

# Auserwählte Experimente zur Darstellung



## der Entwicklung der Elektrizitätslehre



Henning Lammers  
Christian Gymnasium Hermannsburg  
Klasse 13

StD Thomas Biedermann  
Fahrweg 12  
29320 Hermannsburg

## Inhaltsverzeichnis

1.Einleitung	3
2.Die Entwicklung von Elektrizität und Magnetismus bis ins 18. Jahrhundert	3
2.1. Vorüberlegungen zum geschichtlichen Teil	3
2.2. "Elektrische Vorgeschichte"	4
2.3. 1785 - Charles A. De Coulomb: Die Ladung im Ruhezustand	4
3.1. Praktischer Teil: Alessandro Volta und die Kontaktenergie: Die Volta'sche Säule	5
4.Die Entwicklung mit der Batterie	7
4.2. 1819 - Hans C. Ørsted: Der Magnetismus wird untrennbar an die Elektrizität gekoppelt	7
5.2. Praktischer Teil: André M. Ampère und der Elektromagnetismus: Die Kraftwirkung zweier stromdurchflossener Leiter	7
6.Die Entwicklung mit dem „elektrischen Feld“	10
6.1. 1826 – Georg S. Ohm: Das Ohm'sche Gesetz	10
7.3. Praktischer Teil: Michael Faraday und die Umkehrung des Ampère'schen Versuchs: Die Induktion	10
8.Die Entwicklung bis Maxwell am Ende der klassischen Physik	13
8.1. 1834 – Heinrich F. E. Lenz: Die Richtung des Induktionsstroms	13
8.2. 1845 – Gustav R. Kirchhoff: Regeln für Stromnetzwerke	13
8.3. 1864 – James C. Maxwell: Das Fundament für die wissenschaftliche Betrachtung des Elektromagnetismus	13
8.4. Probleme mit dem geschichtlichen Teil	14
9.Schluss	14
10.Anhang	14
10.1. Quellenverzeichnis	14
10.2. Bilderverzeichnis	15

# 1. Einleitung

Mein Projekt heißt „Auserwählte Experimente zur Darstellung der Entwicklung der Elektrizitätslehre“ und es geht, wie der Name schon sagt, neben dem praktischen Teil um eine Entwicklung. Die Idee dazu kam mir in der Schule während des Physikunterrichts. Häufig wird dort nur der Inhalt einer Entdeckung im Bezug auf unsere heutige Kenntnis und unseren heutigen Umgang mit Technik gesetzt. Mir fehlte dabei immer, abgesehen von der oberflächlichen geschichtlichen Einordnung wie etwa Jahreszahlen, auch der Gedankengang der Forscher. Wie sind sie darauf gekommen, ein Experiment so anzusetzen? Auf welches Wissen konnten sie aufbauen? Welche Mittel hatte man zu der Zeit zu Verfügung? Wie war es überhaupt aufgebaut?

Solche Fragen werden im Physikunterricht natürlich nicht oder kaum angesprochen, schließlich steht die Theorie hinter der Erkenntnis im Vordergrund, alles andere gehört eher in den Geschichtsunterricht. Dort wird dies aber nicht thematisiert, sodass man sich dem aus eigener Interesse widmen muss.

Ich habe die Arbeit auf eine - für eine wissenschaftliche Arbeit - wahrscheinlich untypische Art aufgebaut. Ich möchte den geschichtlichen Ablauf, die Chronologie der Entdeckungen, so gut wie möglich im Vordergrund behalten. Deshalb befindet sich der praktische Teil in dem jeweiligen Jahr, in dem das dazugehörige Experiment stattfand, er ist also chronologisch eingeordnet.

Bei dem Praxisteil habe ich mich auf die drei meiner Meinung nach wichtigsten Versuche beschränkt. Dabei geht es um die Volta'sche Säule, die Kraftwirkung zweier stromdurchflossener Leiter und der Induktion.

Für die Volta'sche Säule habe ich mich entschieden, da mit ihr zum ersten Mal hohe Ströme erzeugt werden konnten. Man kannte von den Elektrisiermaschinen her nur hohe Spannungen, der Bau der Batterie ermöglichte neue Untersuchungen zugunsten dem Verständnis der Elektrizität und erste technische Geräte wie Lampen.

Durch die Kraftwirkung der Leiter nur 20 Jahre später wurde der Magnetismus und die Elektrizität unzertrennbar miteinander verbunden. Es war sogar zu sehen, dass das eine als eine Wirkung des anderen zugrunde liegt. Der Grundsatz dieser Erkenntnis ist heute in jedem Haushalt im Gebrauch.

Mit der Induktion konnte dieses Phänomen umgekehrt genutzt werden. Es war damit auch gezeigt, dass es möglich ist, mit einem Magnetfeld ein Strom zu „erzeugen“. Es war der Grundstein für den Bau von Transformatoren und später dann von Generatoren.

Da es sich bei der Jugend-Forscht Arbeit trotzdem um eine naturwissenschaftliche Arbeit handelt, sind die geschichtlichen Teile alle in einer kleineren Schrift geschrieben, damit mehr Platz für die physikalische Praxis bleibt. Auch habe ich es so gut wie möglich gekürzt, damit es nicht langweilig wird.

## 2. Die Entwicklung von Elektrizität und Magnetismus im 18. Jahrhundert

### 2.1. Vorüberlegungen zum geschichtlichen Teil

#### **Definition zur Auswahl der erwähnten Physiker:**

Ich habe die hier erwähnten Physiker nach der Wichtigkeit ihrer Entdeckungen und gegebenenfalls der früheren Veröffentlichung gleicher Erkenntnisse ausgewählt. Dabei musste ich auf einige verzichten, obwohl diese erwähnenswert gewesen wären. Ebenso habe ich einige weggelassen, auf deren Wissen später aufgebaut wurde, da es sonst zu viel geworden wäre. Es handelte sich um Wissen, das von vielen Hobbyforschern und Gelehrten des öfteren gefunden wurde, zumeist in verschiedenen Ländern. Deshalb konnten verschiedene Forscher darauf aufbauen, obgleich die Kommunikation zwischen den Physikern und Chemikern sehr gering war und sie sehr unwahrscheinlich vom „ersten Entdecker“ gehört hatten.

Dann habe ich nach zulässigen Quellen gesucht, sowohl im Internet, was sich mit einigen Ausnahmen als Zeitver-

schwendung erwiesen hatte, da dort häufig viel zu allgemeine bis hin zu nichtssagenden Texten veröffentlicht waren. In einer Bibliothek habe ich dagegen gutes Material gefunden, auf das ich mich hier meist beziehe, aber nicht ausnahmslos, da auch viele von den sehr spezifischen Informationen aus dem weltweiten Netz sind.

Nach Emilio Segrès „Die großen Physiker und Ihre Entdeckungen“ [1] und Henning Boëtius’ „Geschichte der Elektrizität“ [2] gliedern sich die Anfänge der Elektrizität nach den folgenden Personen. In nächsten Kapitel wird die lange Strecke der ersten elektrischen Beobachtung bis hin zu den Coulomb’schen Gesetzen kurz angerissen.

## 2.2. „Elektrische Vorgeschichte“ – Die ersten bedeutenden Entdeckungen

**Thales von Milet** (640 – 545 v. Chr.) war der Erste, der die Erkenntnis der anziehende Kraft des Bernsteins niederschrieb. Er konnte das Phänomen zwar nicht erklären, bezeichnete es aber schon so, wie wir es heute immer noch kennen: Elektron (gr.  $\eta \lambda \epsilon \kappa \tau \rho \omicron \upsilon$  = Bernstein)[3, S.1].

**William Gilbert** (1540 – 1603) veröffentlichte 1600 sein berühmtes Buch „De Magnete“, „Über den Magneten“ [4, Z.2], in welchen er grundlegende Erkenntnisse über den Magnetismus festhielt. Unter anderem zeigte er, dass Magnetnadeln sich immer nach einem Pol ausrichten. Er fand weitere durch Reibung elektrisierte Körper (u.a. Glas) und führte den Begriff „elektrisch“ ein.

**Otto von Guericke** (1602 – 1686) baute eine Schwefelkugel und versetzte sie mit verschiedenen Mineralien. Durch seine Versuche fand er heraus, dass die „Elektrica“ auch eine abstoßende Wirkung haben (Feder schwebt) und das sie ein Leuchten erzeugen konnte (bläuliches Glimmen). Damit leitete er das „elektrostatische Zeitalter“ ein, in welchem die Effekte der Elektrizität meist zu Unterhaltungszwecken genutzt wurden und man die Theorie vernachlässigte.

**Ewald Georg von Kleist** (ca. 1700 – 1748) entdeckte 1745 per Zufall das Prinzip der Leidner Flasche und **Petrus van Musschenbroek** (1792 – 1761) machte sie der Öffentlichkeit zugänglich. Bei der Idee, Wasser zu elektrisieren, bekam Kleist einen heftigen Schlag, als er mit einem Nagel die Flüssigkeit berührte, in die er kurz zuvor mit einer Elektrisiermaschine Funken hat schlagen lassen. Die unterschiedlichen Ladungen, negative in der Flüssigkeit, positive an der (wohl verschwitzten) Hand, wurden angezogen, konnten jedoch nicht durch das Glas und waren so „gespeichert“. Erst als der Nagel berührt wurde, konnten die Ladungen sich ausgleichen. Die Leidner Flasche war noch bis zur Mitte des 20. Jahrhundert verwendet, bis 1950 sogar zur Speicherung von Hochspannungen.

**Benjamin Franklin** (1706 – 1790) zeigte mithilfe eines Drachen, das Gewitterluft geladen ist und Blitze nichts anderes als riesige Funken sind. An den Drachen gebunden war ein Schlüssel mit eckigen Kanten, aus denen Funken sprühten, nachdem der Drache in der Luft war. Franklin erfand auch den Blitzableiter.

**Georg Christoph Lichtenberg** (1742 – 1799) experimentierte mit Elektrophoren und fand eines morgen, als sein Assistent vergessen hatte, den Deckel wieder auf den Harzkuchen zu legen, dass der Staub sich zu Figuren auf dem Kuchen gesammelt hatte, den sogenannten Lichtenberg’schen Figuren. Als er den Kuchen andersherum auflud, änderten auch die Figuren ihr Aussehen. Lichtenberg war somit der Erste, der einen Weg gefunden hatte, mit dem man die unterschiedlichen Ladungen unterscheiden konnte.

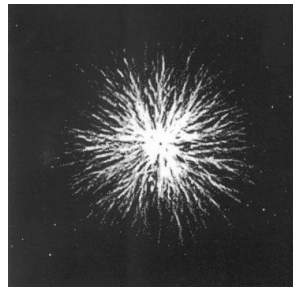


Abbildung 1:  
Staubfigur des positiv  
geladenen Kuchens

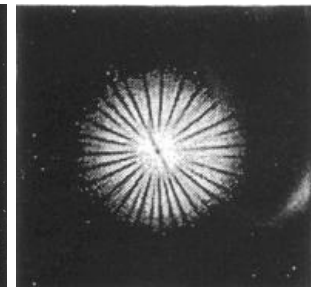


Abbildung 2:  
Staubfigur des negativ  
geladenen Kuchens

## 2.3. 1785 - Charles A. De Coulomb: Die Ladung im Ruhezustand

Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) wurde am 14. Juni 1736 in Angouleme [32, Z.2] als Sohn eines Steuereinkommers geboren. Er durfte die Ingenieursschule Mézières in Paris [33, Ab.1, Z.3] besuchen, wo er bestmöglich in Mathematik und Technik unterrichtet wurde [33, Ab. 4F].

Im Jahre 1776 baute er die Torsionswaage, mit der er kleinste Ladungen erkennen konnte. 1781 wurde Coulomb Mitglied in der Académie des Sciences in Paris. Dort veröffentlichte er Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrizität und des Magnetismus. 1785 formulierte er die Gesetzmäßigkeiten stehender Ladung, welche, zuerst in Frankreich, dann in der ganzen Welt, unter dem Begriff „Coulomb'sche Gesetze“ bekannt wurden.

Er starb am 23. August 1806 in Paris [33, Z.2].

Die „Coulomb'schen Gesetze“:

Mit diesen Gesetzen legte Coulomb den Grundstein der klassischen Elektrizitätslehre. Zur Hilfe nahm er die von ihm 1776 entwickelte Torsionswaage. Diese konnte kleinste Ladungen sichtbar machen, indem sich ein Faden verdrillt,

wenn auf den an ihm befestigten Magneten eine Kraft wirkt [34, Ab.“Torsionswaage“, Z.2f]. Mit dieser wies er nach, dass sich „entgegengesetzte Ladungen [...] proportional dem Produkt ihrer Mengen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung“ [2, S.69] anziehen, wobei Q und Q' die Mengen der jeweiligen Ladungen und r der Abstand ist. Er fand heraus, dass dies Gesetz auch für Magneten galt.

### 3. 1. Praktischer Teil: Alessandro Volta und die Kontaktelektrizität: Die Volta'sche Säule

Alessandro Volta (1745 – 1827) wurde 1745 als Sohn wohlhabender katholischer Eltern im italienischen Como geboren. Volta selbst zog das weltliche Leben dem Dienst der Kirche vor, dabei wohnte er in angenehmen, kultivierten Verhältnissen.

Seine Ausbildung war in Sprachen, seine Interesse für die Naturwissenschaften kam wohl spontan. Mit seinem Freund Gattoni, der ihm bei seinen Experimenten mit Geräten und Räumen unterstützte, fing er an, den Geheimnissen der Zeit auf den Grund zu gehen. Er schrieb einige Briefe an Physikprofessoren, die ihm rieten, mehr praktisch zu machen und nicht so viel auf die Theorie zu bauen. Tatsächlich wurde Volta eher wegen seinen Entdeckungen als wegen einer Theorie bekannt.

Durch die Erfindung des Elektrophors begann sein Ruf über Italien hinaus zu wachsen. Als Physikprofessor an der Universität in Pavia [7] machte er seine bedeutendsten Entdeckungen, so auch, inspiriert durch Galvanis Aufsätze von 1791, die Volta'sche Säule und die Spannungsreihe von Metallen.

Durch diese wurde er so bekannt, das er Ehrenposten selbst im Ausland bekam und seine Erfindung, die „Batterie“ genannt wurde (abgeleitet von dem Militärbegriff), wurde weit verbreitet, genutzt und verbessert. Schon 1801 durfte er die Säule vor Napoleon vorführen [8, 1801].

Alessandro Volta starb am 5. März 1827 im Alter von 82 Jahren auf seinem Landsitz in Camnago bei Como [8, 1827].

Die Volta'sche Säule:

Die Volta'sche Säule gilt als Voltas größte Erfindung. Sie ist das Ergebnis von den Erkenntnissen der Spannungsreihe der Metalle und dem Konkurrenzdruck der zwei zwischen ihm und Luigi Galvani (1737 – 1798) existierenden Theorien, der „tierischen Elektrizität“ und der „Kontaktelektrizität“.

Galvani fand heraus, dass Froschschenkel zucken, wenn man sie mit zwei Metallen berührt. Er war davon überzeugt, das es sich um Elektrizität des Tieres handeln musste, da der Schenkel auch zuckte, als er sein Froschpräparat bei Regen an einem Kupferhaken an seinen verzinkten Balkon hin.

Volta hingegen nahm an, dass der Grund des Zuckens an den zwei Metallen lag. Er zeigte, das auch in salziges Wasser getauchte Lappen zuckten, wenn man sie mit unterschiedlichen Metallen berührte. Mit vielen Versuchen fand er heraus, das die Metalle alle in eine bestimmte Reihe zu bringen sind, die Volta'sche Spannungsreihe der Metalle. Auch wusste er, dass man eine Flüssigkeit (Elektrolyt) dazu nehmen musste und, dass Wasser sehr schlecht geeignet war. Die Lösung hierzu fand man aber erst im 20. Jahrhundert. Eine Hintereinanderschaltung von Metall - Flüssigkeit – Metall (heutiger Begriff: galvanische Zelle oder galvanisches Element) brachte

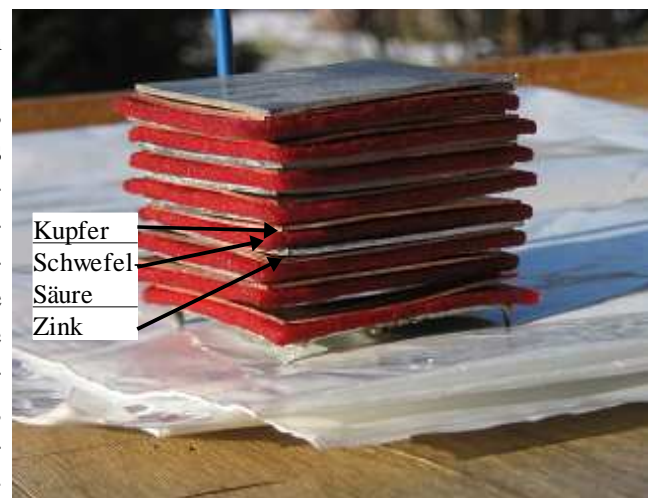


Abbildung 3: Aufbau der Volta'schen Säule:  
Acht galvanische Elemente (Kupfer – Schwefelsäure - Zink)

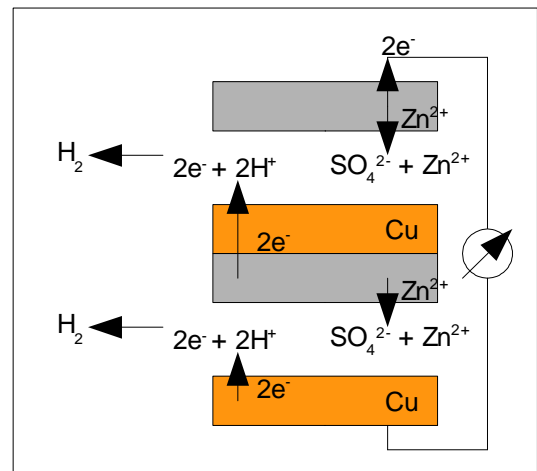
im Jahre 1800 den Erfolg. Volta schaltete mehrere dieser Zellen, er benutzte Kupfer – mit Salzwasser getränkte Lederscheiben [11, Z.3f] – Zink, hintereinander in Form einer Säule, und konnte damit zum ersten Mal hohe Ströme erzeugen. Nachdem er das Salzwasser durch Schwefelsäure [12, S.1, Ab.3] und Kupfer durch Silber ersetzt hatte, waren diese sogar relativ konstant.

Richtig erklären konnte aber auch Volta seine Erfindung nicht. Er glaubt, ein Perpetuum mobile entdeckt zu haben, da er annahm, das Metall und das Elektrolyt würden sich nicht verändern und quasi für immer so bleiben.

Ich habe meine Säule aus 20 galvanischen Elementen gebaut, dabei Kupfer und Zink als Elektroden verwendet und 0,1 molarige Schwefelsäure als Elektrolyt, da ich die konstantere Version für eine spätere Vorführung bauen und gleichzeitig sicher gehen wollte, das die Säule wirklich funktioniert. Die quadratischen Zink- und Kupferplättchen habe ich aus den entsprechenden Blechen geschnitten, in der Größe 16cm<sup>2</sup>. Für die Schwefelsäure konnte ich auf Filz zurückgreifen, da dieses Flüssigkeiten gut aufnimmt. Damit diese Filzscheiben gut durchtränkt sind, habe ich sie einzeln in einen mit der Säure befülltes Schälchen getunkt und dann auf die jeweiligen Zinkplatten gelegt. Da wir gerade Elektrochemie in der Schule haben, war mir der Aufbau der Säule weitgehend bekannt, sodass ich kaum auf Probleme traf, abgesehen davon, das ich mit einer Säure arbeitete und das etwas Vorsicht benötigt.

In einem Element der Säule (Zink – Schwefelsäure – Kupfer) passiert nun folgendes:

Da das Zink unedler ist als das Kupfer, gibt es die Elektronen ( $2e^-$ ) ab, sodass die Unterseite negativ geladen wird und die Oberseite positiv. Das Zink geht als Zinkion ( $Zn^{2+}$ ) in die Elektrolytlösung. Die Elektronen gehen über das Kupfer ebenfalls in Lösung (aber in die nächst Untere, wenn man Abb. 3 anschaut). Dort verbinden sich die Elektronen mit dem Wasserstoffionen ( $2H^+$ ) der Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) und treten als Wasserstoff ( $H_2$ ) aus, der Rest des Säure ( $SO_4^{2-}$ ) bleibt in der Lösung. Kupfer dient hier nur als „Ableitелеktrode“, da es selbst nicht an der Reaktion teilnimmt, sondern nur Elektronen ableitet, und  $Zn^{2+}$  und  $SO_4^{2-}$  neutralisieren einander. Wenn nun der Stromkreis nicht geschlossen ist, dann kann die unterste Zinkplatte die Elektronen nicht abgeben. Sie lädt sich negativ auf, die gesamte Reaktion kommt zum Erliegen. Die Kupferplatte ist im Vergleich dazu positiv geladen und wir haben die erste Batterie der Welt.



Zeichnung 1: Die Reaktion des galvanischen Zink-Kupfer Elements

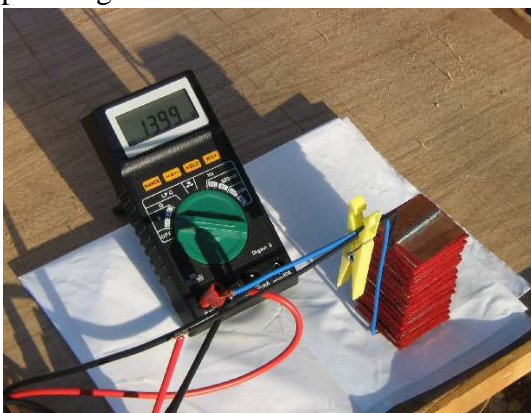


Abbildung 4: Die komplette Säule mit der gemessenen Spannung von 13,99V

Bei meinem eigenen Versuch habe ich eine Spannung von 13,99V (siehe Abb. 4) mit insgesamt 20 galvanischen Elementen gemessen.

Die Volta'sche Säule brachte große Vorteile in die Forschung, da sie ihren Strom selbst produzierte und nicht wie zuvor die Leidner Flaschen oder Kondensatoren aufgeladen werden musste. Sie hatte aber auch einen wirtschaftlichen Nutzen. Die Volta'sche Säule hat das Leben der damaligen Menschen um vieles leichter gemacht, bildet somit den Anfang der klassischen Elektrizitätslehre und leitet das „Elektromotorische Zeitalter“ ein.

## 4. Die Entwicklung mit der Batterie

### 4.1. 1819 - Hans C. Ørsted: Der Magnetismus wird untrennbar an die Elektrizität gekoppelt

Hans Christian Ørsted (1777 – 1851), häufig auch Oersted geschrieben, war Sohn eines dänischen Kleinstadt-apothekers. Er studierte Medizin, Physik und Astronomie an der Kopenhagener Universität und wurde wie sein Vater Apotheker. Später wurde er Professor für Naturphilosophie, ebenfalls an der Universität Kopenhagen [15, Z.6]. Nach der Entdeckung Voltas fing auch er an, wie so viele andere Wissenschaftler, mit Strömen zu experimentieren.

1820 veröffentlichte er seinen Aufsatz über seine Entdeckung und Experimente. Bei einer Vorlesung dessen vorgetragen von Dominique François Arago (1786 – 1853) saß André Marie Ampère mit im Saal, der es daraufhin schaffte, „eine vollständige quantitative Theorie der Ørsted'schen Beobachtungen zu liefern“ [1, S.206].

Ørsted starb am 9. März 1851 in Kopenhagen.

Der „elektrische Conflict“ [13, S.3]

Bei einer Vorführung vor Studenten [14, Z.1] führte er einen stromdurchflossenen Leiter über eine Kompassnadel. Zufällig fiel ihm ins Auge, dass die Nadel abgelenkt wurde. Durch weitere Untersuchungen stellte er fest, dass es eine Kraftwirkung auf den von Strom durchflossenen Leiter gibt, wenn ein Magnet in die Nähe kommt. Dieses Phänomen nannte Ørsted den „elektrischen Conflict“ [13, S.3]. Er legte auch die Richtung der Ablenkung fest, wählte sie jedoch ungeschickt, da sie sich an Himmelsrichtungen orientieren [13, S.4].

Richtig geschlussfolgert war seine These, dass die Kraft kommt von einem magnetischen Feld kommt, das durch den Leiter, also den elektrischen Strom, verursacht wird [16, S.23], was Ampère später in eine Theorie formte.

## 5. 2. Praktischer Teil: André M. Ampère und der Elektromagnetismus: Die Kraftwirkung zweier stromdurchflossener Leiter

André Marie Ampère (1775 – 1836) wurde als Sohn einer wohlhabenden Familie in Polémieux-au-Mont-d'Or [18, Z.2], ein Dorf in der Nähe von Lyon, geboren. Er war schon als Kind überdurchschnittlich intelligent, besuchte aber keine öffentliche Schule. Sein gesamtes Wissen, das er in jungen Jahren sich aneignete, las er sich durch die Bücher bei sich zu Hause oder in der Bibliothek an. Damit er die Bücher zweier bekannter Mathematiker lesen konnte, lernte er binnen einiger Wochen Latein. Kraftlos und verstört durch die Hinrichtung seines Vaters während der französischen Revolution blieb er sein Leben lang ein Sonderling.

Er führte ein überwiegend chaotisches Leben und war somit das Bild des „typischen Physiklehrers“. Sein Ruhm als Mathematiker und Naturforscher (die einzelnen Naturwissenschaften waren damals noch nicht getrennt) verbreitete sich schnell, ihm wurden alle möglichen Ämter zugesprochen. Ebenfalls 1804 wurde er Professor an der Lycée of Lyon [19, Ab.2, Z.1] (Lycée entspricht dem Gymnasium). 1808 wurde er zum Oberschulrat ernannt.

Er starb am 10. Juni 1836 in Marseilles [18, Z.1f].

Sein wissenschaftliches Arbeiten lässt sich in drei Abschnitte einteilen: Der Mathematik, der Chemie und als letztes der Elektrodynamik, mit der er sich von 1820 bis 1827 beschäftigte. Dort gelangten ihm auch seine bekanntesten Experimente, so auch die Entdeckung Kraftwirkung auf zwei stromdurchflossene Leiter:

Als Ampère am 11. September 1820 den Vortrag Aragos über das Phänomen Ørsteds hörte, befasste er sich weiter mit den Beobachtungen und schlussfolgerte aus zahlreichen eigenen Versuchen, dass der Magnetismus auf viele Kreisströme im Inneren zurückzuführen sei. Dafür nahm er ein Gleichnis zur Hilfe. Würde man annehmen, dass erst die Wirkung des Stroms auf die Magnetnadel bekannt sei, und danach festgestellt würde, dass der Kompass sich an einem Erdmagnetfeld orientiert, käme man auf den Schluss, dass es im Inneren der Erde riesige Kreisströme gibt, die die Nadel immer nach Norden zeigen ließe.

Wenn dies bei der Erde so ist, dann muss es in einem Magneten auch so sein. Er stellte damit den Magnetismus und die Elektrizität auf eine Stufe. Zur damaligen Zeit war das ebenso ungläubig

wie nahezu unbeweisbar. Mit Magneten hatte man sich schließlich schon seit über 200 Jahren beschäftigt, ohne das jemand eine Gleichheit zur Elektrizität angenommen oder gar gefunden hatte. Außerdem sprach das bis dato vorhandene Wissen über Strom dagegen, da Strom meist nur von Volta'schen Säulen genutzt wurde. Diese lief mit der „Kontakt-Elektrizität“, welche zwei verschiedene Metalle voraussetzte; Magneten schienen aber aus nur einem Stück zu bestehen. Selbst im Inneren der Erde können verschiedene Metalle für diese Ströme verantwortlich sein.

Ampère versuchte daraufhin, sich seinem Ziel auf umgekehrten Weg mit einem indirekten Nachweis zu nähern, indem er nicht die Ströme im Magneten zeigt, sondern dass Ströme auch die Eigenschaft eines Magneten annehmen können. Er entwarf Experimente, in welchen er versuchte, stromdurchflossene Spulen mit Magneten von ihrer ursprünglichen Position abzulenken. Er benutzte dazu am Anfang lange, zylindrische Spulen, die in der Form einem Stabmagneten ähnelten, um eine gute Imitation dazustellen. Dazu probierte er verschiedene Stoffe aus, die er in die Spulen steckte, um die Magnetisierung zu überprüfen. Alle Versuche zeigten Erfolge, sodass Ampère seine Hypothese bald als Theorie wahrnahm und sowohl in Briefen als auch in seinen Abendvorträgen davon berichtete.

Danach ging er dem Gedanken nach, die magnetische Kraft zwischen zwei Spulen zu untersuchen und fand auch dort ein Versuch, der dies zeigte. Er befestigte eine Spule an einer Art Schaukel, die andere fest der ersten gegenüber. Ließ man nun einen Strom durch die Spulen fließen, kam es zur Anziehung oder Abstoßung. Diese Effekte ließen sich sogar noch durch Einschub einiger Stoffe wie einem Eisenkern verstärken.

Trotzdem suchte er noch an einer Festigung seiner Theorie, also einem Gesetz zu der Wechselwirkung der zwei Ströme. Dazu untersuchte er, ob diese Wirkungen auch bei einfachen Drähten und nicht nur bei Spulen auftraten.

Ampères Experiment zur Untersuchung der Kraftwirkung auf zwei stromdurchflossene Drähten ist ebenso einfach wie deutlich. Er legte zwei Leiter nebeneinander, wobei der eine als Schaukel gelagert war, sodass er bei der Wirkung der Kraft entweder angezogen wurde (parallele Stromrichtung), oder abgestoßen wurde (antiparallele Stromrichtung); in beiden Fällen schaukelte der Draht. Die Schaukel war ein langes, rundes Stück Holz, an dessen Enden jeweils ein Nagel befestigt war. Die Nägel waren mit dem Draht der Schaukel verbunden. Sie wurden in zwei kleine mit Quecksilber gefüllte Schälchen aus Metall gestellt. Somit hatte Ampère eine Lagerung, durch die sich selbst geringe Kräfte nachweisen ließen, da die Reibung nur an den Spitzen der Nägel und die des Quecksilbers auftrat. Durch das Quecksilber hatte Ampère auch noch ein anderes Problem gelöst, der Strom konnte am ganzen Nagel angreifen und nicht nur an der Spitze, welche sich aufgrund der sehr kleinen Fläche stark erhitzt und den Versuch behindert hätte. Durch diese Quecksilberschalen hatte er eine feine Lagerung und trotzdem eine sichere Möglichkeit, den Strom vom restlichen Gerüst in die Schaukel zu führen. In der Mitte der Schaukel war ein Gegengewicht angebracht, das den Schwerpunkt der Schaukel nach oben setzte und diese leichter schaukeln konnte.

Das Gerüst selbst war aus zwei Metallstützen gebaut, die die Schaukel hielten und mithilfe von Sockeln auf einer Holzplatte montiert war. Die ganze Apparatur befand sich unter einem Glaskasten, damit der Versuch nicht durch winzige Stöße oder Luftbewegung verfälscht wurde. Über einen weiteren Draht waren die Stützen mit vier verschiedenen Quecksilberschalen außerhalb des Kastens verbunden. Zum einen stellte das die damals schnellste Art dar, einen Stromkreis zu schließen und schnell wieder zu öffnen (falls das erforderlich sein sollte), zum anderen konnte Ampère durch das Vertauschen zweier Drähte die Stromrichtung eines Leiters ändern, sodass aus der parallelen Schaltung schnell eine antiparallele wurde und damit auch die Abstoßung gezeigt werden konnte.

Diese Apparatur wurde aber nur zu Demonstrationszwecken und Unterstützung zu Ampères These bei seinen Akademievorträgen verwendet, er wurde nie zu Berechnungen herangezogen.

Ich versuchte mich bei meinem Nachbau an dem Vorgaben des Originals zu orientieren, was sich



als schwer erwies, da ich aus Sicherheitsgründen kein Quecksilber verwenden durfte und ich keine Größenangaben zu dem Experiment fand. Das Quecksilber vergrößerte die Fläche am Nagel, wo Strom fließen konnte, und sorgte für eine sichere Verbindung. Ich musste somit auf eine andere Weise die Elektronen in die Schaukel fließen lassen. Bei gleicher Lagerung der Schaukel, also mithilfe des Nagels in den Schälchen, verband ich sie mithilfe zweier spiralförmig gewickelten, flexiblen Leitungen mit dem Gerüst. Das Gerüst baute ich daraufhin aus Holz, einerseits aus Isolationsgründen, andererseits konnte ich die Leitungen der Spiralen gleich weiterführen.



Abbildung 5: Die Schaukel mit klassischer Aufhängung und die flexible Verbindung

Das angebrachte Gegengewicht besteht aus einer mit einer Schnalle befestigten Schraube, auf der eine Mutter aufgedreht werden kann. Somit kann der Schwerpunkt etwas nach oben versetzt werden. Doch durch die andere Stromverbindung, die ich wählen musste, nämlich der flexiblen Leitung, ist etwas steif, sodass der Versuch (wie unten beschrieben) mit Gegengewicht genauso ablief wie ohne.

Mein erster Versuch war, die Schaukel mit einem Netzgerät von maximal 1.5V und einen dazwischen geschalteten Widerstand von  $1\Omega$  zu betreiben. Jedoch daraus resultierende Strom von 1.5A war aber noch zu schwach, um eine Anziehung oder Abstoßung ersichtlich zu machen.

Meine zweite Idee war, die Apparatur an die Autobatterie von 12V anzuschließen. Damit dort kein Kurzschluss entsteht, habe ich eine Lampe mit 12V und 45W als Widerstand in Reihe dazugeschaltet. Die Stromstärke, die daraus folgt, beträgt 3,75A (gemessen 3,56A), bei laufendem Motor (14,5V) 4,12A (gemessen). Mit diesem Strom ließ sich eine geringe Anziehung und Abstoßung feststellen, allerdings noch zu gering, um bei einer Vorführung gezeigt werden zu können.

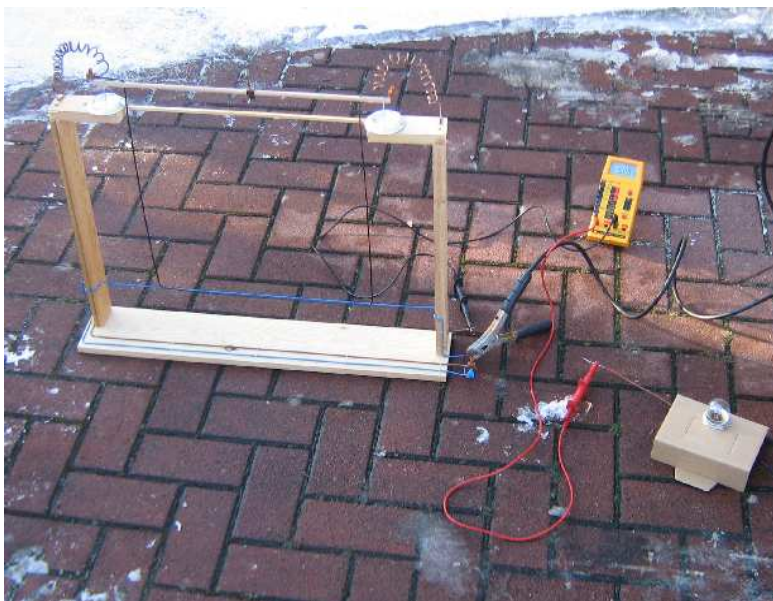


Abbildung 6: Anschluss des Apparates an die Autobatterie (Motor steht, Stromkreis geöffnet)

Mir war klar, dass die Stromstärke noch immer nicht ausreichte, und bevor ich auf eine ganz andere Stromquelle zurückgreifen musste, schaltete ich noch zwei weitere Lampen (12V, 21W) parallel zu der ersten, um den Gesamtwiderstand weiter zu vergeringern. Der Widerstand der Lampen betrug  $1,655\Omega$  und brachte eine verwendbare Stromstärke von 7,25A (7,2A gemessen), bei laufendem Motor sogar 8,76A (8,68A gemessen). Bei diesem Werten war ein Ausschlag deutlich zu sehen, ebenso ein Zurückschwingen, wenn der Stromkreis wieder geöffnet wurde. Wurde der Strom antiparallel geschaltet, kam es zur Abstoßung, was noch ein wenig ein-

drucksvoller war. Später nutzte ich den zweiten Glühfaden in der Biluxlampe, um die beiden anderen zu ersetzen, mit ähnlichen Werten. (Die praktischen Werte liegen dabei etwas unter den theoretischen, da noch ein Messgerät dazwischen geschaltet war. Auch die verwendeten Klammern und Kabel haben einen Innenwiderstand, der die Stromstärke heruntersetzt, ebenso die Apparatur an sich [  $0.3\Omega$  gemessen].)

Insgesamt habe ich die Apparatur zwei Tage lang gebaut, was daran lag, das ich im unserem Gartenhaus arbeitete und es dort weder Heizung noch helles Licht gab, was beides bei Einbruch der Dunkelheit unangenehm wurde. Den Versuch „ausprobieren“ tat ich am darauffolgenden Tag zusammen mit meinem Vater.

Den Effekt, den Ampère 1820 seinem Publikum bei einem Akademievortrag zeigte, konnte ich ohne größere Probleme mit einer herkömmlichen Autobatterie nachstellen.

## 6. Die Entwicklung mit dem „elektrischen Feld“

### 6.1. 1826 – Georg S. Ohm: Das Ohm'sche Gesetz

Georg Simon Ohm (1789 – 1854) wurde am 16. März 1789 in Erlangen als Sohn eines Universitätsschlossmeisters geboren. Ohm war schon in jungen Jahren mathematisch sehr begabt, sodass er, zusammen mit einem seiner Brüder, von seinem Vater Unterricht in Mathematik, Physik und Philosophie erhielt. Er studierte drei Semester an der Universität Erlangen, brach jedoch ab und wurde Mathematiklehrer.

In dieser Zeit begann er mit weiteren Studien von Mathematik und Physik, und nahm daraufhin 1811 sein Studium wieder auf. Er promovierte zum Dr. phil. Danach wurde er Privatdozent und, da man sich damals mit dem geringen Einkommen eines Privatdozenten nicht über Wasser halten konnte, Lehrer. 1817 kam er nach Köln, wo es ein großes Instrumentarium gab, was ihn zum Experimentieren verlieh. Er setzte sich nicht nur mit der Elektrizität auseinander, sondern forschte auch auf Gebieten der Akustik und Optik. 1826 publizierte er seine Erkenntnisse über den elektrischen Widerstand.

1833 bekam er endlich, nach vielen erfolglosen Versuchen, an einer Universität eine Professur zu erhalten, diese an der Fachhochschule in Nürnberg, der heutigen Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule. Acht Jahre später bekam er für seine Arbeiten die Copley-Medaille, vergleichbar dem Nobelpreis heute.

Er starb am 6. Juni 1854 in München und wurde dort auch begraben.

Das „Ohm'sche Gesetz“:

Mithilfe dem Torsionsamperemeter konnte Ohm 1826 die Gesetzmäßigkeit zwischen Stromstärke und Spannung herausfinden. Mit verschiedenen Versuchsanordnungen (u.a. verschiedenen Temperaturen und verschiedene Drähte) fand er heraus, dass der Strom direkt proportional zur Spannung und, bei gleicher Spannung, indirekt proportional zum Widerstand ist [23, Z.2f][24, Z.2f]. Anschließend leitete er das mathematisch ab [25, Z.2].

## 7. 3. Praktischer Teil: Michael Faraday und die Umkehrung des Ampère'schen Versuchs: Die Induktion

Michael Faraday (1791 – 1867) wurde am 22. September 1791 in Newington Butts (London) [27, Z.1] geboren. Er war Sohn einer armen und größtenteils gering gebildeten Handwerkerfamilie und genoss eine oberflächliche Schulbildung.

1812 trat er vor Sir Humphry Davy und offenbarte den Wunsch Wissenschaftler zu werden. Im Februar 1813 [27, Z.4f] wurde er als Assistent engagiert und somit Mitglied der Royal Institution. Er interessierte sich für die Chemie und wurde Gehilfe von Davy. Aus seinen Aufzeichnungen kann man erkennen, dass Faraday eigentlich eher Chemiker war und, ohne seine Erfolge in der Elektrotechnik, heute wohl als bekannter Chemiker bekannt wäre.

Mit 33 Jahren wird er Mitglied in der Royal Society, ein Jahr später wird er von Davy zum Direktor der Royal Institution vorgeschlagen und angenommen.

Seine bekanntesten Entdeckungen gelangten ihm in der Zeit von 1830 bis 1839. Dort setzte er sich mit dem Elektromagnetismus auseinander, fand die Induktion und baute daraufhin den ersten Dyna-

mo (vom griechischen:  $\delta \upsilon \nu \alpha \mu \iota \sigma$  = Kraft) [16, S.28].

Er benutze auch Eisenspäne, um die magnetische Kraft sichtbar zu machen. Auf den Bildern, die er dann erhielt, konnte man das Feld sehen. So ließ sich seine Theorie vom „magnetischen Feld“ beweisen.

Schon in jungen Jahren klagte Faraday über Kopfschmerzen und Gedächtnisverlust. Besonders stark waren diese Symptome von Überarbeitung in den Jahren 1839, sodass er sich bis 1844 beurlauben lassen musste. Heute hat man die Vermutung, dass dies die Folge einer Quecksilbervergiftung war, unter der damals viele Chemiker litten, da die schädigende Wirkung von Quecksilber noch nicht bekannt war.

1845 setzte er sich noch einmal mit der magnetischen Wirkung auf Licht auseinander, da er glaubte, alle Kräfte (Elektrizität, Magnetismus, Licht, Gravitation, etc.) in Zusammenhang zu stellen, was ihm auch gelang. Er machte damit den ersten Schritt in der elektromagnetischen Wellentheorie.

In den Fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts ließ er aber mit dem Experimentieren nach, da er wieder an Gedächtnisverlust litt. 1862 machte er sein letztes Experiment, drei Jahre später gab er den Lehrstuhl in Chemie ab, ebenso alle weiteren Ämter.

Es wurde mit seiner Gesundheit immer schlimmer, bis er am 25. August 1867 [27, Z.1] in Hampton Court [28, Z.2] (London) starb.

Die Induktion:

Als 1821 Ørsted die Ablenkung einer Kompassnadel durch den stromdurchflossenen Leiter fand, fing Faraday daraufhin an, sich mit dem Thema Elektrizität zu beschäftigen. Bereits kurze Zeit später konnte er die Beobachtungen Ørsteds bestätigen. Er fand sogar heraus, dass die magnetische Kraft im rechten Winkel zu dem Leiter stand. Für ihn, wie für viele weitere Wissenschaftler auch, stellte sich die Frage, ob der Effekt sich umkehren lasse, ob also der Magnet Strom erzeugen könne. Faraday dachte gut 10 Jahre darüber nach, durch fehlschlagende Experimente nicht aufhaltend, bis er im Sommer 1831 folgenden Aufbau wählte:

Er nahm einen Eisenring und wickelte zwei Spulen herum. Das eine Ende verband er mit einer Batterie (wahrscheinlich noch eine Voltasche Säule), das andere Ende soll er laut Aufzeichnungen im Internet an ein Galvanometer angeschlossen haben. Ob er dabei eine Seite bevorzugte und dort mehr Windungen verwendete, ist nicht klar zu erkennen.

Als er den Stromkreis schloss, sah er dass das Galvanometer ausschlug, aber nur, wenn er den Schalter betätigte, nicht, wenn nur ein Strom in einer Spule floss. Das war der entscheidende Punkt, nach dem er gesucht hatte. Bereits Ende September hatte er die Induktion experimentell nachgewiesen. Daraufhin baute er den ersten Dynamo, der mit Wechselfeld lief, jedoch nur geringe Ströme lieferte. Dabei ließ er die Spule drehen, während der Magnet fest ist. Die Lage zum Magneten änderte sich ständig und es wurde ein Strom induziert. Am Ende des Jahres hatte er bereits riesige Fortschritte gemacht und das Fundament für die heutige Elektrotechnik gelegt.

Bei dem Experiment von Michael Faraday stand ich von Anfang an vor dem Problem, keine Information finden zu können. Zwar gab es, wie oben kurz erwähnt, Zeichnungen im Internet, u.a. bei Leifi, die von Faraday selbst gezeichnet worden sein sollen, aber auch dort gab es keine genaueren Erläuterungen zu den dargestellten Bildern. Ich musste bei diesem Versuch vieles selbst entscheiden, was der Physiker damals vielleicht anders machte. So zum Beispiel fand ich nirgends die Windungszahl der beiden Spulen, und auch nicht irgendwelche Größenangaben zu seinem Experiment. Es war noch nicht einmal sicher, ob er einen ganzen Eisenring genommen und jede Spule einzeln gewickelt hat, oder fertige Spulen auf einen geöffneten Ring schob und ihn danach einfach zusammendrückte, bis sich die Enden berührten.

Ich entschied mich, es so aufzubauen, wie es auf den Seiten zu erkennen war. Ich wickelte zwei Kupferdrähte um einen Eisenring, den ich aus einem Gepäckträger teil zurecht gebogen hatte. Dabei nahm ich beim ersten Mal 50 Windungen für beide Seiten und an der „Primärseite“ das Netzgerät mit 1,5A. Auf der „Sekundärseite“ schloss ich ein einfaches, digitales Multimessgerät an, das bei einem Eingangsstrom von 1A einen Innenwiderstand von  $0,15\Omega$  besitzt (laut Angabe im Betriebsheft). Bei dieser Messung war jedoch kein Induktionsstrom zu messen.



Abbildung 7: Der Ring, links die Primärwindung, rechts die Sekundärwindung

Daraufhin vergrößerte ich die Anzahl der Windungen an der Sekundärseite auf 100, da ich mir nicht sicher war, ob der Aufbau mit nur 50 Windungen überhaupt schon gelingen konnte. Heutige Transformatoren, selbst kleine wie die einer Klingel, haben schon mehrere Hundert. Doch auch dann kamen abgesehen von einigen Ausnahmen keine Ströme am Messgerät an, und mir waren die Ausnahmen zu selten und zusammenhangslos, als dass ich mich hätte darauf stützen können.

Um zu testen, ob ich überhaupt zu einem Ergebnis kommen würde, versuchte ich kurz, ob bei einer Wechselspannung Induktion stattfinden würde. Ich nahm einem alten, kurzschlussgesicherten „Fischer-Technik“-Trafo und erhielt Messergebnisse von 30 bis 35 mA bei einer Spannung von 8,6V. Es funktionierte also, nur noch nicht gut genug für einen Nachweis bei Gleichspannung.

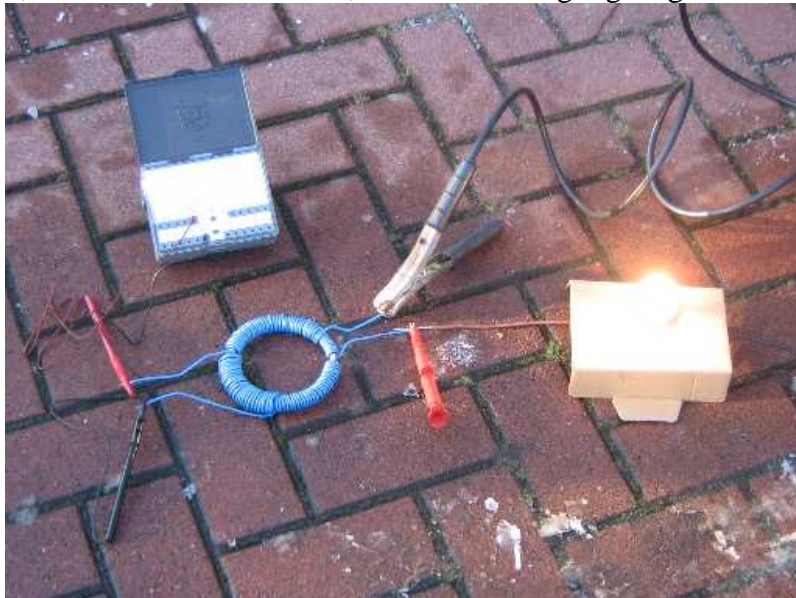


Abbildung 8: Der Aufbau des Induktionsexperimentes mit dem analogen Messgerät (Motor steht)

Ich erhöhte nochmals meine Windungen, diesmal auf 85 auf der Primär- und auf 125 auf der Sekundärseite. Dieses Mal nahm ich auch wieder die Autobatterie mit bei laufendem Motor 14.5V. Ich schaltete dieselben Widerstände wie bei Amperes Apparatur dazwischen (Später wieder die Biluxlampe) und hatte wieder einen Strom von ca. 8,7A. Mein Digitalmessgerät zeigte einen induzierten Strom von durchschnittlich 10mA. Mir fiel auf, dass sich das Magnetfeld noch etwas hielt, denn wenn man den Stromkreis ein zweites Mal schloss und der Strom in dieselbe Richtung floss, war der Induktionsstrom sehr gering, beim dritten Mal nicht mal mehr zu sehen. Tauschte ich jedoch jedesmal die Pole, floss der Strom also jedesmal andersherum, musste sich auch das Magnetfeld zwangsläufig ändern, denn es waren gute Messungen zu sehen. Doch auch dort kamen manchmal gar keine Messungen heraus, und ich frage mich, ob dass nicht vielleicht sogar am Messgerät selber lag und es zu langsam maß oder die Anzeige zu langsam für die schnelle Änderung des Stroms war. Ich schloss ein altes analoges Amperemeter von meinem Vater an, und ein schöner Ausschlag beim Anschließen und Abnehmen der Verbindung zu Batterie war zu sehen.

Auch dieser Versuch nahm zwei Tage in Anspruch, was nicht etwa am komplizierten Aufbau lag, denn das ist er nicht, sondern vor allem am langen Herumraten und -probieren, warum das Messgerät solche Angaben machte, aus denen ich nicht schlau wurde und die mir nicht weiter halfen. Selbst mein Vater beteiligte sich später an der Suche und fand auch die Lösung mit seinem alten Analog-Messgerät.

Auch dieser Versuch nahm zwei Tage in Anspruch, was nicht etwa am komplizierten Aufbau lag, denn das ist er nicht, sondern vor allem am langen Herumraten und -probieren, warum das Messgerät solche Angaben machte, aus denen ich nicht schlau wurde und die mir nicht weiter halfen. Selbst mein Vater beteiligte sich später an der Suche und fand auch die Lösung mit seinem alten Analog-Messgerät.

## 8. Die Entwicklung bis Maxwell am Ende der klassischen Physik

### 8.1. 1834 – Heinrich F. E. Lenz: Die Richtung des Induktionsstroms

Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 – 1865) wurde am 12. Februar 1804 in Dorpat – Russland (heute Tartu in Estland) geboren. Er studierte dort von 1820 bis 1823 Physik. 1828 wurde er Hochschullehrer, 1830 Mitglied der Academy of Science in St. Petersburg und vier Jahre später Professor an der Universität.

Seine bedeutendste Entdeckung machte er 1833, die Identität der Richtung des Induktionsstroms. Veröffentlicht wurde es ein Jahr später. 1835 fand er heraus, dass der Widerstand von der Temperatur abhängig ist.

Er starb am 10. Februar während eines Erholungsurlaubs in Rom.

Die „Lenz'sche Regel“:

Die Lenz'sche Regel besagt, dass eine induzierte Spannung stets dem Verursacher entgegen wirkt, der Strom versucht also, „die Bewegung, durch die er hervorgerufen wurde, zu hemmen“ [40, Z.3].

### 8.2. 1845 – Gustav R. Kirchhoff: Regeln für Stromnetzwerke

Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) wurde am 12. März 1824 in Königsberg (heute Kaliningrad) geboren. 1842 fing er sein Mathematikstudium an. Beeindruckt durch seinen Mentor und Physikprofessor Franz Neumann (1798 – 1895) wendete er sich der Physik zu. Später wurde er Professor an der Universität in Heidelberg durch seinen Freund Robert Wilhelm von Bunsen (1811-1899) [42, Z.1], den er in Breslau kennen gelernt hatte.

Kirchhoff lebte 21 Jahre in Heidelberg. Hier gelangten ihm seine bekannten Experimente und Entdeckungen, so auch Spektralanalyse, die er zusammen mit Bunsen durchführte, die Strahlungsgesetze und die Untersuchung des Sonnensystems. Kirchhoff hatte viel Spaß an seinen Vorträgen und Vorlesungen und arbeitete gewissenhaft.

1874 ging er dann aber doch nach Berlin an die Preußische Academy und Universität, obwohl es ihm schwer fiel, sich an sein neues Leben zu gewöhnen. 1880 fing er an zu schwächeln, ab 1884 durfte er von seinen Ärzten aus nicht mehr unterrichten.

Ab 1860 stellten sich erste Beeinträchtigungen ein, hervorgerufen durch, wie man damals dachte, Überanstrengung. Er starb am 17. Oktober 1887 in Berlin an einem Gehirntumor, der Grund für seine Schwäche.

Die „Kirchhoff'schen Gesetze“:

Die Gesetze wurden schon während der Studienzeit aus einer Physikaufgabe seines Professors heraus formuliert. Dabei geht es um die Verteilung des Stroms in verzweigten Stromkreisen. Die Knotenregel besagt, „dass die Summe aller Ströme, die in ein Netzwerk hinein- und aus ihm herausfließen, gleich null ist“ und die „Maschenregel“ besagt, „dass die Summe aller Spannungen in einer Netzwerkmasche gleich der Summe aller Produkte  $I \cdot R$  in dieser Masche ist“.

### 8.3. 1864 – James C. Maxwell: Das Fundament für die wissenschaftliche Betrachtung des Elektromagnetismus [16, S. 47]

James Clerk Maxwell (1831 – 1879) wurde am 13. Juni 1831 [43, Z.1] in Edinburgh geboren. Er wuchs in Glenlair, dem Landsitz seiner relativ bekannten Familie, auf. In jungen Jahren wird er von Freunden als sehr wissbegierig beschrieben. 1841 ging er auf die Academy in Edinburgh. Es stellte sich heraus, dass er ein brillanter Schüler war. Mit nur 15 Jahren schrieb er einen Aufsatz an die Royal Society über ein geometrisches Verfahren zur Zeichnung von Ovalen, welcher auch veröffentlicht wurde. 1847 ging er an die Universität in Edinburgh und studierte Mathematik, Physik und Philosophie. Dort fing er auch an zu experimentieren. Sein Tutor bemerkte das große Können in der Physik. Maxwell zählte zu den zwölf „Aposteln“, den zwölf besten Studenten in einem Fach.

1850 wechselte er an das College in Cambridge. Dort traf er während einer Vorlesung William Thomson, mit dem er später noch zusammen arbeitete. Dann beschäftigte er sich mit seinen Lieblingsthemen, der Elektrizität und der Farbtheorie. Er hielt Vorlesungen über das Farbsehen und das erste Farbbild. Seine Studien über die Elektrizität begannen 1855 unter Einfluss von M. Faraday's Studien und seinem Kollegen Thomson, seinem mathematischen Vorbild. 1856 schrieb er seinen ersten Aufsatz „On the Faraday's Lines of Forces“. Darin bestätigt sich nochmal die Bewunderung für Faraday.

1864 schrieb er seinen zweiten Aufsatz. „a dynamical theory of the electromagnetic field“, in welchem er die berühmten nach ihm benannten Gleichungen formulierte. Ein Jahr später zog er sich auf das Landgut Glenlair zurück, um seine Arbeiten über die Elektrizität zu schreiben. Diese Texte gelten heute als eine der wichtigsten Texte der Physik überhaupt. 1873 wurden seine Arbeiten in endgültiger Form unter dem Namen „Treatise on electricity and Magnetism“ in erster

Auflage veröffentlicht, weitere folgten. Dieses Buch gilt selbst heute noch als schwer zugänglich, bekannt wurden die Theorien darin erst richtig durch Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894) und Henri Poincaré (1854 – 1912). Im Sommer 1879 bekam Maxwell Magenbeschwerden. Die kamen durch Magenkrebs, an dem auch seine Mutter schon starb. Maxwell erlag ihm am 5 November 1879 im Alter von 48 Jahren.

Die „Maxwell'schen Gleichungen“:

Die Maxwell'schen Gleichungen sind hoch mathematische Arbeiten. Sie „beschreiben die elektromagnetischen Felder und ihre zeitliche Abhängigkeit vollständig in sowohl differenzieller als auch integraler Form“ [45, Z. 1f].

#### **8.4. Probleme mit dem geschichtlichen Teil**

Probleme gab es viele, schon bei banalen Sachen, mit denen ich gar nicht rechnete. So hatte ich häufig verschiedene Daten, vor allem bei Publikationen der einzelnen Wissenschaftler, aber auch bei Geburts- und Todesdaten (z.B. Ohm, einmal \*1789 [22], einmal \*1787 [16]); verschiedene Angaben von Namen (Sir Humphry Davy [1] oder Sir Humphrey Davy [16], jedoch schon nicht mehr in der Arbeit enthalten). Ich habe mich meist an die Angaben von Emilio Segrè gehalten, weil er als Nobelpreisträger den größten souveränen Eindruck machte.

Des weiteren versuchte ich, den geschichtlichen Teil eines Forschers so knapp wie möglich zu halten und hinter jeder „Kurz-Biographie“ die wissenschaftliche Entdeckung oder das Experiment kurz anzureißen. Das war jedoch nicht immer einfach, da ich manchmal zu sehr hätte ins Detail gehen müssen, um es verständlich wiederzugeben, wofür der Platz nicht reichte (z.B. Bei den Maxwell'schen Gleichungen).

## **9. Schluss**

Insgesamt bin ich mit der Arbeit sehr zufrieden, obwohl doch ein großer Teil leider dem geschichtlichen Teil zugeordnet werden muss. Das liegt vor allem daran, dass es die ganzen Experimente schon einmal gab und dokumentiert sind, zumindest den ungefähren Aufbau und Ablauf. Somit bleibt viel für den geschichtlichen Teil über, da die Erklärung der Funktionsweise und der Versuchsaufbau auch dazu zählen.

Bedanken möchte ich mich noch bei Thomas Biedermann für seine Hilfe und freundliche Unterstützung sowie bei all meinen Freunden, die mich mit Zeit und einer sicheren Internetverbindung (wir hatten nämlich keine mehr) geholfen haben. Zu guter Letzt danke ich meinem Vater, der mich immer mit Rat unterstützt hat und nicht glauben wollte, dass die Volta'sche Säule vom Prinzip her wirklich funktioniert, und mir damit immer noch mehr Anreiz gab, meine Arbeit zu schreiben.

Macht's gut, und danke für die Hilfe.

## **10. Anhang**

### **10.1. Quellenverzeichnis**

- [1] Segrè, Emilio, Die grossen Physiker und ihre Entdeckungen, München, 1997
- [2] Boetius, Henning, Geschichte der Elektrizität, Weinheim Basel, 2006
- [16] Sjobbema, D.J.W., Die Geschichte der Elektronik, Aachen, 1999

Thales von Milet  
[3] Elektron.pdf

William Gilbert  
[4] <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Dmagint.htm>

Charles Coulomb  
[32] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph12/geschichte/01coulomb/coulomb.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph12/geschichte/01coulomb/coulomb.htm)

[33] <http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/%7Ehistory/Biographies/Coulomb.html>

[34] <http://arc.iki.rssi.ru/mirrors/stern/earthmag/Dglossar.htm#dm101>

Alessandro Volta

[5] [http://de.wikipedia.org/wiki/Alessandro\\_Volta](http://de.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta)

[6] <http://www.northlakecomo.com/deutsch/comersee.html>

[7] [http://de.wikipedia.org/wiki/Universit%C3%A4t\\_Pavia](http://de.wikipedia.org/wiki/Universit%C3%A4t_Pavia)

[8] <http://www.pctheory.uni-ulm.de/didactics/geschichte/Geschichte%20der%20Elektrochemie/modern/volta.html>

[10] [www.uni-miskolc.hu/~dephyma/physik/fleiss/norbi/klasse11/phys11L39.doc](http://www.uni-miskolc.hu/~dephyma/physik/fleiss/norbi/klasse11/phys11L39.doc)

[11] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph10/musteraufgaben/03\\_spannung/voltasaeule/voltasaeule.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/musteraufgaben/03_spannung/voltasaeule/voltasaeule.htm)

[12] Alessandro\_Volta.pdf

Hans Ørsted

[13] Die Elektrodynamik von Oersted bis Ohm.pdf

[14] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph10/geschichte/oersted/oersted.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/geschichte/oersted/oersted.htm)

[15] [http://encyclopedia.jrank.org/correction/edit/?content\\_id=22584&locale=en](http://encyclopedia.jrank.org/correction/edit/?content_id=22584&locale=en)

André Ampère

[17] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph10/geschichte/ampere/ampere.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/geschichte/ampere/ampere.htm)

[18] <http://users.physik.tu-muenchen.de/kressier/Bios/ampere.html>

[19] [http://encyclopedia.jrank.org/ALM\\_ANC/AMPERE\\_ANDRE\\_MARIE\\_17751836\\_.html](http://encyclopedia.jrank.org/ALM_ANC/AMPERE_ANDRE_MARIE_17751836_.html)

[21] Zusammenfassung-ueber-Andre-Marie-Ampere-H479c65cbd40dd.pdf

Georg Ohm

[22] Leben und Werk von Georg Simon Ohm.pdf

[23] <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-ohmschesgesetz.htm>

[24] <http://www.ebgymhollabrunn.ac.at/ipin/ph-ohm.htm>

[25] <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-campus/muenchner-gelehrte-DID1206700054415/muenchner-gelehrte-georg-simon-ohm-lebenswerk-ID671202497890525483.xml>

Michael Faraday

[27] [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph10/geschichte/12faraday/faraday.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/geschichte/12faraday/faraday.htm)

[28] [http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/biography/f/fa/faraday\\_00045michael\\_000451791\\_0004509\\_0004522.bio.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/biography/f/fa/faraday_00045michael_000451791_0004509_0004522.bio.html)

[30] tech\_vt16\_faraday.pdf

[31] <http://www.pctheory.uni-ulm.de/didactics/geschichte/Geschichte%20der%20Elektrochemie/modern/faraday.html>

Heinrich Lenz

[38] <http://chem.ch.huji.ac.il/history/lenz.html>

[39] <http://www.dgpt.org/de/service/biografien/HeinrichFriedrichEmilLenz.php>

[40] 26.pdf

Gustav Kirchhoff

[41] Faltblatt-Kirchhoff.pdf

[42] [http://encyclopedia.jrank.org/BUN\\_CAL/BUNSEN\\_ROBERT\\_WILHELM\\_VON\\_1811\\_.html](http://encyclopedia.jrank.org/BUN_CAL/BUNSEN_ROBERT_WILHELM_VON_1811_.html)

James Maxwell

[43] <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Maxwell.html>

[45] <http://www.wikiweise.de/wiki/Maxwellsche%20Gleichungen>

[46] [http://lexikon.calsky.com/de/txt/m/ma/maxwellsche\\_gleichungen.php](http://lexikon.calsky.com/de/txt/m/ma/maxwellsche_gleichungen.php)

## 10.2. Bilderverzeichnis

Lichtenberg'sche Staubfiguren

<http://www.pi1.physik.uni-stuttgart.de/teaching/Vorlesungsversuche/V62.html>