigen. Ebensowenig ist die zweite der obigen Annahmen in den NEWTON'schen Kraftideen enthalten. Nach diesen fällt die Wirkung zweier Kraftpunkte nothwendiger Weise, weil nicht anders denkbar, in die Richtung der Verbindungslinie dieser Punkte und Massenelemente können jederzeit punktförmig gedacht werden. Stromelemente aber haben den Begriff einer gewissen Länge und noch mehr einer gewissen Richtung in sich und sind darum niemals mit blossen Punkten zu identificiren. Das aber giebt dem Begriff ihrer Verbindungslinie etwas Unbestimmtes und die Annahme ihrer Wechselwirkung nach dieser Richtung erhält, auch wenn man statt der Elemente ihre Mittelpunkte setzt, als Hypothese wenig Klarheit. Diejenige Annahme aber, welche später am meisten Bedenken erregte, und die am meisten von der NEWTON'schen Physik abzuweichen schien, war die von der Transversalität der Wirkung eines Stromes auf ein Stromelement. Man hat darum seit jener Zeit immer versucht, diese Annahme als eine fundamentale zu vermeiden und direct von der Wirkung des Stromes auf die der Elemente zurückgehen, ist aber dabei erst recht auf noch nicht aufgeklärte Widersprüche gekommen.

Unleugbar hing die Wirkung zweier Ströme aufeinander von der Bewegung der Ströme, ihrer Richtung und ihrer Geschwindigkeit ab. Das AMPÈRE'sche Gesetz

$$I = \frac{i_1 i_2 ds_1 ds_2}{r^2} \left(cs \varepsilon - \frac{3}{2} cs \vartheta_1 cs \vartheta_2 \right)$$

trug diesem Umstand genügend Rechnung (der Klammerfactor gab den Einfluss der Richtung der Bewegung und in den Intensitäten i_1 und i_2 war die Geschwindigkeit enthalten), im Uebrigen aber behielt es die Form des NEWTON'schen Gesetzes bei. Da lag es denn nahe, die Wirkung zweier Stromelemente aufeinander aus Theilen zusammengesetzt zu denken, welche aus der statischen Wirkung der Elektricitätsmengen und den Wirkungen bestehen, die durch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen derselben noch hinzugefügt werden, um dann aus diesen Annahmen, die anschaulich gefordert und bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich sind, das AMPÈRE'sche Gesetz ohne die angezweifelte Hypothesen zu deduciren.

Wirklich gelang es W. WEBER um das Jahr 1846¹⁾ sowohl

¹⁾ Elektrodynamische Maassbestimmungen, I. Abhandl., Abhandl. bei Begründung der K. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften 1846; Auszug in Poggendorff's Annalen LXXIII, S. 193, 1848.

aus dem als richtig angenommenen AMPÈRE'schen Gesetz eine Formel $I = \frac{i_1 ds_1 i_2 ds_2}{r^2} \left(1 - \frac{a^2}{16} v^2 + \frac{a^2 r}{8} \cdot \frac{dv}{dt} \right)$ für die ponderomotorische Wirkung strömender Elektricitäten abzuleiten, welche diese Wirkung deutlich von der statischen Kraft, wie von der Geschwindigkeit und der Beschleunigung der Elektricitäten abhängig zeigte, als auch umgekehrt aus der Annahme eines thatsächlichen Stattfindens dieser Abhängigkeiten das AMPÈRE'sche Gesetz selbst ohne weitere Hypothesen zu beweisen. Doch war auch damit ein allgemeiner Entscheid noch keineswegs erlangt. Bisher hatte man gemäss den NEWTON'schen Anschauungen die zwischen irgend welchen Massen wirkenden Naturkräfte nur von diesen Massen und ihren Entfernungen abhängig gedacht, jetzt sollten dieselben, wenigstens bei den elektrischen Massen, auch noch von der Bewegung abhängig sein; da fragte es sich denn, was man danach noch von der allgemeinen Gültigkeit des NEWTON'schen Kraftgesetzes zu denken habe? Sollte man die elektrodynamischen Kräfte ganz von den übrigen Naturkräften trennen und nur für diese das nach WEBER'scher Art modificirte NEWTON'sche Kraftgesetz als gültig annehmen, oder sollte man besser das WEBER'sche Gesetz als das allgemeine Kraftgesetz anerkennen, das nur für den Ruhezustand genau in das NEWTON'sche Kraftgesetz überging und für kleine Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, der Kleinheit der kinetischen Glieder wegen, sich auch nicht merklich von diesem Gesetz unterschied?

Im Allgemeinen discutirte man solche Fragen, die mehr von metaphysischer als physikalischer Wichtigkeit zu sein schienen, nicht gern und liess darum die Entscheidung über die Möglichkeit und Angemessenheit einer ganz allgemeinen Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes für alle Kräfte in der Natur mehr oder weniger in der Schwebe. Prof. ZÖLLNER¹⁾ aber vertheidigte seit dem Anfange der siebziger Jahre diese allgemeine Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes mit sicherer Bestimmtheit und wollte das NEWTON'sche Gesetz nur als einen Specialfall jenes allgemeinen Gesetzes gelten lassen.

Mochte man nun aber auch das NEWTON'sche Kraftgesetz als ganz allgemein gültig (mit Ausnahme des Specialfalls der elektrodynamischen Kräfte), oder nur als für Massen gültig ansehen, deren Bewegungen (im Vergleich zur Geschwindigkeit des Lichts) keine allzu schnellen sind, immer schien den Physikern die NEWTON'sche Kraftvorstellung noch in voller unangreifbarer Geltung zu stehen, und das Gebäude der NEWTON'schen Physik

¹⁾ Principien einer elektrodynamischen Theorie der Materie von J. C. FR. ZÖLLNER, Leipzig 1876, S. XVII.

schien sogar durch die Ein- oder wenigstens Angliederung der elektrodynamischen Kraftformel an das alte Kraftgesetz noch an Festigkeit gewonnen zu haben. Doch war dies Wachsthum an Festigkeit, wie schon bemerkt, nur scheinbar. Nach aussen stand zwar das imposante Gebäude noch ohne Riss da, aber die Fundamente waren bedenklich erschüttert und schwach geworden, und grade die Nothwendigkeit des letzten Anbaus bewies dem Weiterblickenden schon deutlich, dass der Bau, wenn die Einheit gewahrt werden sollte, bald abgebrochen werden müsse.

Die NEWTON'sche Kraft war ihrem Begriff nach eine primitive, nicht weiter erklärbare Ursache der Bewegung, die den Materien von der Schöpfung her eigenthümlich war. Jetzt sollte diese von der Bewegung unabhängige Ursache doch wieder durch die Geschwindigkeit der wirkenden Massen in ihrer Wirkung vermindert und durch die Beschleunigung vermehrt werden können. That man diesem neuen Wunder gegenüber nicht besser, die Vorstellung einer von der Bewegung unabhängigen Bewegungsursache ganz aufzugeben und, wie das früher schon viel versucht worden war, alle Bewegungen wieder aus Bewegungen abzuleiten? Die NEWTON'sche Kraftanschauung musste eine momentane Verbreitung der Kräfte annehmen und konnte dieselben nur nach allen Richtungen gleichmässig von einem Punkte aus sich verbreitend denken; jetzt hatte man Kräfte kennen gelernt, die nur senkrecht zu einer bestimmten Richtung sich fortpflanzen und auch eine momentane Fortpflanzung der Kräfte wollte immer unwahrscheinlicher erscheinen. Musste man da nicht nach und nach von selbst dazu kommen, die rein dynamische Auffassung zu verlassen und es wieder mit kinetischen Vorstellungen zu versuchen, wie sie vielfach vor NEWTON geherrscht.

Merkwürdiger Weise wurde bald nach der Zeit, wo die elektrodynamischen Kräfte so viele neue Betrachtungen über die Wirkungsweise der Kräfte veranlassten, der Kraftbegriff aus der Reihe der bei der Messung physikalischer Grössen nöthigen Fundamentalgrössen herausgedrängt, und noch wunderbarer geschah das durch Mathematiker, die immer am festesten an den Anschauungen ihres Fachgenossen NEWTON gehalten hatten und auch noch daran festhielten. Die Mathematiker hatten bis dahin das Gebiet der Elektrizität und des Magnetismus, die ja beide nach damaliger Vorstellung in ihrer Vertheilung denselben Gesetzen folgten, noch kaum berührt, und was seit CAVENDISH im Jahre 1771 von POISSON besonders im Jahre 1812 geleistet worden war, das betraf nur die statische Vertheilung der Elektrizität auf der Oberfläche von Leitern, die wenig oder gar nicht von der Kugelgestalt abweichen. GEORGE GREEN führte diese Untersuchungen in seiner be-

rühmten Abhandlung von 1828¹⁾ sehr erfolgreich weiter, doch wurde dieselbe ihrer Zeit wenig bekannt und GAUSS gab im Jahre 1840²⁾ manche Sätze GREEN's als eigene Entdeckungen, ohne GREEN zu kennen. Schon vorher aber im Jahre 1832³⁾ hatte GAUSS in einer Arbeit über die Intensität der erdmagnetischen Kraft die oben angedeutete Elimination der Kraft aus den Fundamenteinheiten der Physik vollzogen und das sogenannte absolute Maasssystem begründet.

Seit NEWTON hatte man als Fundamenteinheiten für die Messungen mechanischer Grössen, die Einheiten der Länge, der Zeit und der Kraft (oder des Gewichts) benutzt; für die anderen physikalischen Grössen wurden nur je nach Bequemlichkeit und Zufall willkürliche Einheiten festgesetzt, die aber deswegen sowohl untereinander als auch mit den mechanischen Einheiten kaum zu vergleichen und die überhaupt kaum ihrer Grösse nach genau zu bestimmen und zu fixiren waren. Ja selbst die mechanische Kraft- oder die Gewichtseinheit war schwer in einer für alle Orte der Erde allgemein gültigen Form festzustellen, da das Gewicht derselben Masse für die verschiedenen Orte der Erde veränderlich ist. GAUSS, der die Grösse der erdmagnetischen Kraft in Zahlen angeben wollte, die für alle Orte und Zeiten unverändert gültig blieben, musste darum statt des Gewichts für die Fundamenteinheit eine weniger veränderliche physikalische Grösse suchen und fand als solche die Masse. Aus den drei Maasseinheiten der Länge, Zeit und Masse konnte er dann leicht eine unveränderliche Einheit der Kraft und mit Hilfe dieser auch unveränderliche, leicht vergleichbare Einheiten für alle übrigen physikalischen Grössen ableiten. Mit solchen Festsetzungen für die magnetischen Grössen gab GAUSS das erste Beispiel für die Messung aller physikalischen Grössen nach absolutem (d. h. allgemeinem und unveränderlichem) Maass und ausdrücklich bemerkt er dabei, dass man die Mengen aller physikalischen Materien durch die Kräfte bestimmen könne, die sie ausüben, und dass man wieder diese

¹⁾ Ein Versuch, die mathematische Analysis auf die Theorien der Elektrizität und des Magnetismus anzuwenden, von GEORGE GREEN. Zuerst erschienen Nottingham 1828; dann in *Mathematical papers of the late GEORGE GREEN*, London 1871. Deutsch herausgegeben von A. J. v. OETTINGEN u. A. WANGERIN in Ostwald's Klassikern, no. 61.

²⁾ Allgem. Lehrsätze in Beziehung auf die im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte von C. FR. GAUSS; zuerst gedruckt in Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Leipzig 1840. Abgedruckt in Ostwald's Klassikern, no. 2.

³⁾ Die Intensität der erdmagnetischen Kraft, auf absolutes Maass gegründet von C. FR. GAUSS, lateinisch im VIII. Bande der Abhandl. d. Gesellschaft d. Wissenschaften in Göttingen. Deutsch herausgegeben von E. DORN in Ostwald's Klassikern, no. 53.

Kräfte messen und vergleichen könne durch die Bewegungen, welche sie hervorbringen.¹⁾

GAUSS war, wie alle Mathematiker und die meisten Physiker der damaligen Zeit, noch ein unzweifelhafter Anhänger der Imponderabilien und der Kräfte NEWTON'scher Observanz. Doch wies seine Zurückführung aller physikalischen Grössen auf die Einheiten von Raum, Zeit und Materie, also auf reine Bewegungselemente, auf die Erklärung aller physikalischen Erscheinungen durch Bewegungen der Materie als ihre gemeinsame Ursache unbewusst aber deutlich hin. Damit rückte trotz allen Glanzes, der die NEWTON'sche Physik noch umgab, doch die Zeit immer näher, wo die Idee der primitiven Kräfte bei der Erklärung der Naturerscheinungen immer mehr in den Hintergrund und die Annahme primitiver Bewegungen immer stärker in den Vordergrund zu treten begann. In der That war der grosse Physiker, der diese Umwälzung vom elektrischen Gebiete aus muthig und energisch einleitete, um jene Zeit, Anfang der dreissiger Jahre des Jahrhunderts, schon erfolgreich an der Arbeit.

¹⁾ Ostwald's Klassiker, no. 53, S. 8.