

# Abriss der Geschichte der Elektrizität.\*)



## I. Die Lehre von der Elektrizität im Altertum bis zur Entdeckung Galvanis.

Die Lehre von der Elektrizität gehört der neueren Zeit an. Zwar kannte man schon zur Zeit des Thales, 600 Jahre vor der christlichen Zeitrechnung, die Erscheinung, daß geriebener Bernstein leichte Körper anzieht. Auch das St. Elmsfeuer war als „Hermesfeuer“ oder „Castor und Pollux“ den Alten nicht fremd.<sup>1)</sup> Ebenso erwähnt Aristoteles die Eigenschaft des Zitterrochen, die ihn berührenden Menschen zu betäuben, und Galen heilte durch den Schlag desselben sogar Gicht und Lähmung.<sup>2)</sup> Aber erst zwei Jahrtausende später legte der englische Arzt Gilbert (geb. 1540 zu Colchester, gest. 1603) in seinem Werke „*de magnetibus*“ (1600) als Ergebnis seiner Untersuchungen dar, daß die Elektrizität verschiedenen Körpern unter verschiedenen Umständen eigentümlich sei. Von ihm stammt auch der Name „Elektrizität“, denn er sagt „*vim illam electricam nobis placet appellare, quae a humore provenit*“.<sup>3)</sup> Ebenso gab er Unterschiede zwischen der elektrischen und magnetischen Anziehung an. Der Jesuit Nicolaus Cubäus zu Ferrara, welcher dreißig Jahre nach Gilbert dessen Versuche wiederholte, fand als einzige neue Entdeckung auf diesem Gebiete, daß Bernstein seine Elektrizität verliert, wenn man ihn um eine Flamme herumführt.<sup>4)</sup> Ein halbes Jahrhundert später, 1670, baute Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg (geb. 1602, gest. 1686), die erste Elektrisiermaschine. Dieselbe bestand aus einer Schwefelkugel, durch welche eine eiserne Axe gesteckt war. Wurde die Kugel in Umdrehung gesetzt und mit der Hand gerieben, so lieferte sie Elektrizität. Otto von Guericke beobachtete damit, daß eine in der Luft schwebende Flaumfeder erst angezogen, dann abgestoßen wurde, daß sie in diesem Zustande eine Anziehung auf genäherte Körper ausübte, vor einer Flamme jedoch floh und zur Schwefelkugel zurückeilte. Ebenso lernte er die Übertragung des elektrischen Zustandes durch Berührung kennen, die durch Annäherung in Leitern erzeugte Verteilung, sowie das elektrische Licht als schwachen Funken.<sup>5)</sup> Im Jahre 1675 fand Newton, daß die an der oberen Seite des Glases erzeugte Elektrizität ihre Wirkung durch die Glasplatte hindurch ausübt und verlieh in seiner Optik<sup>6)</sup> der Vermutung Ausdruck, daß die Erscheinungen der Elektrizität das Erzeugnis eines durch die Schwingungen der Moleküle des Körpers in Bewegung gesetzten ätherischen Urstoffs sein könnten. Robert Boyle (geb. 1626, gest. 1691) wies nach, daß die Anziehung zwischen dem elektrischen Körper und dem genäherten gegenseitig ist, und daß die Anziehung des geriebenen Bernsteins auch im luftverdünnten Raume wirke.<sup>7)</sup> Auch vermehrte er die Anzahl der elektrischen Substanzen und fand, daß die bei der Verdampfung des Terpentins, sowie bei der Destillation des Petroleums mit Salpetersäure verbleibenden Rückstände elektrisch werden.<sup>8)</sup> Der Engländer Wall beobachtete an größeren Stücken Bernstein, die mit Wollenzug gerieben waren,

\*) Im Anschluß an: Résumé de l'histoire de l'électr. et du magn. par Becquerel et E. Becquerel.

<sup>1)</sup> Caesar, de bello Africano, cap. VI; Titus Livius, cap. XXXII; C. Plini Secundi naturalis historiae lib. II, cap. XXXVII. — <sup>2)</sup> G. M. Bose, Tentamina electrica comment. I. pg. 16, II. pg. 56 ff. — <sup>3)</sup> Gilbert, de magnetibus, lib. II, 1628, pg. 54. — <sup>4)</sup> Hoppe, Gesch. der El., 1884, S. 4. — <sup>5)</sup> Experimenta nova ut vocant Magd. 1672, lib. IV, cap. V; Wiedemann, die Lehre von der Elektrizität, Bd. I, S. 4. — <sup>6)</sup> Newtons Optik, 1721, pg. 314 u. 327. — <sup>7)</sup> R. Boyle, experimenta et nota circa electricitatis originem seu productionem mechanicam; op. II, pg. 134. — <sup>8)</sup> Priestley, Geschichte der Elektrizität, deutsch von Krünitz, 1772, pg. 4.

stärkere, von knisterndem Geräusch begleitete Funken und schließt seinen interessanten Bericht darüber mit den Worten, daß dieses Licht und Knistern einigermaßen Blitz und Donner darzustellen scheine.<sup>9)</sup>

Hawksbee (gest. 1713), ausgehend von der 1675 durch Picard gemachten Entdeckung, daß einzelne Barometer bei Erschütterungen im oberen luftleeren Raume Lichterscheinungen zeigten,<sup>10)</sup> führte dieses Leuchten auf Elektrizität zurück. Auch beobachtete er das Leuchten luftleerer Röhren, die in der Nähe elektrischer Körper bewegt wurden. Ferner ersetzte er bei seinen Versuchen die Schwefelkugel durch eine Glaskugel und bemerkte auch die eigentümliche wie von Spinnengewebe herrührende Empfindung, wenn man das Gesicht einem elektrischen Körper nähert.<sup>11)</sup>

Stephan Gray (gest. 1736) machte, unterstützt von Wheler, im Jahre 1727 die Entdeckung des „Unterschiedes“ zwischen leitenden (Metallen) und nichtleitenden Körpern (Seide, Haare, Harz, Glas). Weiter beobachtete er, daß die elektrische Wirkung sich auch durch einen kleinen Zwischenraum dem leitenden Körper mitteile und verzeichnete so die erste Wahrnehmung der Influenzwirkung. Auch bemerkte er, daß die Elektrisierbarkeit eines Körpers unabhängig von seiner Masse ist.<sup>12)</sup> Auf diesen Entdeckungen Grays fußend zeigte Dufay (geb. 1698, gest. 1739),<sup>13)</sup> daß alle Körper, wenn sie durch einen Nichtleiter isoliert sind, elektrisch werden können und sprach die zwei wichtigen Sätze aus:<sup>14)</sup> 1. Jeder elektrische Körper zieht alle nicht elektrischen an und teilt ihnen dieselbe Elektrizität mit, worauf er sie wieder abstößt. 2. Es giebt zweierlei Elektrizitäten, Glaselektrizität und Harzelektrizität,<sup>15)</sup> mit der Eigenschaft, daß zwei Körper, welche dieselbe Elektrizität enthalten, sich zurückstoßen, dagegen zwei Körper, von denen der eine Glas-, der andere Harzelektrizität besitzt, sich gegenseitig anziehen.<sup>16)</sup> Auch leitete er die Elektrizität von einem Körper zu einem anderen, 10 bis 12 Zoll entfernten, durch eine in den Zwischenraum gestellte Flamme<sup>17)</sup> und zog zuerst aus dem menschlichen Körper zu allgemeiner Verwunderung selbst Funken. — Von Desaguliers (geb. 1683, gest. 1744) rühren die „Benennungen“ Leiter (*conductores*) und Nichtleiter oder elektrische Körper (*corpora electrica per se*) her.<sup>18)</sup> 1741 fügte der Wittenberger Professor Matthias Bose (geb. 1710 in Leipzig, gest. 1761) den Konduktor zur Maschine. Derselbe bestand aus einer offenen Röhre aus Eisenblech, die an seidenen Schnüren hing.<sup>19)</sup> Gordon (geb. 1712, gest. 1751 als Professor in Erfurt) führte an Stelle der geriebenen Kugel einen Cylinder ein, auch erfand er das elektrische Glockenspiel und als Beispiel für die Spitzenwirkung das elektrische Flugrad. Der Leipziger Professor Winkler (geb. 1703, gest. 1770) ersetzte 1744 die reibende Hand durch ein Reibkissen,<sup>20)</sup> und mit diesen Maschinen erhielt man Funken, welche stark genug waren, kleine Vögel zu töten und Äther zu entzünden.<sup>21)</sup> Die Elektrisiermaschine wurde nun nach und nach, besonders in England, wesentlich verbessert: Benjamin Wilson<sup>22)</sup> versah 1746 den Konduktor mit dem sogenannten Saugkamm, John Canton ersetzte 1762 das geölte Seidenzeug am Reibkissen durch Zinnquecksilberamalgam.<sup>23)</sup> Die Wachstaffetbekleidung des geriebenen Glases, um die Zerstreung der erregten Elektrizität zu verhüten, wandte Dr. Nooth<sup>24)</sup> im Jahre 1773 zuerst an. Anstatt Wachstaffet nahm der Londoner Mechaniker Nairne (gest. 1803) seidene Lappen, wie sie noch jetzt gebräuchlich sind.<sup>25)</sup> Das Verdienst, an Stelle des Glascylinders eine Glasscheibe gesetzt zu haben, scheint dem Begründer und Direktor des Seminars zu Halberstadt, Martin Planta (geb. 1727, gest. 1772), zu gebühren, der schon 1755 eine Scheibenmaschine benutzt hat.<sup>26)</sup>

**Kleistsche oder Leydener Flasche.** Am 11. Oktober 1745 brachte Kleist<sup>27)</sup> (Dechant zu Camin in Pommern) einen in einem Medizinglase steckenden Nagel an seine Elektrisiermaschine und erhielt, als er hierauf den Nagel mit der anderen Hand herausholen wollte, einen heftigen, erschütternden Schlag, dessen Wirkung verstärkt wurde, wenn Quecksilber

<sup>9)</sup> Philos. transact., 1708, March and April, pg. 69—76. — <sup>10)</sup> Hawksbee, physico mechanical experim., 1709, pg. 36, 63 ff., 109 ff. — <sup>11)</sup> Wiedemann, Elektrizität, Bd. 1, pg. 5. — <sup>12)</sup> Philos. transact. abridg., vol. VIII, pg. 9; part. II, pg. 397; vol. IX, pg. 15. — Philos. transact., vol. XXXVII, 1731, 1732, pg. 18; vol. XXXIX, 1735, 1736. — <sup>13)</sup> Hist. de l'acad. des sciences de 1733, t. II, six mém. de l'électr., pg. 23 ff., 73 ff., 233 ff., 457 ff.; 1734, pg. 341 ff., 503 ff. — <sup>14)</sup> Hist. de l'acad. des sc., 1734, pg. 523 ff. — <sup>15)</sup> Hist. de l'acad. des sc., 1733, t. II, pg. 469. — <sup>16)</sup> Philos. transact. abridg., vol. VIII, pg. 396 ff. — <sup>17)</sup> Wiedemann, Elektr., Bd. 1, pg. 5. — <sup>18)</sup> Desaguliers, a course of experimental philosophy, 1734. — <sup>19)</sup> Hoppe, Gesch. der El., pg. 14. — <sup>20)</sup> Gedanken von den Eigensch. der El., von H. Winkler, 1744, pg. 13. — <sup>21)</sup> Philos. transact. abridg., vol. X, pg. 271. — <sup>22)</sup> Heller, Gesch. der Physik, Bd. II, pg. 473. — <sup>23)</sup> Philos. transact., 1762. Priestley, pg. 125. — <sup>24)</sup> Philos. transact., 1763 u. Fischer, Gesch. der Physik, Bd. VIII, pg. 439. — <sup>25)</sup> Hoppe, pg. 92. — <sup>26)</sup> Heller, pg. 474, 475. Hoppe, pg. 92. — <sup>27)</sup> Versuche u. Abh. der naturforsch. Gesellsch. zu Danzig, Bd. II, 1754, S. 406 ff.

oder Weingeist sich in der Flasche befand. Auch Cunaeus, ein Privatmann in Leyden, und Muschenbroek beobachteten im Jahre 1746 diese Wirkung der Elektrizität an einer mit Wasser gefüllten Flasche, in welche ein Draht hineinreichte.<sup>28)</sup> Galath (geb. 1708 in Danzig, gest. 1767), und gleichzeitig mit ihm Nollet in Frankreich, leiteten 1746 den elektrischen Schlag der Kleistschen oder Leydener Flasche durch eine Reihe von zwanzig und mehr Personen und zwischen ihnen befindliche Leiter. Galath wandte auch zuerst mehrere Gläser an.<sup>29)</sup> Von Nollet rührt der Name „Leydener“ Flasche her.<sup>30)</sup> Winkler in Leipzig behielt für die inneren Flächen Wasser als Leiter bei, wandte aber für die äußere zuerst einen unvollständigen Metallbelag an.<sup>31)</sup> Watson<sup>32)</sup> (geb. 1715, gest. 1787) und Bevis überzogen die Glasgefäße außen und innen mit Blei- oder Zinnfolie und fanden den Schlag der Flaschen dann bedeutend kräftiger. Smeaton,<sup>33)</sup> ein englischer Ingenieur, der sich auf Bevis' Aufforderung mit Elektrizität beschäftigte, belegte eine Glasscheibe auf beiden Seiten bis auf einen Zoll vom Rande mit Metallfolie und schuf damit die Grundform der Franklinschen Tafel. Lemonnier<sup>34)</sup> (geb. 1717, gest. 1749) beobachtete, daß die Elektrizität, welche sich auf leitenden Körpern anhäuft, nur vor der Oberfläche derselben, nicht von ihrer Masse abhängt, ferner daß die Flasche ihre Ladung stundenlang behält. Watson<sup>35)</sup> fand außerdem, daß die Fortleitung der Elektrizität durch einen mehrere Tausend Fuß langen Draht in unmeßbar kurzer Zeit erfolgte, auch bemerkte er, daß Gestalt und Farbe der Funken wechseln mit der Natur der Körper, von denen sie ausgehen. Seine Untersuchungen ergaben ferner, daß die Stärke des Schläges abhinge von der Größe der Flächen, welche innen und außen vom Belag berührt wurden. Und der englische Maler Wilson<sup>36)</sup> fand 1746 das Ansammlungsgesetz der Elektrizität in der Leydener Flasche: „Die Menge der Elektrizität ist direkt proportional der Oberfläche des leitenden Körpers und umgekehrt der Dicke des Glases“, einen Satz, den erst Cavendish<sup>37)</sup> als streng richtig bewiesen hat.

**Atmosphärische Elektrizität.** Sobald man die Haupteigenschaften der Elektrizität hatte kennen lernen, wurde man notwendigerweise zu einer Vergleichung der Übereinstimmungen zwischen der Erscheinung des Funkens bei der Leydener Flasche und derjenigen des Blitzes geführt. Schon Wall hatte diese beiden Erscheinungen verglichen, auch Desaguliers und Nollet, besonders Winkler traten dieser Meinung bei.<sup>38)</sup> Die Ähnlichkeit der Zickzackbewegung des Blitzes mit der Bahn des elektrischen Funkens, die Beobachtung, daß der Blitz mit Vorliebe hervorragende Gegenstände trifft, daß spitze Körper, welche in einiger Entfernung von elektrischen Körpern aufgestellt sind, Licht ausströmen,<sup>39)</sup> ließen Benjamin Franklin (geb. 1706 in Governors Island bei Boston, gest. 1799) bei seinem weiteren Forschen 1749 die saugende Wirkung der Spitzen entdecken.<sup>40)</sup> Auch gelang es ihm, eine Magnetsnadel durch elektrische Schläge umzumagnetisieren. D'Alibard und de Lor hatten auf Franklins Anregung in Frankreich den Versuch angestellt, vermittelt einer 13 Meter hohen, mit Spitze versehenen Metallstange die Elektrizität einer Gewitterwolke zur Ladung von Leydener Flaschen zu verwenden, und der Versuch gelang vollkommen (10. und 18. Mai 1752).<sup>41)</sup> Franklin, ohne von diesem Ergebnis Kunde zu haben, nahm an Stelle der Metallstange einen mit eiserner Spitze versehenen Drachen an leitender Hanfschnur und wies damit im Juni 1752 die Elektrizität der Gewitterwolken nach.<sup>42)</sup> Im September desselben Jahres (1752) errichtete Franklin auf seinem Hause eine Stange, an deren unterem Ende das von Gordon erfundene elektrische Glockenspiel angebracht war, welches durch sein Läuten anzeigte, sobald die Stange Elektrizität aufgenommen hatte.<sup>43)</sup> Romas, welcher am 26. März 1756 den Drachenversuch Franklins mit einem 2,33 m hohen und 1 m breiten Drachen anstellte, in dessen Schnur ein Metalldraht gewunden war, erhielt von Schwefelgeruch begleitete Funken, welche 1 dm Durchmesser und 3,33 m Länge besaßen.<sup>44)</sup> Aus diesen Versuchen entwickelte sich die Idee des Blitzableiters, welchen Franklin schon im 12. Briefe von der Elektrizität (Seite 163) im September 1753: „Über die Nützlichkeit von Metallstangen zur Ableitung der elektrischen

<sup>28)</sup> Fischer, *Gesch. der Physik*, Bd. V, S. 492. Dalibard, *hist. de l'électr.*, pg. 33. — <sup>29)</sup> *Vers. u. Abh. der naturf. Ges. zu Danzig*, Bd. I, S. 517. — <sup>30)</sup> Hoppe, pg. 21, 22. — <sup>31)</sup> Hoppe, S. 20. — <sup>32)</sup> *Philos. transact. abridg.*, vol. X, pg. 377. — <sup>33)</sup> Priestley, *Gesch. der El.*, pg. 62. — <sup>34)</sup> *Mém. de l'acad. des sciences*, 1746, pg. 447–464. — <sup>35)</sup> *Philos. transact. abridg.*, vol. X, pg. 286 et seq. — <sup>36)</sup> Hoppe, S. 24. — <sup>37)</sup> *Philos. transact.*, 1776, pg. 196. — <sup>38)</sup> Winkler, die Stärke der elektr. Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen. Leipzig, 1746, pg. 137, § 134: Ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität für eine Art des Blitz und Donners zu halten sind? § 146. — <sup>39)</sup> Nollet, *Lettre VI*, 1746, pg. 124. — <sup>40)</sup> Franklin, *Briefe von der Elektrizität*, übersetzt von Wilcke, S. 15 u. S. 86. — <sup>41)</sup> *New experim. and observat. on electr.*, pg. 111. — <sup>42)</sup> *Mém. des savants étrangers*, t. II et t. IV, pg. 514.

Materie“ behandelt hatte. In Deutschland hatte Winkler, unabhängig von Franklin, im September 1753 in einer kleinen Schrift „*Programma de avertendi fulminis artificio*. D. XV. Sept. Lips. 1753 pg. 16 ff.“, die Anlegung von Blitzableitern in Vorschlag gebracht. Infolgedessen richtete 1754 Procopius Divisch<sup>45)</sup> (geb. 1696 zu Senftenberg in Mähren, gest. 1765), Pfarrer zu Prenditz bei Znaim in Mähren, den „ersten“ Blitzableiter in Europa auf. In England geschah das zuerst von Watson zu Payneshill im Jahre 1762, in Hamburg 1769 auf dem Jakobikirchturm durch Reimarus. Auch bildete sich hier im Jahre 1770 die erste Gesellschaft zur Anlegung von Blitzableitern.<sup>46)</sup>

Das Geräusch des Donners erklärte zuerst Beccaria (geb. 1716, gest. 1781 als Professor der Physik in Turin) damit, daß das elektrische Fluidum die Luft zerreiße, und indem diese Verschiebung sich ausbreite, dadurch der Widerhall entstände, welchen wir hören.<sup>47)</sup> Diese Annahme hatte schon ihre Begründung gefunden in dem Kinnerleyschen elektrischen Thermometer (1761),<sup>48)</sup> welches zum Nachweis der Erwärmung der Luft durch den Entladungsfunkon konstruiert war.

Naturgemäß schloß sich an die Betrachtung der Beziehung zwischen Elektrizität und Blitz die Untersuchung darüber, woher die bedeutenden Elektrizitätsmengen stammen, welche sich bei Gewittern in den Wolken befinden. Bei diesen höchst gefährlichen Forschungen, die den Tod Richmans in St. Petersburg am 6. Juni 1753<sup>49)</sup> zur Folge hatten, gelang es, wichtige Beobachtungen für die Meteorologie zu machen. Lemonnier fand 1752, daß sich auch bei vollkommen heiterem Himmel Elektrizität in der Luft befinde, daß die atmosphärische Elektrizität aller 24 Stunden regelmäßigen Schwankungen in der Intensität unterworfen ist.<sup>50)</sup> Die Versuche Beccarias, Gesetze dieser Schwankungen zu finden, führten ihn zu der Entdeckung, daß bei heiterem Himmel die atmosphärische Elektrizität die positive ist. Dagegen ließ sich keine Elektrizität in der Luft nachweisen: 1. bei windigem und klarem Wetter; 2. wenn der Himmel mit abgesonderten, sich langsam bewegenden schwarzen Wolken bedeckt war; 3. bei sehr feuchtem Wetter, wobei es nicht wirklich regnete,<sup>51)</sup> was Saussure<sup>52)</sup> und Schübler<sup>53)</sup> später bestätigten. Canton bemerkte im Jahre 1754, daß die Wolken häufiger und länger negativ waren als positiv, die positive Kraft sich aber gewöhnlich als die stärkere zeigte.<sup>54)</sup> Franklin selbst beobachtete zu seinem Erstaunen (am 12. April 1753), daß die Wolken auch negativ elektrisch sind, während sie nach seiner Ansicht hätten positiv sein müssen.<sup>55)</sup>

**Versuche, die Wirkungen der Elektrizität zu erklären.** Gilbert glaubte, daß die elektrische Anziehung auf einem klebrigen Ausfluß beruhe, der durch das Reiben erfolge, und daß die Anziehung wie bei der Verschmelzung zweier einander entgegenfließender Wassertropfen geschehe. Boyle bekämpfte diese Ansicht, indem er nachwies, daß die Anziehung auch im luftleeren Raume stattfindet.<sup>56)</sup> Franklin<sup>57)</sup> endlich betrachtete die Elektrizität als ein aus sehr feinen Teilchen bestehendes allgemeines Element, von welchem jeder Körper im gewöhnlichen Zustande eine bestimmte Menge enthält. Beim Reiben geht dasselbe aus dem Reibzeug in die Glasröhre über, letztere enthält dann mehr, das Reibzeug weniger als das normale Quantum. Den ersten Zustand bezeichnet er mit plus oder positiv, den zweiten mit minus oder negativ. Die Teilchen der elektrischen Materie stoßen sich gegenseitig ab, werden aber von der gemeinen Materie angezogen. Wird die elektrische Materie einer Kugel vermehrt, so legt sich der Überschuf auf die Oberfläche und bildet eine elektrische Atmosphäre, deren Gestalt sich nach der Form des Körpers richtet. Im Innern eines hohlen Leiters befindet sich keine Elektrizität. Am leichtesten entweicht sie aus Spitzen, weil für die an dem äußersten Ende gelegenen elektrischen Teilchen die sie anziehende und festhaltende materielle Unterlage fehlt. Die elektrische Materie durchdringt nach Franklins Auffassung die Metalle (Leiter), dagegen vermag sie das Glas (Nichtleiter) nicht zu durchdringen, wird aber von der Masse desselben angezogen und auf seiner Oberfläche verdichtet.<sup>58)</sup> Nollet,<sup>59)</sup> durch Kinnerleys Versuche dazu geführt, machte die Annahme des Zufließens und Abfließens (*affluence et effluence*) und stützte dieselbe auf die Thatsache, daß unelek-

<sup>45)</sup> Heller, II, pg. 489; Poggendorff, Gesch. der Phys., pg. 867. — <sup>46)</sup> Hoppe, pg. 41. — <sup>47)</sup> Beccaria, *elettricismo artificiale*, 1775, pg. 252 ff. — <sup>48)</sup> Beccaria, *elettr. artif.*, pg. 227. — <sup>49)</sup> Philos. trans., vol. XLVIII, part. II, pg. 763. — <sup>50)</sup> Mém. de l'acad. des sciences, 1752, pg. 233. — <sup>51)</sup> Beccaria, *elettr. artif.*, pg. 373 ff. — Philos. trans., vol. XLVIII, part. I, pg. 377; vol. XIII, pg. 1 u. 87. — Mém. de l'acad. des sciences, 1752, pg. 233 et suiv. — <sup>52)</sup> Gilberts Ann., XVI, pg. 123, 124. — <sup>53)</sup> Schweigger, Journ. III, 1811, pg. 123, 268; VIII, pg. 22, 25. — <sup>54)</sup> Phil. trans., vol. 48, part. 1, pg. 358. — Fischer, Gesch. der Phys., Bd. V, S. 596. — <sup>55)</sup> Franklins Briefe, pg. 152. — <sup>56)</sup> R. Boyle, opera. Genev., 1680, Tome II, pg. 136 ff. — <sup>57)</sup> Franklins Briefe, 2. Brief, S. 20. — <sup>58)</sup> Wiedemann, El. I, S. 7. — <sup>59)</sup> Mém. de l'acad. des sc., 1747, pg. 102, 149, 207.

trische Körper selbst elektrisch werden, wenn sie in eine elektrische Atmosphäre gebracht werden. Bis auf Canton hatte man nun geglaubt, daß dieselbe Elektrizität immer an demselben Körper hervorgebracht werde. Canton aber zeigte, daß die Art der Elektrizität von der Beschaffenheit der Oberfläche des geriebenen Körpers und des Reibzeuges abhängt, daß z. B. poliertes Glas gerieben positiv, mattes mit Flanell gerieben negativ elektrisch werde.

Der unitarischen Theorie Franklins wurde von Symmer (gest. 1759)<sup>60)</sup> die dualistische, von Dufay herrührend, entgegengestellt, welche die Existenz zweier elektrischer Flüssigkeiten voraussetzt, deren Neutralisation den natürlichen Zustand hervorbringt, während das Elektrisieren nur ein Trennen der beiden elektrischen Flüssigkeiten darstelle. Von denjenigen, welche sich dieser Ansicht zuwandten, ist außer Cigna<sup>61)</sup> noch Lichtenberg<sup>62)</sup> zu nennen, der die Bezeichnung „positive“ und „negative“ Elektrizität einführte.<sup>63)</sup> Auch entdeckte er die nach ihm benannten interessanten elektrischen Staubfiguren, die auf einem elektrischen Harzkuchen entstehen, wenn wir denselben mit Staub bestreuen.

Auf Grund der Annahmen Franklins versuchte zuerst Aepinus (geb. 1724 in Rostock, gest. 1802 in Dorpat) durch Rechnung die Wirkungen der Elektrizität und des Magnetismus zu begründen.<sup>64)</sup> Nach ihm unternahm es Cavendish in den Philos. transact. 1771, eine mathematische Theorie der Elektrizität aufzustellen. Aber beiden fehlte es an genaueren numerischen Daten zur Prüfung derselben. Später diente die von Coulomb<sup>65)</sup> angenommene und mit Hilfe seiner Torsionswaage bewiesene Lehre der zwei Fluida den analytischen Untersuchungen Poissons (geb. 1781, gest. 1840) im Jahre 1811 und 1823 „über die Verteilung der Elektrizität auf Leitern“ zur Grundlage.<sup>66)</sup>

Gray hatte, von Wheler unterstützt, schon 1728 nachgewiesen, daß nicht alle Körper auf gleiche Weise Elektrizität leiten. Aber erst Priestley unternahm es,<sup>67)</sup> die Leitungsfähigkeit der Metalle miteinander zu vergleichen. Er ließ gleich starke elektrische Schläge durch gleich lange und gleich starke Drähte von verschiedenen Metallen gehen und wiederholte diese Versuche solange, bis der eine der Drähte schmolz: Derjenige war der schlechtere Leiter, welcher zuerst schmolz.

Elektrometer: Nach der Entdeckung der Leydener Flasche machte sich bald das Bedürfnis nach einem Instrument geltend, mit welchem man die Stärke der Ladung genau messen könne. Schon Gray und Dufay beobachteten, daß neben einander hängende Fäden nach der Elektrisierung einander abstießen (vgl. Franklins elektrische Spinne damit),<sup>68)</sup> und Dufay benutzte 1733 die Divergenz zweier solcher Fäden, um den elektrischen Zustand einer Stange zu erkennen.<sup>69)</sup> Waitz<sup>70)</sup> in Berlin (geb. 1698, gest. 1777) schlug als Elektrometer zwei nebeneinander isoliert aufgehängte Fäden mit Metallgewichtchen an den Enden vor, um die abstoßende Kraft der Elektrizität mit der Schwere vergleichen zu können, und Canton<sup>71)</sup> konstruierte das erste Elektrometer dieser Art aus Hollundermarkkugeln an Zwirnfäden, welche in einem Kästchen angebracht waren. Sein Elektrometer diente den meisten späteren Apparaten dieser Art zum Vorbilde, so dem Quadrant-Elektrometer von Henley (1772).<sup>72)</sup> Ellicot<sup>73)</sup> will gleichzeitig mit Galath die Stärke der Elektrisierung eines Körpers durch das Gewicht messen, welches in die eine Schale einer Waage gelegt werden muß, um die andere oberhalb des elektrischen Körpers befindliche Schale zu heben. Mit dem von Waitz angegebenen Elektrometer stimmen die von Nollet<sup>74)</sup> (1747) und Cavallo<sup>75)</sup> (1780) überein, von denen der erstere die Divergenz zweier Leinenfäden, der letztere diejenige zweier an ihren Enden mit Hollundermarkkugeln beschwerter Metallfäden als Maß für die Stärke der Elektrizität benutzte. Volta<sup>76)</sup> begnügte sich mit zwei Strohhalmen. Bennet führte 1787 das nach ihm benannte und noch jetzt gebräuchliche Goldblattelektroskop ein. (Philos. transact., 1787, pg. 26.) De Saussure in Genf versah

<sup>60)</sup> Philos. trans., vol. 51, part. 1, 1759, pg. 340—389. — <sup>61)</sup> Cigna, geb. 1734 zu Mondovi, gest. 1790 als Professor der Anatomie in Turin. — <sup>62)</sup> Lichtenberg, geb. 1742, gest. 1799 in Göttingen. — <sup>63)</sup> Comment. Soc. Reg. Scient. Gotting. T. VIII ad an. 1777, pg. 168; T. I ad an. 1778, pg. 65. — G. C. Lichtenberg, *super nova methodo motum ac naturam fluidi electrici investigandi*. — Über „pos. u. neg.“ T. VIII, pg. 175; über Staubfiguren, pg. 174. — <sup>64)</sup> Aepinus, *tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*, Petropoli 1759, pg. 13 ff. — <sup>65)</sup> Coulomb, *Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de métal*; *mém. de l'acad. des sc.* 1784, pg. 229; 1785, pg. 568. — <sup>66)</sup> *Mém. de l'acad. des sc. mathém. et phys. de l'inst. imp. de France*, 1811, T. XII, pg. 1—92; Poisson, *mémoire sur la distribution de l'électricité à la surface des corps conducteurs*, et pg. 163—274. — <sup>67)</sup> Priestley, *Gesch. der El.*, pg. 486. — <sup>68)</sup> Franklins Briefe, S. 24. — <sup>69)</sup> Poggendorff, *Gesch. der Physik*, pg. 875. — <sup>70)</sup> Waitz, *von der Elektrizität und deren Ursachen*. Berlin, 1745. — <sup>71)</sup> Priestley, *Gesch. der El.*, pg. 155 u. 343. — *Philos. trans. abridg.*, 1753, pg. 421. — <sup>72)</sup> *Philos. transact.*, 1772. — <sup>73)</sup> *Philos. transact.*, 1747, 1748. — <sup>74)</sup> *Mém. de l'acad. des sciences*, 1747, pg. 130. — <sup>75)</sup> Cavallo, *traité de physique*, pg. 129 ff. — <sup>76)</sup> Volta, *Meteorologische Briefe*, 1781, No. 1.

1785 das Elektrometer Cavallos mit einer mehrere Dezimeter langen Metallspitze, um damit die atmosphärische Elektrizität zu untersuchen. Außerdem wandte er bei diesen Versuchen am Elektrometer statt einer Lichtflamme zur Ableitung der Elektrizität einen glimmenden Zunder an. Coulomb endlich konstruierte 1777 sein empfindliches „Elektroskop“, indem er den Metalldraht der Torsionswaage durch einen Kokonfaden ersetzte, und es gelang ihm damit festzustellen, „dafs die Wirkung der elektrischen Kräfte den elektrischen Massen direkt, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional sei“, ein Gesetz, welches schon einige Jahre früher durch die Versuche Lord Stanhopes<sup>77)</sup> angedeutet worden war.

**Über die verschiedenen Wege zur Erzeugung der Elektrizität.** Zu Anfang des achtzehnten Jahrhunderts erkannte man, dafs die Reibung nicht das einzige Mittel war, mit deren Hilfe man Elektrizität hervorrufen könne. Ein Mineral, welches im erwärmten Zustande kleine Körper anzog, erregte die Aufmerksamkeit der Physiker. Dieses Mineral brachten die Holländer aus Ostindien, besonders aus Ceylon, es war der Turmalin, der seinen Namen *tourmalin*, *tire-cendre*, Aschentrecker deshalb führt, weil er Asche anzieht, wenn man ihn ins Feuer wirft.

Lémery<sup>78)</sup> zuerst führte 1717 als Eigenschaft des Steines an, dafs er im erwärmten Zustande leichte Körperchen anziehe und wieder abstofse. Linné nannte den Turmalin schon 1748 in der Vorrede zu seiner *Flora zeylanica*, pg. 8: *Lapidem electricum — attrahentem corpora levia, parva, cineres, — eaque dein longius repellentem*. Aber weder Linné noch Lémery wußten, welche Bedingungen zum Auftreten dieser auffallenden Wirkung des Turmalins erforderlich waren. Aepinus,<sup>79)</sup> welcher von dem Bergrat Johann Gottlob Lehmann (gest. 1767 in Petersburg) auf diese Eigentümlichkeit des Turmalins aufmerksam gemacht wurde, fand durch seine Untersuchungen, dafs das thermo-elektrische Verhalten des Turmalins von dem Temperaturunterschiede der beiden Enden des Minerals abhängt, und dafs dieser an beiden Enden entgegengesetzt elektrisch werde. Bergmann (geb. 1735, gest. 1784) und Canton<sup>80)</sup> zeigten, dafs elektrische Erscheinungen nur bei Steigerung oder Abnahme der Temperatur eintraten, und der letztere bemerkte, dafs auch die Stücke des im elektrischen Zustande zerbrochenen Steines elektrisch blieben, was später durch Brewster<sup>81)</sup> noch dahin ergänzt wurde, dafs auch der ganz fein gepulverte Turmalinstaub beim Erwärmen elektrisch wird. Canton wies für den brasilianischen Topas ein ähnliches Verhalten nach. Wilson<sup>82)</sup> fand 1759 gleiche Erscheinungen am brasilianischen Smaragd, und der berühmte Mineraloge Haüy<sup>83)</sup> (geb. 1743, gest. 1822) zeigte, dafs eine große Anzahl kristallinischer Mineralien dieselbe Eigenschaft besitze, wie es Hankel in Leipzig als fast allen kristallinen Körpern zukommend durch seine zahlreichen Untersuchungen über Kristallelektrizität in diesem Jahrhundert ausführlich bewiesen hat.<sup>84)</sup>

Auch die „elektrischen Fische“ waren im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts Gegenstand der physikalischen Untersuchungen. Vorher nahm man an, dafs der Zitterrochen (*Raja Torpedo*), der Zitteraal (*Gymnotus electricus*) und der Zitterwels (*Silurus electricus*)<sup>85)</sup> eine ihnen eigentümliche betäubende Kraft besäßen, und Réaumur versuchte noch 1714 die Erschütterung als einen rein mechanischen Schlag darzustellen, hervorgebracht durch eine sehr schnelle Muskelbewegung des Fisches. Aber sobald Muschenbroek den Schlag der Leydener Flasche kennen gelernt hatte, verglich er damit die Erschütterung, welche der Zitterrochen hervorruft, ohne jedoch die Übereinstimmung beider Erscheinungen darstellen zu können. Erst der Engländer Walsh<sup>86)</sup> erbrachte im Jahre 1772 den Nachweis, dafs die Schläge des Torpedo elektrischer Natur seien. Er leitete den Schlag durch mehrere Personen, zeigte, dafs man, um ihn zu bekommen, den Fisch an der Ober- und Unterseite berühren müsse, dafs er in der Luft stärker als im Wasser sei, und dafs er nicht erfolge, wenn Glas oder Lack im Schließungsbogen ist. Die Untersuchungen des Anatom John Hunter ergaben ferner,<sup>87)</sup> dafs dieser Fisch zur Elektrizitätserregung ein besonderes, sehr kompliziertes Organ besitzt. Der Zitterwels im Nil und in einigen afrikanischen Flüssen wurde durch den Franzosen Broussonet<sup>88)</sup> genauer bekannt, nachdem ihn der Schwede Forskal auf seinen

<sup>77)</sup> Lord Stanhope, principles of electricity, London 1779, § 23—30, §§ 129—135; 175—178. — <sup>78)</sup> Hist. de l'acad. des sciences pour 1717. — <sup>79)</sup> Heller, II, pg. 478. — Schwedische Abhandlungen, XXVIII, pg. 99: Geschichte des Turmalins, von Wilke. — <sup>80)</sup> Priestley, Gesch. der El., S. 204 ff. — <sup>81)</sup> Poggend. Ann., II, pg. 297. — <sup>82)</sup> Philos. transact., 1759, pg. 394 ff. — <sup>83)</sup> Mém. de l'acad., 1787, pg. 49 ff. — Fischer, Gesch. der Phys., VIII, pg. 854. — <sup>84)</sup> Abhandl. der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissensch. von 1857—1889. Poggend., Ann. von 1840 an. — <sup>85)</sup> Priestley, Gesch. der El., pg. 277 ff. — <sup>86)</sup> Philos. trans., 1773, pg. 461—480: on the electric property of the Torpedo. — <sup>87)</sup> Philos. trans., 1773, pg. 481—489: Anatomical observations on the Torpedo. — <sup>88)</sup> Poggendorff, Gesch. der Phys., pg. 898.

Reisen in Ägypten und Arabien 1761–63 gesehen und unvollkommen beschrieben hatte. Über den elektrischen Aal des neuen Weltteils handelt A. von Humboldt eingehend in der Beschreibung der von ihm und A. Bonpland unternommenen Reise.<sup>89)</sup> Vielfache Versuche zu ihrer Aufklärung wurden angestellt. Darunter sind besonders Cavendishs Bemühungen<sup>90)</sup> zu erwähnen, die Wirkung des Zitterrochen durch elektrische Flaschen nachzuahmen. Später ist es Santi Linari<sup>91)</sup> gelungen, mit Hilfe des Elektroskops den Nachweis von dem Vorhandensein statischer Elektrizität bei diesen Fischen zu führen, und Schönbeins Untersuchungen 1841<sup>92)</sup> ermöglichten die Messung der dabei auftretenden strömenden und statischen Elektrizität.

Influenzelektrizität. Schon Gray<sup>93)</sup> hatte gefunden, daß die elektrische Wirkung sich auch durch einen kleinen Zwischenraum den leitenden Substanzen mitteile, und Canton<sup>94)</sup> machte der Société royale am 6. Dezember 1753 von diesen Erscheinungen der elektrischen Influenz Mitteilung. Volta<sup>95)</sup> benutzte das Prinzip des Freiwerdens von Elektrizität durch Influenz 1775 zur Herstellung seines Elektrophors. Dasselbe besteht aus einem Harzkuchen, bedeckt von einer Kupferscheibe mit isoliertem Handgriff. Wird der Harzkuchen mit einem Katzenfell gerieben, so erhält man durch Aufsetzen der Kupferscheibe und ableitende Berührung derselben vor dem Wiederaufheben beim jedesmaligen Aufheben auf der Scheibe freie Elektrizität, so oft man will. Volta formte sein Elektrophor in der Folge zu einem sehr empfindlichen Kondensator<sup>96)</sup> um, der im Prinzip schon von Aepinus angegeben war.<sup>97)</sup> Auch die Erscheinung, daß ein Mensch, der ziemlich entfernt ist von der Stelle, an der der Blitz einschlägt, dennoch stark verletzt und sogar getötet werden kann, wurde von Lord Mahon<sup>98)</sup> dem durch Influenz hervorgerufenen elektrischen Rückschlag zugeschrieben.

Wilke beobachtete 1757, daß beim Erstarren geschmolzener Substanzen Elektrizität entstände, die sogenannte „*electricitas spontanea*“, indem er Schwefel, Lack und andere Substanzen in Gefäßen von verschiedenem Metall schmolz und erkalten ließ, während er sie ableitend berührte. In Glasgefäßen geschmolzen erwies sich Schwefel nach dem Erkalten negativ, das Glas positiv. Ebenso verhielt sich Lack in Glas; dagegen war in einem Gefäß von Schwefel Lack positiv, der Schwefel negativ.<sup>99)</sup> Am 6. März 1781 zeigten Lavoisier (geb. 1743 zu Paris, gest. 1794) und Laplace (geb. 1749, gest. 1827) der Akademie der Wissenschaften an, daß bei chemischen Vorgängen Elektrizität frei werde.<sup>100)</sup> Sie zeigten, daß bei der Reaktion von verdünnter Schwefelsäure auf Eisenfeilspäne genug Elektrizität frei wurde, um einen ziemlich lebhaften Funken zu erhalten, daß bei der Verbrennung von Kohle mit dem Kondensator negative Elektrizität nachweisbar sei, daß beim Verdampfen von Wasser in Metallgefäßen das Gefäß stets negativ elektrisch wurde, der Dampf positiv. Sie leiteten diese freiwerdende Elektrizität nur von der Zustandsänderung der Körper her, waren aber nicht imstande, ein Gesetz dafür aufzustellen. Auch Saussure, welcher fand,<sup>101)</sup> daß die positive und negative Ladung des Dampfes durch die Natur der Fläche, welche die Verdampfung erregt, modifiziert wurde, und Cavallo, welcher mit Volta<sup>102)</sup> entdeckte, daß Wasserdampf, welcher aus bespritzten glühenden Kohlen aufsteigt, positiv ist, versuchten das vergebens. Pouillet zeigte 1827, daß die Verdunstung des Wassers nicht die Ursache sei.<sup>103)</sup> Aber erst Reich und Riefs fanden 1846 die wahre Wirkung in der Reibung, indem destilliertes, chemisch reines Wasser beim Verdunsten niemals Elektrizität erregte, sobald aber in den Tiegel Sand oder sonst scharfzackige Körper geworfen wurden, fand die Erregung statt.<sup>104)</sup>

**Die verschiedenen Wirkungen der Elektrizität.** Nach der Entdeckung der Elektrifiziermaschine war man imstande, mit dem elektrischen Funken Äther, Alkohol und brennbare Körper zu entzünden. Diese Wirkung des Funkens wurde gesteigert durch Anwendung der Leydener Flasche oder einer Verbindung mehrerer Flaschen. Watson teilte 1764 mit, daß sich ein feiner Metalldraht durch hindurchströmende Elektrizität bis zur Weißglut erhitze und

<sup>89)</sup> Reise von A. von Humboldt und A. Bonpland: Beobacht. über den elektr. Aal des neuen Weltteils, S. 73 ff. — <sup>90)</sup> Philos. transact., 1776, pg. 196–225. — <sup>91)</sup> Pogg. Ann., 1837, Bd. 38; Bd. 40, pg. 643. — <sup>92)</sup> Riefs, Reibungselektrizität, II, S. 457; Hoppe, S. 121. — <sup>93)</sup> Fischer, Gesch. der Phys., Bd. V, pg. 440. — <sup>94)</sup> Philos. trans., vol. XLVIII, pg. 350–357. — <sup>95)</sup> Poggendorff, Gesch. der Phys., S. 887. Fischer, Gesch. der Phys., Bd. VIII, S. 283 ff. — <sup>96)</sup> Philos. trans., 1782, pg. 237 u. 242. Observ. de phys. de Rozier, 1783, t. XXIII, part. II, pg. 3 u. pg. 81. — <sup>97)</sup> Aepinus, tentamen theoriae electr. et magn., pg. 55. — <sup>98)</sup> Lord Mahon, principles of electricity, 1779, pg. 113, § 311. — <sup>99)</sup> Priestley, pg. 147. — Schwedische Abhandl., XXVIII, S. 102. — <sup>100)</sup> Mém. de l'acad. des sciences, 1781, t. c., pg. 292–294. — <sup>101)</sup> Saussure, relations de son voyage dans les Alpes, vol. 3, pg. 315–345. — <sup>102)</sup> Rozier, Journal de phys., 1783, août. — <sup>103)</sup> Poggendorff, Ann., Bd. XI, pg. 417. — <sup>104)</sup> Riefs, Reibungselektrizität, Bd. II, pg. 407. — Hoppe, pg. 81.

hierauf in Tropfen zerfalle. Canton, welcher mit einem Messingdraht derartige Versuche anstellte, fand nach denselben auf dem Papier nur Kupferkugeln, während das Zink verbrannt war. Auch Franklin hatte beobachtet, daß Eisen an denjenigen Stellen etwas ausgehöhlt war, welche sehr oft vom Funken getroffen worden waren. Während Trémery<sup>105)</sup> den Funken einer Leydener Flasche durch eine Karte schlagen liefs, beobachtete er, daß die Karte gegenüber dem negativen Pol durchbohrt war. Wurde dieser Versuch im luftleeren Raum angestellt, so war die Karte mitten zwischen den beiden Spitzen durchbohrt, ein Beweis dafür, daß die positive Elektrizität in geringerem Maße die Kraft besitzt, die Luft zu durchdringen, als die negative. Beccaria<sup>106)</sup> schmolz mit dem elektrischen Funken Glas und Borax, gewann damit die reinen Metalle aus den Oxyden und trennte im Zinnober Schwefel und Quecksilber. Auch beobachtete er zuerst, daß die in Wasser zwischen zwei Konduktoren überspringenden Funken Gasblasen aufsteigen machen,<sup>107)</sup> eine Erscheinung, die auch von Paetz van Troostwyck und Deimann wahrgenommen wurde, als sie wiederholt die Entladung einer Kleistschen Flasche durch destilliertes Wasser gehen liefsen.<sup>108)</sup> Cavendish<sup>109)</sup> erhielt 1781 aus einem Gemenge von 1 Volumen Sauerstoff und 2 Volumen Wasserstoff bei der Entzündung durch den elektrischen Funken Wasser, und auf gleiche Weise Salpetersäure aus dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft. Volta<sup>110)</sup> konstruierte beinahe gleichzeitig (1776 und 1777) seine Wasserstoffgaslampe, die durch den Funken eines Elektrophors entzündet wurde, und das Eudiometer, durch welches er mit Hilfe des elektrischen Funkens den Sauerstoffgehalt der Luft bestimmte. Van Marum bestätigte diese Entdeckungen durch seine Experimente 1785–1798 mit der berühmten, von Teyler von der Hulst in Harlem gestifteten und von dem englischen Mechaniker Cuthbertson gebauten Elektrisiermaschine. Dabei erwähnt derselbe, dass Sauerstoff einen sehr starken Geruch annimmt, wenn der Funke ihn durchbricht, analog dem Geruche, welcher entsteht, wenn der Funke in der Luft überspringt.<sup>111)</sup> Das ist die erste genauere Angabe über das Auftreten des Ozon, während schon Franklin 1749<sup>112)</sup> es ausgesprochen hatte, daß der beim elektrischen Funken auftretende Geruch durch Einwirkung der Elektrizität auf die Luft entstehe. Van Marum benutzte bei seinen Versuchen das von Baron von Kienmayer zu Wien beschriebene und nach ihm benannte Amalgam (2 T. Quecksilber, 1 T. Zinn und 1 T. Zink).<sup>113)</sup> Beccaria machte die von Priestley<sup>114)</sup> bestätigte Beobachtung, daß die Elektrizität leichte Körper auf ihrem Wege mitführt, auch verdankt man Priestley interessante Versuche über die farbigen (Newtonschen) Ringe, welche auf Metallplatten entstehen, wenn auf dieselben starke elektrische Funken überspringen.<sup>115)</sup> Nairne fand 1780, daß die von dem elektrischen Entladungsfunken durchlaufenen Metalldrähte sich verkürzten.<sup>116)</sup>

**Anwendung der Elektrizität auf den tierischen Organismus und in der Medizin.** Die Wirkungen der Leydener Flasche wurden wegen ihrer Intensität von den Entdeckern und Experimentatoren zuerst gewaltig übertrieben. Erst als die Vorurteile über die Gefährlichkeit des Entladungsschlages geschwunden waren, dachte man daran, diese Kraft in der Heilkunde zu verwenden. Nollet<sup>117)</sup> scheint damit den Anfang gemacht zu haben. Er beobachtete die Wirkung der Elektrizität auf Flüssigkeiten und kam zu dem Ergebnis, daß dieselbe die Verdampfung beschleunigt, je größer die Oberfläche der Gefäße ist und je besser die Substanz derselben die Elektrizität leitet. Bose entdeckte gleichzeitig,<sup>118)</sup> daß das elektrisierte Wasser aus Kapillarröhren in Strahlen ausströme, anstatt wie gewöhnlich in Tropfen. Diese beiden Experimente wurden als grundlegende betrachtet von allen den Physikern, welche sich mit der Anwendung der Elektrizität in der Medizin beschäftigten. Dabei liefen allerdings mancherlei falsche Vorstellungen mit unter. Giovanni Francesco Pivati (geb. 1689, gest. 1764 in Bologna) elektrisierte Perubalsam, der in einer Glasröhre hermetisch verschlossen war, und wollte durch Berühren mit diesem Gefäße kurieren.<sup>119)</sup> Der Erste, welcher 1744 die Elektrizität bei Lähmungen anwandte, war Christian Gottlieb

<sup>105)</sup> *Traité de physique*, von Haüy. — <sup>106)</sup> Beccaria, *Lettere dell' elettric.*, pg. 282. — <sup>107)</sup> Beccaria, *elettr. artif.*, pg. 116. — <sup>108)</sup> Fischer, *Gesch. der Physik*, Bd. VIII, pg. 541. — <sup>109)</sup> *Philos. trans.*, vol. LXXV: *Experiments on air*, pg. 372, u. vol. LXXVIII: *On the conversion of a mixture of dephlogisticated and phlogisticated air into nitrous acid by the electric spark*, pg. 261. — <sup>110)</sup> Singer, *Elem. der Elektrizität und der Elektrochemie*, 1819, Versuch 79, S. 126 ff. — <sup>111)</sup> *Description de la grande machine électrique de Harlem*, vol. I, pg. 118, 129. — <sup>112)</sup> *New experiments and observations*, pg. 84. — <sup>113)</sup> *Observations sur la physique de Rozier*, T. XXIII, 1788, août, pg. 96–103. — <sup>114)</sup> Priestley, *Gesch. der Elektr.*, pg. 418. — <sup>115)</sup> *Ibidem*, pg. 466. — <sup>116)</sup> *Philos. trans.*, 1780, vol. LXX, pg. 334: *An account of the effect of electricity in shortening wires.* — <sup>117)</sup> M. Becquerel, *traité expérim. de l'électr. et du magnét.*, T. I, pg. 63. — Priestley, S. 90 ff. — <sup>118)</sup> Priestley, *Gesch. der El.*, S. 91. — <sup>119)</sup> Fischer, *Gesch. der Physik*, Bd. V, S. 553, 554.

Kratzenstein (geb. 1723 zu Wernigerode, gest. 1795 zu Kopenhagen).<sup>120)</sup> Auch Jallabert gelang es, erfolgreich mit dem elektrischen Funken einen gelähmten Arm zu heilen.<sup>121)</sup> Aber diese Art der Behandlung gab man später ihres oft ungünstig verlaufenden Ausgangs wegen auf, und erst in neuerer Zeit fand sie wieder Aufnahme.

**Naturerscheinungen, welche auf Elektrizität bezogen werden.** Die elektrischen Erscheinungen bewirkten durch ihre Sonderbarkeit, daß man die Elektrizität als Quelle aller derjenigen Erscheinungen betrachtete, deren Ursache unbekannt war. Was zuerst das Nordlicht betrifft, so waren die Meinungen der Physiker über den Ursprung desselben geteilt. Die einen führten es auf das Zodiakallicht zurück, wie Mairan,<sup>122)</sup> der es aus einer Vermischung des Zodiakallichts mit der Erdatmosphäre erklärt. Später, 1747, erwähnt er die wichtige Beobachtung, daß der Mittelpunkt der Nordlichtkrone in die Richtung der verlängerten Inklinationsnadel fällt.<sup>123)</sup> Seine Ansicht wurde von Euler<sup>124)</sup> angegriffen und von ihm selbst wurden folgende Sätze aufgestellt: „1. Die Materie des Nordlichts besteht nur aus sehr feinen Teilen der Erdatmosphäre. 2. Die Erdatmosphäre reicht kaum eine deutsche Meile in die Höhe, das Nordlicht steht bedeutend höher und fällt nicht in den Bereich der Erdatmosphäre. 3. Die feinen Teile der Erde, welche sich in dieser großen Entfernung befinden, sind durch die treibende Kraft der Sonnenstrahlen dahin geführt.“ — Andere nahmen bei ihren Erklärungen ihre Zuflucht zu einem imaginären Fluidum, einem magnetischen Fluidum etc. Doch schon in dem 1746 in Leipzig erschienenen Buche Winklers: „Über die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen“ erwähnt der Verfasser in § 146 die Analogie zwischen Elektrizität und Nordlicht und hält auch dieses für eine elektrische Erscheinung. Eberhart, Professor in Halle, und Paul Frisi in Pisa<sup>125)</sup> sprachen ebenfalls dem Nordlicht elektrischen Ursprung zu, indem sie sich auf die Lichterscheinungen in mehr oder weniger verdünnter Luft stützten. Diese Erscheinungen waren von dem sächsischen Hofmechanikus Grummert (geb. 1719 zu Biala in Polen, gest. 1776 in Dresden) beim Reiben luftleerer Glasröhren entdeckt worden. Van Marum trat dieser Meinung Eberharts in seiner Abhandlung „Über das Elektrisieren“ 1777 vollständig bei. Da die Luft, je höher sie sich über der Erde befindet, um so weniger dicht ist, mußten die elektrischen Entladungen dieselben Erscheinungen hervorrufen, wie in mehr oder weniger verdünnten Mitteln. Seitdem betrachtet man das Nordlicht als Ergebnis elektrischer Entladungen in ziemlich hohen Luftschichten. Diese Ansicht wurde angenommen und weiter durchgeführt von Canton, Beccaria, Franklin und anderen.<sup>126)</sup> Sie fand ihre Prüfung durch die spektral-analytischen Untersuchungen Zöllners in Leipzig über das Nordlicht und eine Bestätigung durch die von Professor Lemström<sup>127)</sup> aus Helsingfors 1868 und 1871 angestellten Versuche. Derselbe hat künstlich das Nordlicht erzeugt, indem er zwei Berge im nördlichen Finnland von 800 und 1100 m Höhe mit einem Drahtnetz überzog, welches mit zahlreichen Spitzen nach oben versehen war.

**Ausbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche der Körper, und Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstofsung. Arbeiten von Coulomb.** Unter den Physikern, welche sich mit der Ausbreitung der Elektrizität auf der Oberfläche der Körper beschäftigt haben, ist an erster Stelle Beccaria<sup>128)</sup> zu nennen, welcher mit Hilfe seiner elektrischen Grube fand, daß die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche ausbreitet und nicht die geringste Spur davon im Innern zurückbleibt. Die elektrische Kapazität eines Körpers ist also dieselbe, so lange die Oberfläche dieselbe bleibt, mag der Körper voll oder leer sein. Volta<sup>129)</sup> veröffentlichte 1778 eine Arbeit, in welcher er bewies, daß von zwei Körpern gleicher Oberfläche der längere die stärkere Ladung erhält. Er schloß daraus, daß es vorteilhaft sein würde, auf die großen Konduktoren der Elektrisiermaschine ein System kleiner Zylinder aufzusetzen.

Coulomb<sup>130)</sup> that von 1785 bis 1787 mehr für die statische Elektrizität, als alle seine Vorgänger. Er zuerst entdeckte die Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstofsung<sup>131)</sup>: „Die Anziehung oder Abstofsung zweier entgegengesetzt oder gleich elektrischer Kugeln, also auch zweier elektrischen Moleküle ist direkt proportional der Dichtigkeit der Elektrizität

<sup>120)</sup> Fischer, Bd. V, S. 837. — Heller, II, pg. 495. — <sup>121)</sup> Priestley, S. 261 ff. — <sup>122)</sup> Mairan, traité physique et historique de l'aurore boréale, pg. 363 ff. — <sup>123)</sup> Mém. de l'acad., 1747. — <sup>124)</sup> Mém. de l'acad., 1747, pg. 44 et 386: Des recherches physiques sur la cause des queues des Comètes, de la Lumière boréale et de la Lumière zodiacale. — <sup>125)</sup> Becquerel, hist. de l'électr. et du magnétisme, pg. 18. — <sup>126)</sup> Beccaria, Lett. dell' elettricismo, pg. 272. — Philos. trans., vol. XLVIII, pg. 1 u. 358. — <sup>127)</sup> Hoppe, pg. 36. — <sup>128)</sup> Beccaria, elettricismo artificiale, pg. 186. — <sup>129)</sup> Becquerel, hist. de l'électr. et du magn., pg. 19. — <sup>130)</sup> Mém. de l'acad. des sciences de 1785 à 1787. — <sup>131)</sup> Mém. de l'acad. roy., 1785, pg. 569–638, bes. 578 u. 611.

der beiden Moleküle und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.<sup>132)</sup> Er fand ferner die Gesetze, denen zufolge die auf einer Oberfläche angehäuften Elektrizität sich durch die Berührung mit der Luft verliert.<sup>133)</sup> Weiter suchte er die Art und Weise der Ausbreitung der Elektrizität zwischen verschiedenen Teilen ein- und desselben Körpers, sowohl im Innern als auf der Oberfläche. Er zeigte<sup>134)</sup> wie Beccaria, daß sich die Elektrizität nur auf der Oberfläche der leitenden Körper ausbreitet, und daß sie dort nur durch den Druck der umgebenden Luft festgehalten wird. Seine Versuche mit der Drehwaage ließen ihn die Anhäufung der Elektrizität an den Spitzen nachweisen und damit eine sehr einfache Erklärung der saugenden Wirkung derselben geben.

## II. Die Entdeckungen von Galvani, Volta, Davy und anderen bis 1820.

**Galvani und Volta.** Schon 1750 entdeckte J. G. Sulzer<sup>134)</sup> (geb. 1720, gest. 1779), Professor an der Ritterakademie in Berlin, daß Blei und Silber unter sich und mit der Zunge in Berührung gebracht, einen eigentümlichen Geschmack verursachen. Er schloß daraus, daß die Vereinigung der beiden Metalle einen Schwingungszustand ihrer kleinsten Teile hervorrufe und dieser sich den Geschmacksnerven mitteile, ließ aber die Elektrizität dabei ganz außer Spiel. Auch die Zuckungen eines Froschpräparates unter Einwirkung von Elektrizität hatte schon 1756 Leopoldo Caldani beobachtet und davon unter anderen dem deutschen Anatom und Physiologen Albrecht von Haller<sup>135)</sup> Mitteilung gemacht. Aber erst von Galvanis<sup>136)</sup> Entdeckungen an wandte sich das wissenschaftliche Interesse in stärkerem Maße diesen Erscheinungen zu. Ohne auf die Art und Weise näher einzugehen, wie Galvani im Laufe seiner Versuche über atmosphärische Elektrizität zu der Entdeckung der Zuckungen der Froschschenkel durch Anlegen eines Metallbogens an Nerv und Muskel geführt wurde, ist soviel gewiß, daß er die Erscheinung nach deren Entdeckung mannigfach variierte, um die Bedingungen derselben kennen zu lernen.<sup>137)</sup> Allerdings faßte er dieselbe nur als eine Äußerung tierischer Elektrizität auf. Das Gehirn<sup>138)</sup> erzeugt nach ihm Elektrizität aus dem Blut, die Nerven mit einem gutleitenden inneren Teile und einer isolierenden Umhüllung leiten die Elektrizität aus dem Gehirn nach den Muskeln. Jede Muskelfaser stellt eine kleine Leydener Flasche dar, mit positiver und negativer Elektrizität, der Nerv ist der Konduktor, und jeder Entladung dieser elektrischen Ansammlungsapparate entspricht eine Muskelzusammenziehung.<sup>139)</sup> Das Aufsehen, welches diese Entdeckung hervorrief, erwarb Galvani viele Anhänger, welche die ursprüngliche Theorie zu erweitern suchten; aber auch die Gegner blieben nicht aus.<sup>140)</sup> Joh. Chr. Reil (gest. 1813 als Professor der Medizin in Halle und Berlin)<sup>141)</sup> sah in den Metallen, welche Galvani nur als Entladungsbogen betrachtet hatte, die Quellen der Elektrizität. Aber erst Volta<sup>142)</sup> schuf durch seine Versuche das Fundament zu der Lehre von der Berührungselektrizität. Er suchte, zu weit gehend, nachzuweisen, daß es keine tierische Elektrizität gäbe, daß die Muskeln nur Leiter darstellten wegen der alle ihre Teile durchdringenden Feuchtigkeit. Seine neue Lehre setzte er im *Journal de Leipzig*, t. XXXIV, art. 14, pg. 284 und im *Journal von Brugnatelli: Giornale physico medicale*, t. XIV., 1797 auseinander. Ihm verdanken wir das wichtige Spannungsgesetz, daß zwei Metalle, zwischen welchen eine ganze Reihe anderer in beliebiger Ordnung liegt, sich stets so verhalten, als ob sie sich direkt berührten, und zweitens, daß ein nur aus Metallen bestehender Kreis keine elektrische Strömung zu Wege bringen kann.<sup>143)</sup> Volta wies ferner nach, daß man die Zuckungen auch erhalten könne mit Hilfe eines

<sup>132)</sup> Ibidem, pg. 612. — <sup>133)</sup> Mém. de l'acad., 1786, pg. 67 u. 421; 1787, 1788, pg. 617. — <sup>134)</sup> Mém. de l'acad. de Berlin, 1751, 1752, 1754, pg. 356. — Sulzer, Theorie der angenehmen und unangenehmen Empfindungen, Berlin 1762. — <sup>135)</sup> Hallers Elementa Physiologiae, Lausannae 1766, T. IV, pg. 379, 448, 458, 460, 553, 556. Beccaria, elettr. artif., pg. 268, § 632. Heller, Gesch. der Phys., II, pg. 505. — <sup>136)</sup> Luigi Galvani, geb. 1737 in Bologna, studierte Medizin, lebte als praktischer Arzt, von 1762 an als Dozent an der Universität in Bologna, wurde später Professor der Anatomie und starb 1798. — <sup>137)</sup> Du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektrizität, 1848, pg. 34, 42 ff. Lord Mahon, princip. of electr., pg. 77, 78, 113, 114. — <sup>138)</sup> Joh. Mayer: Aloysi Galvani, Abhandlung über die Kräfte der tierischen Elektrizität auf die Bewegung der Muskeln etc., Prag 1793, S. 93. — <sup>139)</sup> Comment. Acad. scient. Bonon. 1791: De viribus electricitatis in motu musculari commentarius. — <sup>140)</sup> Grens neues Journal der Physik, 2. Bd., 2. Heft: Alex. von Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern nebst Vermutungen über den chem. Prozeß des Lebens in der Tier- und Pflanzenwelt. Posen und Berlin, 1797. — <sup>141)</sup> Über tierische Elektrizität, Grens Journal der Physik, 1792, VI. Bd., 3. Heft, pg. 413. — <sup>142)</sup> Alessandro Volta, geb. 1745 zu Como, wurde 1747 Professor der Phys. am Gymnasium zu Como, 1779–1804 an der Universität Pavia, nahm seinen Abschied, wurde 1815 Direktor der philosophischen Fakultät zu Padua und starb 1827. — <sup>143)</sup> Gilbert, Annal., X, pg. 403.

zwischen zwei verschiedene Flüssigkeiten gebrachten Metalls.<sup>144)</sup> Im Verlaufe des zwischen Galvani und Volta ausbrechenden Streites schien Galvani zunächst Sieger zu bleiben, als er, von seinem Neffen Aldini unterstützt, nachwies, daß der Metallbogen zur Hervorbringung der Zuckungen gar nicht nötig sei, da man sie bei einem frisch präparierten Frosch auch erhalte, wenn man den Schenkelmuskel mit dem Lendennerv in Berührung bringe.<sup>145)</sup> Volta sprach diese Wirkung dem Unterschiede der den Nerven und Muskeln anhängenden Flüssigkeiten zu. Diese scheinbare Begründung verfehlte ihre Wirkung nicht bei den Anhängern der Kontakttheorie.<sup>146)</sup> Die Thatsache ist dennoch deshalb wichtig, weil sie uns Muskel und Nerv als Elektromotoren zeigt. Die Physiker teilten sich nun in zwei Lager, die einen waren für den Kontakt, die anderen dagegen. Pfaff in Kiel (geb. 1773 in Stuttgart, gest. 1852) hielt nach Prüfung der Lehren Galvanis und Voltas die Lehre von der Berührung aufrecht.<sup>147)</sup> Wells<sup>148)</sup> beobachtete, daß ein einziges Metall die Zuckungen nicht hervorzurufen imstande sei, wenn es sehr rein war, sobald aber ein Ende desselben auf Zinn oder einem anderen metallischen Körper gerieben worden sei, das Metall allein diese Erscheinungen am Muskel hervorrufen könne.<sup>149)</sup> Der Mainzer Arzt Crève sucht die Erklärung des Galvanismus in chemischen Vorgängen. Bringt man zwei Metalle oder eines derselben mit Kohle in Verbindung, so wird das Wasser, welches Nerv und Muskel umgiebt, zum Teil zersetzt, indem der Sauerstoff, welcher größere Affinität zur Kohle oder zum Metall hat, als der Wasserstoff, sich von demselben trennt. Auf diese Zersetzungen sind nach Crève die Zuckungen zurückzuführen.<sup>150)</sup> Auch Fabroni sprach die hervorgerufene Wirkung der „chemischen“ Wirkung der verschiedenen Metalle zu, und er ist der erste, welcher die Frage unter ihrem wahren Gesichtspunkte ins Auge faßte. Er teilte seine ersten Untersuchungen der Akademie zu Florenz im Jahre 1792 mit, ohne daß die von ihm angeführten Thatsachen Beachtung fanden.<sup>151)</sup>

Fabroni<sup>152)</sup> hatte oft die Beobachtung gemacht, daß reines Quecksilber sich längere Zeit blank hält, daß es aber, mit einem anderen Metall verbunden, rasch oxydiert. Im Museum von Cortona (in Toskana) sah er etruskische Inschriften in reine Bleiplatten eingegraben wohl erhalten, während in der Galerie zu Florenz Medaillen aus einer Legierung von Zinn und Blei in weißen Staub umgewandelt waren. Diese und andere Beobachtungen derselben Art führten Fabroni zu der Annahme, daß die Metalle bei ihrer gegenseitigen Berührung eine wechselseitige Wirkung hervorbringen, auf welche sich die beobachteten Erscheinungen zurückführen lassen. Er glaubte ferner, daß eine Anzahl der am tierischen Körper beobachteten Erscheinungen, bei denen metallische Beläge an die feuchten Muskeln und Nerven gebracht wurden, auf eine chemische Wirkung zurückgeführt werden könnten. Jedoch hielt er die Wirkung der Elektrizität als von sekundärer Bedeutung. Valli<sup>153)</sup> zeigte, daß man Zuckungen an Froschpräparaten erhalte durch Beläge von Bleiplatten verschiedener Qualität, und daß es nur notwendig sei, die Froschschenkel kurze Zeit ruhen zu lassen, um nach einer Reihe von Versuchen mit denselben neue Zuckungen zu erhalten. Auch bemerkte er, daß die schwer oxydierbaren Metalle nur schwache Wirkungen hervorrufen, und daß die Wirkung ganz ausbleibt, wenn die Metalle lange mit den Nerven in Berührung blieben, daß aber mit der Entfernung der Metalle auch wieder Zuckungen auftreten.

Die Entdeckungen Galvanis, Voltas und anderer riefen in Frankreich eine besondere Kommission zur Prüfung dieser Erscheinungen ins Leben, doch brachte diese nichts wesentlich Neues hervor. Auch Alexander von Humboldt veröffentlichte ein Werk über Galvanismus.<sup>154)</sup> Er suchte sich zu vergewissern, ob die vom Galvanischen Strom hervorgerufenen Muskelzuckungen und Empfindungen auch nach Schließung der Kette noch andauerten.<sup>155)</sup> Zu diesem Zwecke legte er sich zwei Zugpflaster auf die beiden Deltamuskel, bedeckte die eine Wunde mit einer Silberplatte, die andere mit einer Zinkplatte und stellte die Verbindung beider Platten durch einen Metallbügel her. Nach einem einzigen Kontakt

<sup>144)</sup> Grens neues Journal, III, 1796. — <sup>145)</sup> Humboldts Beobachtungen, Bd. II, pg. 441. Du Bois-Reymond, über tier. El., pg. 78. — <sup>146)</sup> Ritter, Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensprozeß in dem Tierreich begleitet, 1798, S. 31. — <sup>147)</sup> Pfaff, über tierische Elektrizität und Reizbarkeit, Leipzig 1795, S. 324 ff., 346 ff., 359. — <sup>148)</sup> Philos. transact., 1795, part. II, pg. 591. — <sup>149)</sup> A. von Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern, I. Bd., pg. 52. — <sup>150)</sup> Crève, Beiträge zu Galvanis Versuchen, 1793. — Becquerel, pg. 88. — <sup>151)</sup> Fischer, Gesch. der Physik, Bd. VIII, pg. 648. — Gilbert, Annalen der Physik, Bd. IV, S. 248 ff. — <sup>152)</sup> M. Becquerel, traité de l'électr. et du magnet., t. I, pg. 90. — <sup>153)</sup> Sue, histoire du galvanisme, t. I, pg. 40, 54. — <sup>154)</sup> A. von Humboldt, Experimente über den Galvanismus und im allgemeinen über die Erregung der Nerven- und Muskelfasern. — <sup>155)</sup> Grens neues Journal der Physik, 2. Bd., 2. Heft, pg. 119 ff.

zogen sich die Muskeln der Achsel und des Halses unter brennenden Schmerzen abwechselnd zusammen. Brachte er einige Tropfen alkalischer Lösungen auf die Platten, so wurde die Erregbarkeit der Organe und gleichzeitig die Schmerzen bedeutend gesteigert. Humboldt benutzte ferner den galvanischen Strom dazu, um kleine, sehr empfindliche Tiere, welche im Begriff waren zu sterben, momentan in's Leben zurückzurufen.<sup>156)</sup>

**Die Voltasche Säule und die ersten Beobachtungen ihrer chemischen Wirkung.** Während der Streit noch zwischen den Anhängern Galvanis, Voltas und denjenigen herrschte,<sup>157)</sup> welche die elektrischen Kontaktwirkungen einem chemischen Ursprunge zusprachen, teilte Volta<sup>158)</sup> am 20. März 1800 dem Präsidenten der königl. Gesellschaft zu London, Joseph Banks, die Entdeckung der nach ihm benannten Säule mit. Durch Vermehrung der Plattenpaare (aus zusammengelöteten Kupfer- und Zinkplatten bestehend), welche er über einander aufschichtete und durch Tuchstücke trennte, welche mit angesäuertem Wasser getränkt waren, erhielt er an den beiden Enden dieser Säule eine elektrische Spannung, die hinreichend war, um ähnliche Erscheinungen hervorzurufen, wie man bei der Leydener Flasche beobachtete. Der Unterschied zwischen Leydener Flasche und Säule bestand aber darin, daß die erstere nach einmaliger Entladung keinen Schlag mehr gab, die letztere sich beständig selbst wieder elektrisierte.

Kurze Zeit später begann man die chemischen Wirkungen der Säule genauer zu beobachten. Schon 1795 hatte Dr. Asch in Oxford<sup>159)</sup> bemerkt, daß der galvanische Strom das Wasser zersetzt, indem bei Zink- und Silberplatten, welche durch eine Wasserschicht getrennt waren, auf der Zinkplatte sich Zinkoxyd niederschlug, welches sich aus Zink und dem Sauerstoff des Wassers gebildet hatte. Alexander von Humboldt, der diesen Versuch wiederholte, sah während der Oxydation am Silber Blasen aufsteigen, welche Wasserstoff enthielten.<sup>160)</sup> Nicholson und Carlisle<sup>161)</sup> fanden am 6. Mai 1800 die Zerlegung des Wassers in 2 H und O durch den elektrischen Strom, auch entdeckten sie die Zerlegung der Salze, deren Elemente sich an den entsprechenden Polen absetzten. Im September desselben Jahres schreibt auch Ritter,<sup>162)</sup> daß er mit einer Säule von 64 Plattenpaaren das Wasser zersetzen und beide Gase einzeln auffassen könne, auch benutzte er die Säule bei Ammoniak, sowie zur Niederschlagung von Kupfer aus Kupfervitriol. Vassali-Eandi zersetzte gleicherweise konzentrierte Salpetersäure und Alkohol mit Hilfe des elektrischen Stromes.<sup>163)</sup> Das allgemeine und tiefgehende Interesse an diesem Gegenstand zu damaliger Zeit wird dadurch besonders gekennzeichnet, daß der General Napoleon, nachdem er von dem nach Paris gekommenen Volta die Experimente selbst gesehen hatte,<sup>164)</sup> einen Preis von 60,000 Fr. für eine Entdeckung in der Elektrizität aussetzte, die sich denjenigen Franklins und Voltas an die Seite stellen ließe, und einen Preis von 3000 Fr. für die beste Entdeckung über das elektrische Fluidum innerhalb eines Jahres. Diesen letzten Preis erhielt zum erstenmale im Jahre 1806 Erman<sup>165)</sup> in Berlin (geb. 1764 in Berlin, gest. 1851) für sein System der „unipolaren“ Leiter, das von Biot, Becquerel und de la Rive angenommen wurde, bis Ohm<sup>166)</sup> den Nachweis führte, daß die Ursache dieser unipolaren Erscheinung in einer chemischen Wirkung des Stromes in dem Leiter zu suchen sei.<sup>167)</sup> Thenard und Hachette<sup>168)</sup> erhielten im Jahre 1801 starke Lichterscheinungen durch Säulen mit großen Oberflächen, und in demselben Jahre zeigte auch Tromsdorff<sup>169)</sup> bemerkenswerte Verbrennungserscheinungen mit einer Säule von 180 Plattenpaaren. Davy fand, daß Verbindungen verschiedener Metallplatten und Flüssigkeiten nicht nur bei Oxydation der Metallplatten, sondern auch dann Elektrizität aufwies, wenn irgend eine chemische Veränderung in einigen ihrer Teile eintrat. Auch zeigte er, daß sich die Pole einer Säule umkehren lassen durch Veränderung der Flüssigkeit.<sup>170)</sup> Ritter setzte eine Säule aus Kohle und Braunstein zusammen, eine andere stärker wirkende als Zink und Silber aus Wasserblei und Zink.<sup>171)</sup> Pepys<sup>172)</sup> ließe eine Säule nach einander in Luft und in Sauerstoff wirken. Mit Sauerstoff allein wurde die Energie

<sup>156)</sup> A. von Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern, Bd. II, 11. Abschnitt. — <sup>157)</sup> Journal de physique, an. IX, pg. 135. — <sup>158)</sup> Philos. transact., 1800, pg. 403. Journal de Nicholson, juillet, 1800. — <sup>159)</sup> Fischer, Gesch. der Phys., VIII, pg. 649. — <sup>160)</sup> Hoppe, pg. 133. Fischer, VIII, pg. 654. — <sup>161)</sup> Nicholson, geb. 1753 in London, gest. 1815. Carlisle, geb. 1786 u. gest. 1840 in London. A. Nicholson, Journal of natural philosophy, IV, 1800, pg. 179. Gilberts Ann., VI, pg. 340 ff. Biblioth. britann., t. XV, pg. 11. — <sup>162)</sup> Gilbert, Ann. der Physik, VI, 1800, pg. 470. Hoppe, pg. 139. — <sup>163)</sup> Gilbert, Ann., Bd. VII, S. 498. Journal de phys., pluviose an. IX., pg. 101. — <sup>164)</sup> Mém. de l'inst. nat., t. V, pg. 197—222 et pg. 233. — <sup>165)</sup> Gilbert, Annalen, Bd. 24, pg. 407—414. — <sup>166)</sup> Schweigger, Journal, LIX, 1826, pg. 385 u. LX, pg. 32. — <sup>167)</sup> Hoppe, pg. 184. — <sup>168)</sup> Becquerel, traité de l'élect. et du magn., pg. 109. — <sup>169)</sup> Crelle, Journal, 4. Heft, 1801, pg. 337. — <sup>170)</sup> Bulletin de la société philomath., flor., an. X, No. 62. — <sup>171)</sup> Journ. de chimie de van Mons, No. 11, pg. 215. — <sup>172)</sup> Phil. Magaz., juin 1801.

bedeutend vermehrt. Dagegen blieb in Luft die Wirkung aus, wenn kein Stickstoff mehr vorhanden war. Jean Baptiste Biot (geb. 1774 in Paris, gest. 1862) und Frédéric Cuvier erkannten dagegen,<sup>173)</sup> daß die Säule eine eigene Wirkung besitze, die von der äußeren Luft unabhängig ist, aber durch dieselbe unter gewissen Umständen vermehrt werden kann.

Nach Fabroni stellte Wollaston das Prinzip auf, daß die Oxydation des Metalls die Hauptursache der Elektrizität im Element ist. Er zeigte, daß die chemische Wirkung der durch die Elektrisiermaschine gelieferten Elektrizität übereinstimme mit derjenigen, welche die galvanische Batterie giebt, daß es zum Nachweis dieser Thatsache genüge, die ganze zersetzende Wirkung auf einen einzigen Punkt zusammenzufassen dadurch, daß man das Ende eines sehr dünnen Metalldrahtes zur Überleitung benutzt. Auf diese Weise gelang ihm mit Maschinenelektrizität die Zersetzung des Wassers und der Metallsalze, und somit der Beweis für die Übereinstimmung der beiden Elektrizitäten. Er ging sogar soweit, zu behaupten, daß auch die elektrischen Wirkungen der Reibungselektrizität auf Oxydation zurückzuführen seien, konnte aber mit seinen Experimenten den Beweis dafür nicht erbringen.<sup>174)</sup>

Ritter veröffentlichte 1805 in Leipzig ein Werk, „Das elektrische System der Körper“, welches eine große Anzahl Experimente über die galvanische Batterie enthielt. Er war es zugleich, der unter der unendlichen Anzahl möglicher Kombinationen zweier Metalle und einer Flüssigkeit die passendste auswählte. Ihm verdanken wir auch die Entdeckung der Ladungssäule, sowie die Verwendung des Kupfers an Stelle des bis dahin gebrauchten Silbers und Goldes als negatives Metall. Ferner beobachtete er, daß eine aus einer Zinkplatte und einer Silberplatte bestehende frei hängende Nadel sich in den magnetischen Meridian stellte, das Zink nach Norden, das Silber nach Süden, und daß die Enden dieser Nadel von den Polen eines Magneten leicht angezogen und abgestoßen werden.<sup>175)</sup> Würde Ritter diese Erscheinungen zu analysieren versucht haben, so wäre er vielleicht Oersted und Ampère in der Entdeckung des Elektromagnetismus zugekommen. Er zog aber aus seinen Experimenten nur den Schluß, daß die Ladung der Batterie nur so weit statt hat, als chemische Zersetzung auftritt, und daß mit der Zunahme dieser auch eine Verstärkung jener verbunden ist. Er fand ferner, daß die Säuren und die Alkalien den Metallen entgegengesetzte elektrische Spannungen geben,<sup>176)</sup> und schloß aus seinen Untersuchungen, daß jede Oxydation auf feuchtem Wege alle Bedingungen der Voltaschen Säule darstelle.

Das weitere Studium der elektrochemischen Zersetzungen führte zur Konstruktion der sekundären Elemente oder sekundären Batterien. Diese sekundären Batterien wirken einzig und allein durch gegenseitige Reaktion der Gase, Säuren und Alkalien, die sich auf den entgegengesetzten Enden der Platten durch die zersetzende Wirkung der Elektrizität niedergeschlagen haben. Die von Ritter ersonnene sekundäre Batterie<sup>177)</sup> bestand aus Scheiben aus Metall und feuchter Pappe. Wurden die beiden Enden derselben mit den Polen einer Säule in Verbindung gesetzt, und ließ man dieselbe eine Zeitlang wirken, so wurde die sekundäre Batterie nach Wegnahme der ursprünglichen auch wirksam, und zwar um so stärker, je energischer die gewöhnliche Batterie wirkte. Unter anderem fand er, daß die am wenigsten oxydierbaren Substanzen, wie Kohleneisen, Mangansuperoxyd, am geeignetsten für sekundäre Batterien sind. Die Physiker der damaligen Zeit beobachteten auch, daß die Enden der zur Zersetzung des Wassers benutzten Metallstreifen selbst ein Voltasches Element darstellten. Man machte auch Versuche, galvanische Batterien ohne Flüssigkeiten zu konstruieren. Dadurch kamen im Jahre 1803 Hachette und Désormes dazu, in den gewöhnlichen Elementen die Flüssigkeit durch Buchbinderkleister zu ersetzen.<sup>178)</sup> In demselben Jahre machte Behrens<sup>179)</sup> bei seinen Versuchen, zu beweisen, daß eine elektrische Säule ohne Flüssigkeit möglich sei, die Beobachtung, daß durch ein Stückchen Goldpapier, welches mit der Goldseite an die Kupferplatte gelegt war, mit der Papierseite aber an dem Zink anlag, sich an den Polen der so gebildeten Säule elektrische Spannung zeigte, und diese Säule ihre Wirksamkeit lange Zeit ungeschwächt beibehielt. Diese Anordnung benutzte er zur Konstruktion eines Säulen-Elektroskops.<sup>180)</sup> Die Entdeckung Behrens' blieb bis 1809

<sup>173)</sup> Bulletin de la société philomath. therm., an. IX, pg. 53. Ann. de chimie, t. XXXIX, pg. 242. —

<sup>174)</sup> Becquerel, traité de l'électr. et du magn., pg. 117. Bibl. Britann., No. 158, pg. 127. — <sup>175)</sup> Ritter, das elektr. System der Körper, S. 379. — <sup>176)</sup> Journal de chimie et de physique de Gehlen, vol. II. Becquerel, vol. I, pg. 120. — <sup>177)</sup> Journal de chimie de van Mons, No. 4, pg. 68. — <sup>178)</sup> Notice historique sur les piles sèches. Annales de chim. et de phys., t. V, pg. 191. — <sup>179)</sup> Behrens, geb. 1775 zu Züssow bei Greifswald, gest. 1813. Hoppe, pg. 179. — <sup>180)</sup> Gilbert, Ann. XXIII, pg. 25, 1806.

unbeachtet. In diesem Jahre fand Deluc, unabhängig von ihm, eine ganz ähnliche Konstruktion. Wurden Platten von Zink und Papier, das nur auf einer Seite vergoldet war, aufeinander geschichtet, so daß das Zink mit dem Goldbelag in Berührung stand, so genügte die Feuchtigkeit des Papiers, um die Säule zu laden. Diese Einrichtung wurde durch Zamboni 1812 verbessert.<sup>181)</sup> Er benutzte Platten aus Papier, dessen eine Seite mit Zinn überzogen war, während die andere Seite ein sehr dünner Überzug von Mangan-superoxyd deckte. Auch hier diente die hygroskopische Natur des Papiers zur Ladung der Säule. Da aber die Zirkulation der Elektrizität sehr langsam vor sich geht, kann man weder Zersetzungs- noch Wärmeerscheinungen damit hervorrufen, obgleich diese Apparate mit einem Kondensator Funken geben können.

Seit den ersten Beobachtungen über die mit der Säule möglichen chemischen Zersetzungen hatte man die Untersuchung der von der Zersetzung herrührenden Wärmeerscheinungen vernachlässigt. Davy nahm diesen Gegenstand auf.<sup>182)</sup> Schon Fourcroy, Vauquelin und Thenard<sup>183)</sup> hatten nachgewiesen, daß zur Hervorbringung von Wärmeerscheinungen Batterien mit großer Oberfläche geeigneter waren. Auch Davy bediente sich bei seinen Versuchen einer Batterie mit großer Oberfläche und wandte verschiedene Flüssigkeiten in derselben an: Mit Wasser waren die Wirkungen sehr schwach, stärker mit einer Seesalzlösung, mit Salpetersäure war er imstande, einen Eisendraht zum Glühen zu bringen. Senkte er die in Kohlenspitzen ausgehenden Enden der beiden Konduktoren in Wasser oder Säuren, so trat lebhaft Gasentwicklung ein, während in Chlorgas die Kohlenspitzen Rotglut zeigten.

Berzelius und Hisinger,<sup>184)</sup> welche die Untersuchungen von Nicholson, Carlisle und Cruikshanks wieder aufnahmen, kamen zu den folgenden Ergebnissen: 1. Wasser und Salze werden zersetzt, indem sich ihre Elemente an den entsprechenden Polen niederschlagen, und zwar Sauerstoff und Säuren am positiven Pol, Wasserstoff, Alkalien und Erden, allgemein die Basen am negativen Pol. 2. Die Menge der zersetzten Substanzen ist abhängig von ihrer Affinität und ihrer Berührung mit den Konduktoren. 3. Diese können selbst Verbindungen mit den ausgefallenen Stoffen eingehen. — Auch mit Blut, Milch und Eiweiß wurden Versuche angestellt. So fand Brugnatelli,<sup>185)</sup> daß Ochsenblut am positiven Pole sich entfärbte und gerann, während es am negativen Pole nur eine dunklere Färbung annahm. Milch gerann am positiven Pole und nahm einen angenehm säuerlichen Geruch an, der negative Pol bedeckte sich mit Milchzucker. Eiweiß zeigte sich am positiven Pole geronnen, der Speichel gab nur ein Klümpchen am positiven Pole. Larcher, Daubencourt und Zanetti ainé<sup>186)</sup> erweiterten diese Untersuchungen auf die Galle und konnten eine teilweise Zersetzung derselben nachweisen.

Auf Grund seiner elektrochemischen Untersuchungen unternahm es Grothus, eine Theorie der durch die galvanische Säule bewirkten Zersetzungen aufzustellen,<sup>187)</sup> die bis heute ihren wissenschaftlichen Wert behalten hat.<sup>188)</sup> Betrachtet man ein Molekül Wasser als aus einem Molekül Sauerstoff und zwei Molekülen Wasserstoff bestehend, so wird in dem Augenblick, wo der Strom zu wirken beginnt, sich die Polarität zwischen den Elementarmolekülen des Wassers zeigen: Sauerstoff wird vom positiven Pole angezogen, Wasserstoff vom negativen Pole. Er nimmt deshalb an, daß jedes der Moleküle im Augenblicke des Stromschlusses einen elektrischen Zustand annimmt, der demjenigen des anziehenden Poles entgegengesetzt ist. Da sich dieselbe Wirkung bei allen Wasserteilchen wiederholt, so folgt daraus, daß bei je zweien die homogenen Moleküle sich gegenseitig abstossen, die heterogenen sich anziehen. Nun trennen sich Sauerstoff und Wasserstoff, jener legt sich an die Anode (+) an, dieser stößt den Wasserstoff des nächsten Wassermoleküls ab und verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben, während gleichzeitig der abgestoßene Wasserstoff seine Bewegung auf das folgende Molekül überträgt, bis endlich der Sauerstoff des der Kathode benachbarten Wassermoleküls sich mit dem Wasserstoff des vorletzten Wassermoleküls zu Wasser verbindet, während das Doppelmolekül Wasserstoff der Kathode anhaftet. Beide

<sup>181)</sup> Zamboni, *Della pila elettrica a secco*, Verona 1812. Schweigger, *Journal*, X, pg. 129. *Ann. de chim. et de phys.*, t. XI, pg. 190. — <sup>182)</sup> *Annales de chimie et de physique*, t. XLIV, pg. 206. — <sup>183)</sup> Becquerel, *traité de l'électr. et du magn.*, t. I, pg. 124. — <sup>184)</sup> *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXVII, pg. 269; t. LI, pg. 167. Schweigger, *Journal*, Bd. VI, pg. 127 ff. Gilbert, *Ann. der Physik*, Bd. XXVII, pg. 269 ff., bes. pg. 296–304. — <sup>185)</sup> *Journal de chim. de van Mons*, No. 10, pg. 115. — <sup>186)</sup> *Ann. de chimie*, t. XLV, pg. 193, sp. 199 u. 205. — <sup>187)</sup> 1805 in Rom, *Physisch-chemische Untersuchungen*, 1820, Nürnberg, pg. 115. *Ann. de chimie*, 1807, t. LXIII, pg. 19–22; 30–34: *De l'influence de l'électricité galvanique sur les végétations métalliques*. — <sup>188)</sup> Grove, on Grothuss' theory of molecular decomposition and recomposition, *Phil. Mag.* 27.

Gase an den Elektroden entweichen, und die Elektroden üben auf die dazwischen liegenden Wassermoleküle wieder die frühere richtende Wirkung aus.

**Elektro-physiologische Arbeiten und heilende Wirkungen der Elektrizität.** Nach der Entdeckung der Voltaschen Säule suchte man durch zahlreiche Versuche dahin zu gelangen, mit Hilfe der Elektrizität diejenigen Bewegungen der Muskeln hervorzurufen, die sonst vom Willen abhängig sind. Galvani nahm den Kopf eines frisch geschlachteten Ochsens, setzte den einen Pol der mit Salzwasser gefüllten Säule mit einem Ohr in Verbindung, den anderen mit einem Nasenloch und beobachtete, daß sich die Augen öffneten, die Ohren sich aufrichteten, Zunge und Nasenflügel sich bewegten. Aldini zeigte ferner, daß man zur Hervorbringung der stärksten Kontraktionen den Strom vom Rückenmark nach den Ohren leiten müsse, dann hoben sich die Augenlider, während die Augäpfel lebhaft rollten.<sup>189)</sup> Als der Doktor Andrew Ure<sup>190)</sup> einen der Pole seiner Säule (von 70 Elementen in angesäuertem Wasser) mit dem Rückenmark eines Gehängten, unmittelbar nach der Exekution, in Berührung brachte, den anderen Pol mit dem Ischiasnerv, zeigten augenblicklich fast sämtliche Muskeln des Körpers krampfartige Zuckungen. Diese Erfahrungen suchte man nutzbringend für die Medizin zu verwenden. Galvani beteiligte sich mit größtem Eifer an diesen Bestrebungen und forderte dabei die Beachtung dreier Hauptumstände: 1. der Kraft, mit welcher der galvanische Strom „heftig“ auf den animalischen Organismus einwirkt, 2. der langsamen und nach und nach eintretenden Wirkung, wie bei elektrischen Bädern, 3. der Art der Elektrizität, welche man aus dem Körper zieht. Galvani suchte zu zeigen, daß man bei krampfartigen Krankheiten vor allen Dingen zuerst bestimmen müsse, welche der beiden Elektrizitäten zu brauchen sei, daß ferner der elektrische Zustand der Atmosphäre auf die tierische Elektrizität Einfluß haben könne. Er empfahl deshalb, vor Beginn der Behandlung mit dem Elektrometer den elektrischen Zustand der Wolken zu bestimmen. Dabei befindet er sich in Übereinstimmung mit Manduit, welcher die Ansicht vertrat, daß der Einfluß der künstlichen Elektrizität und der atmosphärischen auf den tierischen Organismus größer sei als man denke.<sup>191)</sup> Crève (Arzt in Mainz) verwandte den Galvanismus dazu, den wirklichen Tod von Scheintod unterscheiden zu können. Ziehen sich die Fibern noch zusammen, so ist das ein Beweis dafür, daß die Reizbarkeit noch nicht vollständig zerstört ist, und in einem solchen Falle kann man nicht sicher entscheiden, ob der Mensch vollständig tot ist. Pfaff schlug die Anwendung des Galvanismus vor bei der Lähmung des optischen Nerven. Alle diese und zahlreiche andere Versuche ergaben allerdings nicht viel Positives für die Anwendung der Elektrizität in der Medizin, sie ließen aber wenigstens bessere Resultate hoffen, wenn es sich darum handelte, einen Muskel oder einen Nerv anzureizen, der sich im Zustand der Ruhe befand. In Deutschland veröffentlichte Grapengießer, der Mitarbeiter Humboldts, in Berlin 1801 ein Werk „Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden“, in welchem er dem Galvanismus das Vermögen zusprach, nicht allein die Nerven in den Geweben nachzuweisen, sondern auch ihre nach der Oberfläche hin eintretende Verzweigung (S. 37 und 40). Er ist der Meinung, daß die Wirkungen verschieden sind, je nach der Natur der mit den kranken Teilen in Berührung gebrachten Pole (S. 58) und betrachtet den Galvanismus als heilend bei Lähmung der Extremitäten (§ 5, pg. 88 ff.), bei Selschwäche und Gicht, bei Taubheit, sobald sie von Nervenschwäche herrührt (pg. 104), bei Heiserkeit und Stimmlosigkeit (§ 1, S. 6—18). Auch beschreibt er selbst die Art und Weise, dieses Heilmittel anzuwenden. Dagegen erhob Lebouvier-Desmortiers in einer Schrift an die Société des observateurs de l'homme (28. floreal an IX.) seine Stimme, um auf die Gefahr aufmerksam zu machen, welche der Galvanismus bei der Behandlung Kranker in sich birgt. Vor allem verlangt er eine genaue Beobachtung der Veränderungen, welche der Galvanismus durch seine Einwirkung auf die verschiedenen Organe hervorbringen kann. Trotz der großen Menge von Untersuchungen, welche über die Anwendung des Galvanismus in der Heilkunde angestellt wurden, entsprach der Erfolg doch nicht den Erwartungen der Experimentatoren.

**Davy's Entdeckungen seit 1806.** Die Zersetzungsercheinungen mit Hilfe des elektrischen Stromes waren noch in ziemliches Dunkel gehüllt. Man war z. B. nicht imstande zu erklären, warum man bei der Zersetzung von destilliertem Wasser in Glasgefäßen durch

<sup>189)</sup> Becquerel, traité I, pg. 135. — <sup>190)</sup> Gilberts Ann., Bd. 62, pg. 209—226. — <sup>191)</sup> Mémoires de l'ancienne école de médecine, t. II, III, IV et V.

den elektrischen Strom am negativen Pole Soda, am positiven Pole Chlor erhielt. Davy<sup>192)</sup> machte diese Erscheinung zum Gegenstand seiner Untersuchung und veröffentlichte das Ergebnis derselben in den *Philos. transactions*, 1807, pg. 1—56.<sup>193)</sup> Für seine Arbeit „on some chymical agencies of electricity“, welche Davy am 20. November 1806 in der königlichen Sozietät zu London vorgelesen hatte, wurde er im Jahre 1808 mit dem kleinen Preis vom National-Institut zu Paris belohnt.<sup>194)</sup> Schon 1800 hatte Davy bekannt gegeben, daß destilliertes Wasser in zwei Glasröhren, die durch feuchte animalische oder vegetabilische Substanz in Verbindung stehen, durch den elektrischen Strom, welcher in zwei Goldfäden in dem Wasser endigt, im positiven Glasgefäß eine Lösung von Goldchlorid ergibt. Bald nachher vergewisserte er sich darüber, daß das Auftreten von Salzsäure von dem Vorhandensein animalischer oder vegetabilischer Stoffe abhängig sei, da er keine derartige Wirkung erhielt, wenn er Baumwolle benutzte, die er in einer schwachen Salpetersäurelösung gewaschen hatte. Er schloß ferner ganz richtig, daß das Auftreten von Soda abhängig sei von dem Vorhandensein von Alkali im Glase, denn bei Versuchen in Goldgefäßen fehlte jedes Salz. Seine weiteren Versuche gaben ihm die Gewißheit, daß das bei Versuchen mit dem elektrischen Strom in destilliertem Wasser auftretende Alkali entweder von den gebrauchten Apparaten herrührte, oder dem Wasser schon früher beigemischt gewesen war, was mit ihm auch Wollaston, sowie Biot und Thenard<sup>195)</sup> bewahrheitet fanden. In den *Philos. transactions*, vol. XCI, pg. 397 versuchte Davy den Grund zu einer neuen elektro-chemischen Theorie zu legen, indem er aus seinen zahlreichen Experimenten die folgenden Folgerungen zog:<sup>196)</sup> In den durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Zersetzungen und Veränderungen scheinen diejenigen verschiedenen Körper, welche von Natur chemische Affinität besitzen, unfähig zu sein, sich zu verbinden, oder in Verbindung zu bleiben, wenn sie in einen elektrischen Zustand versetzt werden, welcher von dem, ihnen eigentümlichen, verschieden ist. Wenn man demnach in der Bewegung der Teilchen der sich berührenden Körper vollständige Freiheit voraussetzt, so müssen diese Teilchen vermöge ihrer elektrischen Kräfte sich gegenseitig anziehen, und wenn diese Kraft größer ist als die Aggregation der Teilchen, so wird sich eine Verbindung bilden, die je nach der Verschiedenheit der Energien stärker oder schwächer ist. Die Zeichen der Elektrizität werden verschwinden und Wärme- und Lichterscheinungen durch die Verbindung der beiden Elektrizitäten entstehen. Um Beziehungen zwischen Affinität und elektrischen Kräften abzuleiten, hielt Davy es noch für notwendig zu zeigen, daß, wenn zwei Körper sich unter Temperaturerhöhung verbinden, gleichzeitig auch ihre elektrische Kraft sich steigere. Er betrachtete ferner die chemische Wirkung der Flüssigkeiten auf eins der Elemente in der galvanischen Kette als unbedingt erforderlich für die Zirkulation der Elektrizität, ebenso die Zersetzung der Flüssigkeit durch die Entladungsfunken, sobald der Strom geschlossen ist. Er hielt die Energie der elektrischen Zersetzung als proportional der Stärke des elektrischen Stromes, dem Leitungsvermögen und der Konzentration der gebrauchten Substanzen.<sup>197)</sup> Auch betrachtete er die galvanische Elektrizität für ein Mittel, mit dessen Hilfe aus Metallen und organischen Substanzen die darin enthaltenen Säuren und Alkalien gewonnen werden könnten. Gleichzeitig faßte er den Gedanken, in die Organe der Tiere Salze, Alkalien und sogar metallische Verbindungen einzuführen, um dadurch einzelne der zusammengesetzten Stoffe umzuändern. Weiter gab er selbst eine Methode an, um die Basen der Erden und Alkalien mit Hilfe des elektrischen Stromes auszufällen,<sup>198)</sup> und es gelang ihm, aus Kali und Natron die reinen Metalle zu gewinnen, sowie die zerlegten Verbindungen wieder zusammensetzen.<sup>199)</sup> Nach ihm versuchte, neben anderen besonders Seebeck in Jena, die reinen Metalle auf diese Weise zu gewinnen. Er fand die noch jetzt gebräuchliche Weise der Herstellung derselben mit Hilfe von Quecksilber und dem galvanischen Strom als Amalgam, aus welchem sich diese Metalle leicht rein darstellen lassen.<sup>200)</sup> Die Untersuchungen Davys über die chemischen Zersetzungen veranlaßten auch Wollaston zu derartigen Versuchen<sup>201)</sup> und brachten ihn auf die Vermutung, daß ein gleiches Verfahren in dem System der tierischen Sekretionen herrsche, und daß man mit elektrischen Strömen unter anderem die rasche Vermittelung der Nerveneindrücke in den verschiedensten Teilen der lebenden Körper erklären könne. Unmittelbar nach dem Bekanntwerden der

<sup>192)</sup> Humphry Davy, geb. 1778 zu Penzance in Cornwallis, gest. 1829 in Genf. — <sup>193)</sup> *Annales de chimie*, t. LXIII, pg. 172. — <sup>194)</sup> Gilbert, *Annalen*, Bd. XXVIII, pg. 309; Bd. XXVII, pg. 117. — <sup>195)</sup> No. XL du moniteur, 1806. — <sup>196)</sup> *Ann. de chimie*, t. LXIII, 1807, pg. 238 ff. — <sup>197)</sup> *Ann. de chimie et de phys.*, t. LXVIII, pg. 204. — <sup>198)</sup> *Ann. de chimie*, t. LVIII, pg. 203; t. LXX, pg. 189. — <sup>199)</sup> Gilbert, *Annalen*, Bd. XXVIII, pg. 148 u. 326. — <sup>200)</sup> Gilbert, *Annalen*, Bd. XXVIII, pg. 476. — <sup>201)</sup> *Philos. trans.*, vol. XCI, pg. 427.

Entdeckungen Davys stellten Gay-Lussac und Thenard<sup>202)</sup> eine Reihe von chemisch-physikalischen Untersuchungen an, um besonders den Einfluß zu bestimmen, welchen die Anzahl der Plattenpaare und die Natur der Flüssigkeit auf die chemische Wirkung ausüben. Dabei nahmen sie als Maß der chemischen Energie die Menge des in einer bestimmten Zeit durch Zersetzung des Wassers erhaltenen Gases und machten so erstmalig Gebrauch von dem Voltmeter. Aber die von ihnen angeregten Fragen konnten noch nicht vollständig gelöst werden, weil man nicht die Mittel besaß, das Leitungsvermögen von festen Körpern und Flüssigkeiten genau zu bestimmen.

**Ergebnisse mit starken Batterien, Licht- und Wärmeerscheinungen.** Biot<sup>203)</sup> hatte die Meinung geäußert, daß die Erzeugung des elektrischen Lichts von der raschen Fortbewegung der Elektrizität durch die Luft herrühre, welche sich durch die starke Zusammenpressung erwärme und dadurch die zum Auftreten des Lichts nötige Wärme gebe. Man wußte damals schon, daß die Farbe des Lichtes mit der Stärke des Funkens und dem Drucke des Gases, welches er durchschlägt, wechselt, und daß sie auch von der Natur der Körper abhängt, aus welchen der Funken gezogen wird.<sup>204)</sup> Davy, welcher diese Erscheinungen prüfte, kam auf Grund seiner Experimente zu folgenden Ergebnissen: Das elektrische Licht hängt hauptsächlich von den besonderen Eigenschaften der wägbaren Materie ab, zwischen welcher es übergeht, oder die es mit sich fortreißt. Diese ganz geringen Spuren der Körper, welche von dem elektrischen Funken mit fortgerissen werden, fangen an zu glühen und bringen die beobachteten Lichterscheinungen hervor.<sup>205)</sup> Diese letztere Meinung teilte auch Berzelius, welcher die Wärmeerscheinungen bei chemischen Verbindungen auf gleiche Weise entstanden glaubte, wie bei der elektrischen Entladung. Mit einer Kette von 2000 Platten, die eine Fläche von 128,000 Quadratzoll darstellten, gelang es Davy 1813, zwischen zwei Kohlenspitzen im luftleeren Raume einen Lichtbogen von intensivster Helligkeit hervorzurufen und die bis dahin als unschmelzbar betrachteten Stoffe zum Schmelzen zu bringen. Gleichzeitig stellte Children<sup>206)</sup> von 1813—1815 mit einer Batterie, von welcher jedes Element 32 Quadratfuß engl. Oberfläche hatte, Versuche an, durch die er dahin gelangte, sogar starke Platindrähte zum Glühen zu bringen und Metallstäbe zum Schmelzen. Dagegen erreichte es Wollaston,<sup>207)</sup> einen sehr dünnen Platindraht mit einem einzigen, sehr kleinen Plattenpaare zu schmelzen und damit nachzuweisen, daß man zur Hervorbringung der größten Wärmewirkungen in jedem Voltaschen Element die Oberfläche des Kupfers entsprechend dem des Zinks vergrößern müsse, so daß diejenige des letzteren zweimal so klein werde als die des ersteren (Prinzip des Elements von Wollaston). Brandt in Hamburg fand bei der Untersuchung der Wirkungen des elektrischen Lichtes, daß dasselbe wie Sonnenlicht die Verbindung von Chlor mit Wasserstoff, sowie die Zersetzung von salpetersaurem Silber herbeiführe.<sup>208)</sup> Ferner beobachtete Porret<sup>209)</sup> bei seiner Beschäftigung mit galvanischer Elektrizität, daß die beiden Elektrizitäten nicht in gleichem Maße die Fähigkeit besitzen, die Moleküle der Körper mechanisch fortzubewegen. Denn als er ein Glasgefäß durch eine Blase in zwei Abteilungen teilte, beide mit Wasser füllte und mit Hilfe zweier Platinplatten den Strom durch die Flüssigkeit leitete, hob sich das Wasser in der negativen Abteilung, während es in der positiven sank, hervorgerufen durch das mechanische Fortbewegen des Wassers vom positiven nach dem negativen Pole durch den Strom.

**Mathematische Theorie der Erscheinungen der statischen Elektrizität.** Am Anfange des 19. Jahrhunderts war die Elektrizität an dem Punkte angelangt, aus einer großen Anzahl genau beschriebener und gemessener Thatsachen und der Kenntnis der hauptsächlichsten Ursachen derselben, mit Hilfe der Mathematik eine allgemeine Theorie aufzustellen. Es bedurfte dazu eines bedeutenden Mannes, um dieses Problem zu lösen. Poisson<sup>210)</sup> zeigte sich dieser Aufgabe gewachsen.<sup>211)</sup> Er betrachtete jede der beiden Elektrizitäten als ein nicht zusammendrückbares Fluidum, dessen Teilchen mit einer vollständigen Beweglichkeit begabt, sich gegenseitig abstoßen und diejenigen der anderen Elektrizität anziehen, im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung, so daß bei gleicher Entfernung anziehende

<sup>202)</sup> Recherches électro-chimiques, en 2 volumes. Heller, Gesch. der Phys. II, S. 681. — <sup>203)</sup> Annales de chimie, t. LIII, pg. 351 ff. Gilbert, Annalen, Bd. X, S. 392 ff. — <sup>204)</sup> Morgans lecture, pg. 236. — <sup>205)</sup> Annales de chimie et de phys., t. XX, pg. 168. — <sup>206)</sup> Gilberts Annalen, Bd. LII, 1816, S. 353 u. 369. — <sup>207)</sup> Becquerel, traité de l'électr. et du magn., I, pg. 180. — <sup>208)</sup> Heller, Gesch. der Physik, Bd. II, S. 364. — <sup>209)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. II, 1<sup>re</sup> Série. Gilberts Annalen, Bd. LXVI, 1820, S. 272. Annals of philos., 1816, Bd. VIII, pg. 75. — <sup>210)</sup> Poisson, geb. 1781 zu Pithiviers im Département Loiret, seit 1815 Professor der Mechanik am Collège de France, starb 1840. — <sup>211)</sup> Mémoires de l'académie des sciences de l'Institut, 1811, pg. 1 u. pg. 163.

und abstossende Kraft einander gleich sind. Die daraus abgeleiteten Resultate fanden sich vollständig übereinstimmend mit denjenigen, welche Coulomb durch Experimente erhalten hatte. Poisson fand, daß sich das elektrische Fluidum vollständig auf der Oberfläche der Körper in einer sehr dünnen Schicht ausbreitet. Weiter bestimmte er die innere Oberfläche dieser Decke, sowie ihre Stärke. Weil die Elektrizität nur durch den Druck der Luft gehalten wird, so stimmt ihre äußere Gestalt mit der des Körpers überein. Die Luft ist gleichsam ein undurchdringliches Gefäß von gegebener Form, welche das Fluidum enthält und dem Bestreben desselben, sich zu zerstreuen, Widerstand leistet. Um Dichtigkeit und Form der Elektrizität auf den verschiedenen Körpern zu bestimmen, machte Poisson bei seinen Berechnungen die Annahme, daß der Körper nur in einem permanenten elektrischen Zustand bleiben kann, sobald die Gestalt der Oberfläche eine derartige ist, daß die vollständige elektrische Schicht weder Anziehung noch Abstossung auf die im Innern befindlichen Punkte ausübt. Ist der Körper eine Kugel, so sind die Oberflächen der elektrischen Decke ebenfalls kugelförmig. Ebenso ist bei einem Ellipsoid die elektrische Decke konzentrisch ellipsoidisch. Ihre Dichtigkeit ist am größten an den Enden der großen Axe, am kleinsten an denen der kleinen. Bei einem Rotationsellipsoid stehen die Spannungen am Pol und am Äquator in demselben Verhältnis, wie die Quadrate der Polaxe und des Äquatordiameters. An der Spitze eines Kegels würde die Spannung unendlich werden, wenn sich die Elektrizität unendlich anhäufen könnte. Da aber diese unendliche Spannung mit dem endlichen Druck der Luft nicht im Gleichgewicht stehen würde, wird die Elektrizität an der Spitze ausströmen. Die ferneren Untersuchungen Poissons über elektrisierte Körper und Leiter, bei denen elektrische Influenz auftritt, ließen ihn aus den gefundenen Formeln Resultate ableiten, die vollständig denen entsprachen, welche Coulomb durch Experimente gefunden hatte.

### III. Elektro-Dynamik und Elektro-Magnetismus.

**Die Entdeckung Oersted's und die Arbeiten Ampères.** Am 21. Juni 1820 veröffentlichte Oersted, Professor der Physik in Kopenhagen, eine lateinische Abhandlung unter dem Titel: „*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*“. In derselben zeigte er an, daß eine Magnetnadel, in der Nähe des Leitungsdrahtes eines galvanischen Elementes aufgestellt, durch den elektrischen Strom eine derartige Ablenkung erfahre, daß sie sich senkrecht zur Richtung des Drahtes zu stellen suche. Diese Entdeckung verursachte um so größeres Erstaunen, als man zu verschiedenen Malen Übereinstimmungen zwischen den Wirkungen der Magnete und denjenigen der Elektrizität gefunden zu haben glaubte, und die bis jetzt gemachten Versuche, den Einfluß des galvanischen Elementes auf die Magnetnadel zu finden, kein zufriedenstellendes Resultat gegeben hatten. Sobald Ampère von diesen grundlegenden Versuchen Oersted's Nachricht erhalten hatte, begann er eine Reihe von Untersuchungen, deren Gesamtergebnis den Elektro-Magnetismus umfaßt.<sup>212)</sup> Schon am 18. September 1820 konnte er die von Oersted beobachteten Erscheinungen auf zwei hauptsächlichsten Thatsachen zurückführen. Er bewies, daß die Wirkung der elektrodynamischen Kraft auf gleiche Weise an allen Teilen des Leitungsdrahtes, sowie im Element vorhanden ist. Ferner gab er das allgemeine Gesetz an, welches den Sinn des Ausschlags der Nadel in jedem besonderen Falle bestimmt (Ampèresche Regel), dabei nahm er als Richtung des Stromes diejenige an, in welcher sich die positive Elektrizität bewegt. Gleichzeitig setzte er seine Ansichten über die Eigenschaften der Magnete auseinander. Diese rühren nach ihm von elektrischen Strömen her, welche die Moleküle in Ebenen umkreisen, die senkrecht zur magnetischen Axe stehen. Währenddem Ampère die Wirkungen der Ströme auf einander auffand und die Übereinstimmung zwischen elektrischem und magnetischem Fluidum darzulegen suchte, untersuchte Arago<sup>213)</sup> die Art und Weise der Veränderungen, welche ein vom elektrischen Strome durchlaufener Metalldraht erfährt. Er beobachtete, daß Eisenfeilspäne vom Strome angezogen wurden und sich senkrecht zur Richtung des Stromes stellten, nach dem Unterbrechen desselben sofort abfielen. Bald nachher magnetisierte er Nadeln und Stahlstücke mit Hilfe einer vom Strom durchströmten Spirale, erzeugte in einer Stahlstange mit Hilfe mehrerer nebeneinander angebrachten und vom Strome in verschiedenem Sinne durchlaufenen Spiralen Folgepunkte, und fand übereinstimmende Resultate bei Benutzung eines galvanischen Elementes, der Elektrisiermaschine und der Leydener

<sup>212)</sup> Annales de chimie et de phys., t. XV, pg. 59—75; 170—219; bes. pg. 209 ff. — <sup>213)</sup> Moniteur universel, No. 315. Ann. de chimie et de phys., t. XV, pg. 93 und 323.

Flasche. Davy magnetisierte später kleine Stahlnadeln, indem er sie transversal auf dem Leitungsdraht rieb.<sup>214)</sup> Am 30. Oktober desselben Jahres (1820) teilte Ampère mit, daß die Wirkung der Erdkugel ein in den Stromkreis eingeschaltetes bewegliches Rechteck aus Draht senkrecht zum magnetischen Meridian zu stellen suche. Gleichzeitig hatten Biot und Savart gefunden, daß die Kraft des Stromes senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung und zwar rotierend wirkt, und nach Laplace findet die Wirkung jedes Stromelementes im umgekehrten Quadrat der Entfernung statt.<sup>215)</sup> Schon am 4. Dezember 1820 konnte Ampère zeigen, daß die gegenseitigen Wirkungen zweier Magnete, eines Stromes und eines Magneten, oder zweier Ströme aufeinander<sup>216)</sup> sich auf eine gemeinsame Ursache zurückführen ließen, nämlich auf die bald anziehende, bald abstoßende Kraft, welche zwischen den unendlich kleinen Teilen der elektrischen Ströme stattfindet, und immer längs der Linie, welche ihre Mitten verbindet, wirkt, dabei abhängig ist von der Neigung der beiden unendlich kleinen Stromelemente zu einander. Endlich trat Ampère am 8. und 9. Januar 1821 mit dem Versuche vor die Öffentlichkeit, die gegenseitige Wirkung eines Stromes und eines Magneten aufeinander durch Rechnung zu bestimmen, so daß er innerhalb fünf Monaten nach der Entdeckung Oersteds die Grundzüge des Elektromagnetismus zu entwerfen imstande gewesen war. 1821 stellte auch Faraday den Versuch an,<sup>217)</sup> einen Strom (leitenden Draht) um den Pol eines Magneten rotieren zu lassen, wozu schon Wollaston die Idee angeregt hatte.<sup>218)</sup> Auch gelang es Faraday, einen Magneten um einen Strom rotieren zu lassen, aber er war nicht imstande, dem Magneten eine Rotation um seine eigene Axe zu geben. Erst Ampère vermochte es, die dabei auftretenden Hindernisse zu beseitigen.<sup>219)</sup> Als Davy die Enden zweier Leiter, welche mit den Polen eines Elementes in Verbindung standen, in Quecksilber tauchte und den einen Pol eines starken Magneten der Berührungsstelle des Quecksilbers mit den Leitern nahe brachte, geriet das Quecksilber sofort in rasche rotierende Bewegung, welche abhängig war von dem Pole des Magneten und demjenigen des Elements.<sup>220)</sup> Ebenso wurde von Davy beobachtet,<sup>221)</sup> daß der zwischen zwei Kohlenspitzen auftretende elektrische Lichtbogen von einem Magneten angezogen oder abgestoßen wurde, je nach dem Pole und der Richtung des Stromes. Zu gleicher Zeit, als Ampère die Eigenschaften der Spiralen entdeckte, erdachte Schweigger<sup>222)</sup> im Jahre 1820 und fast gleichzeitig mit ihm Poggendorff<sup>223)</sup> den Multiplikator oder das Galvanometer, einen Apparat, der zum Nachweis sehr schwacher galvanischer Ströme dient.

Indem Ampère seine Theorie weiter ausbildete, gelangte er zu dem Schlusse, daß die Erde sich in ihrer Wirkung auf Leiter und Magnete so verhalte, als ob in der Erdkugel elektrische Ströme von Ost nach West flössen.<sup>224)</sup> Gleichzeitig veröffentlichte de la Rive<sup>225)</sup> eine Schrift, welche die Wirkung der Erde auf einen beweglichen Teil des geschlossenen elektrischen Stromes behandelte. Er zeigte darin, daß diese Wirkung bei einem Rechteck z. B. nur auf die vertikalen Teile stattfindet, und leitete daraus das allgemeine Gesetz ab, daß ein vertikaler Strom, der sich um eine vertikale, mit ihm verbundene Axe drehen kann, sich beständig so dreht, daß die Ebene seiner Axe senkrecht zum magnetischen Meridian zu stehen kommt, und zwar der absteigende Strom nach Osten, der aufsteigende nach Westen. Weiter fand de la Rive, daß ein horizontaler Strom, der nicht vom Erdmagnetismus beeinflusst ist, aber sich selbst parallel bewegen kann, sich auch so bewegt, indem er nach dem einen oder anderen Sinne seiner eigenen Richtung folgt, ganz unabhängig von der Stellung, in die er gebracht wird.<sup>226)</sup>

Über die Gesetze, welche sich aus der Theorie Ampères ableiten ließen, erhob sich ein lebhafter Streit zwischen Ampère und Davy und Berzelius. Doch bestätigte Savary im Jahre 1823 Ampères Theorie dadurch, daß er zeigte, daß Solenoide (elektrische Spiralen von geringem Durchmesser) auf bedeutende Entfernungen mit Rücksicht auf den Durchmesser wie Magnete wirken.<sup>227)</sup> Er untersuchte auch die Anziehung von Stahlnadeln,

<sup>214)</sup> Journal de phys., t. XCI, pg. 394. — <sup>215)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XV, pg. 222. — Bequerel, traité de l'électr. et du magnét., t. I, pg. 212, 213. — <sup>216)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XV, pg. 170. — <sup>217)</sup> On electro-magnetic motions, and the theory of magnetism. Ann. de chimie et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. XVIII, pg. 331—370. — Faraday, geb. am 22. Sept. 1791 zu Newington Butts, gest. 1867 zu Hamptoncourt. — <sup>218)</sup> Précis des phénomènes électro-dynamique; 5<sup>e</sup> volume de la chimie de Thomson. — <sup>219)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXII, pg. 389—400. — <sup>220)</sup> Philos. trans., II, 1823, pg. 153. — <sup>221)</sup> Gilberts Annalen, Bd. LXXI, 1820, pg. 244. — <sup>222)</sup> Schweigger, Joh. Salomo Christoph, geb. 1779 zu Erlangen, gest. 1857 als Professor der Physik in Halle. — <sup>223)</sup> Johann Christian Poggendorff, geb. 1796 zu Hamburg, gest. 1877 in Berlin, redigierte von 1824 bis 1877 die „Annalen der Physik und Chemie“. — <sup>224)</sup> Ann. de chim. et de phys., t. XVIII, 1821, pg. 201. — <sup>225)</sup> Esquisse historique sur les principes découvertes faites en électricité, 1833, pg. 63. — <sup>226)</sup> Traité de l'électr. et du magn. von Bequerel, I, pg. 219. — <sup>227)</sup> Ann. de chim. et de phys., t. XXII, pg. 91—100; t. XXIII, pg. 413—415.

welche in verschiedenen Abständen von einem Metalldraht aufgestellt waren, durch welchen der Entladungsschlag einer Leydener Flasche ging.<sup>225)</sup> Savary fand, daß die auf derselben Seite aufgestellten Nadeln mehr oder weniger stark magnetisch wurden, je nach dem Abstände von dem leitenden Draht, daß die Entfernung auch auf den Sinn der Polarität Einfluß hat, und daß diese Änderungen zum großen Teile von Länge und Durchmesser des Drahtes, sowie vom Leitungsvermögen desselben und der Energie der elektrischen Entladung abhängig sind.

Seit diesen Untersuchungen ist die Anziehung von Eisen und Stahl durch den galvanischen Strom und die elektrischen Entladungsströme der Leydener Flasche von zahlreichen Physikern beobachtet worden, unter denen besonders Lipkens und Quetelet,<sup>229)</sup> Abria,<sup>230)</sup> Lenz und Jacobi<sup>231)</sup> zu erwähnen sind. Die beiden letzteren suchten den Beweis zu führen, daß der im Eisen durch den elektrischen Strom erregte Magnetismus proportional sei der Stärke der Ströme und der Zahl der Windungen der magnetisierenden Spiralen, unabhängig dagegen von der Dicke und Form der Drähte und der Weite der Windungen in beschränkterem Maße.<sup>232)</sup> Aber dieses Gesetz kann nur angenähert gelten, wie Lenz auch selbst sagt, daß die letztere Behauptung nur gültig sei, wenn die zu induzierenden Magnetstäbe gegen die Weite der Windungen als unendlich lang anzusehen sind,<sup>233)</sup> denn die Kraft, welche man den Elektromagneten mit Hilfe kräftiger elektrischer Ströme geben kann, wächst nicht ins Unendliche. Nach den Untersuchungen von Joule,<sup>234)</sup> Haldat du Lys, Feilitzsch,<sup>235)</sup> Müller<sup>236)</sup> besitzt Eisen eine Grenze, ein Maximum der Magnetisierbarkeit, welches von der Intensität des elektrischen Stromes und dem Durchmesser des Eisens abhängt. Nach Müller ist es proportional dem Quadrat des Durchmessers des zu magnetisierenden Eisens.<sup>237)</sup> Ferner haben sich noch Dub,<sup>238)</sup> Poggendorff, Nicklès<sup>239)</sup> und du Moncel<sup>240)</sup> mit den verschiedenen Bedingungen der Magnetisierung und den verschiedenen Formen der Elektromagnete beschäftigt.

**Galvanometer und elektro-magnetische Bussolen.** Die erste Idee des Multiplikators gebührt Schweigger.<sup>241)</sup> Da dieser Apparat zur Beobachtung des Auftretens von Elektrizität bei mechanischen Vorgängen von großem Vorteil war, suchte man seine Empfindlichkeit zu erhöhen, um damit nicht nur das Auftreten eines elektrischen Stromes nachzuweisen, sondern auch die Stärke desselben mit einer gewissen Genauigkeit messen zu können. Indem Nobili<sup>242)</sup> an Stelle einer Magnetnadel deren zwei gleichstarke benutzte, die er einander parallel, aber mit entgegengesetzten Polen, an den Enden eines sehr leichten Stäbchens befestigte und an einem Seidenfaden aufhing, so daß der Strom zwischen den beiden Nadeln hindurchströmte, gelang es ihm, die Einwirkung der Erde so weit zu beseitigen, daß die von der Erde herrührende Kraft eben hinreichte, die Nadeln wieder in die meridionale Lage zurückzuführen, wenn sie aus derselben gebracht waren. Becquerel<sup>243)</sup> wickelte auf den Rahmen des Galvanometers zwei isolierte Drähte von gleicher Länge auf, deren Enden er mit den Polen einer Kette so verband, daß der Strom in den beiden in entgegengesetztem Sinne verlief. Auf diese Weise erhielt er das Differentialgalvanometer, mit welchem die Wirkungen zweier Elektrizitätsquellen oder das Leitungsvermögen der Körper für Elektrizität verglichen werden können. Auf verschiedene Weise ist von Becquerel, Peltier,<sup>244)</sup> Nobili und Melloni versucht worden, Tafeln für die Intensität des Stromes auf Grund der Abweichung der Nadeln aufzustellen, aber sie sind selten benutzt worden seit der Erfindung der Sinus- und Tangentenbussole, des Magnetometers von Gauß und der elektro-magnetischen Wage. Das Prinzip, welches der Sinusbussole zu Grunde liegt, verdanken wir de la Rive.<sup>245)</sup> Aber erst Pouillet gab ihr die jetzt

<sup>225)</sup> Ann. de chim. et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. XXXIV, 1827, pg. 5—36. — <sup>229)</sup> Ann. de chim. et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. L, 1832, pg. 331—333. — <sup>230)</sup> Ann. de chim. et de phys., 3<sup>ème</sup> série, t. I, pg. 385—439. — <sup>231)</sup> Poggendorffs Annalen, Bd. XXXI, 1834, pg. 367; XXXIV, 1835, pg. 385; XLVII, pg. 225, 266. — <sup>232)</sup> Poggend. Ann., Bd. XLVII, pg. 254. — <sup>233)</sup> Poggend. Ann., XLVII, pg. 269. — <sup>234)</sup> Joule war Brauer in Salford bei Manchester, Mitglied der Phil. Soc. u. der Roy. Soc. — <sup>235)</sup> Professor der Physik in Greifswald, Poggend. Ann., Bd. LXXX, pg. 321. — <sup>236)</sup> Joh. Heinr. Jac. Müller, Professor in Freiburg. Ann. de chim. et de phys., t. XLVIII, 3<sup>ème</sup> série, pg. 119—128. — <sup>237)</sup> Poggend. Ann., LXXIX, pg. 337; LXXXII, pg. 181. — <sup>238)</sup> Dub, Lehrer am grauen Kloster in Berlin. Poggend. Ann., LXXX, LXXXI, LXXXV, LXXXVI u. XC. — <sup>239)</sup> Nicklès, Professor der Chemie in Nancy. Journ. de chim. et de phys., XXXVII. — <sup>240)</sup> du Moncel, Privatmann in Cherbourg: Étude du magn. et de l'électr.-magn. au point de vue de la constr. des électro-aimants, 1858. — <sup>241)</sup> Schweiggers Journal, Bd. 31, 32, 33, 37. — <sup>242)</sup> Bibliothèque universelle de Genève, t. XXIX, pg. 119; t. XXVII, pg. 10. Ann. de chimie et de phys., t. XLIII, pg. 146—187. — <sup>243)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXXII, pg. 420—430, 2<sup>e</sup> série, 1825. — <sup>244)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. LXII, pg. 422. — <sup>245)</sup> Mém. de la Soc. de phys. de Genève, t. III, 1<sup>re</sup> partie, pg. 117, 1824.

gebräuchliche Form.<sup>246)</sup> Die Sinusbussole ist ein Galvanometer mit Multiplikator, so konstruiert, daß man die Ebene des Stromkreises in den Meridian des Magneten stellen kann, wenn er abgelenkt worden ist. Der Sinus des Winkels, welchen die Ebene des Drahtes zurücklegen muß, um in die neue Lage zu kommen, mißt die Intensität des Stromes. Die Tangentenbussole ist ähnlich eingerichtet, nur wird der Stromkreis vor dem Versuche in den magnetischen Meridian gestellt, und die Tangente des Ablenkungswinkels der Nadel durch einen Strom ist proportional der Intensität desselben. Dabei muß aber die Magnetnadel sehr klein sein im Verhältnis zum Durchmesser des Stromkreises. Despretz<sup>247)</sup> schlug deshalb eine Formel vor, welche den Gebrauch dieses Apparates ohne Berücksichtigung jener Bedingung zulieft. Zahlreiche Versuche zur Vermeidung von Fehlern bei der Tangentenbussole wurden vorgeschlagen von Poggendorff,<sup>248)</sup> Weber,<sup>249)</sup> Lenz,<sup>250)</sup> Pécelet,<sup>251)</sup> Gaugain<sup>252)</sup> und Bravais.<sup>253)</sup>

Das Magnetometer von Gauß,<sup>254)</sup> ursprünglich zu magnetischen Versuchen bestimmt, wurde mit einigen Abänderungen von Weber gebraucht, um die geringen Abweichungen zu messen, welche ein stark magnetisches Stäbchen erfährt, das an Stelle der Magnetnadel innerhalb des Multiplikatorrahmens schwingt. Übersteigen die Ausschläge nicht eine gewisse Amplitude, so bleiben sie den Stromintensitäten proportional. Die Größe der Ablenkung wird bestimmt durch Reflexion an einem Spiegel, der, fest mit dem kleinen Magnet verbunden, an den Bewegungen desselben teilnimmt, so daß die Teilpunkte eines vor dem Spiegel in gewisser Entfernung fest aufgestellten Maßes nacheinander in die Richtung der optischen Axe eines Fernrohrs reflektiert werden. Weber hatte sich gleicherweise der biflaren Aufhängung<sup>255)</sup> bedient, um mit größter Genauigkeit die gegenseitige Wirkung zweier elektro-dynamischer Ringe oder zweier Solenoide aufeinander zu bestimmen.

Die von Becquerel erdachte elektro-magnetische Wage giebt ziemlich genaue Resultate.<sup>256)</sup> Sie besteht aus einer Wage, die auf 0,001 g. ausschlägt. An jeder Wagschale ist mit einem Seidenfaden ein Magnet aufgehängt, der in eine vertikal stehende elektro-dynamische Spirale ragt. Bringt man die Drahtenden derselben mit den Polen eines Elementes so in Verbindung, daß der Strom, indem er die eine Spirale durchläuft, den einen Magneten hineinzieht, dagegen beim Durchlaufen der zweiten Spirale den andern Magneten hebt, so muß man mit Gewichten die Wage wieder ins Gleichgewicht bringen. Die dazu nötigen Gewichte sind nach Becquerel proportional den Intensitäten der Ströme zu setzen, welche durch die Drähte der Spiralen strömen.

#### IV. Induktion.

Aus den Versuchen mehrerer Physiker, besonders Coulombs und Becquerels,<sup>257)</sup> ging hervor, daß auch andere Körper als Eisen von einem Magneten beeinflusst werden könnten. Aber erst Arago<sup>258)</sup> entdeckte im November 1824, daß, wenn diese Körper im Zustande der Ruhe auf die Magnetnadel keine nachweisbare Wirkung ausüben, sofort eine sichtbare Wirkung eintritt, sobald der Körper oder der Magnet in Bewegung ist. Er beobachtete zuerst, daß die Schwingungsamplitude einer Magnetnadel von den sie umgebenden Substanzen, hauptsächlich Metallen, so beeinflusst wird, daß diese Schwingungen nicht ihre Geschwindigkeit, wohl aber ihre Amplituden verringern, gleichsam als ob die Schwingungen in einem dichteren Mittel als Luft stattfänden. Diese Beobachtung brachte ihn auf die Entdeckung des Magnetismus durch Rotation.<sup>259)</sup> Wurde unter einer horizontal frei beweglichen Magnetnadel eine Kupferscheibe in rasche Umdrehungen versetzt, so schlug

<sup>246)</sup> Comptes rendus de l'Acad. des sc. de l'Inst., t. IV, pg. 267. Pouillet, traité de phys. et de météorologie. — <sup>247)</sup> Despretz war Professor der Phys. a. d. Sorbonne. Compt. rend. de l'Ac. des sciences, t. XXXV, pg. 449. — <sup>248)</sup> Poggend. Ann., Bd. LVII, pg. 609. — <sup>249)</sup> Wilh. Ed. Weber, geb. 1804, Professor der Phys. in Göttingen bis 1843, dann in Leipzig bis 1849, hierauf wiederum in Göttingen. Poggend. Ann., LV, pg. 27 ff. — <sup>250)</sup> Poggend. Ann., LIX, pg. 203 ff., 407 ff. — <sup>251)</sup> Pécelet, gest. 1857 als Inspektor der Akademie von Paris u. Generalstudiendirektor. Ann. de chimie et de phys., Série III, t. II, 1841. — <sup>252)</sup> Gaugain, Comptes rendus, t. XXXVI, pg. 191. — <sup>253)</sup> Bravais, Ann. de chim. et de phys., t. XXXVIII, 1853. — <sup>254)</sup> Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Ver. zu Göttingen, I. — <sup>255)</sup> Poggend. Ann., Bd. LXI. — <sup>256)</sup> Ann. de chim. et de phys., t. LXVI, pg. 184. Poggend. Ann., XLII, pg. 307 ff. Diese Wage ist zugleich der erste Versuch, galvanische Kräfte durch mechanische Arbeit zu messen. — <sup>257)</sup> Becquerel, traité de l'électr. et du magn., t. II, pg. 382 ff. Ann. de chimie et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. XXV, pg. 269; t. XXXVI, pg. 337. — <sup>258)</sup> Ann. de chimie et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. XXVII, pg. 363. Becquerel, traité, t. II, pg. 393. — <sup>259)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXVIII, pg. 325. Poggend. Ann., Bd. III, pg. 344.

die Nadel um so mehr aus, je rascher sich die Scheibe bewegte, und folgte endlich der Bewegung der Scheibe bei genügender Geschwindigkeit derselben. Durch radiale Ausschnitte aus der Kupferscheibe wurde ihre Wirkung auf die Nadel wesentlich vermindert. Nobili und Bacelli veröffentlichten unmittelbar darauf<sup>260)</sup> eine Anzahl Versuche, die denjenigen Aragos zu widersprechen schienen, insbesondere darlegen sollten, daß unmetallische Körper keine Wirkung ausübten. Arago beantwortete das dahin,<sup>261)</sup> daß Glas und andere Körper derselben Art zwar nur geringe, aber doch meßbare Wirkungen hervorbringen. Herschel und Babbage<sup>262)</sup> stellten diese Versuche so an, daß sie einen Magneten unter einer Metallplatte sich drehen ließen, die im Zentrum frei beweglich aufgehängt war. Bei den verschiedenen, der Untersuchung unterzogenen Metallplatten fanden sie eine bemerkenswerte Thatsache: Wenn man die Lücken einer durchbrochenen Platte mit einem Metall ausfüllt, dessen magnetischer Einfluß während der Bewegung geringer ist als derjenige der Platte, so gewinnt diese heterogene Platte wieder an magnetischer Energie im Verhältnis der Leitungsfähigkeit der zum Ausfüllen der Einschnitte verwandten Metalle. Neben Seebeck<sup>263)</sup> beschäftigte sich noch Christie,<sup>264)</sup> de Haldat,<sup>265)</sup> Barlow,<sup>266)</sup> Prévost und Colladon,<sup>267)</sup> Pohl<sup>268)</sup> mit wichtigen Beobachtungen über den Magnetismus durch Rotation. Ampère, von Colladon unterstützt, fand, daß eine in Bewegung befindliche Scheibe auf eine vom Strom durchströmte Spirale wie auf einen Magneten wirkt.<sup>269)</sup> Aber erst Faraday<sup>270)</sup> bewies 1831, daß die Magnetnadel elektrische Induktionsströme in den in Bewegung befindlichen Scheiben hervorruft, und es gelang ihm auch, deren Vorhandensein nachzuweisen.

Zwar stellte Ampère zuerst Versuche an, elektrische Ströme durch den Einfluß anderer elektrischer Ströme hervorzurufen<sup>271)</sup> und faßte das Ergebnis seiner Untersuchungen dahin zusammen, daß in einem beweglichen, einen vollständigen Stromkreis bildenden Konduktor ein elektrischer Strom hervorgerufen wird durch einen anderen, fest aufgestellten elektrischen Strom, welcher sich in der Nähe des beweglichen Konduktors befindet und mit demselben nicht in Verbindung steht.<sup>272)</sup> Doch kommt im übrigen Faraday das Verdienst zu, die Umstände, unter denen Induktionserscheinungen auftreten und das Verhalten der Induktionsströme genauer untersucht und bestimmt zu haben.<sup>273)</sup>

„Induktion“ bezeichnet das Vermögen elektrischer Ströme, in der in ihrem Wirkungskreise befindlichen Materie entgegengesetzte elektrische Ströme hervorzurufen. Um diesen Vorgang augenscheinlich zu machen, wickelte Faraday zwei mit Seide überspinnene Kupferdrähte spiralförmig auf Holz, verband die Enden der einen Spirale mit einem Multiplikator, die Enden der anderen mit den Polen eines kräftigen Elementes. Sobald der Strom geschlossen wurde, zeigte sich an der Magnetnadel des Multiplikators ein leichter Ausschlag, nach welchem die Nadel sofort ihre Ruhelage wieder einnahm. Bei der Unterbrechung des Stromes trat wieder ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite auf (Faraday, Bd. I, art. 10, 11). Daraus, daß diese Induktionsströme in der Spirale nur momentan auftreten beim Öffnen und Schließen des Stromes der induzierenden Spirale (primäre Spirale), schloß Faraday auf die Ähnlichkeit der Induktionsströme mit dem durch die Entladung der Leydener Flasche hervorgerufenen elektrischen Strom (art. 12). Der (magneto-elektrische) Induktionsstrom ist im Augenblick des Schließens dem induzierenden Strom der Richtung nach entgegengesetzt, der Öffnungsstrom ihm gleichgerichtet. Die beiden, beim Schließen und Unterbrechen des ursprünglichen Stromes, auftretenden Induktionsströme sind somit von entgegengesetzter Richtung und momentaner Dauer (art. 26). Um die induzierende Wirkung des Magneten, als eines Systems elektrischer Ströme, die senkrecht zur Axe des Magneten die Moleküle umkreisen, zu untersuchen, umwickelte er die eine Hälfte eines ringförmig gebogenen Eisenzylinders mit überspinnem Kupferdraht und verfuhr ebenso mit der anderen Hälfte des Ringes (art. 27 ff.). Die Enden des ersten Drahtes standen mit einem Multiplikator in Verbindung, die des zweiten mit den Polen einer Kette. Sobald der Strom der Kette geschlossen

<sup>260)</sup> Bibliothèque universelle de Genève, janvier 1826. — <sup>261)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXXII, pg. 213. — <sup>262)</sup> Philos. trans., 1825, pg. 481. Becquerel, t. II, pg. 405. — <sup>263)</sup> Poggend. Ann., Bd. 7, pg. 203. — <sup>264)</sup> Phil. trans., 1825, pg. 347 u. 497; 1827, pg. 71. — <sup>265)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXXIX, pg. 232; t. XLII, pg. 33; t. LII, pg. 303. — <sup>266)</sup> Becquerel, t. II, pg. 407 ff. — <sup>267)</sup> Hoppe, Gesch. der El., pg. 400. — <sup>268)</sup> Poggend. Ann., Bd. VIII, pg. 395. — <sup>269)</sup> Poggend. Ann., Bd. VIII, pg. 518, 1826. — <sup>270)</sup> Experimental-Untersuchungen über Elektrizität von M. Faraday, übers. von Kalischer, Bd. I, 81 ff., 119, 121. Poggend. Ann., Bd. 25, 1832, pg. 92 u. 142. — <sup>271)</sup> Ampère, recueil d'observ. électro-dyn., pg. 285. — <sup>272)</sup> Ampère, recueil, pg. 321. Mém. présent. à l'Acad. des sc. le 4 sept. 1822. — <sup>273)</sup> Faraday, Experimental-Unters. über Elektr., Bd. I, art. 1 ff. Phil. trans., 1832 and 1833. Ann. de chimie et de phys., t. L, pg. 5 et 113; t. LI, pg. 404.

wurde, schlug die Nadel aus und nahm hierauf wieder ihre Ruhelage ein. Der Ausschlag war bedeutend stärker als bei einer zehnmal so starken Kette und Spiralen ohne Eisenkerne. Bei Unterbrechung des Stromes in der Kette fand in der anderen Spirale der Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite statt. Ähnliche Wirkungen erhielt Faraday auch mit gewöhnlichen Magneten (art. 36). Versah er die Enden des mit dem Multiplikator in Verbindung stehenden Drahtes mit zwei Kohlenspitzen, so zeigten sich beim Schließen des induzierenden Stromes, seltener beim Öffnen desselben, schwache Funken (art. 32; 1080 ff.). Er erkannte weiter, daß in einer einzigen, mit einem Multiplikator in Verbindung stehenden Spirale diese Erscheinungen hervorgerufen werden könnten, wenn man einen Magneten dieser Spirale nähert oder von ihr entfernt, und zwar wurde die Wirkung verstärkt, wenn ein weicher Eisenstab in die Spirale gebracht wurde (art. 50). Auch hier traten die Induktionserscheinungen als momentane Ströme nur in dem Augenblicke ein, wo der Magnet zu wirken anfang oder aufhörte. War zu Beginn der Induktionswirkung die Richtung des Induktionsstromes der Richtung desjenigen Stromes entgegengesetzt, welcher in dem weichen Eisen dieselbe magnetische Polarität hervorgerufen hätte, als der Magnet, so war die Richtung des Induktionsstromes im Augenblicke des Aufhörens dieselbe. Faraday nahm zuerst an, daß der Leiter während der Dauer des benachbarten induzierenden Stromes sich nicht in seinem natürlichen Zustande befindet, sondern gleichsam in einer gewissen Spannung, aus der er beim Öffnen des Stromes wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückschnelle. Diesen Zustand nannte er den „elektrotonischen“ Zustand (art. 60). Weiter aber zeigte Faraday auch, daß ein elektrischer Strom, der in einem benachbarten Metalldraht einen besonderen elektrischen Zustand hervorruft, notwendig einen ähnlichen Zustand in „seinem“ Leitungsdraht (primären Spirale) hervorrufen muß (art. 74). Er nannte diesen Strom in der primären Spirale „Extrastrom“. Derselbe kann auf einen benachbarten Draht übertragen werden und ist in Richtung und jeder anderen Hinsicht identisch mit den durch Induktion zu erregenden Strömen (art. 1078, 1089, 1092 ff., 1109). Wenn nun ein elektrischer Strom in einer Spirale zirkuliert, die einen Eisenkern umgiebt, so zeigt sich zwischen den Enden des Drahtes bei Unterbrechung des Stromes ein vom direkten Extrastrom herrührender Funke. Diese Erscheinung beobachtete zuerst Henry (1832), später Jenkins.<sup>274)</sup> Masson<sup>275)</sup> nahm diesen Gegenstand wieder auf, doch erst Faraday deckte 1835 ihren Zusammenhang mit den Induktionsströmen auf.<sup>276)</sup>

Henry verdanken wir auch die Entdeckung der Induktionsströme dritter, vierter und fünfter Ordnung.<sup>277)</sup> Ließ er durch eine Bandspirale einen kräftigen Strom hindurchgehen, so rief derselbe in einer zweiten, in geringer Entfernung über der ersteren gehaltenen Spirale beim Öffnen und Schließen Induktionsströme hervor. Ließ er diese Ströme der zweiten Spirale durch eine dritte Spirale gehen, so beobachtete er in einer vierten, darüber gestellten Spirale einen tertiären Strom, induziert durch den Schließungs- und Öffnungsstrom des zweiten Stromkreises, und auf diese Weise ließen sich Ströme bis zur fünften Ordnung nachweisen. Abria<sup>278)</sup> und Verdet<sup>279)</sup> verfolgten diesen Gegenstand weiter, und der letztere konnte sogar mit Hilfe der Induktionsströme zweiter Ordnung Polarisationserscheinungen erhalten, welche von elektro-chemischen Wirkungen herrührten. Henry war auch der erste, welcher die elektrischen Entladungen der Leydener Flasche als Ströme von geringer Dauer betrachtete, die in benachbarten Leitungen elektrische Ströme induzieren können. Diese direkten und umgekehrt induzierten Ströme folgen so rasch aufeinander, daß der eine oder der andere überwiegen kann, je nachdem durch eine Verzögerung ihre Spannung vermindert werden kann. Auf verschiedene Weise hat man diese Ströme zu untersuchen versucht. Marianini<sup>280)</sup> benutzte dazu ein Re-Elektrometer. Dasselbe bestand aus einer Spirale, die ein Stück Eisen umschloß. Durch diese Spirale gingen die Entladungsschläge. Eine über der Spirale frei schwebende Magnetnadel gab durch ihre Ausschläge den Sinn der Magnetisierung des Eisenstücks und damit die Richtung des Stromes an. Dabei ergab sich, daß der vorherrschende Induktionsstrom dieselbe Richtung hatte, wie der induzierende Strom, wenn die Leydener Flasche genügend stark geladen war. Nahm die Spannung der Ladung ab, oder

<sup>274)</sup> Faraday, Exp. Unters. über El., Bd. 1, art. 1049. — <sup>275)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. LXVI, 1837, pg. 1. — <sup>276)</sup> Faraday, Bd. 1, art. 1079 ff. — <sup>277)</sup> Phil. Mag., Ser. III, Bd. 18, pg. 482. Poggend. Ann., Ergänzungsband I, 1840, pg. 282, Bd. 54, pg. 84. Ann. de chimie et de phys., Série III, t. III, pg. 394. Transact. of the American Philos. Society, t. VIII. — <sup>278)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. VII, pg. 483. — <sup>279)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. XXIV, pg. 397. — <sup>280)</sup> Marianini, Präsident der physiko-mathem. Fakultät zu Modena u. Präsident der Società Ital. Ann. de chim. et de phys. nouv. série, t. X, pg. 491. Bibl. univ. Série IV, T. II, 1846, V, 1847.

wurde bei gleichbleibender Ladung die Oberfläche vergrößert, so hatte der Induktionsstrom entgegengesetzte Richtung. Unter anderen Methoden zur Untersuchung dieser Ströme ist noch diejenige von Matteucci<sup>281)</sup> zu erwähnen, welcher die Magnetisierung von Stahladeln und Kartendurchbohrung benutzte. Riefs<sup>282)</sup> bediente sich dazu eines durch Induktion geladenen Kondensators und der Erscheinung, daß die durch den elektrischen Funken auf Harzplatten hervorgerufenen Lichtenbergschen Figuren aufgestreutes Schwefel- oder Mennigpulver gemäß der Elektrisiertheit des Kuchens ordneten. Weiter<sup>283)</sup> fand er bei seinen ausgedehnten Versuchen mit dem elektrischen Luftthermometer, daß die Intensität des Nebenstromes direkt proportional ist der Intensität des Hauptstromes. Es gelten also nach Riefs für die durch elektro-statische Entladung hervorgerufenen Induktionserscheinungen dieselben Gesetze, wie für die Induktion durch einen galvanischen Strom. Knochenhauer<sup>284)</sup> suchte gleichfalls mit Hilfe der Erhitzung von Metalldrähten durch den elektrischen Entladungsstrom zum Ziele zu gelangen. Verdet<sup>285)</sup> benutzte die Erscheinungen der elektro-chemischen Polarisation dazu. Alle diese Versuche zeigten, daß bald der direkte induzierte Strom, bald der umgekehrte vorherrscht, aber die zu Grunde liegenden Ursachen sind noch nicht genügend bekannt.

Induktion durch den magnetischen Einfluß der Erde. Faraday hatte gezeigt, daß magnetisierte Eisenstäbe elektrische Ströme in Leitern, die entfernt davon sind, hervorrufen können. Er führte auch den Beweis, daß die als großer Magnet wirkende Erde ebenfalls Induktionserscheinungen hervorrufen könne.<sup>286)</sup> Um die terrestrische Induktion nachzuweisen, genügt es, eine in den magnetischen Meridian in Richtung der Inklinationsnadel gestellte Spirale mit einem Multiplikator in Verbindung zu setzen; wird diese Spirale umgekehrt, so ist ein schwacher Ausschlag am Galvanometer zu beobachten (art. 148). Diese Wirkung wird erhöht, wenn man in die Spirale einen Eisenstab einschiebt, der sich bei jeder Bewegung der Spirale unter dem Einfluß der Erde momentan magnetisiert (art. 141 ff.). Palmieri und Linari<sup>287)</sup> konstruierten sogar ein Element, das unter dem Einfluß der Erde wirkte, und nannten dasselbe magneto-elektro-tellurisch.<sup>288)</sup> Aus allem diesem geht hervor, daß sich ein leitender Körper auf der Erdoberfläche nicht bewegen kann, ohne daß in seiner Masse elektrische Ströme hervorgerufen werden.

Andere auf Induktion zurückzuführende Wirkungen sind von Henry und Abria<sup>289)</sup> untersucht worden, und Riefs zeigte,<sup>290)</sup> daß die Erwärmung eines von einem Entladungsschlag durchlaufenen Drahtes durch die Gegenwart eines benachbarten Leiters gemildert würde. Dove,<sup>291)</sup> der sich besonders mit diesem Gegenstande beschäftigte, kam dabei zu sehr bemerkenswerten Ergebnissen.<sup>292)</sup> Er erhielt, indem er einmal elektrische (galvanische) Ströme und andererseits Entladungsschläge zur Hervorrufung der Induktion benutzte, übereinstimmende Resultate. Auch unterschied er zuerst die Dauer des Stromes von seiner Intensität. Denn, wenn die Galvanometerausschläge und die chemischen Wirkungen einander und den in Frage kommenden Elektrizitätsmengen entsprechen, thun das physiologische und Wärmewirkungen nicht mehr. Die physiologische Wirkung hängt im besonderen nur von der Geschwindigkeit des Ausgleichs der Elektrizitäten ab, denn die Erschütterungen der Leydener Flasche beweisen, daß eine geringe Menge der Elektrizität, die sich sehr rasch bewegt, sehr lebhaft wirkt, ferner, daß dieselbe Elektrizitätsmenge, wenn sie sich langsam ausgleicht, gar keine Wirkung hervorbringt. So hatten Bachhoffner und Sturgeon<sup>293)</sup> gefunden, daß, wenn man in eine magnetisierende Spirale Bündel von Eisendrähten bringt, der durch Magnetisieren und Entmagnetisieren des Eisens induzierte Extrastrom im Stromkreise viel stärkere Erschütterungen hervorruft, als bei massivem Eisen-cylinder. Dove bewies, daß dabei die massiven Cylinder als magnetische Kerne und leitende Körper wirken. Um dieselben entstehen induzierte Ströme, welche die Entladung

<sup>281)</sup> Ann. de chimie et de phys., t. IV, pg. 153. — <sup>282)</sup> Peter Theophil Riefs, geb. 1805 in Berlin, Professor an der dortigen Universität, sein Hauptwerk „Die Lehre von der Reibungselektrizität“, er starb am 22. Okt. 1883. Reibungselektrizität, I, S. 383. — <sup>283)</sup> Riefs, Reibungselektrizität, II, pg. 268 ff. Poggend. Ann., Bd. 47, 1839, pg. 65. — <sup>284)</sup> Knochenhauer, Direktor der Realschule zu Meiningen. Poggend. Ann., Bd. 61, pg. 55; 62, pg. 207; 64, pg. 64; 68, pg. 136. — <sup>285)</sup> Verdet, Professor der Physik an der Normalschule zu Paris. Ann. de chimie et de phys., t. 24, pg. 381 ff.; t. 29, pg. 501; t. 53, pg. 46, III. Série. — <sup>286)</sup> Faraday, Exp. Unters. über El., I, art. 140 ff. — <sup>287)</sup> Palmieri, Professor der Physik an der Univ. in Neapel. Rendiconto dell' Acad. di Napoli, III, 1844. Linari (Santi-L.), Professor am Collegio Tolomei in Siena, später in Neapel. — <sup>288)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. VIII, pg. 503. — <sup>289)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. VII, pg. 462. — <sup>290)</sup> Riefs, Reibungselektrizität, II, pg. 140. — <sup>291)</sup> Professor an der Universität zu Berlin. — <sup>292)</sup> Poggend. Ann., Bd. XLIII, pg. 511; Bd. XLIX, pg. 72; Bd. LIV, pg. 333; Bd. LVIII, pg. 251, 268, 274. — <sup>293)</sup> Poggend. Ann., Bd. XLIX, pg. 76.

verzögern, d. h. welche die Dauer der induzierten Entladung vergrößern und damit die physiologische Wirkung schwächen. Wird die Bildung dieser Ströme durch Einschleiben eines Bündels isolierter feiner Eisendrähte in die Spirale vermieden, so verstärkt sich auch die physiologische Wirkung. Gleichermassen wirken nach Dove die leitenden Hüllen aus Kupfer und anderen Substanzen. Sie schwächen die Kraft der Induktion nicht, sie verzögern sie nur dadurch, daß sie die Dauer des Strömens der Elektrizität vergrößern. Es nähert sich so ein Drahtbündel aus magnetisiertem Eisen am meisten der Verwirklichung eines Ampèreschen Solenoids, das keineswegs einen gewöhnlichen Magnet darstellt, weil dieser mit einer leitenden, einschließenden Hülle versehen ist, was beim elektro-dynamischen Cylinder nicht stattfindet.

Bei der Erzeugung eines Induktionsstromes zeigen sich sehr hervortretende statische Wirkungen, welche abhängen von der Spannung des Stromes, der Schnelligkeit des Fließens der Elektrizität, der Länge und Isoliertheit des leitenden Drahtes. Diese wichtige Thatsache wurde von Faraday angezeigt. Genauer untersuchten sie Masson und Breguet.<sup>294)</sup> Sie benutzten einen langen isolierten Draht, der, um einen Cylinder gewickelt, eine Spirale bildete. Indem sie diese Spirale mit Hilfe eines schwachen Stromes elektrisierten, konnte der induzierte Strom, welcher im Augenblick des Stromschlusses oder besser im Augenblick des Unterbrechens entstand, in diesem letzteren Falle also der direkte Extrastrom, einen Kondensator laden, Erschütterungen verursachen und im luftleeren Raume Funken zeigen. Wurden die Enden des aufgewickelten Drahtes mit den Metallbelägen eines elektrischen Eies verbunden, so strömte vom positiven Ende eine rot-violette Lichtgarbe aus, während der linke Pol von einer bläulichen Lichthülle (Aureole) umgeben war.

Unter denjenigen, welche sich weiter noch mit Induktionswirkungen und den zu ihrem Entstehen notwendigen Bedingungen beschäftigt haben, sind Lenz, Weber, Neumann, de la Rive, Matteucci, Poggendorff, Wartmann, Marié, Felici zu erwähnen. Lenz<sup>295)</sup> stellte das Gesetz auf: „Sind a und b zwei geschlossene Stromleiter, von denen a von einem primären Strom durchflossen wird, und wird ihre relative Lage geändert, so induziert a in b einen Strom von solcher Richtung, daß die durch die Anziehung oder Abstofsung zwischen dem erregenden und dem erregten Strom den Leitern erteilte Bewegung entgegengesetzt der Bewegung wäre, welche zur Induktion selbst ausgeführt wurde.“ Dasselbe Gesetz hat nach Lenz *mutatis mutandis* auch bei Magnetinduktion seine Gültigkeit: „Wird ein Magnet in der Nähe eines geschlossenen Leiterkreises bewegt, so induziert er in demselben einen Strom, welcher ihm eine der ausgeführten entgegengesetzte Bewegung erteilen würde.“ Auch über die Bestimmung der Stärke der Induktion war Lenz bahnbrechend. Aus der Beobachtung Faradays, der unipolaren Induktion,<sup>296)</sup> daß ein Magnet, an welchem ein Ende des Leitungsdrahtes die Mitte eines Poles berührt, während das andere Ende desselben Drahtes durch eine schleifende Feder mit der Mitte des Magneten in Verbindung steht, sobald er um seine Axe rasch rotiert, im Leitungskreise einen Strom zeigt, welcher von der Mitte des Magneten durch den Draht zum Pol geht, kam Weber durch ausführliche Untersuchungen zu einer Anzahl Sätze, welche diese Erscheinung klarstellten.<sup>297)</sup> Faraday hatte auch zuerst beobachtet, daß induzierte Ströme, welche sich an leitenden Körpern unter dem Einfluß starker Magnete zeigen, zu besonderen Wirkungen Anlaß geben. Er hing an einem Seidenfaden einen kleinen Würfel oder eine Kugel aus Kupfer oder Silber zwischen den Polen eines starken Magneten auf. Drehte er mit der Hand den Seidenfaden zusammen, so nahm die Metallmasse eine rotierende Bewegung an, solange der Elektromagnet noch unmagnetisch war. Sobald derselbe aber magnetisch wurde, hörte die Metallmasse auf, sich zu drehen, oder schien sich in einem widerstehenden Mittel zu bewegen. Diese Wirkung rührte von Induktionsströmen her, welche in der Metallmasse zirkulieren, sobald sie sich zwischen den Magnetpolen bewegt. Metalle, welche die Elektrizität schlecht leiten, lassen keine meßbare Wirkung dieser Ströme nachweisen. Diese elektrischen Ströme, welche unter analogen Bedingungen auftreten, können zu Temperaturerhöhungen Veranlassung geben. So benutzte Joule<sup>298)</sup> die sich bildenden Induktionsströme, um die Größe der mechanischen Arbeit zu bestimmen, welche ein beweglicher Konduktor zur Erzeugung

<sup>294)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. IV, pg. 129. — <sup>295)</sup> Poggend. Ann., Bd. 34, pg. 385; Bd. 47, pg. 223, von Lenz u. Jacobi. — <sup>296)</sup> Exp. research. on electr., von Faraday, II, art. 217. — <sup>297)</sup> Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Vereins, 1839, pg. 63. Hoppe, pg. 425. — <sup>298)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. XXXIV, pg. 504. Philos. Mag., Bd. 19, 1841, pg. 260. Philos. Mag., Bd. 23, Ser. 3, pg. 263, 247 und 435.

einer gewissen Wärmemenge bedarf, d. h. zur Bestimmung des mechanischen Äquivalents der Wärme. Seine Ergebnisse fanden eine Prüfung und Bestätigung durch die Untersuchungen, welche E. Becquerel der Jüngere,<sup>299)</sup> später Lenz<sup>300)</sup> und Poggendorff<sup>301)</sup> anstellten, wobei der letztere konstatierte, daß die erzeugte Wärmemenge von der elektromotorischen Kraft unabhängig ist. Auch hatte van Breda<sup>302)</sup> beobachtet, daß die Magnetisierung des Eisens von einer schwachen Wärmewirkung begleitet ist, und Foucault<sup>303)</sup> zeigte gleicherweise, daß die Temperatur einer zwischen den Polen eines Elektromagneten rotierenden Kupferscheibe sich steigert proportional den induzierten Strömen, welche in der leitenden Masse rotieren.

**Induktionsapparate.** Seit Faraday versuchte man, Apparate zu konstruieren, welche gleichgerichtete oder in entgegengesetztem Sinne verlaufende Induktionsströme mit zu Hilfe nahme natürlicher oder Elektromagnete liefern sollten. Je nachdem die ersteren oder letzteren zur Anwendung kamen, unterschied man magneto-elektrische und elektro-magnetische Apparate. Bei den magneto-elektrischen Maschinen wird Elektrizität durch die Wirkung von Magneten allein hervorgerufen.

Der erste magneto-elektrische Induktionsapparat war die von Faraday bei seinen ersten Versuchen getroffene Anordnung. Er bestand aus einer Kupferscheibe, welche sich zwischen den Polen eines Elektromagneten drehte.<sup>304)</sup> Verband man das eine Ende eines leitenden Drahtes mit dem Zentrum der Scheibe, während das andere Ende auf dem Umfange rotierte, so erhielt man durch die Rotation einen kontinuierlichen Strom. Pixii<sup>305)</sup> und Dal Negro<sup>306)</sup> konstruierten zuerst elektro-magnetische Apparate von einiger Stärke. Sie stellten einen Elektromagnet fest auf und ließen einen darübergestellten Magnet sehr rasch rotieren, so daß seine Pole sehr nahe an den Enden der Spule vorbeigingen. Ein auf der Rotationsaxe angebrachter Kommutator änderte den Sinn des fortgeleiteten Stromes und gab ihm eine konstante Richtung, weil durch die Induktion des Magneten in dem Draht der Spule abwechselnd umgekehrte Ströme hervorgerufen wurden. Diese etwas umfangreiche Maschine wurde bald durch eine bequemere Anordnung von Saxton<sup>307)</sup> und Ritchie<sup>308)</sup> ersetzt. Diese nahmen den Magnet fest an und ließen die Spulen um eine parallel zu ihren Axen durch die Mitte des Magneten gehende Axe rotieren. Clarke<sup>309)</sup> änderte diesen Apparat um und verbesserte ihn. Er stellte den Magnet vertikal auf und ließ die Spule um eine horizontale Axe rotieren, welche die Verbindungslinie der Pole des Magneten normal halbiert. Petrina<sup>310)</sup> verwandte statt der bisher gebrauchten zwei Induktionsspulen deren vier, in Form eines Kreuzes angeordnet, und traf die Einrichtung, daß die von je zwei gegenüberstehenden Spulen herrührenden Ströme nebeneinander (auf Quantität) oder hintereinander (auf Spannung) eingeschaltet werden können. Stöhrer in Leipzig konstruierte eine Maschine mit verstärkter Wirkung, indem er drei aus je fünf Lamellen bestehende Hufeisenmagnete und sechs Induktionsspiralen anwandte.<sup>311)</sup> Ihm verdanken wir auch den Stöhrerschen Kommutator, der auf alle Maschinen, die gleichmäßigen Strom liefern sollen, Anwendung gefunden hat.

Nun wandte man sich besonders dem Baue großer Apparate zu, um starke Elektrizitätsmengen zu erhalten, und dieselben für die Industrie ausnutzen zu können. Page<sup>312)</sup> baute einen Apparat, bei welchem ein permanenter Magnet, sowie die Spulen feststehen, während nur die aus weichem Eisen bestehende Armatur des Magneten sich bewegen kann, und indem sie vor den Polen dieses letzteren in Bewegung gesetzt wird, dadurch die Verteilung des Magnetismus variiert und Induktionsströme in den Spulen hervorruft.

Die elektro-magnetischen Apparate sind gewöhnlich kräftiger, als die magneto-elektrischen, weil Eisen bei der Magnetisierung durch den elektrischen Strom größere magnetische Kraft annimmt, als ein auf gewöhnliche Weise magnetisierter Stahlmagnet. Man muß bei diesen Apparaten die Richtung des Stromes abwechseln lassen, oder den Strom wenigstens unterbrechen. Diese Unterbrechung kann mit einer Kurbel oder durch Stromwender geschehen. Unter den letzteren sind hauptsächlich zwei hervorzuheben, das Drehkreuz

<sup>299)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. IX, 1843, pg. 21. — <sup>300)</sup> Poggend. Ann., Bd. 54, pg. 203 u. 407; Bd. 61, pg. 18. — <sup>301)</sup> Poggend. Ann., Bd. 73, pg. 337. — <sup>302)</sup> van Breda, Professor in Gent, Leyden u. Harlem. Compt. rend., Bd. XXI, Bd. XXVIII. Poggend. Ann., Bd. 70. — <sup>303)</sup> Ann. de chimie et de phys., Série III, t. XLV, pg. 316. — <sup>304)</sup> Faraday, Exp. Unters. über El., I, art. 88. — <sup>305)</sup> Ann. de chimie et de phys., 2<sup>e</sup> série, t. L, 1832, pg. 322. — <sup>306)</sup> Phil. Mag., Série III, Bd. 1, 1832, pg. 45. — <sup>307)</sup> Poggend. Ann., Bd. 39, pg. 401, 1836. — <sup>308)</sup> Phil. trans., II, pg. 320, 1833. — <sup>309)</sup> Poggend. Ann., Bd. 39, pg. 404, 1836. — <sup>310)</sup> Poggend. Ann., Bd. 64, pg. 58, 1845. — <sup>311)</sup> Poggend. Ann., Bd. LXI, pg. 417, 1844. — <sup>312)</sup> Annals of electricity, magnet. and chymistry, 1839, pg. 489.

von Ritchie und der von Neef zuerst angewandte Unterbrecher, der Wagnersche oder Neefsche Hammer.<sup>313)</sup> De la Rive wandte denselben in verbesserter Form bei der Konstruktion seines elektro-chemischen Kondensators an.<sup>314)</sup> Dieser elektro-chemische Kondensator ist in Wirklichkeit ein elektro-chemischer Apparat, dessen Spule aus einem einzigen Draht besteht, in welchem intermittierend der Strom einer Batterie strömt und gleichzeitig die Induktionsströme, welche unter dem Einfluß des zentralen weichen Eisenstabes entstehen, der in Intervallen durch den elektrischen Strom der Batterie selbst magnetisiert wird (pg. 779 ff.).

Einen der bemerkenswertesten und kräftigsten elektro-magnetischen Induktionsapparate verdanken wir Ruhmkorf in den Jahren 1850 und 1851.<sup>315)</sup> Er wendet zwei Drähte an, einen starken kurzen für den induzierenden Strom, und einen feinen, sehr langen Draht für die Induktionsströme. Indem er den Draht vollständig isolierte und ihm eine bedeutende Länge gab, erhielt er zuerst Funken in der Luft, die er durch Verstärkung des induzierenden Stromes ebenfalls ganz bedeutend verstärken konnte. Dabei ist zu beachten, daß, obgleich in dem feinen Draht des Apparates eine Folge von direkten und umgekehrten Induktionsströmen auftritt, nur der direkte Strom allein diese kräftigen Spannungserscheinungen zeigt, welche zur Erzeugung der Funken notwendig sind. Der Grund dafür ist, daß der zentrale Magnet, und infolgedessen der umgekehrte Induktionsstrom influenziert wird durch den Extrastrom, der ebenfalls umgekehrt in dem dicken Drahte bei dem Stromschluß strömt, während das nicht mehr der Fall ist für den direkten Strom, weil der direkte Extrastrom nicht in dem dicken Drahte zirkulieren kann, wenn man den von diesem und der Batterie gebildeten Stromkreis unterbricht. Verbindet man also die beiden Enden des dicken induzierenden Drahtes mit den beiden Scheiben eines Kondensators, wie es Fizeau<sup>316)</sup> vorschlug, so schwächt man den direkten Extrastrom, welcher den Kondensator ladet (pg. 420), aber verstärkt ebenso sehr den direkten Induktionsstrom, dessen Wirkung in dem Induktionsstrom vorherrschend ist. Läßt man die Entladungen in einem elektrischen Ei, das mit verschiedenen Gasen oder Dämpfen gefüllt ist, vor sich gehen, so beobachtet man eine besondere Schichtung der Aureole, wie schon Ruhmkorf fand. Quet, Grove und andere Physiker haben diese Erscheinung weiter untersucht, und nach van der Willigen<sup>317)</sup> scheint dieser Vorgang von der Verzögerung herzurühren, welche durch die induzierte Entladung bei ihrem Eintritt hervorgerufen wird, weil derselbe imstande war, diese Erscheinungen mit einer gewöhnlichen Elektrisiermaschine hervorzurufen, indem er die Konduktoren derselben mit dem elektrischen Ei in Verbindung brachte und die Dauer der Entladung mit Hilfe eines eingeschalteten angefeuchteten Bindfadens vergrößerte. Der von Ruhmkorf erdachte Apparat kann auch zu Mienenentzündungen benutzt werden, überhaupt in allen den Fällen, bei welchen es darauf ankommt, in großer Entfernung und fast augenblicklich einen Funken zu erzeugen, der energische Wärmewirkung hervorruft.

In dieser Periode der Geschichte der Elektrizität nehmen Oersted, Ampère, Arago und Faraday den ersten Platz ein: Oersted entdeckte das Grundprinzip des Elektro-Magnetismus, Ampère das Gesetz der Erscheinungen, die sich daraus ableiten lassen, Arago den Rotations-Magnetismus, Faraday endlich die Ursachen und Eigenschaften der Induktionsströme.

<sup>313)</sup> Poggend. Ann., Bd. XLVI, pg. 107, 1839. Compt. rend. de l'Ac. des sc. de l'Inst., t. VIII, pg. 406, 1839. — <sup>314)</sup> Compt. rend., t. XVI, pg. 772. — <sup>315)</sup> Description de l'appareil de Ruhmkorf par M. Du Moncel. Compt. rend., 1855, pg. 313. Becquerel et E. Becquerel, Traité d'électricité, t. III, pg. 238. — <sup>316)</sup> Compt. rend., t. XXXVI, pg. 418. — <sup>317)</sup> van der Willigen, Professor der Math. am Athenaeum illustre zu Deventer. Poggend. Ann., Bd. 97, pg. 494, 1856. Ann. de chimie et de phys., Série III, t. L, pg. 126.

Oberlehrer Dr. B. Gühne.