

Auszug aus dem Fachbuch «Radios von gestern»  
(Ernst Erb)

Wir haben die Seitennummerierung so eingesetzt, dass sie dem Buch entspricht.

Copyright Ernst Erb

[www.radiomuseum.org](http://www.radiomuseum.org)

## ENTDECKUNGEN DER FRÜHEN NEUZEIT

Stellen Sie sich eine Zeit ohne Elektrizität, ohne Erdöl mit seinen Auswirkungen auf Transport und Chemie und ohne rasche Übermittlung von Informationen vor, um die jeweilige Tragweite einzelner Erkenntnisse ins Bewusstsein zu bringen.

Die ersten Entdecker, die Phänomene der Elektrizität aufklären halfen, stammen aus ganz verschiedenen Berufen und Ständen. Man hatte viel Zeit (ebenfalls 24 Stunden am Tag - wie heute!) und der Erkenntnisstand der Wissenschaften war so gering, dass einige Personen - Universalgenies genannt - sämtliche Wissenschaften beherrschten.

Zunächst könnte Neid aufkommen beim Gedanken, mit welcher «einfachen» Entdeckungen damals der Eingang in die Geschichte möglich war. Versuchen wir jedoch, uns dem mentalen Entwicklungsstand der Menschen, ihrer Vorstellungswelt sowie den Möglichkeiten betreffend Materialien und Techniken anzunähern, sind einzelne Entdeckungen als ganz erstaunlich zu werten.

Sie ergaben sich selten aus konkreten Anwendungszielen, sondern kommen einem vor wie der Beginn eines Puzzle-Spieles. Es ist nicht klar, wo die einzelnen Teile einmal hingehören. Verfolgen wir dieses interessante «Spiel»!

### Reibungselektrizität

Schon beim Kämmen von trockenen Haaren mit einem gut isolierenden Kamm lassen sich im Dunkeln gut sichtbare elektrische Funken erzeugen. Versuchen Sie es einmal! Wie der griechische Ursprung des Wortes und griechische Schriften zeigen, ist die **Reibungselektrizität** (Triboelektrizität) sehr lange bekannt. In der bereits unter Magnetismus erwähnten Arbeit von **Gilbert** (London) aus dem Jahre 1600 stellt er Untersuchungen über die Stoffe **corpora** und **vis electrica** an, die nach dem Reiben leichte Körper anzuziehen vermögen. 1663 konstruiert **Otto von Guericke** eine **Reibungselektriermaschine**. Sie funktioniert mit drehbar gelagerten Schwefelkugeln [149]. **Hauksbee** verbessert sie durch einen Glasball wesentlich [138]. 1672 entdeckt der Philosoph Gottfried Wilhelm von **Leibniz**, dass die «Leuchtwirkungen» der Maschine aus elektrischen Entladungen bestehen. Um 1730 entwickeln St. **Gray** und **du Fay** eine Lehre von der Reibungselektrizität.

Charles François de Cisternay **Du Fay** (Frankreich ca. 1698-1739 Paris) leitet Elektrizität durch einen nassen Bindfaden und unterscheidet 1733 zwei Arten, nämlich **Glas-** und **Harz-Elektrizität**. 1778 führt Georg Christoph **Lichtenberg** (Ober-Ramstadt 1742-1799 Göttingen) dafür die Bezeichnung **Plus-** und **Minus-Elektrizität** ein. Er verwendet eine mit Menningepulver und Bärlappsamen bestreute Platte, mit der er einen gelben Stern mit Verästelungen bei «positiver» oder einen roten Fleck bei «negativer Elektrizität» erhält [190]. Da die physikalischen

Verhältnisse noch nicht bekannt sind, wählt man zufälligerweise die Stromrichtung verkehrt.

Zur kontinuierlichen Erzeugung von Reibungselektrizität dienen mehrere Apparate. Folgende haben sich durchgesetzt:

### Reibungs-Elektriermaschine

Durch ein Reibzeug R, das durch Federkraft an eine drehende Glasscheibe G presst, lädt sich G auf. Das Reibzeug besteht aus amalgamierten Lederkissen. An einer bestimmten Stelle wird die Ladung mittels eines in der Nähe befindlichen Saugkammes von metallenen Spitzen S abgezogen. Im Konduktor K sammeln sich die Elektronen. Er besteht aus einer isoliert angebrachten Metallkugel, die mit dem Saugkamm metallisch verbunden ist.

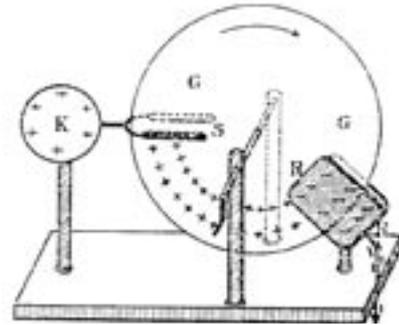


Bild «Z1» E29 [109-173]  
Reibungs-Elektriermaschine

**«Die auf der Scheibe durch das Reibzeug hervorgerufene Ladung gelangt durch die Drehung zwischen die Saugkämme und ruft in diesen und dem damit leitend verbundenen Konduktor Influenz hervor. Infolge der Spitzenwirkung strömt ungleichnamige Influenzelektrizität auf die Scheibe und neutralisiert deren Ladung. Die Scheibe geht also neutral aus den Saugkämmen hervor und kann durch das Reibzeug erneut elektrisch geladen werden. Je nachdem, ob man die positive oder negative Elektrizität benötigt, leitet man das Reibzeug oder den Konduktor der Maschine zur Erde ab»** [109].

**«Die Reibungs-Elektriermaschine wird 1743 von Hansen (1693-1743) erfunden, von Bose (1710-1761) durch Anbringung des Konduktors und schliesslich von Johann Heinrich Winkler (1703-1770 Leipzig) durch Hinzufügung des Reibzeuges verbessert»** [109]. 1780 gelingt es an der Universität Erlangen, mittels einer Elektriermaschine Funken von 25 cm Länge zu erzeugen [127].

### Influenz-Elektriermaschine

**Holtz**, geb. 1836, erfindet 1865 eine **Influenz-Elektriermaschine** mit zwei gefirnissten Glasscheiben, von denen die kleinere drehbar und die grössere feststehend ist. Die Scheiben weisen diametrale Ausschnitte auf. In diese Ausschnitte ragen zwei von Papierbelägen ausgehende Stanniolspitzen hinein. Den Belägen gegenüber ist vor der drehbaren Scheibe ein zweimal rechtwinklig gebogenes Leitersystem angebracht. Dieses trägt nahe der drehbaren Scheibe Saugkämme und im vorderen, den Scheiben parallelen Teil zwei Kugeln mit veränderbarem Abstand.

### Selbsterregende Influenz-Elektriermaschine

Sowohl die Reibungs-Elektriermaschine als auch die Influenz-Elektriermaschine haben nur eine gute Wirkung bei geringer Luftfeuchtigkeit.

**Wimshurst** (1833-1903) baut hingegen 1882 eine **selbsterregende Influenzmaschine**, die trotz feuchter Witterung funktioniert. Diese Maschine verfügt über zwei gleich grosse, nach entgegengesetzten Richtungen drehbare Hartkautschuk- oder gefirniste Glasscheiben, die mit einer grossen Anzahl radial und isoliert aufgeklebter Stanniolstreifen versehen sind. Kleine, an zwei Querkonduktoren angebrachte Metallpinsel schleifen abwechselnd auf diesen Streifen und direkt auf den Scheiben. Zwei gegenüberliegende, die Scheiben umfassende Saugkämme sind mit den verstellbaren Polen der Maschine verbunden.

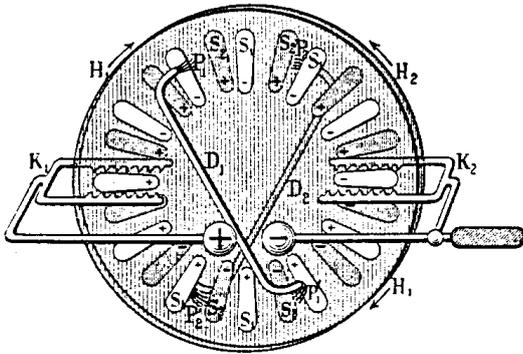


Bild «Z1» E30 [109-176]  
Selbsterregende Influenzmaschine nach Wimshurst, perspektivische Darstellung

Hat, was bei Drehung der Scheibe zwangsläufig eintritt, einer der Stanniolstreifen eine schwache, etwa positive Ladung bei Drehung der Scheibe erhalten, ruft diese Ladung - gegenüber angekommen - Influenz im Querkonduktor hervor. Daher erhält der sich entfernende Stanniolstreifen negative Ladung und berührt durch die Drehung zunächst den Pinsel. Durch Influenz erhält ein zweiter, eben vorbeidrehender Stanniolstreifen positive Ladung usw. Eine genauere Beschreibung der etwas komplizierten Verhältnisse sprengt diesen Rahmen. Schon mit einer kleinen Maschine von 25-30 cm Durchmesser entstehen Funken von 5 cm Länge.

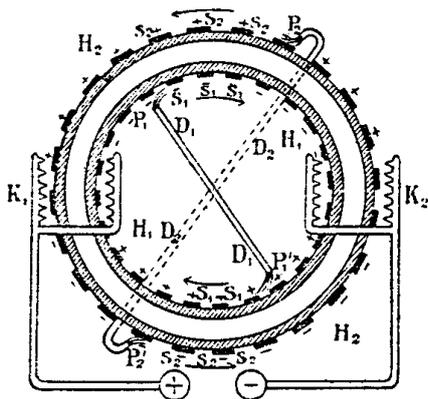


Bild «Z1» E61 [109]  
Influenzmaschine nach Wimshurst, schematische Darstellung

### Bandgenerator

Der moderne **Bandgenerator** ist die Weiterentwicklung der Influenzmaschine. Nach [133] hat **Van de Graaff** diesen Apparat erfunden. Durch Ladungstrennung am bewegten Band sind mehrere Millionen Volt zu erzeugen! Das Gerät dient noch heute für Versuche.

### Kondensator und Leidenerflasche

Die Elektriziermaschine trennt elektrische Ladungen und sammelt sie in einem Kondensator. In der Fachliteratur gilt das Symbol C für die Kapazität - das Fassungsvermögen - eines Kondensators. Als Kondensator dient ursprünglich die Leidenerflasche, die zunächst aus einem mit Wasser gefüllten Glasgefäss besteht. Die «Geschichte der Leidenerflasche» ist amüsant und interessant zugleich:

Ewald Jürgen **von Kleist**, Jurist (Vietsow, Pommern 1700-1748 Köslin, Pommern), entdeckt am 11.10.1745, dass er einen elektrischen Schlag erhält, wenn er isoliert aufgehängte und danach elektrisch geladene metallische Gegenstände berührt. Er berichtet darüber vier Bekannten. Aus meinen Unterlagen geht nicht hervor, dass er bereits eine Flasche mit Wasser verwendet.

Pieter **van Musschenbroek** (Holland ca. 1691-1761 Leiden, Holland) ist Arzt in Leiden (früher Leyden geschrieben) und ein Freund **von Kleist's** aus der Studienzeit in Leiden. Ihm missfällt es, dass die Ladung einer Metallkugel infolge ständiger Berührung mit Luft mehr oder minder schnell verloren geht. Er unternimmt Versuche mit einer Glasflasche, in die er Gegenstände legt, und verwendet auch leitendes Wasser. **Cunaeus**, ein Gast, erhält den ersten Schlag! **Musschenbroek** stellt verschiedene Versuche an und berichtet dem Pariser Physiker **Réaumur** im Januar 1746 u.a.: **«Das Glas muss aus Deutschland seyn, auch selbst das Holländische ist nicht geschickt dazu»** [1-97].

Der Abt (Abbé) **Nollet**, ein Experimentator und Freund von **Réaumur** händigt den Brief der Redaktion der französischen Akademie aus und lässt später seinen ganzen Konvent mit einem Mal in die Luft hüpfen. Die Entdeckung wird ein Hit. Bald ziehen Gaukler als «Elektrizierer» mit der **Leidenerflasche** herum.

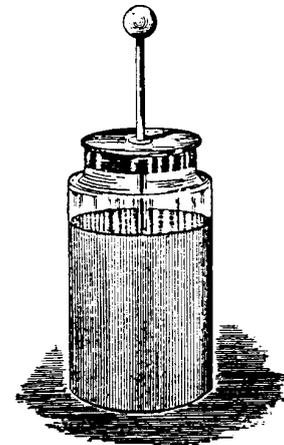


Bild «Z1» E31 [138-23]  
Endgültige Form der Leidenerflasche durch Watson (1748)

Experimentatoren arbeiten nun überall an ernsthaften Versuchen mit der «Flasche von Leyden». **Winkler** nimmt sich eifrigst der Experimente an und verfasst eine Abhandlung. Daniel **Grath**, der Bürgermeister von Danzig, beschreibt, dass dieselbe «Erschütterung» eine Menge von Personen erfasst, die sich an den Händen halten. Er verwendet am 20.4.1746 eine Batterie von Flaschen (also mehrere Flaschen parallel) und beschreibt, dass mehrere, in ihrer Intensität abnehmende Funken «herauszulocken» sind [1-106]. Am 7.5.1746 wendet **Winkler** die Kondensator-Batterie an [149].

Sir William **Watson** (1715-1787) ersetzt die flüssige Füllung durch Bleischrot. John **Bevis** (1693-1771) umkleidet die Flasche mit Stanniol. 1746 demonstriert Abbé **Nollet** die Gleich-

zeitigkeit der Wirkung elektrischer Ladungen [83021]. Am 23.10.1746 berichtet Benjamin **Wilson** der **Royal Society**, dass die Aufnahmefähigkeit der Flasche proportional zur Grösse der bedeckten Glasfläche und zur reziproken Dicke des Flaschenglases ist.

Die Royal Society (Royal Institution) bildet die britische Akademie der Wissenschaften (AdW), eine neuzeitliche Institution, die von Platons Akademie ausgeht. Namhafte Gelehrte schliessen sich zwecks Förderung der Wissenschaften zusammen, wobei die Wahl zur Mitgliedschaft als Auszeichnung gilt (Fellow). Als erste neuzeitliche AdW für Naturwissenschaften entsteht die Royal Society 1660 (1662) in London (erste Akademie der Neuzeit 1470 in Florenz). Es folgen Akademien in Berlin (1700), Madrid (1713), Petersburg (1725), Philadelphia USA (1780), Paris (1795 Institut de France) etc. Nachdem **Watson** herausgefunden hat, dass eine beidseits mit Stanniol belegte Glasplatte (**Kondensator, Plattenkondensator**) wie die gebräuchliche Leidenerflasche wirkt, ersetzt er 1748 auch die Schrotfüllung der Flasche durch eine an die Innenseite geklebte Metallfolie. Damit erhält die Leidenerflasche ihre endgültige Form. Am 8.6.1892 erhält Desider **Korda** (Paris) das deutsche Patent für den **Drehkondensator**. 1902 führt diesen Adolf **Koepsel** (Berlin 1856-1933 Berlin) als **Abstimmelement** in die Funktechnik ein.

## Leiter und Signale

1638 unternimmt der **Marquis von Worcester** telegrafische Versuche, 1763 errichtet **Edgeworth** eine **Telegrafienlinie** zwischen London und Newmarket zu seinem Privatgebrauch und 1684 unterbreitet Robert **Hooke** Vorschläge zur Herstellung von Fernschreibmaschinen [111]. 1695 experimentiert Guillaume **Amontons**, ein Physiker aus Paris, mit einem optischen Telegrafen. Er befestigt auf den langsam kreisenden Flügeln einer Windmühle Buchstaben [149].

St. **Gray** und **Wheeler** erkennen 1720 die Wirkung der Induktion. Sie definieren 1727 (gemäss [149] am 2.7.1729) **Leiter** und **Nichtleiter**, nachdem Anthony **Wood** 1726 bewusst einen metallischen Leiter benutzt hat.

1731 senden **Du Fay** und St. **Gray** Signale über Kupferdraht. **Winkler** benutzt 1744 bei Experimenten die **Erde als Leiter** und veröffentlicht im gleichen Jahr Gedanken über die Elektrizität als Medium der Informationsübermittlung [149].

1750 berichtet der später berühmte Staatsmann Benjamin **Franklin** (Boston, Mass. 1706-1790 Philadelphia) über seine Experimente mit Ladungen und Leitern und erfindet das Prinzip des **Blitzableiters**. 1752 führt er erfolgreich **Drachen-Experimente** durch, um eine bessere «**Antenne**» zu erhalten. Er verfasst 1747 zudem einen wissenschaftlichen Bericht über die Leidenerflasche.

1753 schlägt E. **Marshall** (Schottland) vor, einen **Telegrafen** unter Nutzung der elektrostatischen Kräfte geladener Leiter auf Holundermarkkugeln zu realisieren.

1774 baut Georges Louis **Lesage** (1724-1803) in Genf einen **Telegrafenapparat** mit Reibungselektrizität und benutzt dazu einen isolierten **Leiter**. 1782 berichtet er von seinen Gedanken über eine unterirdische elektrische Telegrafienlinie mit 24 in Tonröhrchen verlegten Metalldrähten. Bald darauf gibt es Ideen über **Funkentelegrafen**: 1794 von H. **Reusser**, Genf und J.L. **Boeckmann**, Karlsruhe, 1795 von T. **Cavallo** und 1796 versucht Francisco **Salvy y Campillo** eine Funkentelegrafienlinie Madrid-Aranjuez über 50 km einzurichten [241]. Optisches Telegrafensystem 1774 errichtet England zwischen London, Portsmouth und Newmarket ein **Telegrafensystem**, das mit optischen Signalarmen (Flügelsignal) arbeitet, wobei hochgelegene Posten im Abstand von 10-12 km angelegt sind. 1826 erweitert sich

das System durch den Anschluss von Liverpool und Holyhead [131-7]. 1794 realisiert Claude **Chappe**, Mönch in Frankreich, auf Kirchtürmen zwischen Paris und Lille einen optischen Telegrafen, der als Signalarmensystem (Semaphores) über 22 Stationen funktioniert. 196 verschiedene Zeichen befinden sich im Gebrauch. 1791 hat er mit seinen beiden Brüdern Abraham und Ignace im Departement Sarthe eine Versuchsanlage gebaut [111]. Am 15.8.1794 telegraphiert man von Lille aus, dass die von Frankreich abgefallene Condé wieder zurückerobert sei. Folgende weitere Verbindungen ab Paris entstehen darauf: Strasbourg, Calais, Brest, Toulon und Metz. Die Kirche ist zu dieser Zeit in Frankreich aufgehoben, und **Chappe** nimmt die Ernennung als Leiter der Telegrafensysteme darum gerne an. Eine Meldung nach Calais dauert drei und nach Strasbourg ca. sechs Minuten. Das Übertragen einer Botschaft auf der Strecke Toulon-Paris mit ihren 100 Türmen benötigt 20 Minuten. Schweden, Dänemark, Polen und Russland übernehmen das System, obwohl zwei Mann pro Turm vorzusehen sind.

Am 16.4.1809 nehmen die Österreicher München ein. **Napoleon** erhält durch den Telegrafen von **Chappe** so rasch Nachricht, dass er am 22.4. vor München erscheinen und dieses zurückerobern kann. Schon drei Tage später kann darum Bayerns Herrscher **Maximilian** wieder in seine Hauptstadt zurückkehren [111]. In Deutschland genehmigt **König Friedrich Wilhelm III.** 1832 den Bau des optischen Telegrafen zwischen Koblenz und Berlin. Die Linie führt über Dahlem (Turm Dorfkirche), Potsdam (Telegrafenberg), Brandenburg an der Havel, Magdeburg, Braunschweig, Hildesheim, Paderborn, Werl, Köln und Bonn. Wegen mehrfacher Zensur verschiedener Ministerien ist sie selten benutzt [111].

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts sind zwar Leiter und statische Elektrizität bekannt, jedoch keine Möglichkeit, eine leistungsfähige Spannung zu erzeugen. Man hat sich vorerst mit optischen Signalsystemen zu begnügen, um Informationen möglichst schnell über weite Distanzen zu bringen.

## Spannungsquellen für Dauerleistung

Luigi **Galvani**, Naturforscher (Bologna 1737-1798 Bologna), leitet einen neuen Abschnitt der Elektrizität ein. Er berichtet 1791 über die Existenz «tierischer Elektrizität» als Ergebnis seiner **Froschschenkel-Versuche** von 1786. Vorher ist lediglich die statische Reibungselektrizität bekannt. Die «galvanische Elektrizität» heisst in der Folge während einiger Zeit «Berührungselektrizität».

Wir wissen heute: Getrennte elektrische Ladungen und damit «elektrische Wirkungen» entstehen auf verschiedene Weise. Immer ist Energie aufzuwenden, um die Ladungen zu trennen. Beispiele bilden Reibungsenergie, chemische Energie (Batterie), Strahlungsenergie (Solarzelle) usw.

Alessandro Graf **Volta**, Physiker (Como 1745-1827 Como), erkennt 1796 die grundsätzliche Wirkungsweise der Elektrizität und entwickelt 1799 ein «**galvanisches Element**», eine «Batterie» für elektrischen Strom. 1800 berichtet er dem Präsidenten der **Royal Society**, Sir Joseph **Banks**, über seine Erfindung und deren Wirkungsweise. 1801 führt er sie in Paris **Napoleon Bonaparte** vor.

**Volta** legt abwechselnd Zink- und Silberscheiben aufeinander und erzeugt so elektrischen Strom. Er stellt mehrere **Elemente** hintereinander, um die erzielte Spannung zu vervielfachen, was als **Serienschaltung** gilt. Später kommt in Salzwasser getränkte Pappe zwischen die Metallstücke. In seiner mehr als 35jährigen Forschungszeit hat er auch den **Elektrophor** (Gerät zur wiederholten elektrostatischen Aufladung eines Leiters durch Influenz an einem elektrisch geladenen

Nichtleiter) und ein **Elektrometer**, **Elektroskop** oder elektrostatisches Messwerk genannt, erfunden. Dies ist ein Instrument zum nahezu leistungslosen Messen von Spannungen. Es funktioniert mit einem Kondensator kleinster Kapazität mit einer beweglichen Platte, verbunden mit Zeiger. Deshalb schreiben einige Autoren Volta die Entwicklung des **Plattenkondensators** zu. Korrekter ist 1748 die Erfindung von W. **Watson**. **Volta** teilt die Materialien in Leiter, Halbleiter (demi-deferent) und Nichtleiter ein. Die Masseneinheit der elektrischen Spannung (U) heisst nach ihm Volt (V). Allerdings hatte J.G. **Sulzer** (1720-1779) die elektro-chemischen Wirkungen zweier unterschiedlicher Metalle dreissig Jahre vor Volta wahrgenommen [233] und dies 1762 (vorher in französischer Sprache) veröffentlicht. T. **Cavallo** (1749-1804) erwähnt 1797, dass J. **Robinson** abwechselnd Zinkstücke in der Grösse eines Schilling mit Schillingstücken übereinanderlegte und so 1792 bereits elektrischen Strom erhielt [233].

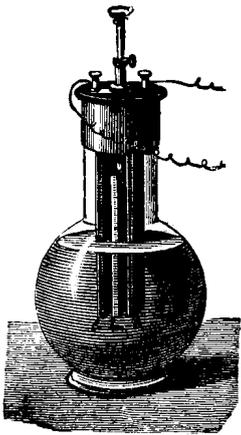


Bild «Z1» E25 [244-23]  
Chromsäure-Element von Grenet

J.W. **Ritter** (1776-1810) zerlegt im September 1800 mit der Säule Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff und baut 1802 eine «**Voltaische Zink-Kupfer-Batterie von 600 Lagen**» [233], benutzt den Ausdruck **Spannung** und stellt einen elektrischen Lichtbogen (wie **Davy** in England, **Petrow** in Russland und G. **de la Rive** in der Schweiz) her. Wasilij **Petrow** (1761-1834) benutzt 4200 Scheiben aus Kupfer und Zink. Weitere Erfinder wie John Frederic **Daniell** (London 1790-1845 London) im Jahre 1836, **Grove** und Robert Wilhelm Eberhard **Bunsen** (Göttingen 1811-1899 Heidelberg) verbessern die Batterie. **Bunsen** führt 1841 das **Zink-Kohle-Element** und 1852 [233] weitere Verbesserungen ein; **Poggendorff** erfindet 1842 das **Chromsäure-Element** und **Grenet** bildet daraus eine praktisch verwendbare Spannungsquelle in Flaschenform [244].

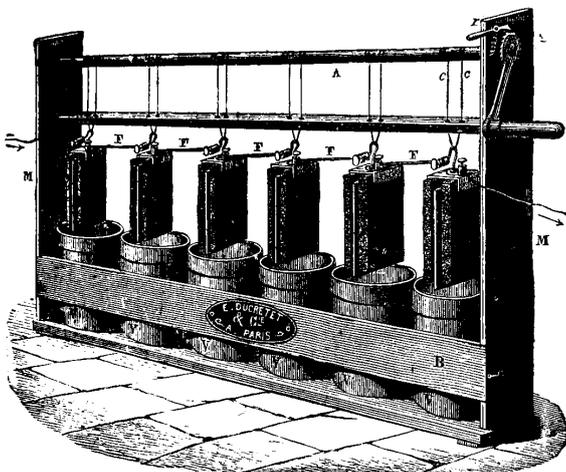


Bild «Z1» E27 [244-33]  
Chromsäure-Batterie von Ducretet & Lejeune

Die **Flasche von Grenet** hält sich lange als Spannungsquelle, da sie einfach zu warten ist. Da eine Zersetzung des Zinks auch ohne Stromentnahme erfolgt, entstehen verschiedene Einrichtungen, mit denen ganze Batterien von Elektroden aus dem Bad zu nehmen sind. Dem Franzosen **Leclanché** gelingt schliesslich 1866 mit einem Depolisator aus gepresstem Mangandioxyd (**Braunstein**) der Durchbruch. Dieser **Depolisator** hat sich bis zum heutigen Tag in zahlreichen Batterietypen erhalten. Die billigeren Batterien funktionieren mit Zink-Kohle-Elementen und enthalten den Depolisator von **Leclanché**.

## THEORETIKER ALS WEGBEREITER

Theoretiker sind meist promovierte Mathematiker oder Physiker, aber auch viele Experimentatoren erreichen zu dieser Zeit erstaunliche theoretische Ziele. **Römer** hat zum Beispiel bereits 1675 die **Lichtgeschwindigkeit** errechnet! Allerdings kennen wir viele Fehlbehauptungen nicht. Wir wissen lediglich, dass mit fortschreitender Technik oft allgemein akzeptierte Theorien zu verändern oder sogar aufzugeben sind. Unglaublich, wieviel Zeit oft verstreicht, bis man von den Theoretikern klar definierte Gesetze in der Praxis anwenden kann.

### Theoretische Entwicklungsschritte

Die **Elektrochemie** entwickeln Johann Wilhelm **Ritter** (ca. 1777-1810 München), J.J. **Berzelius** und Humphry **Davy** (Penzance-Cornwall 1778-1829 Genf) weiter. Es folgen die Entdeckung des **Elektromagnetismus** durch **Oersted** 1819, der **Thermoelektrizität** durch **Ritter** 1798 und **Seebeck** 1821 sowie der Elektrodynamik durch André Marie **Ampère** 1822-26, Physiker und Mathematiker (Lyon 1775-1836 Marseille). **Ampère** entdeckt, dass stromdurchflossene Leiter sich anziehen oder abstossen. Er beschreibt die Richtung des Magnetfeldes eines Stromes, die Erklärung des Magnetismus durch **Molekularströme** und die **elektrodynamische Theorie**. Nach ihm heisst die Masseinheit des elektrischen Stroms (I) Ampere (A). **Neumann** und Wilhelm **Weber** (Wittenberg 1804-1891 Göttingen) fassen ca. 1825-28 die Erkenntnisse als **Fernwirkungstheorie** zusammen, die sich später als falsch erweist. Mit der Aufstellung des Ohmschen Gesetzes 1827 durch Ohm und der Beschreibung der **Induktion** durch **Faraday** 1831 finden die theoretischen Entdeckungen einen gewissen Abschluss. Hinzuzufügen ist, dass 1815 Augustin-Jean **Fresnel** (ca. 1787-1827 bei Paris) eine exakte **Wellentheorie des Lichtes** und 1821 die Theorie transversaler Lichtwellen angibt [149]. **Maxwell** entwickelt 1856 die Theorie des elektromagnetischen Feldes und fasst 1865 die Arbeiten Faradays über Elektrizität zusammen. Er stellt eine einheitliche Theorie auf, die alle elektrischen und darüber hinaus die Erscheinungen des Lichtes beschreibt (Elektromagnetische Lichttheorie). Mit seiner brillanten Arbeit widerlegt er die Fernwirkungstheorie. Seine theoretischen Erkenntnisse gelten heute noch, obwohl sie damals unbeweisbar waren und nahezu in Vergessenheit gerieten. Ohne diese Erkenntnisse wären Radiowellen nicht denkbar. Untersuchungen über den Durchgang der Elektronen durch Gase (**Faraday** 1837, **Hittorf** 1869, **Crookes** 1879) führen zur Entdeckung der **Kanalstrahlen (Goldstein)**, deren Wesen **Perrin**, **Thomson**, **Lenard** und **Wien** klären. 1895 entwickelt Hendrik Antoon **Lorentz** (1853-1928) die «**neue Elektronentheorie**». Nach den Experimenten von **Hertz** unternimmt 1896 A. **Righi** Untersuchungen an speziellen Oszillatoren, die Millimeterwellen erzeugen können. Mit der Aufstellung der Quantentheorie (**Quantenelektrodynamik**) ist die Lorentzsche «Theorie von kleinen Körpern» widerlegt, und der Nachweis des Atomzerfalls leitet die jüngste Epoche der Elektronen-Lehre ein («Zweite Quantelung»).