

Soznat

Materialien für den Unterricht 34



N. le Sueur Inveut

R. Brunet fecit

Vom Bernstein zur Volta-Säule

Naturwissenschaften sozial

Dieter Habben

Uwe Mehrle

Vom Bernstein zur Volta-Säule
Geschichte der Elektrizität im Unterricht

Unter Mitarbeit von:

Peter Heering, Jörg Meya, Falk Rieß, Gerhard Rohlf, Heinz Otto Sibus

Die Zeichnungen der Bauanleitungen stammen von Martin Duddek. Die abgebildeten Nachbauten entstanden in den Werkstätten der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg unter technischer Leitung von Heinz Böttcher.

Materialien zu einer Unterrichtsreihe

Marburg 1994

Herausgeber:

AG Naturwissenschaften sozial

c/o Lutz Stäudel
Gesamthochschule
Kassel, FB 19
Heinrich-Plett-Str. 40

34132 Kassel

c/o Armin Kremer
AG Soznat
Universität Marburg, FB 21
Postfach 2150

35009 Marburg

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Habben, Dieter:

Vom Bernstein zur Volta-Säule: Geschichte der Elektrizität im
Unterricht; Materialien zu einer Unterrichtsreihe / Dieter
Habben; Uwe Mehrle. Unter Mitarb. von Peter Heering ...
Hrsg.: AG Naturwissenschaften Sozial. - 1. Aufl. - Marburg:
Red.-Gemeinschaft Soznat, 1994

(Soznat ; Bd. 34)

ISBN 3-922850-66-9

NE: Mehrle, Uwe.; GT

1. Auflage 1994

(c) Redaktionsgemeinschaft Soznat Marburg
Postfach 2150 35009 Marburg

Druck: Alpdruck Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien zu Unterrichtszwecken erlaubt

ISBN 3-922850-66-9

Inhaltsverzeichnis

0.	Vorwort	S. 3
1.	Der genetische Unterrichtsansatz von Martin Wagenschein	S. 4
2.	Der historisch-genetische Ansatz von Jens Pukies	S. 6
3.	Die Oldenburger Interpretation des historisch-genetischen Ansatzes	S. 8
4.	Einbindung der Unterrichtseinheit in die Lehrpläne der Sekundarstufe I bzw. II	S. 10
5.	Materialien	S. 13
5.0.	Leseleitfaden zum Materialenteil	S. 14
5.1.	Anziehungsphänomene am Bernstein in frühester Zeit	S. 17
5.2.	Anziehungsphänomene an anderen Substanzen	S. 18
5.3.	Von der Beobachtung und Beschreibung des Phänomens zur gezielten Überprüfung der Umstände, unter denen es hervorgebracht werden kann	S. 19
5.4.	Gilberts Fragestellungen - Ergebnisse einer Gegenüberstellung	S. 20
5.5.	Erste Vorstellungen und Modelle: Wodurch wird das elektrische Phänomen hervorgebracht?	S. 21
5.6.	Otto von Guericke: seine Zeit und seine elektrischen Versuche an der Schwefelkugel	S. 28
5.7.	Erzeugung von Elektrizität	S. 31
5.8.	Theorienbildung: von der Ausströmungstheorie bis zu einer Theorie der elektrischen Atmosphäre	S. 40
5.9.	Die Verstärkungsflasche	S. 41
5.10.	Franklins ökonomische "Ein-Fluidum Theorie"	S. 51
5.11.	Symmers "Zwei-Fluida Theorie"	S. 54
5.12.	Messung von Elektrizität	S. 57
5.13.	Die Versuche des Luigi Galvani oder der Weg zum "fließenden elektrischen Strom"	S. 60
5.14.	Volta's Beitrag und seine praktischen Vorschläge zur Erzeugung von Elektrizität	S. 66
6.	Rollenspiel und Arbeitsblätter	S. 81
7.	Nachbauanleitungen	S. 104
8.	Zeitleiste	S. 120
9.	Literaturverzeichnis	S. 125

0. Vorwort

Übereinstimmend beklagen LehrerInnen, SchülerInnen und FachdidaktikerInnen, daß sich der naturwissenschaftliche Unterricht - und besonders der in vieler Hinsicht prototypische Physikunterricht - in einer Krise befinde. Die äußeren Kennzeichen dieser Krise sind unter anderem Motivationsverlust und Sinnkrise, mangelnder Lern- beziehungsweise Lehrerfolg und weiter zurück gehende Kurswahlanteile in der Oberstufe (siehe hierzu z.B. Redaktion SozNat 1982, Häußler u.a. 1986, Physikalische Blätter 3/1992). Die Suche nach Gründen für diesen Zustand hat zu einer Reihe von kritischen fachdidaktischen Analysen geführt. Die vorliegende Broschüre greift einen dieser Kritikpunkte heraus - nämlich die Überbetonung eines abstrakten Begriffssystems unabhängig von Entstehungs- und Anwendungszusammenhängen - und nimmt ihn als Ausgangspunkt für einen Alternativvorschlag. Physikalische Aussagen und Entdeckungen entstanden und entstehen stets auf dem Hintergrund komplexer philosophisch beziehungsweise kulturgeschichtlich begründeter Weltbilder. Auf ihnen basieren Erklärungsmodelle und damit auch die Konstruktion von Nachweis- und Meßgeräten. Daher kann einerseits die Entwicklungsgeschichte nur mit Kenntnis dieser Denkgebäude schlüssig nachvollzogen werden, und andererseits kann dann deutlich werden, warum diese Weltbilder die Erkenntnisse von vornherein determinieren.

Es wird vorgeschlagen, an einigen Stellen des Unterrichts die Gelegenheit wahrzunehmen, den Entstehungsprozeß des Wissens zum Thema zu machen und den Gedankengängen und Handlungen der Wissenschaftler vergangener Zeiten theoretisch und experimentell zu folgen. Wir propagieren die historisch-genetische Unterrichtsmethode nicht als allein selig machenden Königsweg in der Didaktik, empfehlen aber, wenigstens einen Versuch zu unternehmen.

Wir beginnen mit einer kurzen Darstellung der didaktischen Gedanken und Zielvorstellungen, die unseren Überlegungen zugrunde liegen. Es folgen einige Hinweise auf die mögliche Einordnung der vorgeschlagenen Inhalte in die durch Lehrpläne und Richtlinien festgelegten Curricula der Sekundarstufe I und II. Der Materialenteil umfaßt eine kurze Darstellung der Geschichte der Elektrizität von den Anfängen bis zur Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert mit einer Reihe von Originalzitate und Originaldokumenten sowie einigen Vorschlägen für Arbeitsblätter. Den Abschluß bildet ein Teil mit Anregungen zum Selbstbau von historischen Meßgeräten und Experimentieraufbauten, die von LehrerInnen und SchülerInnen mit durchschnittlichen Heimwerkerkenntnissen innerhalb oder außerhalb der Schule nachgebaut werden können. Ihre Verwendung im Unterricht ergibt erst den eigentlichen Charme der hier vorgeschlagenen historisch-genetischen Lernweise. Wer die Möglichkeit hat, mit den Original-Geräten zu experimentieren, der kann sich auch die zugehörige Begrifflichkeit tätig aneignen.

Die Arbeitsgruppe Hochschuldidaktik und Wissenschaftsgeschichte im Fachbereich Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, in der das vorliegende Unterrichtsmaterial entstand, hat seit längerem Erfahrung mit dem Nachbau und dem Betrieb historischer Experimente aus der Physikgeschichte. Wer dafür Interesse hat und eine Besichtigung oder eine Vorführung plant, möge sich an folgende Kontaktadresse wenden:

Falk Rieß, Arbeitsgruppe Hochschuldidaktik und Wissenschaftsgeschichte, Fachbereich 8 (Physik), Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Postfach 2503, 26111 Oldenburg, Telefon 0441/798-3540, -3395, -3537, Telefax 0441/798-3326, -3201

1. Der genetische Unterrichtsansatz von Martin Wagenschein

Das Wort "genetisch" kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie "ursprünglich werdend, entstehend". Die 'genetische Methode' will demnach dem Entstehen nachgehen, das Unterrichten oder Lehren am Entstehen ausrichten.

Voraussetzung für genetisches Lehren ist, daß der Gegenstand, der gelehrt oder gelernt werden soll, eine Entwicklung und Wandlung auch durchlaufen hat. Nur was sich entwickelt hat, entstanden und gewachsen ist, sich gestaltet und gebildet hat, kann auch genetisch behandelt und gelehrt werden.

Obwohl die genetische Methode nicht neu ist (ihre pädagogischen Wurzeln reichen bis Comenius zurück), so hat sie doch nie richtig Eingang gefunden in die gängigen Lehrmethoden. Auf die Gründe hierfür soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden; vielmehr soll kurz der Mann vorgestellt werden, der der bedeutendste Vertreter der genetischen Methode der letzten Jahrzehnte war: Martin Wagenschein. Wagenschein wurde im Dezember 1896 in Gießen geboren, war Lehrer an mehreren Schulen, wobei er an einer Vielzahl praktischer Schulversuche beteiligt war. Seit 1949 hatte Wagenschein einen Lehrauftrag für Erkenntnispsychologie der Naturwissenschaften am Pädagogischen Institut Jugenheim, wo er bis 1972 lehrte. Seit 1951 war er Lehrbeauftragter für praktische Pädagogik an der TH Darmstadt und von 1956 - 1978 Honorarprofessor für Didaktik an der Universität Tübingen. Wagenschein beschäftigte sich sein Leben lang mit pädagogischen Fragestellungen, wobei der sich entwickelnde und lernende Mensch immer im Vordergrund seiner Bemühungen stand. Wagenschein starb 91-jährig Ostern 1988.

In zahlreichen publizierten Unterrichtsbeispielen zeigt Wagenschein, wie genetische Lehrgänge strukturiert und aufgebaut werden können. Für ihn bedeutet die genetische Methode eine Dreiheit von drei ineinandergreifenden Methoden, wobei genetisch nur den Oberbegriff bezeichnet und sich eigentlich aus *genetisch*, *sokratisch* und *exemplarisch* zusammensetzt.

Exemplarisch bedeutet hier, daß aus der Stofffülle nur wenige Themen herausgegriffen und beispielhaft in aller Tiefe behandelt werden. Es soll sich dabei um Themen handeln, die auf das Ganze des Faches ausstrahlen, wie Wagenschein es nennt, d.h. das Vorgehen und die Methoden der jeweiligen Disziplin sollen deutlich werden. Der Einstieg in den exemplarischen Unterricht erfolgt nicht wie bei fachsystematischen Lehrgängen von unten her, d.h. vom "Einfachen" zum "Schwierigen", sondern gleich in ein komplexes Thema. Vorratslernen hat hier keinen Platz. Im exemplarischen Unterricht erwerben die SchülerInnen bestimmte Fähigkeiten (z.B. das Messen physikalischer Größen) nur dann, wenn diese zur Lösung eines Problems gebraucht werden. Mit dem exemplarischen Prinzip wendet sich Wagenschein gegen die Stofffülle im Lehrplan und gegen den Vollständigkeitswahn, der LehrerInnen dazu bringt, soviel Inhalte wie irgend möglich "durchzuziehen".

Genetisch bedeutet bei Wagenschein das Verstehen einer Wissenschaft von den Anfängen her. Am Anfang des Unterrichts stehen nicht von der LehrerIn vorgestellte Probleme, sondern Phänomene, die die SchülerInnen motivieren sollen, das Problem darin selbst zu entdecken und dann die Lösung des Problems selbst zu finden. Die Phänomene sollen ohne großen apparativen Aufwand - möglichst naturgemäß - dargestellt werden. Der experimentelle Aufbau

orientiert sich an den Bedürfnissen der SchülerInnen, die das Phänomen erklären möchten. Die Phänomene sollen zunächst qualitativ und in eigener Sprache, später, wenn die Gründe dafür von den SchülerInnen eingesehen werden können, quantitativ und in der Fachsprache beschrieben werden. Der genetische Ansatz soll (idealtypisch) das Vorgehen der jeweiligen Wissenschaft widerspiegeln, das sich in ihrer historischen Entwicklung am besten wiederfinden läßt. Auch hier stehen am Anfang Phänomene, die nach einer Erklärung verlangen, auch hier werden zunächst Vermutungen geäußert und ausdiskutiert, auch hier werden schließlich verschiedene Lösungen am Experiment auf ihre Brauchbarkeit hin untersucht - dies soll sich auch im Unterricht wiederholen.

Der LehrerIn fällt dabei die Aufgabe zu, das Phänomen zu präsentieren, dafür Sorge zu tragen, daß jeder SchülerIn klar ist, wo das Problem liegt, zwischendurch zusammenzufassen, wie der Stand der Diskussion ist, zu fragen, wie man jetzt weiterkommen kann, ob es nicht ein Experiment gibt, welches Klarheit bringen könnte, ob eine Vermutung richtig sein kann oder nicht. Dieses LehrerInnenverhalten faßt Wagenschein unter dem Begriff *sokratisch* zusammen.

2. Der historisch-genetische Ansatz von Jens Pukies

Jens Pukies, der lange Jahre am Oberstufenkolleg in Bielefeld lehrte, erweiterte den genetischen Ansatz in der Wagenscheinschen Ausprägung um eine ausdrücklich historische Dimension. Diese Erweiterung resultiert aus der Kritik Pukies' an Wagenschein: Er geht für ihn nicht weit genug, er gibt sich nach Pukies mit der Beschreibung des derzeitigen Ist-Zustandes von Gesellschaft, Wissenschaft und Schule zufrieden und macht lediglich einen "Zeitgeist" dafür verantwortlich (vgl. Pukies 1979, S. 165). Pukies versucht dagegen den Ist-Zustand zu analysieren und aus dieser Analyse heraus einen anderen Unterricht zu entwickeln. Er strebt an, *"eine Begründung für diesen Zustand (des derzeitigen naturwissenschaftlichen Unterrichts, d. V.) zu geben, zu zeigen, wie sich dieser Zustand notwendig ergibt aus der Rolle der Naturwissenschaften in der Gesellschaft, wie das Selbstverständnis der Naturwissenschaftler und der Vermittler der Naturwissenschaften sich hierin begründet ..."* (ebenda).

"Mit der Ausformulierung und Begründung seines didaktischen Gesamtanspruchs ging als integraler Bestandteil die Umsetzung in schulpraktisches Handeln einher ..." (Rieß/Schulz 1988, S. 5). An mehreren unterrichtspraktischen Beispielen aus den Bereichen Mechanik und Thermodynamik versucht Pukies aufzuzeigen, wie er sich die Umsetzung des historisch-genetischen Ansatzes vorstellt.

"Naturwissenschaften gelten als Erfahrungswissenschaften, naturwissenschaftliche Resultate, Prinzipien und Gesetze als aus der empirischen Beobachtung erwachsen. Die Gültigkeit naturwissenschaftlicher Resultate gilt als unabhängig von ihrer Herkunft, in sie gehen keine Wertungen ein" (Pukies 1979, S. 6). Für Pukies liegt gerade in dieser Einschätzung der Naturwissenschaften das Dilemma. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden zu einer Ware, die in der Schule angeboten und konsumiert wird, sie erscheinen - abgeschnitten von ihrer geschichtlichen Entwicklung - als unmittelbare Tatsachen ohne Herkunft .

Wie sieht jedoch die Realität aus?

"Sieht man die Naturwissenschaften als empirische Wissenschaften an, so bleiben die grundlegenden Prinzipien, auf denen die Naturwissenschaften basieren (z.B. die Erhaltungssätze, das Trägheits- und Energieprinzip, die Atomtheorie) unverständlich. Denn diese Abstraktionsbegriffe sind Produkte philosophischen Spekulierens, Resultate produktiver Einbildungskraft, wissenschaftlichen Denkens, denen keine unmittelbare empirische Realität entspricht. (...) Bietet man die Naturwissenschaften im Unterricht als Waren an, als Fakten, Prinzipien und Theorien, die nur im Rahmen einer absolut gesetzten Fachsystematik verständlich sind, aber unabhängig von ihren Entstehungsbedingungen erscheinen, dann ist es kaum möglich, den Anteil wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens in ihnen zu erkennen" (Pukies 1979, S. 6/7).

Aus dieser Kritik entwickelt Pukies die Ziele, die er mit seinem historisch-genetischen Unterricht anstrebt:

" Den Schülern wird es möglich, die Begriffe, Theorien, Prinzipien der Naturwissenschaften zu verstehen und nicht nur auswendig zu lernen. Denn diese die Wissenschaft konstituierenden grundlegenden Begriffe sind nicht das Produkt empirischer Datensammlung, sondern Ergebnis*

philosophisch-spekulativen Denkens und damit nur verstehbar, wenn dieser Entstehungsprozeß aufgezeigt und nachvollzogen wird.

** Die Schüler gewinnen einen Eindruck vom Forschungsprozeß, der in der Realität nicht so aussieht, wie er logisch eigentlich sein sollte und wie er von Wissenschaftstheoretikern häufig beschrieben wird. Sie erkennen, daß das spekulative Moment die Wissenschaft weiter vorangebracht hat als alles empirische Sammeln von Daten. Sie erkennen die Wissenschaft als eine menschliche Tätigkeit, als veränderbar, nicht aber als eine dogmatische Verkündung unveränderbarer Wahrheiten.*

** Die Schüler erkennen die philosophischen und ökonomischen Implikationen der Naturwissenschaft und können damit die Stellung der Naturwissenschaft in der gesellschaftlichen Entwicklung beurteilen. Sie verstehen die Naturwissenschaften als gesellschaftliche Tätigkeit, als vom gesellschaftlichen Leben beeinflusst und dieses beeinflussend, verändernd" (Pukies 1979, S. 13).*

3. Die Oldenburger Interpretation des historisch-genetischen Ansatzes

Die "Arbeitsgruppe Hochschuldidaktik und Wissenschaftsgeschichte" an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg versucht, diese didaktischen Ansätze fortzuführen. Sie hat sich zum Ziel gesetzt, die Physikgeschichte, zunächst in den Bereichen Elektrizitätslehre und Thermodynamik, aufzuarbeiten und didaktisch nutzbar zu machen. Hierzu werden Genese und Weiterentwicklung physikalischer Konzepte und Theorien rekonstruiert. Die in ihnen kodifizierte Rationalität soll aus der historischen Situation, dem geistes- und sozialgeschichtlichen Umfeld heraus verstanden werden. Dabei soll für den historisch-genetischen Naturwissenschafts-Unterricht ein umfassender Qualifikations-Anspruch eingelöst werden: Er soll garantieren, daß zugleich und im gleichen Maße sowohl die Fachsystematik als auch die historisch vermittelte Kritik an Entstehung, Entwicklung und Anwendung der Naturwissenschaften erworben werden.

Ein besonderes Charakteristikum des Oldenburger Ansatzes ist dabei die Replikation historischer Experimente, also der möglichst originalgetreue Nachbau der Geräte und die Überprüfung der empirischen Ergebnisse. Damit wird ein schon länger erkanntes Defizit dieses Ansatzes ausgeglichen, nämlich die mangelnde experimentelle Akzentuierung. Dies soll nun durch die Einbeziehung der historischen Geräte, Apparaturen und Experimentieraufbauten in den Lernprozeß geschehen.

Die Lernfelder, die dieser Ansatz zu besetzen versucht, sind: Entwicklung der Fachsystematik und der physikalischen Begriffe auf dem Hintergrund von Wirtschafts- und Kulturgeschichte, Entwicklung der Arbeitsmittel und der experimentellen Methoden, Analyse der Begriffsbildung und der Anwendungen in den Naturwissenschaften. Hierdurch eröffnet sich eine neue Lernebene, die bisher im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts nicht ausreichend berücksichtigt werden konnte: Das experimentelle Ambiente ermöglicht es, die sinnliche und ästhetische Erfahrung beim Umgang mit den zeitgenössischen Experimental-Aufbauten in den Lernprozeß zu integrieren.

Zu diesem Zweck wurden von der Arbeitsgruppe eine Reihe von Experimentiergeräten aus der Entwicklung der Grundlagen der Elektrodynamik und Thermodynamik möglichst originalgetreu nachgebaut, ihre Rolle im Rahmen des Theoriebildungsprozesses (d.h. bei der Herausbildung der physikalischen Teildisziplinen) rekonstruiert und in den allgemein-historischen Kontext eingebettet. Die nachgebauten Geräte markieren Verzweigungsstellen in der historischen Entwicklung, Situationen, an denen Entscheidungen für oder gegen bestimmte Theorien und Denkformen notwendig waren. Ihre didaktische Funktion erfüllen sie dann, wenn mit ihrer Hilfe dieser Prozeß deutlich und nachvollziehbar gemacht werden kann.

Wir erwarten, daß der Erwerb historischen Wissens über die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse mehrere wichtige Vorteile für den Lernvorgang bietet, wie das auch die Erfahrungen mit ähnlichen didaktischen Modellen in den angelsächsischen Ländern belegen:

- Es besteht die Möglichkeit, das häufig im Unterricht vermittelte Vorurteil der inneren Stringenz physikalischer Erkenntnisprozesse aufzubrechen und zu relativieren.

- Es wird erkannt, daß wissenschaftliche Ergebnisse nicht vom Himmel fallen und unumstößliche, ewige Gültigkeit beanspruchen können, sondern daß sie Resultate menschlicher Arbeit sind und damit einen nur vorläufigen Erkenntnisstand repräsentieren, der durch neue Phänomene und Theorien sowie deren Interpretation stets erweiterbar und prinzipiell veränderbar ist.
- Typische Lernschwierigkeiten, die beim Übergang vom Alltags-Verständnis zum wissenschaftlichen Verständnis eines Phänomens entstehen, können beim historischen Nachvollzug des Erkenntnisprozesses bewußt gemacht und so leichter überwunden werden.
- Das fachsystematische Verständnis wird durch die Offenlegung der Begriffsgeschichte erweitert und vertieft, da die Begründung für die jeweils modernste Darstellung der Inhalte erst aus einer Einschätzung der anderen, zwar historisch überwundenen, aber denkbaren Modelle folgt.
- In modernen Laborgeräten - wie auch in den Begriffen - sind die nachzuentdeckenden Zusammenhänge in der Regel schon eingebaut. Mit ihrer Verwendung werden dem Lernenden nicht selten logische Zirkelschlüsse anstelle von Problemlösungen angeboten. Im Gegensatz dazu geben historische Instrumente die Möglichkeit einer **redlichen** genetischen Argumentation.
- Schließlich wird durch die historisch orientierte Darstellung naturwissenschaftlicher Theorien ein Wissensbereich angesprochen, der notwendigerweise zum Curriculum gehört, aber in der Regel wegen Schwierigkeiten bei der Integration in den Lehrgang zu kurz kommt: die Eingebundenheit der Entwicklung der Naturwissenschaften in den Rahmen gesellschaftlicher Interessen, geistesgeschichtlicher Diskussionen und der Wissenschaft-Technik-Wechselwirkungen.

4. Einbindung der Unterrichtseinheit in die Lehrpläne der Sekundarstufe I bzw. II

Die hier vorgestellten Unterrichtsmaterialien sind in erster Linie entwickelt worden, um in der Sekundarstufe I eingesetzt zu werden, wobei sie als Einführung in den Bereich Elektrizitätslehre, der in dieser Schulstufe einer der zentralen Themenkreise des Physikunterrichts ist, dienen können. Sie können aber auch in der Sekundarstufe II verwendet werden, allerdings muß hier das Vorwissen der SchülerInnen besonders berücksichtigt werden. Die fachlichen Inhalte werden durch die Rahmenrichtlinien in der Sek. I weitgehend vorgegeben. Daher ist wohl davon auszugehen, daß zumindest ein Teil der SchülerInnen der Sek. II einen Teil des hier angebotenen physikalischen Stoffes bereits einmal im Unterricht behandelt haben. Wird dies in angemessener Weise berücksichtigt, so sind die Materialien auch in der Oberstufe einsetzbar.¹⁾

Einbindung in die Sekundarstufe I:

Neben den fachlichen Lernzielen, die auch mit anderen Unterrichtsansätzen erreicht werden können, lassen sich gerade mit der historisch-genetischen Methode weitere Lernziele erreichen, die ebenso wie die fachlichen durch die Rahmenrichtlinien gefordert werden. Besonders in der Sekundarstufe I erscheinen uns diese über die Vermittlung fachlicher Kenntnisse hinausgehenden Aufgaben des Physikunterrichts von besonderer Bedeutung, da hierdurch das Bild der SchülerInnen von Physik entscheidend geprägt wird. Nicht umsonst werden in den Rahmenrichtlinien für die Sek. I folgende Forderungen bezüglich der "Aufgaben und Stellung des Faches Physik in den Klassen 7 - 10 des Gymnasiums" erhoben, beispielhaft entnommen den (gymnasialen) Richtlinien des Landes Niedersachsen (Niedersächsischer Kultusminister 1981, S. 4):

Es ist Aufgabe des Physikunterrichts, den Schüler dazu anzuleiten, seine Umwelt unter physikalischen Fragestellungen zu betrachten. Dabei muß der Schüler aus seiner noch kindlichen, vorwissenschaftlichen Erfahrung in eine physikalische Begriffs- und Vorstellungswelt eingeführt werden. Dieser Übergang muß sehr vorsichtig erfolgen. Physikalische Begriffsbildungen sind nicht um ihrer selbst willen zu vollziehen, sondern mit dem Ziel, daß der Schüler seine physikalischen Fragen in einen Bedeutungszusammenhang einordnen kann.

Dabei muß eine Fachsprache entwickelt werden, die dem jeweiligen Alter des Schülers angemessen ist. Die Sprache des Physikunterrichts in den Klassen 7 - 10 des Gymnasiums darf nicht die ausgeschärfte Fachsprache der Physik sein. Die Ablösung der physikalischen Fachsprache von der Umgangssprache muß sich in genetischer Weise vollziehen. Mit der Entwicklung der physikalischen Fachsprache wird dem Schüler der Unterschied zwischen dem Alltagsdenken und dem wissenschaftlichen Denken bewußt. Die ganzheitliche kindliche Wahrnehmungswirklichkeit wird allmählich abgelöst durch Bilder, Begriffe und Modelle von der Natur. Mit dem Einsetzen dieser Distanzsetzung zur natürlichen Umwelt beginnt der Schüler, Physik zu treiben. Es ist die Aufgabe des Physikunterrichts, diesen Bewußtseinsprozeß altersgerecht zu steuern und zu fördern.

Neben einer schülergerechten Einführung in das Fach kommt dem Physikunterricht weiterhin die Aufgabe zu, dem Schüler die Stellung der Physik innerhalb der Wissenschaften und der

¹⁾Zur Zeit befindet sich eine weitere Unterrichtseinheit zur Elektrizitätslehre in Vorbereitung, die sich in erster Linie mit der Umsetzung des historisch-genetischen Ansatzes für die Sekundarstufe II befaßt.

Kultur zu verdeutlichen. Das bedeutet, daß der Physikunterricht Beziehungen zu anderen Fächern herstellen muß.

Über die sachbezogene Vermittlung von Methoden, Inhalten und Anwendungen soll der gymnasiale Physikunterricht **an geeigneten Beispielen auf geschichtliche Perspektiven der Physik hinweisen. Dies darf sich jedoch nicht auf eine Zuordnung von Namen und Jahreszahlen beschränken.** Vielmehr muß das menschliche Ringen um die Lösung eines Problems mit seinen Irrwegen und erneuten Ansätzen aufgezeigt werden, um **dem Schüler eine angemessene Sichtweise für frühere wissenschaftliche Leistungen zu eröffnen** (*Niedersächsischer Kultusminister 1981, S. 5, Hervorhebung durch d. Verf.*).

Die hier angeführten Aufgaben des Physikunterrichts der Sek. I lassen sich in vergleichbarer Form auch in den Rahmenrichtlinien anderer Bundesländer finden. Viele empirische Untersuchungen und die Erfahrungen vieler Lehrer deuten darauf hin, daß die Vorstellungen von SchülerInnen der Sek. I häufig mit den Vorstellungen übereinstimmen, die sich die Naturforscher früherer Epochen zu Beginn der Entwicklung der physikalischen Teildisziplinen machten. Damit bietet sich der historisch-genetische Ansatz geradezu an, um diese Vorstellungen aufzugreifen, zu hinterfragen und zu heutigen physikalischen Vorstellungen weiterzuentwickeln.¹⁾

Dies gilt umso mehr, als mit dem experimentell akzentuierten historisch-genetischen Vorgehen auch folgende Forderungen erfüllt werden können: *Der Physikunterricht in den Klassen 7 - 10 des Gymnasiums kann daher nur Experimentalunterricht sein. Das Experiment ist in das Zentrum des Unterrichts zu stellen* (Niedersächsischer Kultusminister 1981, S. 4f).

Durch die Einbindung historischer Experimente in den Unterricht werden die SchülerInnen in die Lage versetzt, folgende Lernziele, die als "*typische Verfahren physikalischer Erkenntnisgewinnung*" (Niedersächsischer Kultusminister 1981, S. 6) bezeichnet werden, zu erreichen:

- *Beobachten von Objekten und Phänomenen*
- *Beschreiben der beobachteten Sachverhalte in angemessener Sprache*
- *Erkennen eines Problems*
- *Formulieren einer Arbeitshypothese*
- *Suchen nach geeigneten experimentellen Methoden zum Überprüfen der Hypothesen*
- *Entwerfen geeigneter Versuchsanordnungen*
- *Erkennen des Bedürfnisses für eine Modellvorstellung*
- *Entwickeln einer Modellvorstellung, mit der die bisherigen Ergebnisse gedeutet werden können*
- *Herleiten neuer Hypothesen aus der Modellvorstellung*
- *Überprüfen des Gültigkeitsbereichs der Modellvorstellung durch eine experimentelle Überprüfung der aus dem Modell abgeleiteten Hypothesen*
- *Formulieren einer verfeinerten Modellvorstellung*

¹⁾Das historisch-genetische Verfahren ist also eine notwendige Ergänzung bereits praktizierter Methoden im Physikunterricht, wenn ein umfassender Bildungsauftrag, wie er zu Recht an unsere Schulen gestellt wird, erfüllt werden soll. Andere Unterrichtsverfahren werden damit nicht entbehrlich. Außerdem kann auch ein historisch-genetischer Unterricht nicht für das Interesse der Schüler am Physikunterricht garantieren; ein entscheidender Faktor ist die Person und die Motivationsfähigkeit der PhysiklehrerIn.

- *eine rationale Einstellung zu Naturvorgängen und physikalisch-technischen Abläufen gewinnen*

- *Kenntnisse über die geschichtliche Entwicklung der Physik an Beispielen erwerben*

Neben den bisher angeführten Lernzielen, die in den Rahmenrichtlinien unter die Kategorien "fachmethodische bzw. fachübergreifende Lernziele" eingeordnet werden, werden mit den folgenden Unterrichtsvorschlägen auch inhaltliche Lernziele abgedeckt. Diese Einheit wurde so konzipiert, daß sie eine mögliche Alternative zum üblichen Physikunterricht darstellt; dies bedeutet natürlich auch, daß sie sich an den inhaltlichen Vorgaben der Rahmenrichtlinien orientiert. Da dies bereits in der Begründung (vgl. Kapitel 0) ausgeführt wurde, wird es hier nicht noch einmal diskutiert werden.

Neben der Umsetzung der angeführten Lernziele gibt es noch einen weiteren Aspekt, der nicht durch die Rahmenrichtlinien erfaßt wird, aber für den Lernerfolg und das Interesse der SchülerInnen am Physikunterricht ebenfalls bedeutsam ist: Die Rede ist von der sinnlichen Attraktivität, die historische Experimente besitzen. Dies zeigt sich ebenso in den verwendeten Materialien wie auch im "offenen", zum eigenständigen Weiterexperimentieren reizenden Aufbau. Bei den Experimenten handelt es sich in keinem Fall um "black boxes", alle Bauteile sind für die SchülerInnen klar erkennbar und damit auch in ihrer Funktion erfaßbar. Gleichzeitig besitzen diese Geräte einen ästhetischen Reiz, der in dieser Form bei modernen Experimenten nicht vorhanden ist.

Darüber hinaus wirkt der Einsatz des eigenen Körpers als Teil der Apparatur oder als Meßinstrument (wie das in den meisten frühen Experimenten zur Reibungselektrizität üblich war) in einer anderen Weise ansprechend, als dies die heute in den Schulen üblicherweise verwendeten modernen Geräte zulassen. Die SchülerInnen sind in der Lage, Erfahrungen am eigenen Körper zu machen, wodurch der Physikunterricht neben der üblichen intellektuellen Komponente auch eine sinnliche erhält, die gerade in der Sekundarstufe I von Bedeutung ist.

Einbindung in die Sekundarstufe II:

Die vorliegenden Materialien wurden im Hinblick auf ihre Verwendung in der Sekundarstufe I zusammengestellt. Wer sie in der Sekundarstufe II benutzen möchte, sollte den Schwerpunkt auf die Reflexion über die physikalische Arbeitsweise legen. Folgende Bereiche können vorrangig angesprochen werden:

- *an ausgewählten Beispielen die Bedeutung von Arbeitshypothesen darstellen*
- *an Beispielen die Bedeutung von Modellen darstellen und deren Gültigkeitsgrenzen aufzeigen*
- *historische Entwicklungen der Physik an Beispielen darstellen*

(Niedersächsischer Kultusminister 1982, S. 7f.).

Die niedersächsischen Rahmenrichtlinien lassen die Bearbeitung von Themen aus der Sek. I in der Oberstufe zu, fordern aber eine Behandlung in "oberstufengemäßer Weise" (Niedersächsischer Kultusminister 1982, S. 9). Dies ist sicherlich bei einer Vertiefung der oben angeführten Lernziele gegeben. Gleichzeitig wird durch die Unterrichtseinheit eine Einführung in das Gebiet der Elektrizitätslehre gegeben, das eines der Schwerpunkte in der Vorstufe ist.

5. Materialien

5.0. Leseleitfaden zum Materialenteil

5.1. Anziehungsphänomene am Bernstein in frühester Zeit

5.2. Anziehungsphänomene an anderen Substanzen

5.3. Von der Beobachtung und Beschreibung des Phänomens zur gezielten Überprüfung der Umstände, unter denen es hervorgebracht werden kann

5.4. Gilberts Fragestellungen - Ergebnisse einer Gegenüberstellung

5.5. Erste Vorstellungen und Modelle: Wodurch wird das elektrische Phänomen hervorgebracht?

5.6. Otto von Guericke: seine Zeit und seine elektrischen Versuche an der Schwefelkugel

5.7. Erzeugung von Elektrizität

5.8. Theorienbildung: von der Ausströmungstheorie bis zu einer Theorie der elektrischen Atmosphäre

5.9. Die Verstärkungsflasche

5.10. Franklins ökonomische "Ein-Fluidum-Theorie"

5.11. Symmers "Zwei-Fluidum-Theorie"

5.12. Messung von Elektrizität

5.13. Die Versuche des Luigi Galvani oder der Weg zum "fließenden elektrischen Strom"

5.14. Voltas Beitrag und seine praktischen Vorschläge zur Erzeugung von Elektrizität

5.0. Leseleitfaden zum Materialenteil

Sieht man sich die ersten Kapitel zur Elektrizitätslehre in verschiedenen Physikschulbüchern an, so muß man feststellen, daß eine allmähliche Hin- und Einführung (Wagenschein spricht von "Einwurzelung") in dieses neue Teilgebiet der Physik nicht geleistet, vielleicht nicht einmal beabsichtigt wird. Von den ersten Zeilen an ist vom Strom, den Stromkreisen und seinen Bauelementen, von Meßgeräten und technischen Anwendungen der Elektrizität die Rede. Schon in der zweiten Zeile eines Schulbuches für die Sek. I heißt es: *"Wenn die Glühlampe der eingeschalteten Tischlampe aufleuchtet, die Temperatur des Bügeleisens ansteigt oder der Elektromotor im Mixgerät sich zu drehen beginnt, dann sind wir überzeugt, daß jetzt ein elektrischer Strom fließt - obgleich das noch niemand mit eigenen Augen gesehen hat"* (Steidl/Stiegler 1987, S. 185). Wer hier wohl mit "wir" gemeint ist? Im einem anderen Physiklehrbuch für die Sek. I ist im dritten Absatz zur Elektrizitätslehre zu lesen, daß *"die technische Ausführung der Geräte (elektrisch betriebene Geräte d.V.) in vielen Fällen kompliziert und einem dauernden Wandel unterworfen ist, daß aber die zugrunde liegenden physikalischen Gesetze meist sehr viel einfacher und unwandelbar sind"* (Höfling 1980, S. 329). Warum brauchte die Wissenschaft Jahrhunderte um die Elektrizitätslehre auf den heutigen Stand zu bringen, wenn doch die physikalischen Gesetze so einfach sind? Warum betreiben wir keine aristotelische Physik, wenn die physikalischen Gesetze doch unwandelbar sind? Hier wird Anfängern ein Bild von der Physik vermittelt, welches mit dem historischen Verlauf nichts mehr gemein hat. Statt dessen entsteht der Eindruck einer absolut gültigen und geschichtslosen Fachsystematik.

Selbstverständlich wachsen die SchülerInnen in einer technisierten Alltagswelt auf, die voll ist von elektrischen Geräten, die von den SchülerInnen in der Regel auch problemlos benutzt werden. Geht es aber im Physikunterricht darum, den SchülerInnen beizubringen, wie die Geräte "wirklich" funktionieren oder was in ihnen "tatsächlich" vorgeht (und damit abstrakte Pseudo-Erklärungen zu schaffen, die zum tieferen Verständnis wenig beitragen)? Entspricht die Vorgehensweise der LehrerIn im Unterricht der Vorgehensweise dieser Lehrbücher, so ist eine Abwehrhaltung der SchülerInnen hierauf nur verständlich und ein sich entwickelndes Mißtrauen auf Seiten der SchülerInnen kann in solchen Fällen nur als gesund bezeichnet werden. Ist nicht vielmehr das Ziel des Unterrichts, einen besonderen, bedeutungsvollen Phänomenbereich der Physik kennenzulernen und mögliche Erklärungsansätze und Gesetzmäßigkeiten möglichst selbsttätig zu finden und zu verstehen?

Gerade die Einführung in ein neues Gebiet muß langsam und vorsichtig vonstatten gehen, um Motivation zu wecken und die SchülerInnen nicht von vornherein mit abstrakten Begriffsbildungen abzuschrecken. Ein weiterer Abschreckungseffekt kommt dadurch zustande, daß der Begriff Elektrizität aus der Alltagserfahrung mit Gefahr gleichgesetzt wird; in der Schule wird diese negative Besetzung in der Regel noch verstärkt. Dagegen eignen sich Experimente aus den Anfängen der Elektrizitätslehre besonders, um erste sinnliche Erfahrungen zu machen und zu ordnen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Schulexperimenten, bei denen sehr schnell ein Netzgerät auf dem Experimentiertisch steht, handelt es sich bei historischen Experimenten um *begreifbare* Experimente im wahrsten Sinne des Wortes. Die folgenden schriftlichen Unterrichtsmaterialien wurden entwickelt, um der LehrerIn, die sich dazu entschließt, eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit der historisch-genetischen Methode auszuprobieren, eine

Hilfe an die Hand zu geben, wie der Unterricht abwechslungsreich gestaltet werden kann.

Der Materialenteil ist bis auf wenige Ausnahmen chronologisch geordnet und stellt die Geschichte von der Entdeckung erster Anziehungsphänomene bis zur Entwicklung von Geräten dar, die einen beständigen Strom erzeugen können. Die LehrerIn hat die Möglichkeit, dieser chronologischen Einführung zu folgen oder auf ganz bestimmte Kapitel, wie z.B. Reibungselektrizität oder Batterien zurückzugreifen. Folgt man der Chronologie der Materialien, so läuft man nicht Gefahr, Begriffe wie Strom oder Spannung, die ohne den Ladungsbegriff nicht verstehbar sind, vorwegzunehmen.

Der Unterricht könnte damit beginnen, daß die SchülerInnen durch spielerischen Umgang mit verschiedenen Stoffen Anziehungs- und Abstoßungsphänomene hervorbringen, Bedingungen aufstellen, unter denen ihre Bemühungen zum Erfolg führen oder nicht, daß eine vermutete Identität mit dem Magnetismus untersucht wird usw. Die SchülerInnen können Theorien aufstellen, wie Anziehung und Abstoßung zustande kommen und die Frage diskutieren, welche Arten von Elektrizität es gibt. Anschließend oder begleitend können Originaltexte eingebracht werden, die es den SchülerInnen ermöglichen, ihre eigenen Ergebnisse mit denen der früheren Forscher zu vergleichen und Ausgangspunkt für neue Aktivitäten werden können.

Mit einer Elektrisiermaschine können unter anderem elektrische Leitungseffekte untersucht werden. Auch hier haben die SchülerInnen die Möglichkeit, Elektrizität sinnlich zu erfahren, indem sie eine Kette bilden, wobei eine SchülerIn den geladenen Konduktor mit der Hand oder mittels eines anderen Stoffes berührt und einige Personen in der Kette isoliert stehen. Schließlich bietet die Weiterentwicklung der verschiedenen Elektrisiermaschinen ein Beispiel für die Kriterien, nach denen technische und wissenschaftliche Geräte verändert und verbessert werden ("wissenschaftlich-technischer Fortschritt").

Mit der Verstärkungsflasche liegt ein Gerät zur Speicherung und Verstärkung von Elektrizität vor, das der Erklärung bedarf. Die Erklärungsversuche durch Benjamin Franklin, sowie die Versuche und Überlegungen Symmers ermöglichen eine weiterführende Diskussion über verschiedene Elektrizitäts-"Sorten". Außerdem kann an den unterschiedlichen Interpretationen der beiden Forscher verdeutlicht werden, wie weltanschauliche Grundüberzeugungen (buchhalterisch-ökonomische Anschauungen bei Franklin, philosophischer Hintergrund bei Symmer) die physikalischen Erklärungsmodelle beeinflussen. Mit der Franklinschen Theorie kann auch der Satz von der Ladungserhaltung zur Sprache kommen.

Mit Hilfe von geladenen Gegenständen kann die Frage behandelt werden, ob der menschliche Körper, der ja lange Zeit der einzige mögliche Nachweis für Elektrizität war, ein zuverlässiges Meßinstrument ist. Erste qualitative Hilfsmittel, die einfach aufgebaut und von den SchülerInnen verstanden werden können, stellen die Elektroskope dar. Hier kann auch der Phänomenbereich der Influenz zur Sprache kommen. Mit Hilfe von Voltas Kondensatorelektroskop können die Begriffe Ladung, Spannung und Kapazität thematisiert werden.

Mit der Voltaschen Tassenkrone steht dann schließlich ein Instrument zur Verfügung, mit dem sich ein (relativ) beständiger Stromfluß hervorbringen läßt. Auch hier läßt sich die Auswirkung von Reihen- und Parallelschaltung von Elementen für die SchülerInnen sinnlich erfahren, indem sie z.B. die Anzahl und Anordnung der Elemente, die mit zwei Fingern über-

brückt werden, variieren. Auch hier kann auf Begriffe wie Ladung, Spannung und Strom eingegangen werden.

Wichtig erscheint uns, daß die Experimente tatsächlich und möglichst von den SchülerInnen ausgeführt werden. Da an Schulen die notwendigen historischen Experimentiergeräte normalerweise nicht vorhanden sind, werden im Anhang einige Hinweise zum Selbstbau gegeben. Alle Geräte, auch die Elektrysiermaschine, können mit normaler Heimwerker-Werkzeugausrüstung und mit normalen Heimwerker-Qualifikationen hergestellt werden. Hier bietet sich auch eine Zusammenarbeit mit dem Werklehrer an. Einige der Geräte (Voltasäule, Elektroskope) sind so einfach herzustellen, daß sie von den SchülerInnen selbst (im Unterricht, aber auch zu Hause) angefertigt werden können, wodurch das Verständnis und das Interesse für die Gerätschaften noch weiter vertieft werden kann. Von Vorteil ist außerdem, daß in diesem Fall jede SchülerIn ihr eigenes Gerät zur Verfügung hat.

5.1. Anziehungsphänomene am Bernstein in frühester Zeit

Die Tatsache, daß geriebener Bernstein kleine, leichte Gegenstände anzieht, war bereits vor 2000 Jahren beobachtet und beschrieben worden. Eine systematische Untersuchung dieses Phänomens fand jedoch nicht statt.

- Gajus Plinius Secundus (Plinius der Ältere, geboren 23 n. Chr., römischer Rechtsgelehrter und Staatsmann, starb 79 bei dem Versuch, den Ausbruch des Vesuvs zu studieren) berichtet um 78 n. Chr. in seinen 'Historia naturalis' über Spindelwirtel (Gerät, welches dazu dient einen Wollfaden zu verdrillen und gleichzeitig als Spule für den fertigen Faden dient) aus Bernstein: *"In Syrien sollen die Weiber Spindelwirtel davon machen (aus Bernstein) und ihn den Haken nennen, weil er Blätter, Streu und Kleiderlappen an sich zieht"* (Wittstein, 5. Bd., S. 213).

Weiter heißt es: *"Reibt man ihn mit den Fingern, so bekommt er durch die aufgenommene Wärme die Eigenschaft, leichte Gegenstände wie Streu, trockene Blätter, Bast und, wie der Magnetstein, Eisen anzuziehen"* (ebenda, S. 249).

Die Spindelwirtel aus Bernstein waren unter dem Namen "harpax" bekannt, Haarschmuck aus Bernstein hieß "harpaga". Das Wort "harpaga" bedeutet soviel wie anziehende Kraft. Im Neupersischen finden wir "kahruba" in der Bedeutung "kah" = Stroh und "ruba" = anziehen (vgl. Prinz 1964, S. 2). "Die ersten schriftlichen Aufzeichnungen über den Bernsteineffekt sind im vierten Jahrhundert v. Chr. bei Plato in seinem Werk 'Timaios' zu finden" (ebenda).

5.2. Anziehungsphänomene an anderen Substanzen

Lange Zeit waren die zuvor genannten Aufzeichnungen die einzigen Zeugen des sog. Bernsteineffekts. Erst 1500 Jahre später wurde dieses Phänomen erneut erwähnt. Dabei wurden andere Substanzen gefunden, die nach dem Reiben ebenfalls eine anziehende Wirkung zeigen.

- Im 12. Jahrhundert erwähnt Alexander Neckam in seiner Abhandlung 'De naturis rerum' den Gagatestein, der ebenso wie der Bernstein nach Erwärmen durch Reibung Stoffe festhalte.

- Im 16. Jahrhundert sind es dann Georgius Agricola (eigentlich Georg Bauer, 1494 - 1555, deutscher Arzt, Mineraloge und Metallurge), Geronimo Fracastoro (1483 - 1553, italienischer Arzt und Naturforscher) und Girolamo Cardano (eigentlich Hieronimus Cardanus, 1501 - 1576, italienischer Mathematiker, Naturforscher und Mediziner), die sich mit dem Bernsteineffekt auseinandersetzen. Als geeignete Substanzen sind jetzt Bernstein, Turmalin, Gagatestein (bitumenreiche Pechkohle) und Diamant bekannt.

Cardano weist als einer der Ersten darauf hin, daß die Wirkung des Bernsteins von der des Magneten unterschieden werden muß. Folgende Gründe gibt Cardano dafür an:

- | | |
|--|---|
| - Bernstein zieht leichte Gegenstände an | - der Magnetstein übt eine anziehende Wirkung nur auf Eisen aus |
| - Bernstein wird von Streu nicht angezogen | - der Magnetstein aber von Eisen |
| - Bernstein übt an seinen Enden keine besondere Kraftwirkung aus | - Magnetstein übt seine anziehende Kraft manchmal durch seinen Südpol und manchmal durch seinen Nordpol aus |
| - die Wirkung des Bernsteins auf Streu kann durch eine dazwischen gehaltene Substanz aufgehoben werden | - die Kraftwirkung wird nicht aufgehoben |
| - die anziehende Kraft des Bernsteins kann durch Wärme und Reibung erhöht werden | - die anziehende Kraft des Magnetismus kann durch Säubern der Pole gesteigert werden |

(vergl.: Prinz, a.a.O., S. 3)

5.3. Von der Beobachtung und der Beschreibung des Phänomens zur gezielten Überprüfung der Umstände, unter denen es hervorgebracht werden kann

1600 veröffentlichte William Gilbert (1540 - 1603, britischer Mediziner, Leibarzt von Queen Elisabeth I.) sein Buch "De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; Physiologia nova, plurimis argumentis et experimentis demonstrata" (Von Magneten, magnetischen Körpern und vom großen Erdmagneten), in dem sich Gilbert zum größten Teil mit magnetischen Erscheinungen beschäftigt, aber auch auf elektrische eingeht. In der wissenschaftshistorischen Literatur wird Gilbert "mit Rechte der Vater der heutigen Elektrizität genannt" (Winkler, nach Fraunberger 1985, S. 15). In seinem Buch beschreibt Gilbert eines der ersten Nachweismittel oder 'objektiven Beweismittel' des Vorhandenseins der vis electrica (der Kraft des Bernsteins), das sogenannte Versorium (Nadelelektroskop). Dieses besteht aus einer sehr feinen, dünnen Metallnadel, die auf einer Spitze sorgfältig waagrecht ausbalanciert wird. Die Funktion des Versoriums ist es, durch seine Bewegung das Vorhandensein der 'vis electrica' anzuzeigen. Schon leichte Erschütterungen oder Luftströmungen bringen die Nadel in Bewegung. Äußere mechanische Einflüsse müssen daher ausgeschaltet bzw. kontrolliert werden, um die Versuchsergebnisse nicht zu beeinflussen oder zu verfälschen.

Gilbert achtete nun auf alle äußeren Bewegungsursachen, wenn er ein geriebenes Stück Bernstein vorsichtig der Nadel näherte. Eine der Nadelspitzen bewegte sich jedoch auch dann auf den Bernstein zu, wenn Gilbert den Verlauf des Experimentes so gestaltete, daß er mechanische Ursachen für die Bewegung ausschließen konnte. Daher mußte also eine Kraft die Bewegung der Nadel hervorrufen, die sich von den mechanischen Kräften unterschied. Als Ursache der Anziehung betrachtete Gilbert den Bernstein: Dieser wird durch das Reiben in einen Zustand versetzt, in dem er eine leicht drehbare gelagerte Nadel beeinflussen kann. Diesen Zustand nannte er den "elektrischen Zustand".

"Elektrizität (war) demnach lediglich ein Wort für eine 'Kraft', von der wir mit Bestimmtheit nur soviel wissen, daß sie mit den groben, beherrschbaren Bewegungsursachen nicht unmittelbar identisch ist" (May, 1940, S. 218).

DE MAGNETE, LIB. II

am, more indicis magnetici, cuius alteri fini appone succinum, vel



lapillum lenitè fricatum, nitidum & politum, nam illicò versorium conuertit se. Plura igitur attrahere videntur, tam quæ à naturâ tan-

1600. William Gilbert's Versorium
Aus «De Magnete»

Abb. 1: Gilberts Versorium

5.4. Gilberts Fragestellungen - Ergebnisse einer Gegenüberstellung

Erstmals in der Geschichte der Elektrizität fand eine umfassende Untersuchung des Phänomens der Anziehung statt. Bei seiner Arbeit ging Gilbert folgenden Fragen nach:

- a) Welche Stoffe bringen das Phänomen der Anziehung hervor, bzw. welche nicht?
- b) Welche Umstände beeinflussen das Phänomen?
- c) Wie unterscheidet sich die Kraft des Bernsteins von der Kraft der Magnete?
- d) Wie entsteht die elektrische bzw. die magnetische Kraft?

Gilbert bediente sich zur Beantwortung dieser Fragen auch nach heutigem Sprachgebrauch durchaus experimenteller Methoden, indem er mittels des bereits angesprochenen Versoriums verschiedene Körper auf ihre Elektrisierbarkeit hin untersuchte. Umfangreiche systematische Untersuchungen gaben auf die oben gestellten Fragen folgende Antworten:

zu a) Stoffe, die durch Reiben eine anziehende Kraftwirkung hervorbringen:

- Diamant, Saphyr, Amethyst, Opal, Bergkristall, alle Sorten Glas, Schwefel, Harze, Steinsalz, Talg, etc.

Stoffe, die durch noch so intensives Reiben die anziehende Kraft nicht zeigen:

- Smaragd, Achat, Perlen, Chalcedon (Achatsteine), Alabaster, Marmor, Knochen, Elfenbein, Metalle

zu b) Trockene Luft, Nord- und Ostwinde, Sonnenschein begünstigen das Phänomen, auch das Besprengen mit Öl wirkte sich nicht negativ aus.

Feuchtigkeit, das Ausatmen, Besprengen mit Weingeist oder Wasser wirken sich sehr hemmend aus oder verhindern sogar, daß sich irgendeine Kraftwirkung zeigt.

zu c) I. Die elektrische Kraft entsteht nur durch Reiben. Der Magnet zeigt seine Kraft dauernd.

II. Durch Feuchtigkeit wird die elektrische Kraft aufgehoben. Die Wirkung des Magneten verliert sich selbst dann nicht, wenn zwischen Magnet und Objekt ein massiver Gegenstand gebracht wird.

III. Die elektrische Kraft wirkt auf sehr viele Stoffe. Der Magnet zieht nur wenige an.

IV. Durch die elektrische Kraft werden nur sehr leichte Körper bewegt. Der Magnet bewegt sogar schwere Körper.

V. Bei elektrischer Anziehung wirkt nur der elektrische Körper und nur der angezogene bewegt sich. Beim Magneten bewegen sich beide gemeinschaftlich.

(siehe hierzu auch: Prinz, a.a.O., S. 3f und Rosenberger 1884, S. 40f)

zu d) *"Den Magnetismus hält er (Gilbert, d.V.) für eine dem Stoffe eigenthümliche, vom Anfang innewohnende Kraft und schreibt derselben eine merkwürdig weite Wirkungsfähigkeit zu."*

"Die elektrische Anziehung aber wird von ihm, wie von alten Physikern, durch Ausflüsse erklärt, welche das Reiben aus den Körpern herauspresst" (Rosenberger, a.a.O., S. 40).

5.5. Erste Vorstellungen und Modelle: Wie wird das elektrische Phänomen hervorgebracht?

Gilbert versuchte, die elektrische Erscheinung der Anziehung durch subtile Ausflüsse zu erklären. Um aber den Widerspruch zu erklären, wie Ausflüsse gerade die entgegengerichtete Anziehung bewirken sollen, bediente er sich der Analogie von Flüssigkeiten. *"Flüssigkeiten, wie Wassertropfen z.B., fließen bei der Berührung zu einem Körper zusammen"* (Rosenberger, 1898a, S. 4). Vergleichbares geschieht laut Gilbert beim Reiben von Bernstein: *"Durch das Reiben des Bernstein werden die in ihm enthaltenen sehr feinen, also flüssigen Stoffe herausgepresst, die sich nach allen Seiten von dem Körper hin verbreiten. Treffen dieselben auf andere Körper in der Nähe des Bernsteins, so bilden sie zwischen beiden Flüssigkeitsbrücken und wenn die betreffenden Körper leicht genug sind, werden sie durch die Zusammenziehung der Flüssigkeit mit dem Bernstein vereinigt"* (ebenda). Dieser Erklärungsansatz ließ sich sehr leicht auf andere Stoffe übertragen, die ebenfalls elektrische Wirkungen zeigen. Jedoch gab es auch Stoffe, an denen sich auch durch noch so intensives Reiben keine Anziehung zeigen wollte. Auch hierfür versuchte Gilbert eine Erklärung zu geben: Zwar werden auch hier durch Reiben Ausflüsse herausgepreßt, diese sind jedoch von anderer Beschaffenheit. Sie sind weit weniger fein und *"also nicht flüssiger Natur, sondern viel gröber und mehr erdiger Art ... so dass die Contractionserscheinungen nicht bei ihnen wie bei Flüssigkeiten stattfinden konnten"* (ebenda).



Geschichte
und gegenwärtiger Zustand
der Elektricität.

Erster Theil.
Geschichte der Elektricität.

Erste Periode.
Versuche und Entdeckungen in der Elektricität, welche älter
sind, als die Hawkesbeeischen.



Die älteste Bemerkung, wovon die Geschichte der Weltweisheit uns Nachrichten ertheilet, ist, daß gelber Bernstein, wenn er gerieben wird, die Kraft besitze, leichte Körper an sich zu ziehen. Thales von Mileto, der Urheber der Ionischen Philosophie, welcher ohngefähr sechshundert Jahre vor Christi Geburt im größten Ansehen stand, war über diese Eigenschaft des Bernsteins dermassen erstaunt, daß er demselben Kräfte der Seele zuschrieb. Der erste Schriftsteller aber, welcher dieser Substanz ausdrücklich Erwähnung thut, ist Theophrast, welcher sich um das Jahr 300 vor Christi Geburt berühmt machte. Dieser meldet im 53ten Abschnitte seines Buches von den Edelsteinen, daß der Bernstein, v. d. Elektricität. 21 stein,

stein, (welchen er unter die von der Natur hervorgebrachten, aus der Erde gegrabenen, Körper rechnet,) eben dergleichen Eigenschaft, leichte Körper an sich zu ziehen, besitze, wie der Lyncurer, welcher, wie er bemerkt, nicht nur Strohhalme und Stückerhen Reifig, sondern sogar auch Metall- und Eisenblättchen an sich reißet. Was er von dem Lyncurer ferner meldet, soll unter dem Artikel vom Tourmalin angeführt werden, wovon D. Watson gewisser massen bewiesen hat, daß er ein und eben dieselbe Substanz sey.

Der Ausdruck Elektricität ist von dem Worte *ηλεκτρον*, welches im Griechischen den Bernstein bedeutet, herzuleiten; und man versteht darunter amst nicht nur die in dem Bernsteine befindliche Kraft, leichte Körper an sich zu ziehen, sondern auch andere damit verbundene Kräfte, in was vor Körpern man auch dieselben annimmt, oder was vor Körpern auch dieselben mitgetheilt werden mögen.

Der anziehenden Kraft des Bernsteins wird gelegentlich beim Plinius, und bei andern spätern Naturgeschichtschreibern, insonderheit beim Gassendus, Kenelm Digby, und Thomas Brown, gedacht; die Elektricität des Gagats (Jet) *) aber, welche man sehr spät entdeckt hat, (wiewohl ich den Urheber ausfindig zu machen nicht vernögend gewesen bin,) ist eher nicht weiter getrieben worden, als bis Wilhelm Gilbert, aus Colchester gebürtig, ein Naturforscher zu London, dieses unternahm, welcher in seinem vortrefflichen Werke de Magnete, welches im Jahre 1600 ans Licht trat, eine Menge verschiedener elektrischer Versuche erzählt. In Betrachtung der Zeit, in welcher dieser Mann schrieb, und wenn man erwäget, wie wenig von dieser Sache vor ihm bekannt gewesen ist, wird man seine Entdeckungen billig für beträchtlich achten, ungeachtet sie alsdenn ziemlich unerheblich erscheinen, wenn man sie gegen diejenigen, welche seit seiner Zeit gemacht worden sind, hält.

Man hat ihm eine starke Vermehrung des Verzeichnisses elektrischer Körper sowohl, als auch solcher Körper, worauf elektrische wirken können, zu danken; und es hat derselbe verschiedene Hauptumstände, welche die Art ihrer Wirkung betreffen, sorgfältig angemerkt, ungeachtet seine Theorie der Elektricität, wie leicht zu vermuthen ist, sehr unvollständig war.

Bernstein und Gagat waren, vorerwähnter massen, die einzigen Substanzen, von welchen man vor seiner Zeit wußte, daß sie, wenn sie gerieben werden, die Eigenschaft, leichte Körper an sich zu ziehen, besäßen; Er aber fand auch dieselbe Eigenschaft an dem Demant, Sapphir, Carfunkelstein, Regenbogenstein (Iris), Amethyst, Opal, der Vincentina, dem unächten Demant (Bristol-stone), dem Beryll und Crystall. Auch bemerkt er, daß Glas, insonderheit ein klares und durchsichtiges, dieselbe Eigenschaft an sich habe; ingleichen alle aus Glas oder Crystall künstlich gemachte Edelsteine (Klüffe); Spießglanzglas, die meisten selenitischen (Sparry) Substanzen, und Alpschafsteine (Belemniten). Zulezt schließet er sein Verzeichnis elektrischer Substanzen mit dem Schwefel, Mastix, mit verschiedenen Farben tingirten Siegelwachs aus Gummilack, Geigenharz (Colophonium),
Stein.

*) Herr Bose soll gezeiat haben, daß die elektrischen Kräfte des Gagats sehr früh bekannt gewesen seyn. Gralath Geschichte der Elektricität, im I Bände der Versuche und Abhandl. der naturforsch. Gesellsch. in Danzig, S. 179.

I. Periode.

Des Gilbert.

3

Steinsalz (Sal gemmæ), Talk, und Felsalaun (Alumen rupeum). Harz, saget er, besizet diese Eigenschaft nur in einem geringen Grade; - und die drey letztern Substanzen äussern dieselbe nur alsdenn, wenn die Luft heiter und trocken ist.

Alle diese Substanzen zogen, seinen Wahrnehmungen zufolge, nicht nur Spreu, sondern auch alle Metalle, alle Arten Holz, Steine, Erde, Wasser, Del, kurz alles, was nur dicht ist, und in unsere Sinne fällt, an sich. Von der Luft, Flamme, glühenden Körpern, und aller überaus dünnen Materie aber glaubte er, daß sie sich nicht anziehen ließen. Am dicken Rauche zwar bemerkte er, daß sich derselbe ziemlich merklich anziehen ließ; jedoch nur derjenige, welcher ein ganz wenig verdünnt war.

Das Reiben, sagt er, ist überhaupt nöthig, die Kraft dieser Substanzen zu erregen; wiewohl er ein großes, und glattes Stück Bernstein besaß, welches seine Wirkung ohne vorhergegangenes Reiben äusserte; aller Wahrscheinlichkeit nach aber hat er wohl, in Ansehung dessen, sich selbst betrogen. Er bemerkte das Reiben alsdenn von der größten Wirkung, wenn es leicht und hurtig geschah. Die elektrischen Erscheinungen befand er bei trockner Luft, und beim Nord- und Ost-Winde am stärksten, als zu welcher Zeit die elektrischen Substanzen zehn Minuten nach dem Reiben wirkten. Eine feuchte Luft hingegen, oder ein Südwind, vernichtet fast, seiner Versicherung nach, die elektrische Kraft. Eine gleiche Wirkung bemerkte er auch von der Zwischenkunft irgend einer Feuchtigkeit, als vom Athem, und vielen andern Substanzen; vom darzwischen gestellten Caffet hingegen nicht allemahl. Wenn man leichtes und reines Del auf elektrische Körper, nach vorhergegangenen Reiben, sprühet, so hemmet es deren Kraft nicht; wohl aber thut Branntwein, oder Weingeist, dieses. Ferner saget er, daß Crystall, Talk, Glas, und alle übrige elektrische Körper ihre Kraft verloron, nachdem sie gebrannt oder geröstet worden. Dieses aber war gewisser massen ein Irrtum. Die durch ein Brennglas aufgefangene Sonnenhitze, erregt, wie er versichert, die Kraft des Bernsteins, und anderer elektrischer Körper, im geringsten nicht, sondern schwächt vielmehr ihre Kraft; jedoch behalten elektrische Körper, nachdem sie gerieben worden, im Sonnenscheine ihre Kraft länger, als im Schatten.

Die meisten Versuche dieses Schriftstellers wurden mit langen und dünnen Stücken Metall, und andern Substanzen, vorgenommen, welche an ihren Mittelpunkten frei hiengen, und deren äußersten Enden er die geriebenen elektrischen Körper nahe hielt. Seine Versuche mit Wasser bewerkstelligte er, indem er einen runden Wassertropfen auf einer trocknen Substanz dem geriebenen elektrischen Körper näherte; und es ist merkwürdig, daß er dieselbe conische Figur der elektrisirten Tropfen wahrnahm, welche nachher Grey entdeckte, und wovon ich an seinem Orte umständlicher handeln werde. Gilbert folgerte, daß Luft von dem elektrischen Anziehen keine Veränderung erlitte, weil die Flamme eines Lichtes unverändert blieb; denn die Flamme, sagt er, wird gestöhrt, so bald die Luft in die geringste Bewegung gebracht wird.

Gilbert glaubte, daß das elektrische Anziehen auf eben dergleichen Art erfolgte, wie das Anziehen vom Zusammenhängen (Cohæsiö). Zwey Tropfen Wasser laufen in einander, wenn man sie so nahe bringet, daß sie einander berühren können; und elektrische Körper, sagt er, werden, dem Vermögen nach, zum Berühren mit

denenjenigen, worauf sie wirken, gebracht, vermittelst ihrer durch das Reiben erregten Ausflüsse.

Unter andern Verschiedenheiten zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Anziehen, worunter einige sehr richtig sind, andere hingegen auf bloßer Einbildung beruhen, führet er an, daß magnetische Körper wechselseitig gegen einander laufen, da hingegen bei dem elektrischen Anziehen es bloß der elektrische Körper ist, welcher einige Kraft äussert. Er bemerkt auch insonderheit, daß bei dem Magnetismus ein Anziehen sowohl, als auch ein Zurückstoßen, bei der Elektricität aber bloß das Erstere, und niemahls das Letztere, statt finde *).

Dieses waren die Entdeckungen unsers Landsmannes, **Gilberts**, welcher mit Rechte der Vater der heutigen Elektricität genannt werden kann, ungeachtet nicht zu läugnen ist, daß er sein Kind in seiner wahren Kindheit zurückgelassen hat.

Franz Baco liefert in seinen nachgelassenen physiologischen Schriften ein Verzeichniß anziehender und nicht-anziehender Körper, welches aber in keinen wesentlichen Stücken von demjenigen, das wir beim **Gilbert** finden, unterschieden ist; und es scheint Derselbe gar keine eigene Beobachtungen über diese Materie angestellt zu haben.

Ungefähr dreyßig Jahre nach **Gilbert**, wiederholte **Nicolaus Cabeus**, ein Jesuit zu Ferrara, dessen Versuche, und fand, daß weißes Wachs, fast alle Gummiarten, und ungekochter Gyps, mit unter die Zahl der elektrischen Körper gehörten **).

Diese den Bernstein und andere elektrische Substanzen betreffende merkwürdige Erscheinungen, konnten der Aufmerksamkeit eines forschbegierigen und scharfsinnigen **Boyle**, welcher um das Jahr 1670 blühte ***), unmöglich entgehen. Er machte einigen Zusatz zum Verzeichnisse elektrischer Substanzen, und gab besonders auf einige das elektrische Anziehen betreffende Umstände genau Achtung, welche der Beobachtung derer Naturforscher, die vor ihm gelebt hatten, entwischt waren.

Er fand, daß der harte Kuchen, welcher nach dem Abrauchen eines guten Zerpenthins übrig bleibt, wie auch die nach der Destillation des Bergöls (Petroleum) und Salpetergeistes rückständige harte Masse, Bleiglas, das Caput mortuum vom Bernstein, und der Carneol, elektrisch waren; an dem Smaragde aber konnte er diese Eigenschaft nicht bemerken, und Glas besaß dieselbe, seinem Bedünken nach, nur in einem sehr niedrigen Grade.

Er beobachtete, daß die Elektricität aller Körper, bei welchen sich dieselbe hervorbringen läßt, sehr vermehrt ward, wenn man dieselben vorher, ehe sie gerieben wurden, rein abwuschte und wärmte. Durch dieses Mittel brachte er es soweit, daß ein elektrischer Körper, welcher nicht dicker, als eine Erbse, war, eine freischwebende stählerne Nadel, noch drey Minuten nachher, nachdem er denselben zu reiben aufgehört hatte, bewegte. Auch fand er es für sehr zuträglich, die Oberflächen elektrischer Körper

*) *Gilbert de Magnete*, Lib. 2. Cap. 2.

**) *Gralath Geschichte*, I Abschn. S. 180.

***) Es soll **Boyle** dem **Otto Guericke** in seinen elektrischen Versuchen gefolget, und zur Anstellung derselben durch sein Beispiel ermuntert worden seyn. Ungeachtet diese beiden Schriftsteller Zeitgenossen gewesen, und ihr beiderseitiger Anspruch an Entdeckungen sich gar wohl neben einander verträgt, so sehe ich doch keine Veranlassung, die von denselben handelnden Abschnitte dieses Werkes zu versehen.

Körper ganz glatt machen zu lassen, den einzigen Fall mit einem gewissen Demant ausgenommen, womit er einige Versuche angestellt hatte, welcher, wie er versichert, ungeachtet derselbe rauh war, doch eine weit stärkere elektrische Kraft besaß, als irgend ein geschliffener, den er zu diesen Versuchen gebraucht hatte.

Er bemerkte, daß Körper, bei denen die Elektrizität hervorgebracht worden, allerhand Sachen ohne Unterscheid, sie mochten elektrisch seyn oder nicht, anzögen; daß geriebener Bernstein, z. B. sowohl Bernsteinpulver, als auch kleine Stückchen davon, anzögen; zum Unterscheide, wie er hierbei erinnert, von der Eigenschaft des Magnets, welcher bloß auf einerlei Art von Materie wirkt. Er fand, daß seine elektrische Körper den Rauch sehr leicht anzogen, und giebt sich Mühe, zu erklären, warum sie die Flamme nicht merklich anzögen, als welche Gilbert von denen Körpern, die sich durch die Elektrizität anziehen lassen, ausnahm.

Seinen Beobachtungen zufolge, hängt dieses Anziehen gar nicht von der Luft ab, indem dergleichen auch im luftleeren Raume statt fand. Er hieng ein Stück durch das Reiben elektrisch gemachten Bernstein über einen leichten Körper in einer gläsernen Glocke, und nahm wahr, daß, als die Luft ausgepumpt worden, und der Bernstein nach dem leichten Körper zu niedergelassen ward, dieser sofort eben sowohl, als wenn er an der freien Luft gelegen hätte, angezogen ward *). Beccaria hingegen behauptet, daß in einem völlig luftleeren Raume durchaus kein elektrisches Anziehen statt finde.

Boyle machte einen Versuch, um zu erfahren, ob ein durch das Reiben elektrisch gemachter Körper von andern Körpern eben so stark angezogen würde, als jener diese anziehet. Der Versuch gelang; denn, als er seinen elektrisch gemachten Körper aufhieng, sah er, daß derselbe, bei Annäherung irgend eines andern Körpers, sich merklich bewegte. Nun sollte man sich zwar darüber verwundern, wie es zugegangen sey, daß niemand auf den Schluß aus der Vernunft (à priori) hätte fallen können, daß, wosfern ein elektrischer Körper andere Körper an sich zöge, jener auch hinwiederum von diesen angezogen werden müßte, indem Wirkung und Gegenwirkung insgemein einander gleich sind. Allein, man muß erwägen, daß man diese Schlußregel zu den Zeiten des Boyle noch nicht so vollkommen einsah, sondern daß sie erst nachher vom Isaac Newton in ein völliges Licht gesetzt ward **).

Boyle bekam, wenn ich mich also ausdrücken darf, einen Schimmer des elektrischen Lichtes zu sehen; denn er bemerkte, daß ein vortrefflicher Demant, welchen L. von aus Italien mitgebracht hatte, wenn er gegen eine gewisse Art von Zeug gerieben ward, im Finstern leuchtete; und er fand, daß derselbe bei eben dergleichen Behandlung elektrisch ward. Eben dieselbe Eigenschaft ward er auch an verschiedenen andern Demanten gewahr ***).

Diese wenigen Versuche des Herrn Boyle, betrafen, wie wir sehen, bloß einige wenige Umstände, welche nur die Eigenschaft des elektrischen Anziehens begleiten. Der nächste Schritt, welchen er zur Entdeckung des elektrischen Zurückstoßens that, war seine Bemerkung, daß leichte Körper, als: Federn, u. d. gl. nachdem sie von

23

seinen

*) Histoire de l'électricité, p. 6.

** Boyle's mechanical production of electricity.

***) Secondary's history of electricity, p. 141.

seinen elektrischen Körpern waren angezogen worden, an seinen Fingern und andern Substanzen, hängen blieben. Er hatte von dem elektrischen Lichte nur wenig gesehen, und sich nur wenig vorgestellt, was vor erstaunliche Wirkungen nachher durch eben dieselbe wunderbare Kraft hervorgebracht werden könnten, und welsch ein weites Feld er zur philosophischen Nachsinnung auf die Zukunft öffnete.

Des Herrn Boyle Lehrmeynung von dem elektrischen Anziehen war diese, daß aus den elektrischen Körpern ein kleberiger Ausfluß herausfahre, welcher kleine Körper unterweges ergreife, und, bei seinem Zurückfahren nach dem Körper, welcher ihn von sich gegeben, dieselben mit sich zurückführe. Ein gewisser Jacob Hartmann, dessen Nachricht vom Bernstein in den Philosophischen Transactionen abgedruckt stehet *), suchet durch Versuche erweislich zu machen, daß das elektrische Anziehen wirklich von dem Herausfahren kleberiger Theilchen herzuleiten sey (1). Er nahm zwo elektrische Substanzen, nämlich Stücke Spiegel- (Seigen-) Harz (Colophonium), destillirte aus dem einen dererselben einen schwarzen Balsam, und beraubte es dadurch seiner anziehenden Kraft. Er sagt, daß das andere elektrische Stück, womit keine Destillation vorgenommen worden, sein fettiges Wesen behalten habe, da hingegen jenes, durch die Destillation, zu ein bloßes Caput mortuum geworden, und nicht das mindeste von seiner bituminösen Fettigkeit behalten hatte. Diesem zum Grunde gelegten Satze zufolge, giebt er als seine Meynung an, daß Bernstein leichte Körper weit stärker, als andere Substanzen, an sich ziehe, weil jenes weit mehr öligte und kleberige Ausflüsse von sich läßt, als diese. Ein Zeitgenosß von Boylen, war Otto Guericke, Bürgermeister zu Magdeburg, und der berühmte Erfinder der Luftpumpe, welcher ebenfalls einen vorzüglichen Platz unter den ersten Verbesserern der Lehre von der Electricität mit Rechte verdienet.

5.6. Otto von Guericke: seine Zeit und seine elektrischen Versuche an der Schwefelkugel

Otto von Guericke wurde 1602 in Magdeburg als einziger Sohn aus zweiter Ehe seines Vaters geboren. Die Familie Guericke war eine alteingesessene, vornehme und gut betuchte Familie. Otto von Guericke wurde hauptsächlich vom Hauslehrer unterrichtet. Mit 15 Jahren kam er zur Ausbildung an die philosophischen Fakultäten in Leipzig und Helmstedt. Seit 1621 studierte er Rechtswissenschaften in Jena. Später ging er zwei Jahre nach Leyden, um sich dort dem Studium der Sprachen, der Naturwissenschaften und der Festungs- und Wasserbaukunst zu widmen. Nach Reisen durch England und Frankreich kehrte er in seine Heimat zurück. Später wurde er Mitglied des Rates der Stadt Magdeburg und übernahm das Amt eines Bauherrn der Stadt. In dieser Zeit tobte in Deutschland der 30-jährige Krieg, und Guericke trug in Magdeburg die Verantwortung für die Überwachung und Instandhaltung der Verteidigungsanlagen.

Magdeburg wurde eingenommen und größtenteils zerstört. Am Wiederaufbau der Stadt war Guericke direkt beteiligt, er entwarf Baupläne und leitete das Bauwesen. Gleichzeitig trat er als Vermittler zwischen Stadt und Besatzern auf. 1646 wurde er Bürgermeister der Stadt. Nach Beendigung des Krieges war er als Diplomat tätig und versuchte, die Interessen der Stadt bei den verschiedensten Herrscherhäusern zu vertreten.

Neben all diesen Tätigkeiten interessierte Guericke sich sehr stark für naturwissenschaftliche und technische Fragestellungen seiner Zeit.

"Guericke hatte sich im Laufe vieler Jahre eingelesen in die beste naturwissenschaftliche Literatur seines Zeitalters. Er kannte die Hauptschriften eines Gilbert, Kepler und Galilei" (Schimank 1936, S. 213).

Guericke wurde hauptsächlich durch seine Arbeiten und Experimente zum Luftdruck bekannt, wobei sein besonderes Interesse dem "leeren Raum", dem Vakuum galt. Berühmt geworden ist sein Experiment mit den Magdeburger Halbkugeln. Mit den Phänomenen der Elektrizität beschäftigte er sich dagegen weniger intensiv, aber dennoch sehr erfolgreich.

"Guericke war immer bemüht die Arbeiten fremder Gelehrter kennen zu lernen, zu prüfen und wenn möglich weiter zu führen; in keinem geringem Maasse gelang ihm das letztere auch bei den Arbeiten Gilbert's und seiner Nachfolger über Magnetismus und Elektrizität" (Rosenberger 1882, S. 151).

Auf Guericke geht die erste mechanische Vorrichtung zurück, die zur Erzeugung von Elektrizität benutzt wurde. Sie war wegweisend für die Entwicklung der Elektrisiermaschinen.

Guerickes Elektrisiermaschine

Guerickes Elektrisiermaschine bestand aus einer kindskopfgroßen Schwefelkugel, durch die er eine eiserne Achse führte. Diese Achse wurde in ein Holzgestell gelegt, so daß die Kugel drehbar gelagert war. Zur Herstellung der Schwefelkugel gibt Guericke folgende Anweisung: *"Hat jemand Lust, so nehme er eine Glaskugel, eine sogenannte Vorlage, von Kinderkopfgröße; darin tue er im Mörser kleingestoßenen Schwefel, setze ihn ans Feuer und schmelze ihn hinreichend; und wenn er völlig erkaltet ist, so zerbreche man das Glasgefäß, nehme die Schwefelkugel heraus und bewahre sie an einem trockenen, nicht an einem feuchten Orte auf. Wenn man will, kann man auch ein Loch durchbohren, sodaß die Kugel an einem eisernen Stabe als Achse umgedreht werden kann"* (Guericke, zitiert in: Rödl u.a. 1972, S. 13).

Welche Bedeutung diese Schwefelkugel für Guericke gehabt hat und was er damit verband, wird im folgenden deutlich:

"Für Guericke stellte sie (die Schwefelkugel, d.V.) dagegen das Modell eines Weltkörpers dar, das in seiner äußeren Gestalt wie durch eine Anzahl seiner Eigenschaften Wesenszüge der echten Weltkörper veranschaulichte. Auch an ihr zeigten sich die "virtutes mundanae", die Weltkräfte, zu denen beispielsweise die Anziehungskraft, die Hallkraft, wie sie im Knistern der mit der Hand geriebenen Schwefelkugel vernehmbar wird, die Leuchtkraft, die im Dunkeln die geriebene Kugel schwach schimmern macht, und die Wärmkraft gehören, die virtus calefaciens, - welche modern ausgedrückt - als Reibungswärme an der Schwefelkugel fühlbar wird. Guericke's Schwefelkugel ist für ihn selbst ein entsprechend dem Fortschritt der Wissenschaft verfeinerter Ersatz der Gilbertschen 'terella', des aus einem Magnetstein gerundeten und daher auch nur mit den magnetischen Eigenschaften und Fähigkeiten ausgestatteten Erdleins" (Schimank 1935, S. 245).

Guerickes Elektrisiermaschine war für ihn also ein Modell der Wirklichkeit der Welt, um mit ihr die ansonsten nicht 'faßbare' Wirklichkeit besser verstehen zu können. Wie bereits erwähnt, waren die Elektrisierer der damaligen Zeit auf der Suche nach Stoffen, an denen durch Reiben das Phänomen der elektrischen Anziehung zu beobachten bzw. nicht zu beobachten war. *"Guericke aber, indem er für seine mannigfaltigen Untersuchungen nur einen einzigen Stoff, den Schwefel, als Reibkörper benutzte, zeigte dadurch, dass es ihm nicht darauf ankam zu erproben, welche Körper elektrischer Anziehung fähig seien, sondern vielmehr zu erfahren, welche anderen Wirkungen geriebene Körper ausser den elektrischen Anziehungen etwa noch hervorzubringen vermöchten"* (Rosenberger 1898b, S. 71).

Guericke führte mit der 'Elektrisiermaschine' zahlreiche Experimente durch. Hierzu benutzte er *"allerlei Blättchen oder Schnitzel von Gold, Silber, Hopfen oder andere Abschabsel"* (Guericke, zitiert in: Rödl u.a., a.a.O., S. 14). Diese wurden unter der Schwefelkugel ausgebreitet. Die Entfernung zur Kugel legte er durch die Breite seiner Hand fest. Nun begann er damit, die Kugel mit der 'recht trockenen Hand' zu reiben. *"Nach zwei-, drei- und mehrmaligem Reiben oder Streichen wird sie (die Schwefelkugel, d.V.) diese Schnitzel anziehen und, um ihre Achse gedreht, mit sich fortnehmen"* (ebenda).

Neu und vielleicht auch überraschend an Guericke's Versuchen war, daß er nicht nur die elektrische Anziehung, sondern auch eine Abstoßung beobachtete: *"Sie (die Schwefelkugel, d.V.)*

zieht nämlich solche Körperchen nicht nur an, sondern stösst sie auch wieder ab, und zieht sie nicht wieder an, als sie einen anderen Körper berührt haben. Diese Kraft kann man am besten an weichen und leichteren Federchen beobachten (weil sie nicht so schnell zur Erde fallen als andere Schnitzelchen)" (Prinz 1964, S. 4).

Klar erkannt hatte Guericke demnach, daß nach erfolgter Abstoßung zuerst eine Berührung mit einem anderen Körper stattfinden muß, bevor ein solcher Körper wiederum angezogen werden kann.

Zusätzlich zum neuen Phänomen der Abstoßung bemerkte Guericke, daß die Kraftwirkung der Schwefelkugel fortgeleitet werden kann. Dies beschrieb er in folgendem Versuch: "Wenn man einen Leinenfaden, den man an der Spitze eines zugespitzten und auf einem Tische oder einer Bank befestigten Stück Holzes aufhängt, länger als eine Elle herunterhängen lässt, so jedoch, dass er darunter einen anderen Gegenstand der um Daumenbreite entfernt ist, berühren kann, so wird das untere Ende des Fadens (so oft nämlich die erregte Kugel der Spitze des Holzstückes nahegebracht wird) sich mit dem in der Nähe befindlichen Gegenstande verbinden. Dadurch kann man ganz sichtlich nachweisen, dass diese Kraft in dem Leinenfaden sich bis ans unterste Ende erstreckt habe, indem dieser den Gegenstand entweder anzieht, oder sich selbst anlegt" (ebenda).

Erstaunlich an Guericke's Arbeiten ist die Tatsache, daß er in diesem Zusammenhang an keiner Stelle das Wort 'electrica' benutzte. Warum dies so ist, kann man nur spekulieren. H. Prinz meint dazu: "Guericke war von der Wichtigkeit seiner Schwefelkugel-Experimente für die Elektrizität nicht überzeugt, denn er verwendet merkwürdigerweise an keiner Stelle seines Buches das Wort *electrica* ..." (Prinz, a.a.O., S. 4).

Über das Wesen der Elektrizität oder über irgendwelche Gesetzmäßigkeiten der von ihm produzierten und beobachteten Phänomene machte Guericke in seinem Text keine Angaben, die über das schon von anderen Gesagte hinausging.

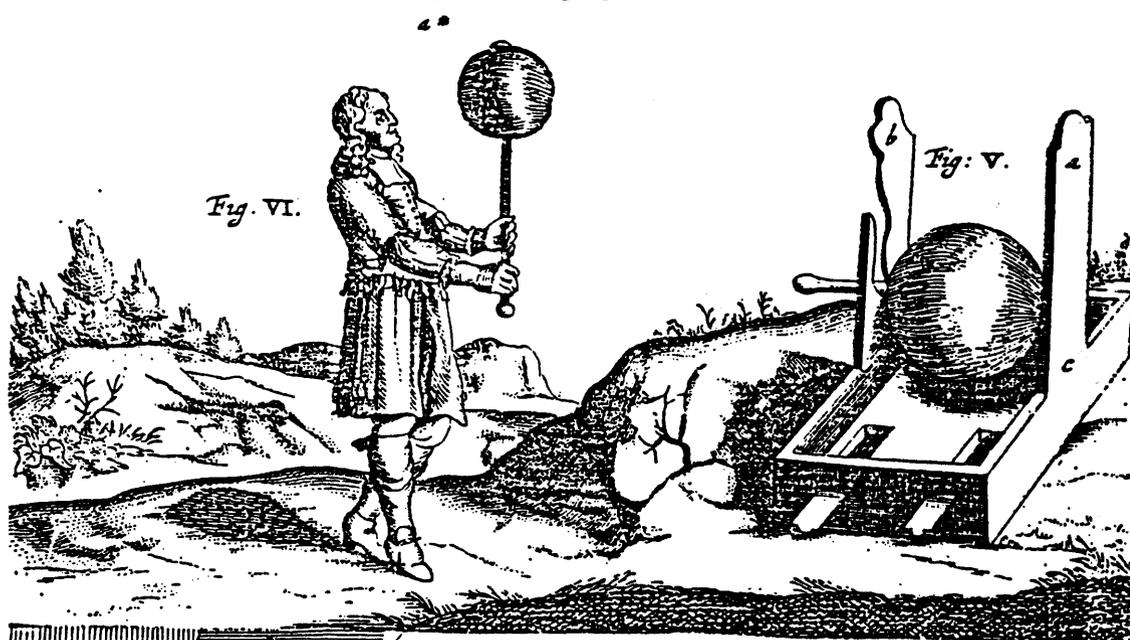


Abb. 2: Guericke's Schwefelkugel

5.7. Erzeugung von Elektrizität

Bis zum Ende des 17. Jahrhunderts blieb man bei der von Guericke beobachteten und beschriebenen Feststellung, daß die 'vis electrica' nur Anziehung und Abstoßung bewirke und daß diese Kraft in Hanffäden fortleitbar sei. Die ersten Jahrzehnte des 18. Jahrhunderts waren im wesentlichen dadurch bestimmt, daß die Naturforscher versuchten, die bekannten und beschriebenen elektrischen Versuche zu wiederholen und neue hervorzubringen sowie die Bedingungen herauszufinden, unter denen die elektrischen Kräfte auftreten. Bevorzugte Experimentiergeräte waren Glasstäbe und Glasröhren, die mit der Hand oder verschiedenen Stoffen gerieben wurden und so Phänomene hervorriefen. Um aber die Elektrizität ständig verfügbar zu haben und elektrische Phänomene möglichst leicht erzeugen zu können, bediente man sich ab Mitte des 18. Jahrhunderts mechanischer Vorrichtungen, die dies gewährleisten sollten.

Guericke's Schwefelkugel war - wie oben beschrieben - für ihn mehr als nur eine mechanische Vorrichtung zur Herstellung von Anziehungs- und Abstoßungsphänomenen, sondern sie diente der umfassenden Darstellung der Weltkräfte. Durch die Weiterentwicklung anderer Forscher entstand hieraus die Reibungselektrisiermaschine, die sich sehr rasch verbreitete und bald in den verschiedensten Formen und Varianten gebaut wurde (siehe hierzu die Bilder und Beschreibungen im Anschluß). Einhergehend mit immer neuen elektrischen Phänomenen und veränderten theoretischen Vorstellungen und Überlegungen wandelten sich auch die Maschinen; sie wurden erweitert oder variiert. Das folgende Schema gibt einen kurzen Überblick über die wesentlichen Bestandteile der Reibungselektrisiermaschine und deren Veränderungen.

Die Einzelteile:

II. Der Reibkörper

Schwefelkugel

Glaszylinder oder Glaskugel (kleine Dimension)

Glasscheiben oder mehrere Glaskugeln (große Dimensionen)

II. Der Elektrizitätssammler (Konduktor)

kein Sammler vorhanden:

die zu untersuchenden Gegenstände wurden direkt an den Reibkörper gehalten
menschlicher Konduktor:

ein an Seidenfäden aufgehängter Knabe oder eine isoliert stehende Person

Metallröhre, die direkt mit dem Reibkörper in Schleifkontakt stand

Metallröhre, die über Leinenfäden mit dem Reibkörper verbunden war

Metallröhre oder Kugeln mit Saugkamm (Spitzenwirkung)

III. Das Reibzeug

die trockene Hand des Experimentators

Taft, Leder, Pelze etc.

Reibkissen, meistens aus Leder (über Federn an den Reibkörper
gedrückt)

amalgamiertes (zum Zweck der Leitfähigkeit mit einer Quecksilber-Silber-Legierung behandeltes) und geerdetes Reibkissen

Zur Entwicklungsgeschichte der Reibungselektroskopmaschine

1. Otto von Guericke, 1663

Die von Otto von Guericke konstruierte Vorrichtung ist die älteste uns bekannte Elektrifiziermaschine. Ihr Hauptbestandteil ist eine gegossene Schwefelkugel von der Größe eines Kinderkopfes. Durch diese Schwefelkugel wurde ein Loch gebohrt. Mit Hilfe einer in das Loch gesteckten hölzernen Achse konnte die Kugel drehbar gelagert werden. Eine Holzkonstruktion diente als Gestell der gesamten Vorrichtung. Während mit der einen Hand die Kugel herumgedreht werden konnte, benutzte man die noch freie Hand dazu, die Schwefelkugel zu reiben (siehe Abb. 2).

2. Francis Hawksbee, um 1700

Gegenüber Guericke's Vorrichtung ist Hawksbees eine weitaus komplizierter aufgebaute Maschine, die aus mehreren Teilen zusammengesetzt wurde. Als Reibkörper diente hier eine Glaskugel, die ebenfalls mittels einer Achse drehbar gelagert wurde. Zusätzlich befand sich auf der Achse eine Antriebsscheibe. Mit Hilfe einer Schnurenübersetzung und eines wesentlich größeren Antriebsrades konnte die Glaskugel in sehr rasche Drehbewegungen versetzt werden. Das Antriebsrad selber wurde mit Hilfe einer Kurbelvorrichtung in Rotation versetzt. Gerieben wurde die Glaskugel, wie zu Guericke's Zeiten, mit der trockenen Hand des Experimentators (siehe Abb. 3).

3. Christian August Hausen, 1743

Diese Maschine war der von Hawksbee sehr ähnlich. Wieder bestand der Reibkörper aus einer drehbar gelagerten Glaskugel, die mit Hilfe einer Übersetzung in Drehung versetzt wurde. Die Idee zu dieser Maschine kam einem Zuhörer Hausens. Gerieben wurde, wie es bisher üblich war, mit der Hand. Neu war allerdings der erste Vorläufer eines Elektrizitätssammlers, des sogenannten Konduktors. Dieser bestand aus einem Knaben, der waagrecht in seidene Schnüre gehängt wurde und die Glaskugel berühren konnte. Oder aber der Knabe stand auf einem Faß, welches mit Pech ausgegossen war und quasi einen Isolierschemel darstellte (siehe Abb. 4).

4. Mathias Bose

Der prinzipielle Aufbau der Maschine war der vorherigen sehr ähnlich. Allein die Form und Lage der einzelnen Teile, sprich Reibkörper, Antriebsrad, Holzgestell etc. war davon abweichend. Eine Abbildung davon existiert nicht. Auch er benutzte anfangs menschliche Konduktoren. *"Dann aber eliminierte er den Menschen und hing als Konduktoren lange eiserne Röhren in seidenen Schnüren auf, deren Enden er entweder direkt auf der rotierenden Kugel schleifen liess, oder die er zweckmäßiger, nachdem ihm durch das Anstossen einer solchen eisernen Röhre eine schöne Glaskugel zerstoßen worden war, durch Leinenfäden, die aus der Röhre heraushingen, mit der Kugel in leitende Verbindung setzte"* (Rosenberger 1898, S. 81). Durch diese Vorrichtung konnte er in Zukunft verhindern, daß die Glaskugeln zerstört wurden und somit auch das Risiko verringern, verletzt zu werden. Wann genau Bose erstmals eine Elektrisiermaschine benutzte ist nicht ganz eindeutig. Er selbst schreibt, daß er bereits 1737 Versuche damit anstellte. Als Reibzeug diente auch hier wieder die trockene Hand des Experimentators. (Die Abb. 5 zeigt angeblich die Maschine von Bose, obwohl es hierüber sehr unterschiedliche Auffassungen gibt und die Experten sich einmal mehr nicht einig sind.)

5. Johann Heinrich Winkler, 1744

Diese Maschine benutzte einen anderen Antriebsmechanismus als den bis dahin üblichen. Ein Antriebsrad war nicht vorhanden, dafür befand sich an der Achse des Glaszylinders ein sogenannter Würtel. Mit Hilfe einer gespannten Schnur, des Würtels und eines Tretmechanismus wurde der Glaszylinder in Drehbewegungen versetzt. Der Vorteil war: man ersparte sich ganz einfach einen Gehilfen, der ansonsten notwendig war, um die Kurbel zu drehen. Neu an Winklers Maschine war ein Kissen als Reibzeug. Nicht mit Hilfe seiner Hände, sondern eines eigens dafür konstruierten ledernen Kissens, wurde der Glaszylinder gerieben. Der 'menschliche Rest' aus der mechanischen Vorrichtung war somit auch eliminiert. Wie Winkler selber schreibt, kam die Idee dazu nicht von ihm selber, sondern vom Drechslermeister Giessing, der auch für ihn die Maschine baute. Um eine bessere Wirkung beim Reiben zu erreichen, wurden die ledernen Kissen mit Kreide überstrichen. Was aber Winklers Maschine fehlte war der Konduktor. Schimank schreibt dazu: *"Wäre diesem Gerät noch der Bosesche Konduktor beigegeben, so könnten wir von einer in den Hauptzügen vollendeten Elektrisiermaschine sprechen"* (Schimank 1935, S. 249). (siehe Abb. 6)

6. William Watson, 1746

Diese Maschine hat anstelle des einen Reibkörpers gleich vier davon, die übereinander angeordnet sind und über ein großes Antriebsrad gleichzeitig in Drehung versetzt werden. Vier Reibkissen übernehmen die Funktion des Reibzeugs. Ebenfalls finden wir an dieser Maschine einen Konduktor, der über Hanffäden mit allen vier Kugeln in Verbindung steht. Watsons Maschine war somit die Erste, die vollständig war, d.h. alle Hauptbestandteile waren vorhanden. Schimank schreibt über Watsons Maschine folgendes: "*Seine große Vierkugelmaschine baut ganz auf den Grundgedanken der beiden sächsischen Physiker (Bose und Winkler, d. V.) auf, übernimmt von Bose den Konduktor, von Winkler das Reibzeug und den Gedanken, zur Erzeugung größerer Elektrizitätsmengen mehrere Kugeln im Parallelbetrieb arbeiten zu lassen*" (Schimank 1935, S. 249).

Gleichzeitig stellte Watson aber fest, daß sich zwar die Stärke der Elektrizität durch vier parallele Kugeln erhöhen läßt, jedoch nicht im Verhältnis zur Anzahl der Kugeln. Priestley schreibt dazu: "*Er (Watson, d. V.) stellte auch Versuche mit einer Anzahl mehrerer Kugeln, welche alle zugleich herumgedreht wurden und einen gemeinschaftlichen Leiter hatten, an; und folgerte daraus, daß die Stärke der Elektrizität durch die Menge und die Größe der Kugeln, zwar bis zu einem gewissen Grade, keineswegs aber nach dem Verhältnis ihrer Anzahl und Größe, vermehrt ward*" (Priestley 1772, S. 52). (siehe Abb. 7)

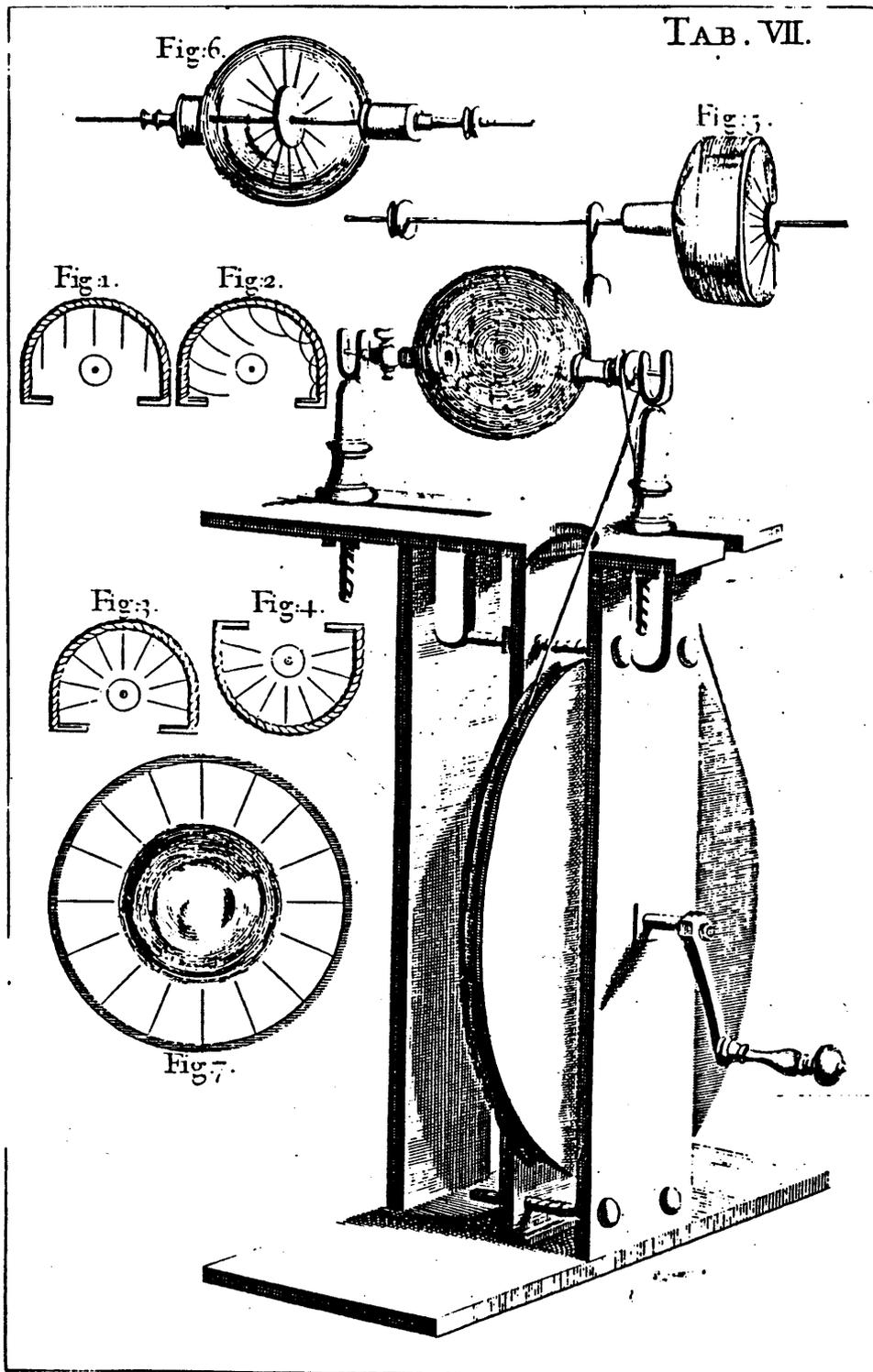


Abb. 3: Elektrisiermaschine des Francis Hawksbee, um 1700

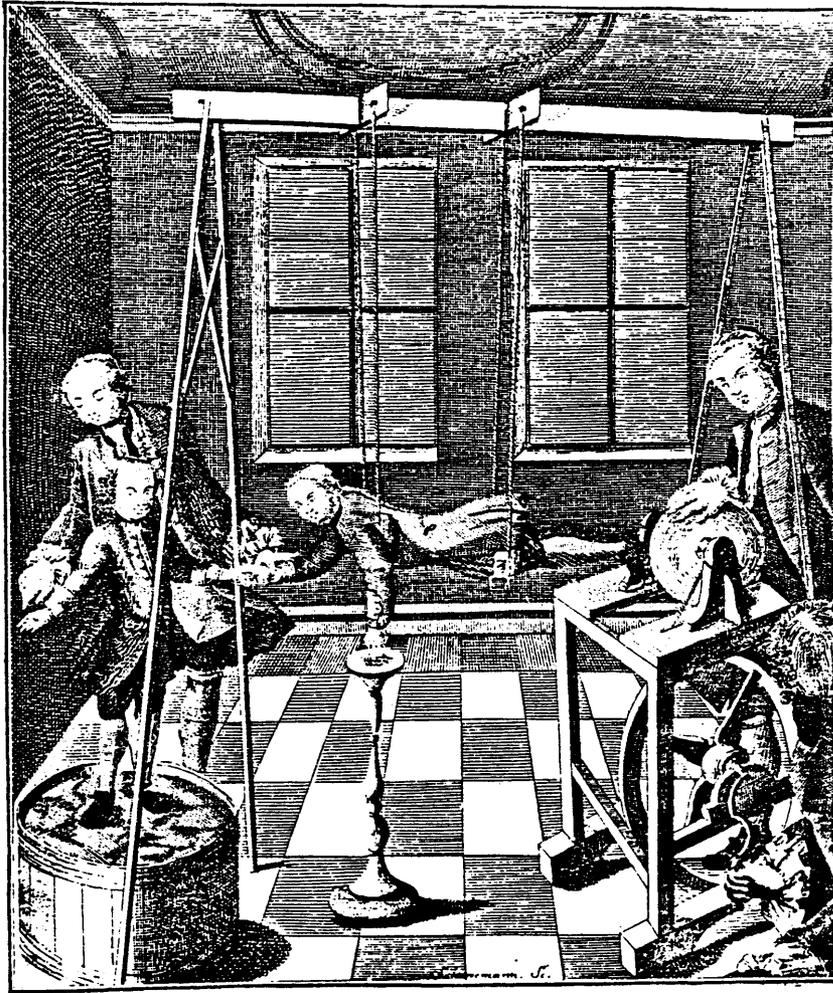


Abb. 4: Hausens Elektrisiermaschine, 1743

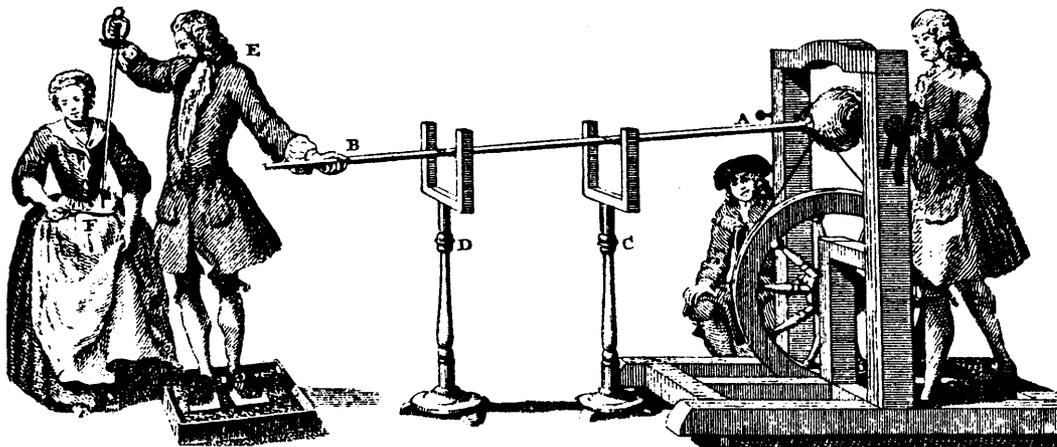


Fig. 319.

Abb. 5: Boses Elektrisiermaschine

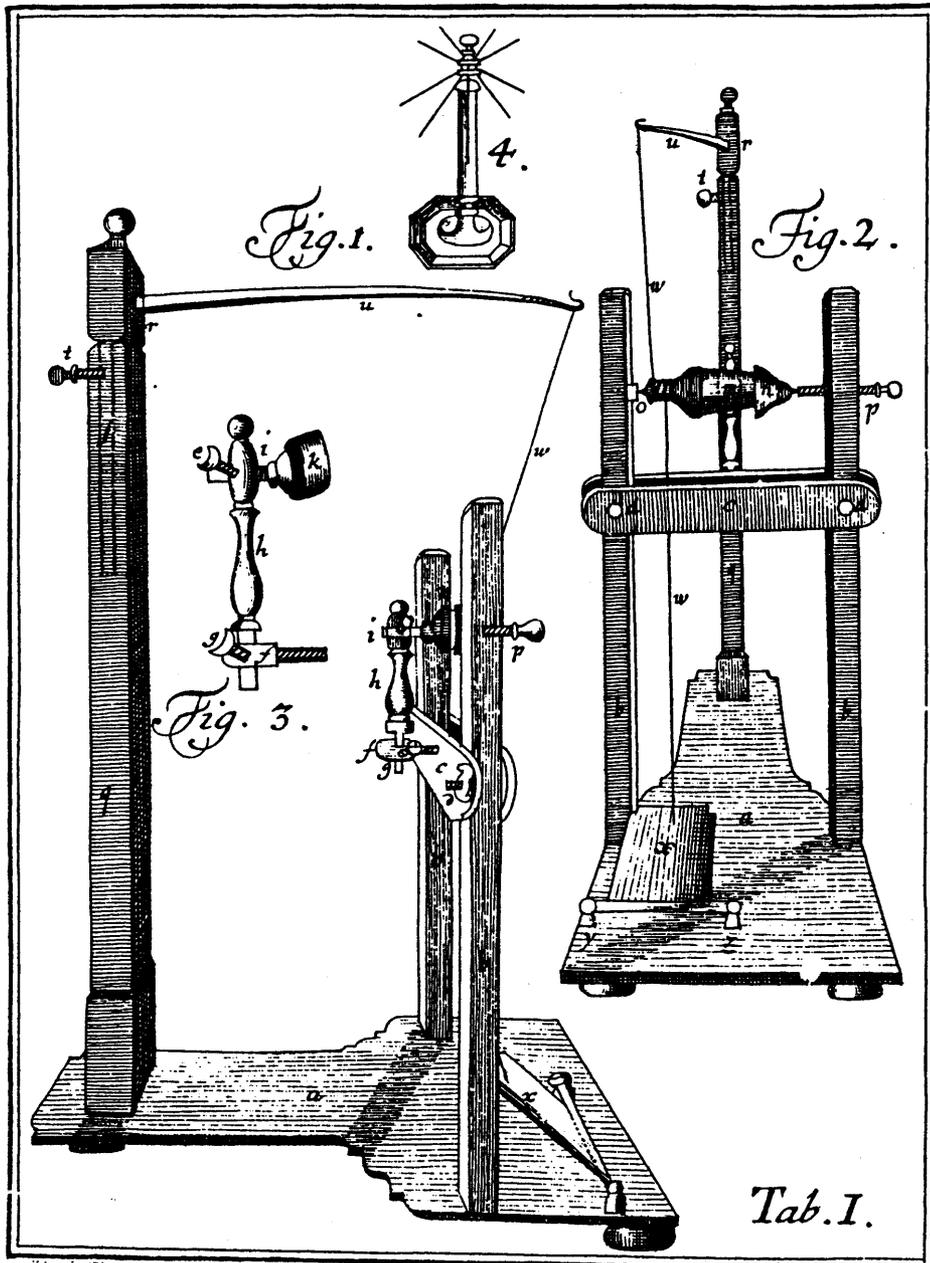


Abb. 6: Winklers Elektrisiermaschine, um 1744

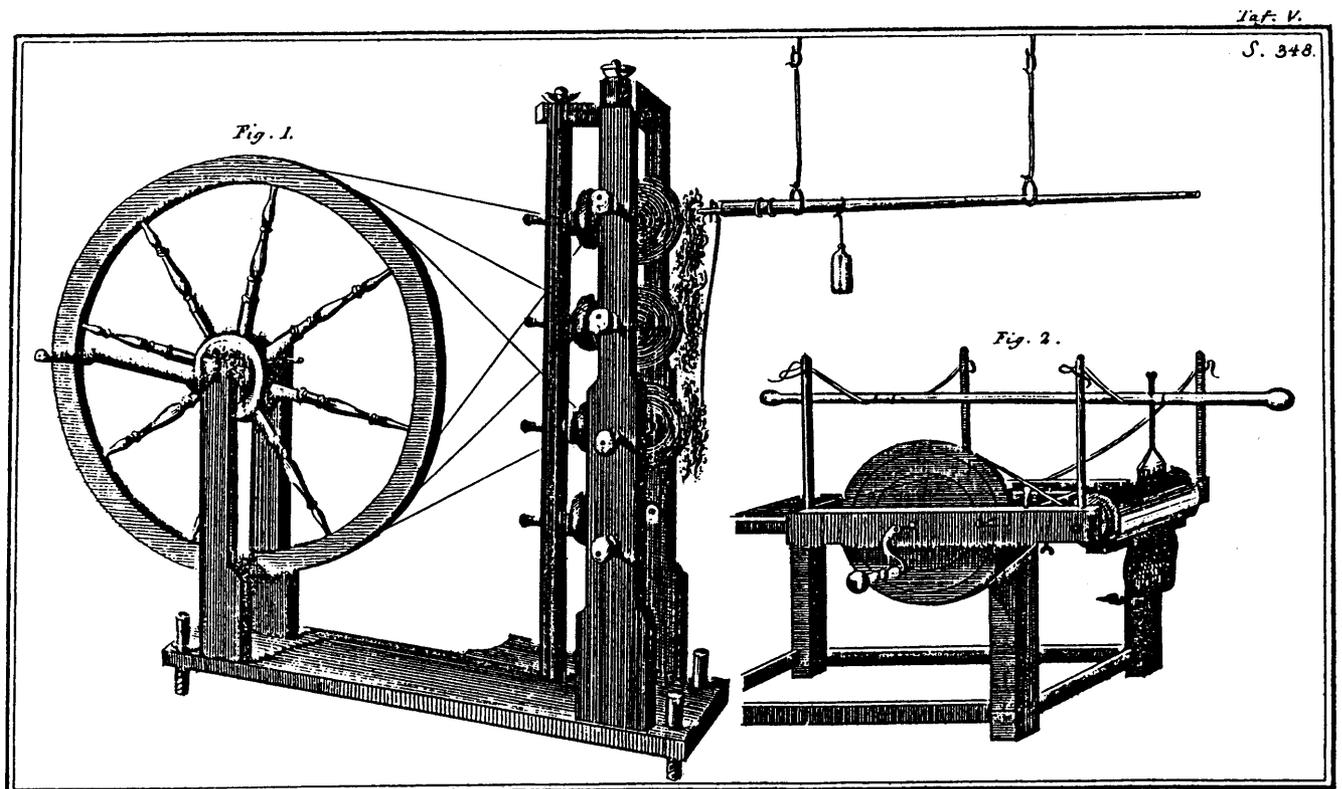


Abb. 7: Die Maschine von Watson (Fig. 1) und Wilson (Fig. 2)

5.8. Theoriebildung: Von der Ausströmungstheorie zur Theorie der elektrischen Atmosphäre

Mit der Auffindung immer neuer elektrischer Phänomene wuchs auch das Bedürfnis nach einer theoretischen Erklärung. Wie mußte man sich das Phänomen Elektrizität vorstellen, wie entstanden die Phänomene? Ein Forscher, der sich um diese Fragestellungen sehr bemühte, war Charles Dufay (1698 - 1739). Dufay arbeitete nach einer abgebrochenen militärischen Laufbahn seit 1723 als Chemiker an der Academie Royale des Sciences in Paris.

Anfangs benutzte Dufay das Modell älterer Naturforscher (siehe hierzu Kap. 5.5). *"Nach seiner Meinung stieß die beim Reiben austretende <Flüssigkeit> auf die den Glasstab umgebende Luft. Dadurch wurde diese beiseite gedrängt und leichte Partikel mitgerissen"* (Meya/Sibum 1987, S. 38). Zusätzlich dazu mußte aber angenommen werden, daß das austretende Fluidum auf einer Kreisbahn wieder in den Körper zurückkehrte, da sich ansonsten keine leichten Körper zum Glasstab hin bewegen konnten. Weitere experimentelle Erfahrungen veranlaßten Dufay immer wieder, sein eigenes Modell der elektrischen Vorgänge zu hinterfragen. Auch wenn er zuerst sämtliche Abstoßung als Anziehung durch benachbarte Gegenstände erklärte, so mußte er doch sehr bald feststellen, daß diese Erklärung nicht immer zutrifft. *"So beobachtete Dufay bei Annäherung eines geriebenen Glasstabes an ein Goldblättchen, daß dieses zunächst angezogen, nach einer Weile aber wieder zurückgestoßen wurde, ohne daß benachbarte Körper vorhanden waren"* (ebenda, S. 41). Aus dieser Beobachtung leitete er folgende Gesetzmäßigkeit ab:

"Elektrische Körper ziehen alle diejenigen Körper an, die nicht elektrisch sind und stoßen sie ab, sobald sie durch Annäherung oder Berührung ebenfalls elektrisch geworden sind" (ebenda, S. 41). Nach Dufay ergab sich folgendes einfaches Wirkungsprinzip:

Anziehung - Mitteilung - Abstoßung.

Doch schon sehr bald sollte Dufay dieses einfache Wirkungsprinzip selbst in Frage stellen. Dufay führte folgenden Versuch durch: *"Zwei getrennt aufgehängten Goldblättchen näherte er eine geriebene Glasröhre. Wie erwartet, wurden zunächst beide Blättchen angezogen, dann wieder abgestoßen. Kurz darauf stoßen sie sich untereinander ab. Er ersetzte die Glasröhre durch einen geriebenen Stab aus Gummi-Copal (bernsteinähnliches Harz) und näherte ihn einem dieser Goldblättchen. Wider Erwarten näherte sich dieses dem Stab und blieb dort haften ..."* (ebenda, S. 42). Sehr erstaunt von diesem Ergebnis wiederholte er den Versuch, kam aber jedesmal zu dem gleichen Resultat.

"Also mußte es zwei wesentlich verschiedene Gattungen von Elektrizität geben, von denen er die eine die Glas- und die andere die Harzelektrizität nannte. ... Das entscheidende Merkmal beider Elektrizitätsarten war, daß gleichartige Elektrizitäten sich abstießen, entgegengesetzte sich anzogen" (ebenda, S. 42). Trotz vielfältiger Bemühungen und experimenteller Anstrengungen zeigten Dufays theoretische Überlegungen doch erhebliche Schwächen. *"Das <Grundgesetz> der zwei Arten von Elektrizität, die Harz- und die Glaselektrizität, konnte Dufay nur empirisch nachweisen. Seine Ausströmungstheorie lieferte keine Erklärung für diese zwei unterschiedlichen Zustände. Völlig unklar war es, ob er zur Erklärung etwa zwei verschiedene elektrische Flüssigkeiten benötigte oder ob es weiterhin ausreichte, ein einziges Fluidum (unwägbare Flüssigkeit, d.V.) als Grundlage einer Theorie der Elektrizität zu verwenden"* (ebenda, S. 44).

5.9. Die Verstärkungsflasche

Die Verstärkungsflasche, auch Kleistsche Flasche, Leydener Flasche, elektrische Flasche, Ladungsflasche oder Erschütterungsflasche genannt, sorgte schon bei ihrer Entdeckung für Aufsehen und versetzte die Experimentatoren in großes Erstaunen. In Deutschland und Holland wurden nahezu gleichzeitig experimentelle Erfahrungen gesammelt, die die Entwicklung der Elektrizitätslehre noch sehr nachhaltig beeinflussen sollten. In Deutschland war es im Jahre 1745 der Prälat Ewald Jürgen von Kleist zu Cammin in Pommern, der sich, wie viele in der damaligen Zeit, aus Liebhaberei mit der Elektrizität beschäftigte. *"Er versuchte nämlich am 11. October des genannten Jahres, ein Medicin-Gläschen statt direkt durch Reibung durch Mitteilung zu elektrisieren, indem er einen eisernen Nagel in dasselbe steckte und diesen an den Conduktor der Elektrisiermaschine hielt; als er den Nagel wieder herausziehen wollte, empfing er beim Berühren desselben einen empfindlichen Schlag, dessen Wirkung noch zunahm, wenn sich in dem Glase etwas Quecksilber oder Weingeist befand"* (Albrecht 1885, S. 30).

"Inzwischen war in Holland durch eine ähnliche Veranlassung die gleiche Entdeckung gemacht worden. Der Leydener Professor Pieter van Musschenbroek ... elektrisierte Wasser in einer Glasflasche, weil er durch diese isolierende Umhüllung die Elektrizität länger zurückzuhalten hoffte. Ein Privatmann aus Leyden, Namens Cunaeus, der die Flasche in der Hand hielt, wollte den Metalldraht, durch den die Elektrizität von der Maschine in's Wasser geleitet worden war, mit der anderen Hand entfernen, da erhielt er ebenso, wie seinerseits Kleist einen Schlag" (ebenda, S. 31).

Ursprünglich wurde ein kleines Glasfläschchen benutzt, das entweder leer war oder auch mit Wasser oder Spiritus gefüllt wurde. Durch den Flaschenhals wurde ein Nagel oder ein metallener Draht geführt, der als leitende Verbindung zum Flascheninneren diente. Der Experimentator hielt die Flasche in der Hand und berührte den Konduktor einer in Betrieb befindlichen Elektrisiermaschine mit dem Nagel. Entfernte er den Nagel wieder vom Konduktor und berührte diesen mit seiner zweiten, noch freien Hand, so stellte er eine sehr starke Erschütterung im ganzen Körper fest. Musschenbroek teilte seine Entdeckung Réaumur mit und schrieb, daß er das Experiment nicht für das ganze Königreich Frankreich wiederholen würde. Beim Entladen der Flasche mit dem Finger habe sein Arm und der ganze Körper einen so starken Schlag erhalten habe, daß er dachte, es würde mit ihm zu Ende gehen (vgl. Musschenbroek an Réaumur, 20. Januar 1746, nach Heilbron 1979, S. 313f.). Später wurde die gläserne Flasche innen und außen mit einer dünnen Metallschicht versehen, man spricht dann von Innen- und Außenbelegung. Die beiden Belegungen dürfen jedoch nicht miteinander in Berührung stehen. Ein Draht stellt die Verbindung zur Innenbelegung her, wobei das äußere Drahtende mit einer kleinen Kugel versehen wurde.

Die Experimente mit den Flaschen und die teilweise erschreckenden Berichte über ihre Wirkungen sorgten nicht nur bei den Gelehrten, sondern auch im einfachen Volk, das elektrische Experimente aus öffentlichen Vorführungen kannte, für großes Aufsehen. Viele Experimentatoren und Laien waren begierig, die Versuche ebenfalls durchzuführen und die Wirkungen am eigenen Leibe zu verspüren.

Eine der ersten wissenschaftlich-theoretischen Untersuchungen der Verstärkungsflasche nahm Johann Heinrich Winkler (1703 - 1770, zunächst Professor für griechische und lateinische Sprache, dann für Physik in Leipzig) in Deutschland vor. Winklers Vorstellungen blieben jedoch sehr abstrakt und hypothetisch und waren von den Zeitgenossen nicht nachvollziehbar.

Berichte über die Entdeckung der Verstärkungsflasche

1. Die Versuche des Ewald Jürgen von Kleist 1745/1746

Am 19. Dezember hatte Kleist nachstehendes Schreiben an den Professor Johann Gottlob Krüger nach Halle abgeschickt, das dieser später seiner „Geschichte der Erde“ S. 177 beidruckte. Das Datum ergibt sich aus dem schon erwähnten Schreiben von Kleists an Winkler vom 15. Mai 1746.

„Ew. Hochedelgeb. gelehrte Schriften vergnügen mich und alle diejenigen, welche die Gesetze der Natur nach ihren innerem Wesen kennen zu lernen begierig sind, auf eine ausnehmende Art. Dero geschickter Vortrag ist so lebhaft, so reichend, daß auch selbst denjenigen eine Liebe zur Naturwissenschaft eingeblößet wird, deren bider Verstand sonst nicht erlaubet, auf etwas mehr, als was klingenden Nutzen bringet, acht zu haben.

Ew. Hochedelgeb. von einigen (wenigstens in Ansehung meiner) neuen elektrischen Versuchen etwas zu schreiben, sollte ich daher billiges Bedenken tragen, weil Ihnen solche vermuthlich nicht unbekant seyn werden. Doch nehme ich den Bewegungsgrund mit daher, weil ich in anderen bisherigen, auch selbst den Winklerschen an Versuchen so fruchtbaren Schriften, davon nichts gefunden habe. Versuche, welche nur zum elektrischen Spielwerk gehören, können auf mannigfaltige Art verändert werden. Aus selbigen ist sich aniko nicht viel mehr zu machen. Sind selbige aber zu weiterer Erkänntniß der elektrischen Eigenschaften geschickt, so verdienen sie mehr Aufmerksamkeit. Ich überlasse es Dero scharfen Einsicht, ob folgende zum Teil mit dazu gerechnet werden können:

Experm. 1. . . .

„ 2. . . .

„ 3. Wenn ein Nagel, starker Draht u. in ein enghälssiges Medizingläschen gesteckt und electricisirt wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen; das Gläschen muß recht trocken und auch warm seyn. Thut man etwas Mercur.²³ oder Spir. Vin.²⁴ hinein, so gehet alles desto besser von statten. Sobald das Gläschen von der elektrischen Maschine weggenommen wird, so äußert sich an demselben der flammenbe-
penicillus²⁵, und habe ich mit dieser kleinen brennenden Maschine über 60 Schritt in dem Gemach hell gehen können.

Experm. 4. Electricisire ich den Nagel stark, welches sich an dem im Gläschen findenden Licht und heraus-
sarenden Funken spüren läßt, so kan ich damit in eine andere Cammer gehen und Spiritum Vini oder Therebinthi²⁶ anzünden.

Experm. 5. Wird währenden Electricisiren der Finger oder ein Metall an den Nagel gehalten, so ist der Schlag so stark, daß Arm und Achseln davon erschüttelt werden.

Experm. 6. Eine auf blauseidenen Schnüren oder Glas liegende blecherne Röhre²⁷, läßt sich durch dieses Instrument viel stärker electricisiren, als wenn es immediate²⁸ durch die electrif. Kugel geschlehet. Auch Spiritus läßt sich damit zünden. Ein gleiches erfolgt bei einen auf dem elektrischen Viereck²⁹ stehenden Menschen. Im letzteren Fall ist die Electricität stärker, wenn die electr. Maschine an die bloße Haut, als an die Kleider gehalten wird.

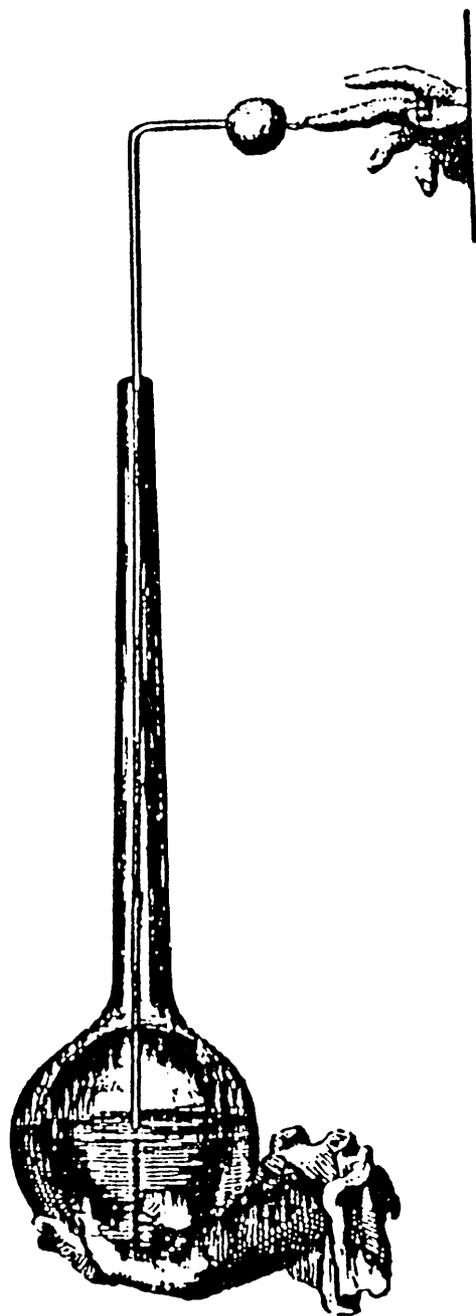
Experim. 7. Wird die blecherne Röhre (bei mir ein Tubus³⁰ von 12 Fuß) auf gewöhnliche Art electrifizirt, und ich halte sodann den im Gläschen befindlichen Nagel daran und fahre mit electrifiziren fort, so sollte man nicht glauben, zu welcher Stärke die Electricität gebracht würde, wenn nicht die Erfahrung den besten Beweis darböte.

Experim. 8. Noch habe ich eine 4 Zoll im diam.³¹ haltende, mit etwas Feuchtigkeit gefüllte gläserne Kugel genommen und das drein gefaßte metallene Instrument, welches wie eine kleine Cammer war, auf vorbeschriebene Art electrifizirt und dadurch eine solche starke Electricität zu wege gebracht, daß man den herausfarenden Schlag nicht mehr als einmal auszuhalten verlangt, die Kugel muß etwas warm, und der Umfang recht trocken sehn. Spiritus läßet sich damit nicht gut anzünden. Die Erschütterung ist zu heftig, der Löffel oder ander Gefäß wird entweder aus der Hand geschlagen, oder doch der Spiritus verschüttet.

²³ Quecksilber. — ²⁴ Spiritus. — ²⁵ „Schwänzchen“, elektrisches Büschellicht. — ²⁶ Terpentin.

²⁷ Ein Konduktor. — ²⁸ Unmittelbar. — ²⁹ Isolierschemel. — ³⁰ Wahrscheinlich ein Fernrohr von 12' Brennweite. — ³¹ Im Durchmesser.

Wird das Instrum. an der Stange elec-
trifirt, so äußert sich dieselbe Kraft an der Stange, it. an



einen Menschen auf dem
Vierecke zc. Die Electricität
hat sich nach Verlauf von
24 Stunden noch sehr merk-
lich spüren lassen. Ich bin
versichert, daß bei dergleichen
heftigen Funken der Herr N.
N. das wiederholte Küssen
mit seiner veneranda Ve-
nero³² wol hätte sollen
bleiben lassen.

Was mir bei diesem
allen am merkwürdigsten zu
sehn scheint, ist: daß sich
diese starke Wirkung
nicht anders als in der
Hand zeigen wolle. Kein
Spiritus wird sich, wenn er
auf dem Tische steht, zünden
lassen. Electrifire ich das
gemeldete Instrument noch so
stark, setze es auf den Tisch
und halte den Finger daran,

so erfolgt kein Funken, sondern nur ein feuriges Blischen.

³² Mit seiner verehrungswürdigen Schönen.

Nehme ich die Kugel ohne solche von neuen zu electrificiren wieder in die Hand, so äußert sich die vorige Stärke. Ich weiß nicht, ob die Herren Physici hierauf bereits haben acht gehabt.

P. S. Währenden Schreiben gedente ich an eine kleine Kugel von einem Thermometro, um es damit gleichfalls zu versuchen. An solcher lasse ich die Röhre 4 Zoll lang, fülle die Kugel halb mit Wasser, setze einen Drath, woran oben eine kleine bleierne Kugel befestiget, daran, etwa in dieser Form (siehe Fig.), fange an zu electrificiren, und erhalte mehr Stärke, als mit einem Medizin-Bläschen. Der Schlag ist heftig, zündet Spiritum ohne Schwierigkeit an, wenn auch 100 Schritt zuvorhero damit weggehe. Das Gefäß worinne der Spiritus muß etwas breit seyn, denn sonsten der Funken in das Metall hineinschläget; das Instrument muß so lange electrificirt werden, bis es nicht mehr zischt. Das ist eine Anzeige daß keine electr. Materie mehr darinnen befindlich, sondern nach den Waik'schen principiis alle ausgefogen ist.“ —

2. Die Versuche des Pieter van Musschenbroek 1746

Zu Anfang des Januar 1746 schrieb Musschenbroek einen Brief an Réaumur³⁹, den Gralath also wiedergibt:

„Ich will ihnen eine neue und schreckliche Erfahrung mittheilen, und dabey rathen, solche selbst nicht zu versuchen. Ich stellte einige Untersuchungen von der Stärke der Electricität an, und hatte zu dem Ende an zween blau seidenen Faden eine eiserne Röhre aufgehänget, welcher die Electricität von einer sehr schnelle um ihre Aze gedrehten und an den Händen geriebenen gläsernen Kugel mitgetheilet wurde; an dem andern äußersten Ende hieng ein messingener Drath ganz frey, dessen Ende in ein rundes gläsernes Gefäße, das zum Theil mit Wasser angefüllet war, tauchte; dieses hielt ich in der rechten Hand, und mit der andern Hand versuchte ich aus der eisernen Röhre einen Funken herauszuloden. Auf einmal empfand ich in der rechten Hand einen so heftigen Schlag, daß mein ganzer Körper als von einem Donnerschlage erschüttelt wurde. Obgleich das Gefäß nur von dünnem Glase ist, so bricht es doch gemeiniglich nicht entzwey; und die Hand wird auch nicht von ihrer Stelle verrückt; der Arm aber und der ganze Körper werden auf eine so empfindliche Art gerühret, daß ich es nicht beschreiben kann; mit einem Worte, ich dachte es wäre mit mir gethan. Es ist aber hiebey noch als etwas besonderes zu bemerken: daß, wenn man diesen Versuch mit einem englischen Glase anstellet, nicht die geringste, oder doch keine merkliche Wirkung erfolge. Das Glas muß aus Deutschland seyn; auch selbst das Holländische ist nicht geschickt dazu. Es gilt gleich, ob es eine runde oder eine andere Figur hat. Man kann ein

³⁹ 1688—1757

gemeines Keldyglas dazu brauchen; es mag dasselbe groß oder klein, dick oder dünne, tief oder flach seyn; unumgänglich nöthig aber ist es, daß es deutsches oder böhmisches Glas sey. Dasjenige, welches mir den Tod gedrohet, war ein weißes dünnes Glas, von fünf Zollen im Durchmesser. Die Person, welche den Versuch anstellt, kann schlechtweg auf dem Fußboden stehen. Es muß aber eben derselbe, der das Gefäß in der einen Hand hält, mit der andern Hand den Funken erregen; die Wirkung ist ganz geringe, wenn zwei verschiedene Personen dazu gebraucht werden. Wenn man das Gefäß auf ein metallenes Gestelle setzet, so auf einem hölzernen Tische stehet, und nur mit der Spitze des Fingers das Metall berührt, und mit der andern Hand einen Funken herauslocket, so empfindet man ebenfalls einen starken Schlag.“

3. Auswirkungen der Versuche mit der Verstärkungsflasche

Es ist ein wahres Vergnügen, die Beschreibungen zu lesen, welche die Naturforscher, die den elektrischen Schlag zuerst fühlten, davon geben; absonderlich, da wir gewiß wissen, daß wir uns selbst eben dergleichen Empfindung verschaffen, und dadurch ihre Beschreibungen mit der Wirklichkeit vergleichen können. Schreck und Bestürzung trugen zu denen übertriebenen Nachrichten, welche sie davon gaben, gewiß nicht wenig bei; und, wosfern wir das Experiment nicht hätten nachmachen können, so würden wir uns einen Begriff, welcher von demjenigen, wie es wirklich ist, sehr unterschieden ist, davon gemacht haben, gesetzt daß wir auch dem elektrischen Schläge eine größere Stärke gegeben hätten, als diejenigen, welche denselben zuerst fühlten, ihm zu geben vermögend waren. Es wird hoffentlich meinen Lesern nicht unangenehm seyn, wenn ich ihnen ein oder zwey Beispiele davon gebe.

Als Herr Allamand dieses Experiment, und zwar bloß mit einem gemeinen Bierglase, das erste mahl anstellete, versicherte er, daß er anfänglich einige Augenblicke den Gebrauch seines Athems verloren, und darauf einen so übermäßigen Schmerz längs dem rechten Arme bekommen, daß er anfänglich üble Folgen davon befürchtet habe; doch wäre hernach alles ohne Schaden abgelaufen *). Der merkwürdigste Bericht aber ist derjenige, welcher sich vom Herrn Prof. Winkler, zu Leipzig, herschreibet. Er erzählt, daß, als er den Lepdenschen Versuch zum ersten mahl angestellet, er starke Convulsionen darnach in seinem Körper empfunden habe, und daß sein Geblüt so stark erhitzt worden sey, daß er ein hitziges Fieber befürchtet, und kühlende Arzeneien habe brauchen müssen; im Kopfe an der Stirn habe es ihm etliche Tage wie ein Stein gelegen; einige Tage darauf habe er zweymahl Nasenbluten bekommen, wozu er sonst gar nicht geneigt gewesen; und in den Gelenken der Hände und Arme habe er einen fortdauernden Schmerz, ein Zucken und Reitzen, empfunden, so daß er mit der rechten Hand in acht Tagen nicht habe schreiben können. Seine Ehegattinn, (bei der, wie es scheint, die Neugierde größer war, als ihre Furcht) welche den starken elektrischen Schlag nur zweymahl bekommen, habe sich so schwach darauf befunden, daß sie kaum gehen können; und in der folgenden Woche, da sie wieder das Herz bekommen, noch einen Schlag anzunehmen, habe sie, nachdem sie den Versuch nur Einmahl angestellet, gleich einige Minuten darauf Nasenbluten bekommen **).

Eben dieser erstaunliche Versuch nun brachte die Elektricität in ein überaus großes Ansehen. Von dieser Zeit an ward dieselbe der Gegenstand der allgemeinen Unterredung. Jedermann ward begierig, das Experiment zu sehen, und, der schrecklichen Berichte, welche davon abgestattet wurden, ungeachtet, zu fühlen; und in demselben Jahre, in welchem es entdeckt worden war, suchte eine Menge Personen, fast in jeder Gegend von Europa, sich den Lebensunterhalt dadurch zu erwerben, daß sie umher zogen, und dasselbe für Geld sehen ließen.

5.10. Franklins ökonomische "Ein-Fluidum-Theorie"

Mit dem Namen Benjamin Franklin (1706 - 1790) verbindet man heutzutage weniger einen Naturforscher und Experimentator, der sich auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre einen Namen gemacht hat, als vielmehr den Politiker und Ökonomen, der sich in der amerikanischen Unabhängigkeitsbewegung hervorgetan hat. Gleichzeitig war Franklin aber auch noch Journalist, Geschäftsmann und Naturphilosoph. Er zeigte sehr starkes Interesse am Phänomen der Elektrizität, stellte die verschiedensten Experimente an und versuchte auch, eine zusammenfassende Theorie der Elektrizität aufzustellen.

Sein Denken war geprägt durch eine buchhalterische Interpretation der Wirklichkeit. Er glaubte, *"daß jedes wahrgenommene Vergnügen (oder jeder Schmerz) letztendlich durch ein gleiches Maß von Schmerz (oder Vergnügen) aufgewogen wird. A habe 10 Einheiten Schmerz. 10 Einheiten Vergnügen müssen deshalb auf sein Konto gebucht werden"* (Heilbron 1983, S. XVII, nach Sibum, 1988, S. 74). Diese Sichtweise der Dinge beeinflusste in sehr starkem Maße auch seine Theorie der Elektrizität.

"Ebenso wie in der doppelten Buchführung Soll und Haben durch den imaginären Geldkreislauf direkt aufeinander bezogen sind, begriff Franklin die Zirkulation des elektrischen Fluidums als einen für die elektrischen Zustände (+E,-E) notwendigen Bewegungsvorgang... Dadurch erhielt die Vorstellung der Geldzirkulation ihr theoretisches Pendant in der Elektrizitätsforschung: den elektrischen Stromkreis" (Sibum, a.a.O., S. 93).

An dieser Stelle seien zunächst Franklins Thesen über das Wesen der Elektrizität zitiert:

"Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr subtile Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursachen aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Theile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Äther, Feuer, Licht und dergl. mehr benennen kann, stossen sich untereinander ab. Sie werden aber von den Theilen der gemeinen Materie, aus welchen die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Theil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne dass dieselbe auf der Oberfläche mehr als im Innern gehäuft liegen bleibt, so ist er, in Absicht auf die Elektrizität, in natürlichem Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Übergang dieser Materie aus einem Körper in den anderen und die dadurch hervorgebrachte ungleiche Vertheilung derselben in den Körpern" (Franklins Briefe von der Elektrizität, Vorrede des Übersetzers J.C. Wilcke, zitiert in: Rosenberger 1898a, S. 17).

Mit Franklins Theorie gelang es endlich, das Phänomen der Leydener Flasche zufriedenstellend zu erklären. Der Verstärkungseffekt der Flasche, der vorher eigentlich nur bestaunt wurde, konnte nun einleuchtend gedeutet werden. Zwar gab es seit der Erfindung der Flasche zahlreiche Versuche, dieses Phänomen zu deuten, doch die Erklärungen waren meistens äußerst kompliziert und kaum zu verstehen. Durch Franklins Thesen wurde eine Interpretation des Verhaltens der Flasche dagegen klar und übersichtlich. *"In der Erklärung der Verstärkungs- bzw. der Leydener Flasche, dem ersten Kondensator, orientierte er sich ebenfalls an dem ökonomischen Grundmuster. Er betrachtete das Glasgefäß als ein abgeschlossenes System, dessen Menge an Elektrizität er als konstant festlegte. Die Verstärkungswirkung dieser Flasche führte er daher auf eine veränderte Verteilung der Elektrizitätsmenge zurück, sodaß*

die Innenseite z.B. einen Überschuß (+E) an Elektrizität und die Außenseite einen Mangel (-E) aufwies; die algebraische Summe jedoch dieselbe blieb" (Sibum, 1988, S. 95).

Versuchen wir einmal, uns Franklins Theorie an einem konkreten Beispiel vorzustellen. Betrachten wir eine Leydener Flasche, deren Außenbelegung mit der Erde verbunden sei. Vor dem Experiment ist die Flasche nach außen unelektrisch, d.h. sowohl die Außen- als auch die Innenbelegung tragen nur die ihnen natürlicherweise innewohnende Menge elektrischer Materie. Nun reiben wir einen Glasstab. Hierdurch wird der Glasstab z.B. positiv elektrisch, d.h. es herrscht ein Überschuß an elektrischer Materie; deren Menge bezeichnen wir als eine Einheit elektrischer Materie. Nun berühren wir den Kopf (und somit die Innenbelegung) der Flasche. Der Glasstab kann dann die Elektrizität an die Innenbelegung der Flasche abgeben. Die Elektrizitätsmenge im Inneren der Flasche muß sich also um eine Einheit erhöhen, während sich die Elektrizitätsmenge auf der Außenbelegung um eine Einheit verringern und zur Erde abfließen muß. Die Gesamtsumme an elektrischer Materie der Flasche bleibt hierbei konstant.

Diesen Vorgang können wir nun so lange wiederholen, bis sämtliche elektrische Materie der Außenbelegung verdrängt wurde und auf der Innenseite die doppelte Menge der ursprünglichen elektrischen Materie vorhanden ist.

Franklins beschreibt dieses Experiment folgendermaßen: *"Man nehme an; der ganze Vorrath von elektrischer Materie, der sich in jeder Fläche des Glases befindet, ehe noch das Elektrisieren den Anfang genommen hat, betrage zwanzig, bei jedem Streiche mit der Elektrisiröhre aber werde ein Theil der elektrischen Materie, den man zu Eins annimmt, in dasselbe hineingebracht: so beträgt die Menge von elektrischer Materie im Drahte und im oberen Theile der Flasche nach dem ersten Striche ein und zwanzig, im Boden hingegen neunzehn. Nach dem zweiten Striche bekömmt der obere Teil zwei und zwanzig, der untere wird aber itzt nur noch achtzehn enthalten. Nach zwanzig Strichen wird endlich die Menge von elektrischer Materie im oberen Theile gleich vierzig, dahingegen der untere gar nichts mehr behält. Und hiermit ist die Arbeit aus, weil in den oberen Theil nicht das geringste mehr hineingebracht werden kann, so bald man aus dem unteren nichts heraustreiben kann. ... Weil nun nach obigem in den obern Theil des Glases weiter nichts hineingebracht werden kann, sobald aus dem Boden alles herausgetrieben ist; so wird auch in eine noch nicht elektrisierte Flasche, durch die Öffnung nicht das geringste hinein zu bringen seyn, wenn aus dem Boden nichts heraustreten kann" (Franklin, zitiert in: Rosenberger, 1898a, S. 18).* Dies gilt bei Franklin natürlich auch umgekehrt: wenn durch den Boden nichts wieder hineinkommen kann, also die elektrisierte Flasche isoliert steht, kann oben nichts herausgezogen werden.

Nach dieser doch sehr schlüssigen Erklärung der Leydener Flasche gelang auch eine plausible Beschreibung der Vorgänge bei Influenzerscheinungen. Beobachtet und beschrieben wurde dieses Phänomen schon seit längerer Zeit, aber eine einleuchtende Deutung gab es nicht; die damaligen Deutungen waren voller Widersprüche. Die Franklinsche Theorie deutet dieses Phänomen folgendermaßen: *"... Brachte man also einen unelektrischen (d.h. normal elektrischen) Körper in die Nähe eines positiv elektrisierten, so musste dieser nothwendiger Weise durch seine überschüssige Elektricität eine entsprechende Menge an Elektricität in jenem abstossen und wegtreiben. Der unelektrisierte Körper musste also in der Nähe eines elektrischen auf der einen Seite einen Mangel, auf der anderen einen Überschuss und nach der*

Ableitung dieses Überschusses auch nach dem Entfernen des elektrischen Körpers noch einen Mangel oder negative Elektrizität zeigen" (Rosenberger 1898b, S. 27).

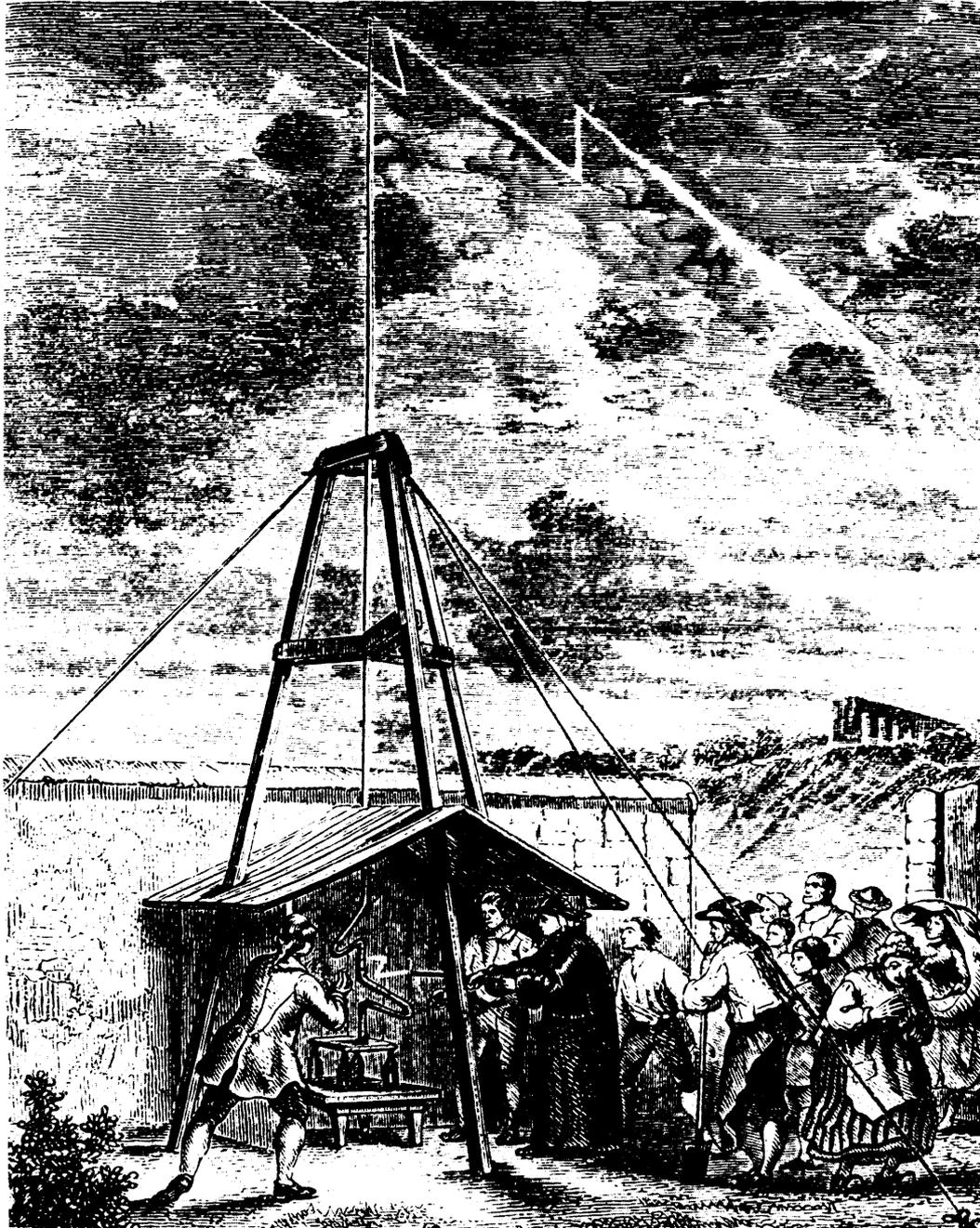


Abb. 8: Benjamin Franklin ist auch dadurch bekannt, daß er den elektrischen Charakter des Gewitters erkannt hatte und vorschlug, mit der Elektrizität einer Gewitterwolke eine Leydener Flasche zu laden. Die Abbildung zeigt den ersten erfolgreichen Versuch, der am 10. Mai 1752 bei Paris durchgeführt wurde. (Bitte nicht nachmachen!)

5.11. Symmers "Zwei-Fluida-Theorie"

Symmer entwickelte als erster die Vorstellung zweier gänzlich verschiedener elektrischer Ladungen. Seine Vorstellungen entsprechen bis zu einem gewissen Grade der heutigen Sicht. Sein Konzept beruhte auf der Annahme, *"daß die Elektrizität nicht auf einer einzigen Kraft, sondern auf zwei unterschiedlichen Kräften beruht, welche durch ihr Gegeneinanderwirken die verschiedenen Phänomene erzeugen. Und daß, wenn ein Körper plus elektrisch ist, dies nicht darauf beruht, daß er zuviel von einer einzigen Art elektrischer Materie besitzt, sondern daß eine von zwei im Überschuß vorhanden ist"* (Symmer nach: Fraunberger 1985, S. 161).

Das Geburtsjahr Symmers wird mit 1703 oder 1707 angegeben, ein genaueres Geburtsdatum fehlt. Über seine Kindheit und sein Elternhaus ist uns nichts bekannt. Bis 1735 studierte er in Edinburgh, unter anderem Naturphilosophie. Vielleicht ist hier schon der Grundstein für seine spätere Vorstellung zweier verschiedener Elektrizitäten zu suchen. Denn Symmer war ein Anhänger der naturphilosophischen Anschauung von Wirkung und Gegenwirkung (actio und reactio). Jede Wirkung in der Natur finde ihr entsprechendes Gegenstück, d.h. es existieren immer zwei Wirkungen, die einander jeweils genau entgegengesetzt sind: *"Wenn aber zwei verschiedene und entgegengesetzte Kräfte existieren, so wie mir es scheint und wie es die vorangegangenen Experimente und Beobachtungen augenscheinlich machen, so wird es in diesem Falle unmöglich sein, ohne eben dieses Prinzip der zwei Kräfte eine in sich vollständige und geschlossene Theorie der Elektrizität aufzustellen. Zudem würden wir nicht feststellen, nach genauen Betrachtungen, daß dieses Prinzip mit den allgemeingültigen Prinzipien der Natur nicht übereinstimmt. Es ist eines der fundamentalen Gesetze der Natur, daß Actio und Reactio untrennbar und gleichbedeutend sind. Und wenn wir uns umschauen, sehen wir, daß jede Kraft, die in der materiellen Welt existiert, mit einer entgegengesetzten Kraft verbunden ist, die den Effekt kontrolliert und reguliert, entsprechend der weisen Voraussicht der Vorsehung"* (Symmer, 1795, S. 389, Übersetzung d.V.).

Kehren wir zu R. Symmers Lebensgeschichte zurück. Nach dem Studium verließ er Schottland, wie es heißt, aufgrund fehlender Arbeitsmöglichkeiten. Einige Jahre später ließ er sich in der Nähe von London nieder. Hier bekleidete er die Position eines Zahlmeisters am königlichen Hof. In London hatte er Kontakt zu Wissenschaftlern der verschiedensten Forschungsrichtungen, die auch sein wissenschaftliches Interesse beeinflußt und gefördert haben dürften. Am 6. Dezember 1752 wurde Symmer Mitglied der Royal Society in London. Dies wurde er nicht wegen besonderer, herausragender wissenschaftlicher Leistungen, sondern aufgrund von Beziehungen zu Persönlichkeiten, die bereits Mitglied der Gesellschaft waren und Symmer als Mitglied vorschlugen.

Erst 1757 begann Symmer mit seinen elektrischen Studien. 1759 veröffentlichte er in den Philosophical Transactions vier Abhandlungen über die Elektrizität. Diese sind das Einzige, was von ihm selbst über seine Theorie veröffentlicht wurde. 1763 starb Symmer.

Zu Zeiten Symmers hatte die Theorie Franklins bereits besondere Bedeutung erlangt. Dennoch wurde sehr bald offensichtlich, daß nicht alle elektrischen Phänomene mit Hilfe der Franklinschen Theorie befriedigend gedeutet werden konnten. Z.B. konnte Franklins Theorie nicht erklären, warum sich zwei Körper, die negativ aufgeladen waren, denen also Elektrizität fehlte, sich abstießen.

Symmers Vorstellung war im Gegensatz zu Franklin folgende: *"...Meine Vorstellung ist es, daß die Vorgänge der Elektrizität nicht von der Kraft eines einzigen Fluidums abhängen, gemäß der allgemein angenommenen Vorstellung: sondern von zwei verschiedenen, positiven und aktiven Kräften, welche durch ihre Verschiedenheit und ihr Entgegenwirken die unterschiedlichen Phänomene der Elektrizität hervorbringen; und daß es sich weder bei einem Körper, von dem gesagt wird, er sei positiv elektrisiert, um einen solchen handelt, der einfach einen größeren Anteil an elektrischer Materie besitzt als einer im natürlichen Zustande, noch bei einem als negativ elektrisiert bezeichneten, um einen solchen, der weniger an elektrischer Materie besitzt. Sondern im ersten Fall besitzt der Körper eine größere Menge einer der aktiven Kräfte und im anderen Fall eine größere Menge der anderen aktiven Kraft; daß ein Körper im natürlichen Zustande unelektrisch erscheint, beruht auf dem Gleichgewicht dieser zwei Kräfte in ihm"* (Symmer a.a.O.).

Mit anderen Worten: In allen Stoffen finden wir zwei entgegengesetzte elektrische Prinzipien, subtile Flüssigkeiten oder Kräfte, die sich, wenn sie in genau gleichen Mengen vorhanden sind, neutralisieren und in ihren Wirkungen aufheben und so den Anschein eines unelektrischen Körpers bewirken. Im elektrisierten Zustand befindet sich eine von zwei Kräften im Übergewicht und ein Körper erscheint entweder positiv oder negativ elektrisch. E. Hoppe drückt dies wie folgt aus: *"Ein Körper hat also im natürlichen Zustande von beiden Elektrizitäten gleiche Mengen, wird er nun elektrisch erregt, sei es durch Reiben oder durch Influenz, so erfolgt eine Scheidung; indem beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektrizität bekommt, und bei der Influenz durch einen genäherten elektrischen Körper am zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität angesammelt wird, am abgewandten die gleiche Elektrizität"* (Hoppe, 1884, S. 57).

Bezeichnend für die experimentellen und theoretischen Methoden, die in der damaligen Zeit in der Elektrizitätsforschung angewandt werden konnten, ist die doch sehr seltsam anmutende Art und Weise, wie Symmer zu seinen Vorstellungen über die Elektrizität gekommen ist. Es begann damit, daß Symmer die Angewohnheit hatte, zwei Paar Strümpfe, das eine aus Wolle, das andere aus Seide, übereinander zu tragen. *"Manchmal habe ich beobachtet, wenn ich abends meine Strümpfe auszog, daß diese zeitweise ein knackendes und klatschendes Geräusch von sich gaben: und im Dunkeln konnte ich bemerken, wie sie Funken von sich gaben."* (Symmer, zitiert in: Heilbron, 1979, S. 431, Übersetzung d.V.).

Symmer ging diesen Erscheinungen nach, wiederholte den Vorgang des öfteren, variierte dabei die Strumpfsorten und stellte schließlich fest, daß der Effekt immer dann am größten war, wenn er Strümpfe aus schwarzer und weißer Seide benutzte. Hielt er zwei derart aufgeladene weiße oder schwarze Strümpfe aneinander, so stießen sie sich ab. Hielt er jedoch einen schwarzen und einen weißen dicht zusammen, so zogen sie sich gegenseitig sehr stark an. *"Beide Strümpfe blieben, wenn sie nach dem Ausziehen in einiger Entfernung getrennt festgehalten wurden, dermassen aufgeblasen, dass sie die ganze Gestalt des Beines noch längere Zeit beibehielten; und wenn zwei schwarze oder zwei weisse Strümpfe einander nahe gebracht wurden, stiessen sie sich so stark ab, dass sie dem Augenschein nach einen Winkel von dreyzig oder fünf und dreyzig Grad mit einander bildeten"* (Rosenberger, 1898a, S. 30).

Da Symmer wußte, daß es sich bei seinen Beobachtungen um elektrische Phänomene handelte, nahm er ein Elektroskop (siehe 5.12) zu Hilfe, um Aussagen treffen zu können, wie diese Phänomene möglicherweise erklärbar seien. Jeder Strumpf, der nach der o.g. Beschreibung behandelt wurde, ergab für sich genommen am Elektroskop einen großen Ausschlag. Näherte er jedoch zuerst einen schwarzen und danach einen weißen Strumpf bzw. umgekehrt, so ging der Ausschlag, der zuerst zu beobachten war, häufig vollständig wieder zurück.

Da Symmer anfangs von Seiten anderer Wissenschaftler kaum Zuspruch erhielt, sondern eher verlacht wurde, versuchte er ständig, 'experimentelle Beweise' für seine Theorie zu finden.

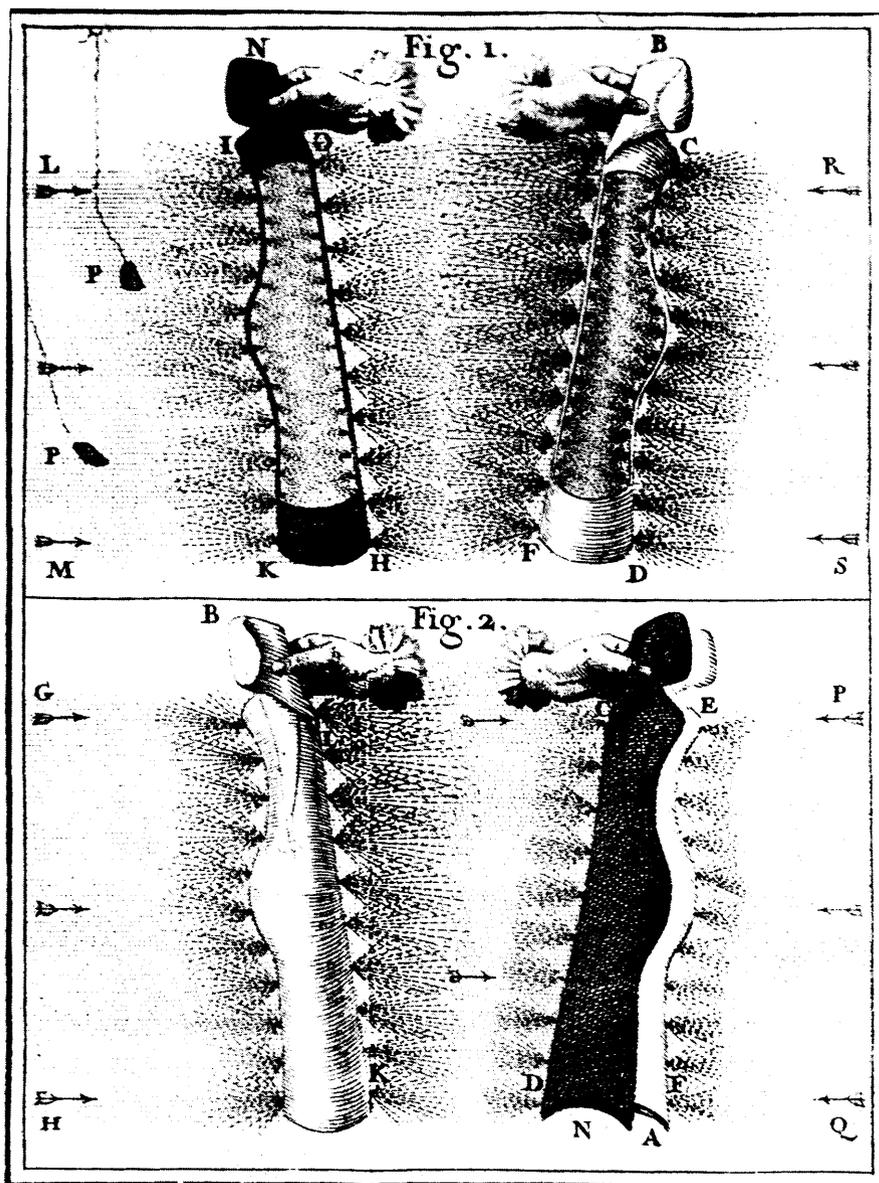


Abb. 9: Robert Symmers Illustration seiner Experimente

5.12. Messung der Elektrizität

Die Messung der 'elektrischen Erregung' war in ihren Anfängen mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. Geeignete Meßmethoden für dieses neue Phänomen standen noch nicht zur Verfügung, und die bis dahin bekannten Methoden konnten nicht unbedingt übertragen werden. Allein der menschliche Körper mit seinen Sinnesorganen konnte - auch quantitativ - unterschiedliche Wirkungen der Elektrizität wahrnehmen.

M.W. Meyer macht in seinem Lehrbuch "Die Naturkräfte" deutlich, daß dies eine wesentliche Ursache für die späte Entwicklung der Elektrizitätslehre darstellt: *"Der Grund für das lange Verborgenbleiben einer so ausgedehnten Gruppe von Naturwirkungen (die Erscheinungen der Elektrizität, d.V.) ist leicht gefunden. Wir besitzen kein Aufnahmeorgan für dieselben, wie wir es für den Schall im Ohr, für die Wärme in unserer Hautempfindlichkeit, für das Licht im Auge kennen gelernt haben. Trat uns bereits bei der Erforschung der Wärmeerscheinungen die Unvollkommenheit unseres Auffassungsvermögens für sie vielleicht störend in den Weg, so daß wir uns meist anderer Sinnesorgane bedienen mußten, als der für die Auffassung der Wärme geschaffenen, um deren Wirkungen genauer kennen zu lernen, so fehlt uns für die direkte Aufnahme und Beurteilung der Elektrizität das richtige Organ, und wir können deshalb nur diejenigen Begleiterscheinungen der Kraft wahrnehmen, die in das Gebiet der nicht für elektrische Wirkungen geschaffenen Sinnesorgane hinüberspielen"* (Meyer 1903, S. 290).

Sowohl die Naturforscher der Antike als auch Guericke und seine Zeitgenossen nahmen die Phänomene vor allem mit den Augen wahr:

Sehr leichte Gegenstände (Schnipsel aus Heu, Stroh, Blättern etc.) wurden angezogen und danach wieder abgestoßen. Die als elektrische Kraft oder Erregung bezeichnete Wirkung wurde auch über andere Sinneswahrnehmungen beschrieben:

- Beim Funkenüberschlag war ein Klatschen und Knistern zu vernehmen.
- Auf der Haut war so etwas wie ein leichter Windzug zu verspüren, wenn der Arm oder die Hand elektrisch erregten Gegenständen genähert wurden.

Auch in den folgenden Jahren spielte der menschliche Körper beim Aufspüren elektrischer Erregungen weiterhin eine dominierende Rolle. Es existieren zahlreiche Beschreibungen, wie eine quantitative Bestimmung der Elektrizität mit Hilfe des Körpers vorzunehmen ist. Stellvertretend für viele andere Experimentatoren sei an dieser Stelle auf Symmers Arbeiten hingewiesen. Symmer versuchte, die bei seinen Experimenten gemachten sinnlichen Erfahrungen als quantifizierendes Maß für die Stärke der Elektrizität abzugeben. Diesen Maßstab entwickelte er, als er damit beschäftigt war, Leydener Flaschen mit Hilfe von geriebenen Strümpfen zu laden und später wieder zu entladen. Symmer entlud die Flaschen, indem er mit dem Finger der einen Hand den Kopf der Flasche berührte. Bei jeder Entladung verspürte er eine heftigen Erschütterung durch seinen Körper gehen. Doch dieser sogenannte elektrische Schlag war scheinbar von unterschiedlicher Qualität oder Quantität, da er nicht immer die gleiche Wirkung hervorbrachte. Er hing - wie Symmer sehr bald bemerkte - von speziellen experimentellen Bedingungen ab. Entsprechend der Anzahl der Strümpfe, die er zur Ladung der Flasche benutzte, variierte die körperliche Wahrnehmung. *"An einem kalten Abend (im Dezember 1759), als ich die Elektrizität eines Strumpfes in eine kleine mit Quecksilber gefüllte Flasche warf, bekam ich einen heftigen Schlag gegen meinen Finger. Mit der Elektrizität von*

zwei Strümpfen erreichte der Schlag meinen Ellbogen und mit vier entzündete ich Spiritus in einem Teelöffel... und fühlte den Schlag von meinem Ellbogen bis zur Brust" (Symmer, zitiert in: Heilbron 1979, S. 432, Übersetzung d.V.).

Symmer stellte also eine direkte Abhängigkeit zwischen der Stärke der Entladung und der Wirkung auf seinen Körper fest. Für ihn waren sein Körper und damit seine Sinnesempfindungen ein Maß für die Stärke der Elektrizität. Werden die benutzten Elektrizitätsmengen weiter gesteigert, kann sogar Lebensgefahr bestehen.

Kehren wir zurück zu den Bemühungen der alten Elektrisierer, die Elektrizität und ihre Erscheinungen quantitativ zu erfassen. *"... entdeckte Herr Canton (1712 - 1772, d.V.) eine Methode, vermittelt welcher die Quantität der in der Phiole (Leydener Flasche, d.V.) angehäuften Elektrizität ziemlich genau auszumessen wäre. Er nahm die geladene Phiole in seine Hand, und machte, daß ein Funken aus derselben nach einem frei schwebenden Leiter fuhr, welchen Funken er mit seiner andern Hand auffing. Diese Operation wiederholte er so lange, bis alles entladen war, und schätzte den Grad der Ladung nach der Anzahl der Funken. Es ist dieses eine ziemlich zuverlässige und richtige Methode, um zu wissen, wie stark eine Phiole geladenen gewesen ist oder die eigentliche Kraft der in einem Glase noch wirklich vorhandenen Ladung, mit Gewissheit zu bestimmen" (Priestley, 1772, S. 89).*

Ein anderer Vorschlag, die Stärke des Elektrisierungsgrades zu bestimmen, stammte von einem Herrn Ellicott aus dem Jahre 1746. *"Er brachte in Vorschlag, die Stärke des gemeinen Elektrisierens, nach der Kraft zu schätzen, ein Gewicht in der einen Schale einer Wage aufzuheben, unterdessen daß die andere Schale über den elektrischen Körper gehalten, und durch dessen anziehende Kraft nach demselben hingewandt werden sollte." (ebenda)*

Bei dem Versuch, quantitative Messungen durchzuführen, gab es zwei Schwierigkeiten: Zum einen war der Unterschied zwischen Ladung und Spannung vielfach noch unklar. Zum anderen hängt die verwendete Meßapparatur entscheidend von den theoretischen Vorstellungen ab, damit ist aber ein entsprechendes Konzept Voraussetzung für die Quantifizierbarkeit der Elektrostatik. *"In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts - als elektrische Kräfte als das Ergebnis von durch den gesamten geladenen Körper emittierten Ausflüssen erklärt wurden - nahezu jede experimentelle Untersuchung des Kraftgesetzes bestand darin, einen geladenen Körper in einem definierten Abstand unter einer Waagschale zu plazieren und dann das Gewicht zu messen, das in die andere Waagschale gelegt werden mußte, um die Anziehung zu überwinden. Mit dieser Versuchsanordnung hängt die Anziehung nicht in einer simplen Art vom Abstand ab. Darüber hinaus hängt die komplexe Art, in der es variiert, entscheidend von den Maßen und dem Material der angezogenen Schale ab. Viele der Männer, die diese Technik verwendeten, warfen schließlich das Handtuch, andere schlugen eine Vielzahl von Gesetzen vor, die sowohl das umgekehrt quadratische wie auch das einfache umgekehrte beinhalteten, Messungen hatten sich völlig gleichwertig gezeigt" (Kuhn 1977, S. 199, Übers. d. Verf.).* Darüber hinaus waren die zu messenden Kräfte, verglichen mit den bis dahin zu bestimmenden, sehr klein, sodaß die üblichen Meßgeräte (Waagen) nicht die notwendige Empfindlichkeit besaßen. Erst am Ende des 18. Jahrhunderts gelang es, quantitative Messungen im Bereich der Elektrostatik durchzuführen. Die meisten der in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entwickelten Geräte beruhten auf der elektrostatischen Abstoßung, so beispielsweise Bennets oder Voltas

Elektrometer. Ihnen gemeinsam war, daß zwei leichte Körper, die leitend verbunden waren, durch Ladungsübertragung sich gegenseitig abstießen. Daneben gab es aber auch andere Versuche, Elektrizitätsmengen zu messen, so beispielsweise durch die Länge von Funkenstrecken.

Der nächste Schritt in der Entwicklung der Elektroskope erfolgte mit der Verwendung von an dünnen Fäden aufgehängten Holundermarkkugeln. Dies geschah zunächst insbesondere durch Jean Antoine Nollet (französischer Naturforscher, 1700 - 1770), der zwei Holundermarkkugeln an Fäden so aufhängte, daß sie sich im nicht geladenen Zustand gerade berührten, zur besseren Ablesbarkeit beleuchtete er diese mit einer Lampe so, daß ihr Schatten auf eine etwas entfernt aufgestellte Skala fiel. In der Folge wurden - insbesondere in Großbritannien - eine Reihe weiterer Nachweisgeräte entwickelt. Zu erwähnen sind hier insbesondere die von Abraham Bennet (1750 - 1799), William Henley (???? - 1779) und Timothy Lane (1733/4 - 1807) beschriebenen Geräte.

Lane legte die Menge der Elektrizität fest, indem er die innere bzw. äußere Belegung einer Leydener Flasche mit zwei Spitzen verband, die einen kleinen, definierten Abstand besaßen, somit bei einer bestimmten Spannung die Flasche entluden (vgl. Lane 1767). Henley verwendete eine an einem Faden aufgehängte Holundermarkkugel, die in der Ruhelage einen Metallzylinder berührte. Wurde sie aufgeladen stieß sie sich vom Zylinder ab, der Winkel der Auslenkung konnte an einem Gradbogen abgelesen werden (siehe Abbildung, vgl. Priestley 1772). Bennet klemmte zwei kleine Streifen Blattgold in einen Metallstift, den er durch die Öffnung einer Flasche führte (vgl. Bennet 1787). Dieses Gerät wurde als das empfindlichste Meßgerät des späten 18. Jahrhunderts angesehen, prinzipiell ist es mit dem von Volta entwickelten Kondensatorelektroskop vergleichbar. Bei diesem Gerät wurde der Metallstift am oberen Ende mit einer Metallplatte elektrisch leitend verbunden, eine zweite Metallplatte mit einem isolierenden Überzug wird auf diese gelegt und nach dem Aufladen entfernt.

Alle diese Geräte verdeutlichen das Bestreben, nach der qualitativen Untersuchung der elektrischen Phänomene, die sich insbesondere auf die Einteilung der Substanzen in elektrisierbare und nicht elektrisierbare konzentrierte, nun auch quantitative Untersuchungen durchzuführen. Die hierfür entwickelten Geräte wurden zumeist als Elektrometer bezeichnet, obwohl die Bezeichnung Elektroskope zutreffender gewesen wäre. Es war nämlich noch nicht möglich, mit diesen Geräten Elektrizität quantitativ zu messen, sondern lediglich, zwei verschiedene Elektrizitätsmengen durch die Begriffe "größer, kleiner, gleich" miteinander zu vergleichen.

5.13. Die Versuche des Luigi Galvani oder der Weg zum "fließenden Strom"

Die elektrischen Phänomene und deren quantitative Bestimmung führten in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu einer weitverzweigten Theorie der Elektrostatik. Zur gleichen Zeit gab es auch eine Vielzahl von Naturforschern - hauptsächlich Mediziner, Physiologen und Naturphilosophen - die sich mit der Wirkung der Elektrizität auf Pflanzen und Tiere beschäftigten. Bei näherer Untersuchung des Hintergrundes der elektrophysiologischen Theorie Galvanis bietet sich eine Fülle umfangreichen Materials zur Entstehungsgeschichte seiner Theorie der Existenz "thierischer Elektrizität".

Hebbel E. Hoff behauptet in seinem Aufsatz "Galvani and the Pre-Galvanian Elektrophysiologists" (Hoff 1936 S. 157ff.), daß *"die aktuelle Elektrophysiologie ein halbes Jahrhundert vor Galvani mit der Erörterung der Leidener Flasche begann"* (Hoff 1936, S. 168f., Übers. d.V.). Mit Hilfe der Leidener Flasche war es sehr einfach geworden, starke Muskelkontraktionen hervorzurufen.

Anfangs wurden häufig Experimente am Menschen durchgeführt. Es folgten sehr rasch auch Experimente an lebenden, später an seziierten Tieren. Hierbei wurde hauptsächlich an Muskel- und Nervenpräparaten, aber auch an allen übrigen Körperteilen manipuliert. *"Eine Vielzahl dieser Versuche wurden in verschiedenen Journalen, die auch Galvani zugänglich waren, veröffentlicht, und einige von ihnen dürfte er auch gelesen haben"* (ebenda). Otto Mahr äußert sich hierzu in seinem Artikel "Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität" wie folgt: *"Nach der Erfindung der Kleistschen Flasche (Kleistische Flasche und Leidener Flasche sind verschiedene Bezeichnungen für das gleiche Instrument, Anmerkung d.V., siehe auch im Kapitel 5.9 zur Verstärkungsflasche) fesselten die merkwürdigen Wirkungen der Elektrizität immer wieder das Interesse der Ärzte. Die wunderbare Tatsache, daß gewisse Fische mit elektrischen Organen ausgestattet sind, einerseits, und andererseits die Erfahrung, daß die Elektrizität Muskelzusammenziehung hervorrufen kann, veranlaßte die Physiologen, sich eingehend mit den Beziehungen des tierischen Organismus zu den elektrischen Erscheinungen zu befassen. Mit mehr oder weniger Erfolg wurden allerlei Reizversuche an lebenden und toten Tieren und auch an losgelösten Muskeln gemacht; als Versuchstier spielte der wegen seiner besonderen Eignung für physiologische Versuche schon in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts von Swammerdam in die Physiologie eingeführte Frosch, schon vor Galvanis Entdeckung eine gewissen Rolle. Es ist nicht zu bezweifeln, daß Galvani schon als Student solchen Versuchen beigewohnt hat"* (Mahr 1939, S. 119).

Otto Mahr sprach in diesem Zusammenhang noch einen weiteren wichtigen Untersuchungsgegenstand der damaligen Elektrophysiologen an: die Beobachtungen, die bei den sogenannten "elektrischen" Fischen gemacht worden waren. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts tauchte damals die Vermutung auf, daß es sich bei den beobachteten, aber nicht erklärbaren Erscheinungen an einigen Fischarten, wie z.B. Zitterrochen oder Zitteraal, um elektrische Erscheinungen handeln könnte. Diese Fische lösen bei Berührung seltsame "Erschütterungen" aus, die den Erscheinungen eines elektrischen Schlages gleichen. Die Entwicklung der Elektrizitätslehre war zu diesem Zeitpunkt soweit fortgeschritten, *"daß man die Identität jener physiologischen und der durch Reibung erzeugten Erscheinungen nachzuweisen vermochte. Dies ge-*

schah einmal dadurch, daß man den Impuls durch eine Kette von Personen leitete, wobei die erste und letzte den Fisch an der Ober-, bzw. Unterseite berührten. Alle empfingen dann einen Erschütterungsschlag, wie ihn die Leydener Flasche erteilt" (Dannemann 1922, S. 27).

Ein weiterer Nachweis für die Identität der Wirkungen der elektrischen Fische und der Wirkungen der Reibungselektrizität wurde von Johann Karl Fischer wie folgt beschrieben: *"Die stärksten Erschütterungen des Zitteraals pflanzen sich fort, auch wenn die Verbindung ein wenig unterbrochen ist. Sie lassen sich z.B. durch eine Kette leiten, um so mehr, wenn sie nicht sehr lang und ausgedehnt ist, so daß ihre Glieder in Berührung kommen. Macht man in einen auf Glas befestigten Stanniolstreifen einen Einschnitt mit einem Federmesser, und läßt die Erschütterung durch diesen Streifen hindurchgehen, so wird sich ein kleiner, aber sehr lebhafter Funken zeigen, der sich in einem dunklen Zimmer sehr deutlich bemerken läßt" (Fischer 1801 - 1808, S. 867).*

Die elektrischen Fische beschäftigten die Naturforscher noch eine ganze Zeit, wir wollen an dieser Stelle aber zu den Arbeiten Galvanis übergehen. Luigi Galvani wurde am 9. September 1737 in Bologna geboren. *"Als Sohn einer alteingesessenen Patrizierfamilie, in der vorwiegend Juristen und Theologen verkehrten, begann er ebenfalls eine typische Akademikerkarriere. Mehr auf Drängen der Familie als aus Neigung entschied er sich für ein Medizinstudium. Ab 1759 arbeitete er als praktischer Arzt, betrieb nebenher anatomische Studien und lehrte außerdem in der medizinischen Fakultät, an der er selbst ausgebildet worden war. 1775 wurde er Mitarbeiter am Institut für Anatomie in Bologna und 1782 Professor für Geburtshilfe. Seine wissenschaftlichen Arbeiten endeten abrupt 1797. Man erteilte ihm Berufsverbot bei Aberkennung sämtlicher Würden, weil er dem Eroberer Norditaliens, Napoleon Bonaparte, den Treueid verweigerte. Finanziell ruiniert, vor allem aber psychisch schwer getroffen, starb er am 4. Dezember 1798" (Meya/Sibum 1988, S. 128f.).*

Den Ursprung von Galvanis Arbeiten auf dem Gebiet der sogenannten "thierischen Elektrizität" beschrieb er selbst wie folgt: *"Die Sache fing so an. Ich secierte einen Frosch und präparierte ihn ... und legte ihn ... auf einen Tisch, auf dem eine Electrisiermaschine stand ... weit von deren Conductor getrennt und durch einen nicht gerade kurzen Zwischenraum geschieden. Wie nun der eine von den Leuten ... mit der Spitze des Skalpellmessers die inneren Schenkelnerven des Frosches zufällig ganz leicht berührte, schienen sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derart zusammenzuziehen, als wären sie von heftigen tonischen Krämpfen befallen. Der andere aber, welcher uns bei Electrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dass sich das ereignet hätte, während dem Conducteur der Maschine ein Funken entlockt wurde. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der etwas ganz anderes vorhatte und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Daraufhin wurde ich von einem unglaublichen Eifer und Begehren entflammt, dasselbe zu erproben und das, was darunter verborgen wäre, ans Licht zu bringen" (Galvani 1894, S. 4).*

Es war seit längerem bekannt, daß durch elektrische Reizung Muskelzuckungen hervorgerufen werden können. Neu und überraschend für Galvani war, daß keine leitende Verbindung zur Elektrisiermaschine notwendig zu sein schien, um ähnliche Muskelkontraktionen hervorzurufen. Bisher war immer angenommen worden, daß ohne eine leitende Verbindung zwischen präpariertem Frosch und "Elektrizitätsquelle" keine Zuckungen erzeugt werden könnten. Gal-

vani ging dieser Erscheinung deshalb mit besonderem Eifer nach und stellte die verschiedensten Versuche unter den unterschiedlichsten Versuchsbedingungen an. Die Fragen, die er verfolgte, lauteten: Wie kamen diese Muskelkontraktionen zustande? Besitzen Tiere so etwas wie eine eigene Elektrizität?

Es wäre müßig, an dieser Stelle alle Experimente, Versuchsanordnungen und die daraus gezogenen Schlußfolgerungen Galvanis aufzuzählen und zu beschreiben, zu umfangreich und vielfältig waren seine Arbeiten. Deshalb werden wir uns mit einer groben Zusammenfassung seiner Versuche begnügen.

Begonnen hatte Galvani seine Versuche über die Wirkung des elektrischen Funkens auf sezierte Froschschenkel im Jahre 1780, doch erst zehn Jahre später gab er seine Ergebnisse der Öffentlichkeit bekannt.

Nachdem Galvani und seine Gehilfen das oben beschriebene Experiment des öfteren wiederholt hatten, versuchten sie herauszufinden, wie die Versuchsbedingungen gewählt werden müssen, um immer zum gleichen Ergebnis zu gelangen. Dazu wurde auch das verwendete Skalpell sorgfältig untersucht. Hierbei stellten sie fest, "*... dass, wenn man mit den Fingern den beinernen Griff hielt, dem elektrischen Fluidum, welches auf irgend eine Weise in dem Frosch tätig wird, jeder Zugriff verwehrt würde, dass er ihm aber gestattet würde, wenn man die Klinge oder die mit dieser communizierenden Nägel anfasste ... dass nämlich die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven erforderlich sei, damit die Erscheinung eintrete*" (Galvani 1894, S. 6f).

Weitere Untersuchungen und Beschreibungen folgten:

"Nach der Entdeckung der Kräfte der künstlich erregten Electricität in den Muskelkontraktionen, über die wir uns bisher verbreitet haben, schien uns nichts wichtiger als zu erörtern, ob die sogenannte atmosphärische Electricität dieselben Erscheinungen ergeben würde oder nicht, ob nämlich bei Anwendung derselben Kunstgriffe und so, wie das Überspringen der Funken, auch Muskelkontraktionen erregen würden" (Galvani 1894, S. 18). Zu diesem Zwecke wurden präparierte Frösche oder Froschschenkel an den freigelegten Nerven mit einem langen, isolierten Eisendraht, der an der Spitze des Hauses befestigt war, in Verbindung gebracht. Die Füße wurden ebenfalls mit einem Draht versehen, der mit der Erde verbunden wurde. Das Ergebnis entsprach Galvanis Vermutungen. *"Die Sache verlief ganz nach Wunsch, wie bei der künstlichen Electricität. So oft nämlich Blitze hervorbrachen, geriethen sämtliche Muskeln in demselben Moment in wiederholte heftige Zuckungen, so dass immer, wie der Schein der Blitze und das Aufleuchten, auch die Muskelbewegungen und Contractionen den Donnerschlägen vorangingen und diese gleichsam ankündigten"* (ebenda).

Sehr bald stellte Galvani aber auch fest, daß Muskelkontraktionen nicht nur bei Gewitter oder - wie er sich auszudrücken pflegte - bei "drohendem Himmel" zu beobachten waren, sondern auch bei heiterem Himmel. Er schreibt dazu: *"Deshalb, als ich zuweilen bemerkt hatte, wie die präparierten Frösche, welche an dem Eisengitter, welches einen hängenden Garten unseres Hauses umgab, auch mit Messinghaken im Rückenmark versehen aufgehängt waren, in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei ruhigem und heiterem Himmel, meinte ich, die Entstehung dieser Contractionen sei von den Veränderun-*

gen, welche unterdessen in der atmosphärischen Electricität vorsichgehen, herzuleiten" (Galvani 1894, S. 22).

Diesen Erscheinungen widmete Galvani seine ganze Aufmerksamkeit und beobachtete über viele Tage hinweg entsprechend hergerichtete Präparate. Aber nur selten, wenn überhaupt, waren Kontraktionen zu beobachten. Schließlich war er des Wartens überdrüssig, und er begann, *"die ehernen Haken, welche in das Rückenmark geheftet waren, gegen das eiserne Gitter zu quetschen und zu drücken, um zu sehen, ob durch solche Kunstgriffe die Contraction der Muskeln erregt würden, und ob anstatt einer Veränderung im Zustande der Atmosphäre und Electricität irgendwie sonst eine Veränderung und Wandlung von Einfluss wäre"* (ebenda).

Auch hier beobachtete er Zuckungen der Muskulatur. Zunächst hatte Galvani vermutet, daß die atmosphärische Elektrizität sich im Tierpräparat anhäuft. Wird dann der Haken mit dem Eisengitter plötzlich in Berührung gebracht, entweicht die Elektrizität und es kommt zu Muskelkontraktionen (vergl. hierzu auch: Galvani 1894, S. 22f.). Bei dem soeben beschriebenen Experiment jedoch war kein veränderter Zustand der Atmosphäre zu beobachten. Dies ließ Galvani aufmerksam werden.

"Als ich aber das Thier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Contractionen, dieselben Bewegungen!" (ebenda) Galvani schien von dieser Beobachtung überrascht gewesen zu sein. Dies wird durch das benutzte Ausrufezeichen deutlich. Weiter führt er aus: *"Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt; und dasselbe Ergebnis, nur dass die Contractionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer"* (ebenda).

Durch diesen und viele folgende Versuche ähnlicher Art kam Galvani zu einer für ihn entscheidenden Vermutung, die ihn für den Rest seines Lebens begleiten sollte, nämlich *"daß dem Thiere selbst Electricität innewohne"* (ebenda).

Dem oben geschilderten Versuch folgte ein weiterer, der Galvanis Vermutung noch unterstützte. *"Denn während ich selbst (Galvani, d.V.) mit der einen Hand den präparierten Frosch an dem in das Rückenmark gehefteten Haken hielt und zwar so, dass er mit den Füßen auf einer silbernen Kapsel stand, dabei aber mit der anderen Hand den Deckel der Kapsel auf der der Frosch mit den Füßen ruhte, oder an ihren Rand mit irgend einem Metallstück stiess, sah ich wider Erwarten den Frosch in starke Zuckungen verfallen und zwar jedesmal, sobald ich diesen Kunstgriff anwendete"* (ebenda).

Dieser Versuch wurde anschließend auch mit zwei Personen durchgeführt, wobei die Personen sich an den Händen hielten. Auch hierbei waren Muskelzuckungen der Präparate zu beobachten, solange sich die Personen an den Händen berührten, nicht aber, wenn sie die Hände trennten. Die Personen mußten quasi so etwas wie eine "elektrische Kette" bilden. Und *"obgleich dies genügen zu können schien, gleichsam einen elektrischen Strom des Nervenfluidums durch die Kette der Menschen zu beweisen, haben wir nichtsdestoweniger ... uns entschlossen ... nicht nur durch Ineinanderlegen der Hände, sondern auch durch Dazwischenhalten, bald*

eines nichtleitenden Körpers, nämlich eines Glasstabes, bald eines leitenden Körpers, nämlich eines Metallstabes, die Kette zu bilden. Bei dem Versuche aber sahen wir bei Anwendung des Metallstabes zu unserer grössten Freude die Erscheinungen eintreten, bei Anwendung des gläsernen aber gänzlich aufhören ..." (Galvani 1894, S. 24).

In den hier zitierten experimentellen Schriften ist eine für die damalige Zeit typische experimentelle Vorgehensweise zu erkennen: Zunächst werden Beobachtungen gemacht, bei denen der eigene menschliche Körper als Meßgerät im Experiment dient. Im nächsten experimentellen Schritt wird der menschliche Körper durch bestimmte Anordnungen und Materialien ersetzt. Galvani schrieb: *"Um aber die Ursache besser klar zu legen, habe ich mit dem grössten Erfolge den Frosch auf eine nicht leitende Platte, nämlich aus Glas oder Harz, gelegt und bald einen leitenden bald einen ganz oder nur zum Theil nicht leitenden Bogen angewendet und mit dessen einen Ende den in das Rückenmark gehefteten Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskel oder die Füße berührt. Bei dem Versuche sahen wir bei Anwendung des leitenden Bogens ... Contractionen eintreten, dann aber bei Anwendung des theils nicht leitenden Bogens ... ausbleiben. Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aber aus einem Messingdraht"* (ebenda).

Die Bedeutung, ja sogar die Notwendigkeit des Bogens, beschreibt Galvani an anderer Stelle wie folgt: *"Dieselben (gemeint sind die Muskelkontraktionen, d.V.) treten nämlich deutlicher und schneller nicht nur mit einem, sondern auch mit zwei Bogen ein, wenn sie so angewendet und angeordnet werden, dass das Ende des einen Bogens die Muskeln, das Ende des anderen Bogens in gleicher Weise die Nerven berührt, die beiden anderen Enden aber mit einander Contact haben oder, wenn nöthig, aneinander gerieben werden. Hierbei ist es merkwürdig, dass die solche Contractionen bewirkende Elektrizität weder durch Berührung der Hände mit beiden Bögen, noch durch die wiederholten Berührungen der Bögen mit den Körpertheilen des Thieres ausfliesst und sich zerstreut"* (ebenda, S. 27).

Aus all seinen bisher angestellten Versuchen zog Galvani folgende Schlußfolgerungen: *"Aus der Entdeckung eines Kreislaufs eines derartigen Nervenfluidums, gewissermassen eines elektrischen Feuers, schien uns naturgemäss zu folgen, dass eine zwiefache und zwar verschiedenartige oder besser entgegengesetzte Electricität die Erscheinungen hervorruft, wie es eine zwiefache Electricität in der Leydener Flasche und im magischen Quadrat (eine Art Plattenkondensator, d.V.) ist, durch welche das electrische Fluidum in ihnen gleichsam seinen Kreislauf bewerkstelligt. Es kann nämlich, wie die Physiker bewiesen haben, ein Strömen und ein Kreislauf der Electricität nicht stattfinden, ausser bei der Wiederherstellung des Gleichgewichts und zwar nur oder meist zwischen verschiedenen Electricitäten. Dass aber jene in ein und derselben Metallplatte verborgen seien, schien der Natur gänzlich zuwiderlaufend und auch den Beobachtungen widersprechend"* (ebenda).

"Nach den bisher erkannten und erforschten Thatsachen steht es, meine ich, genügend fest, dass den Thieren Electricität innewohnt, welche mit Bartolini und anderen wir den Gattungsnamen >> Thierische << zu benennen uns erlaubten" (ebenda, S. 45, Hervorhebung durch d.V.).

Das Erscheinen seiner Abhandlung löste zur damaligen Zeit sehr heftige Reaktionen aus.

"Der Sturm, den das Erscheinen des Commentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Aerzte erregte, kann nur dem verglichen werden, der zur selben Zeit (1791) am politischen Himmel Europa's heraufzog. Man kann sagen, wo es Frösche gab, und wo sich zwei Stücke ungleichartiges Metall erschwingen ließen, wollte Jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der verstümmelten Gliedmaßen durch den Augenschein überzeugen; die Physiologen glaubten ihren hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen; den Aerzten, denen Galvani selbst bereits mit Erklärungsversuchen von allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Tetanus und Epilepsie nur allzu leichtfertig vorangegangen, schien keine Heilung mehr unmöglich und zum wenigsten scheintodt konnte Niemand mehr begraben werden, der zuvor galvanisiert worden war" (du Bois-Reymond 1848, S. 50f.).

Aber es gab nicht nur Zustimmung zu Galvanis Arbeiten. Die These, daß die **"thierische Elektrizität"** die lang vermutete und scheinbar endlich gefundene Lebenskraft sei, wurde von vielen Naturforschern nicht geteilt. Johann Christian Reil, Professor der Medizin in Halle, schrieb z.B.: *"Aufschlüsse über die Lebenskraft, die dem Muskel das Vermögen zur Zusammenziehung mittheilet, erwarte ich von diesen Erscheinungen nicht. Mir scheinen dieselben nichts weiter anzuzeigen, als daß die Muskeln sehr empfindlich gegen die Electricität sind, die als Muskelreiz würkt und in der kleinsten Quantität, wie sie sich bey der Berührung verschiedener Metalle entwickelt, Zusammenziehung hervorbringen kann" (Reil 1792, S. 411 - 414).*

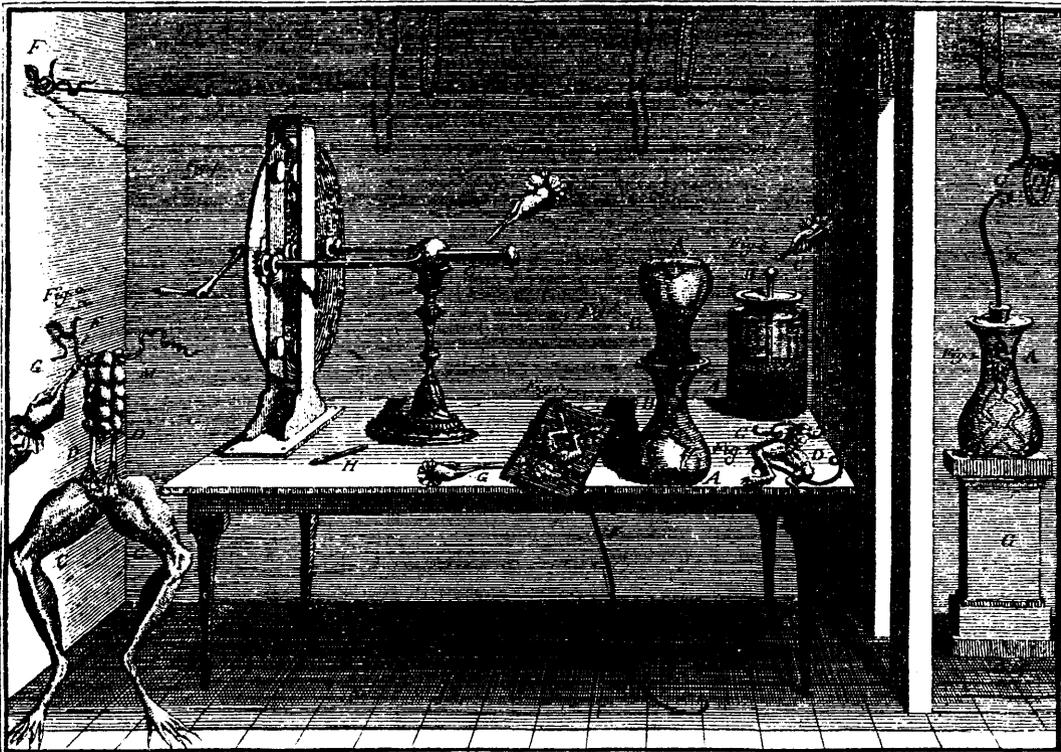


Abb. 10: Galvanis Illustration seiner Froschschenkelexperimente

5.14. Voltas Beitrag und seine praktischen Vorschläge zur Erzeugung von Elektrizität

Alessandro Volta wurde am 18. Februar 1745 in Como (Italien) geboren. Seine schulische Ausbildung erhielt er in der städtischen Jesuitenschule. Seine Beschäftigung mit den Phänomenen der Elektrizität geht bis ins Jahr 1763 zurück. Der damals 18jährige Volta unterhielt einen regen Briefwechsel mit verschiedensten Naturforschern der damaligen Zeit. 1778 wurde er an die Universität von Pavia berufen, wo er sich unter anderem auch mit meteorologischer Elektrizität beschäftigte. 1792 begann er seine Arbeiten zur "thierischen Elektrizität", gleich im Anschluß an Galvanis Veröffentlichungen zu diesem Thema.

Während Galvani 1797 nach der Besetzung Norditaliens durch Napoleon Bonaparte mit einem Berufsverbot belegt wurde, nutzte Volta die Besetzung zu seinem persönlichen Vorteil. *"Zunächst wurde er von der Stadt Como im Mai 1796 zum Mitglied der Ehrendelation zu Napoleons Sieg über Österreich benannt. Kurze Zeit darauf übernahm er das Amt eines Regierungsbeamten in der neuen Republik. Diese für Galvani unvorstellbare Haltung Voltas gegenüber den Invasoren sicherte letzterem den Erhalt seines Laboratoriums"* (Meya/Sibum 1988, S. 137). Napoleon Bonaparte zeigte sehr großes Interesse an Voltas Arbeiten, weshalb er ihn 1801 zur Vorführung seiner Säule in die Académie des Sciences nach Paris einlud. 1804 gab Volta seine Professur auf eigenen Wunsch hin auf. 1810 wurde er von Napoleon in den Adelsstand erhoben. 1814 mußte er auf Grund seiner politischen Einstellung fliehen, worauf er sich aus dem öffentlichen und politischen Leben zurückzog. Am 5. März 1827 starb er in Como, wo er sich seit 1820 aufgehalten hatte (nach Meya/Sibum, a.a.O.).

Zu Beginn seiner Arbeiten ging auch Volta von der Existenz der "thierischen Elektrizität" aus und experimentierte mit präparierten Fröschen. *"Man halte nun diesen Messingdraht mit einem Ende an den Muskel, mit dem anderen an dem Nerven; und man wird augenblicklich vorhin gedachte Konvulsionen entstehen sehen. Es liegt also am Tage, dass die elektrische Materie dieser Theile in einem gewissen Missverhältniss gestanden, und dass durch den als Entlader wirkenden Messingdraht ein Gleichgewicht hergestellt worden ist. Hierauf beschränkt sich seine ganze Wirkung: er kann die elektrische Materie nicht dahin ziehen, wo sie nicht von selbst hinstrebt; ihr einen bequemen Weg darzubieten, das ist alles was er vermag ... Der präparierte Frosch ... verhält sich in gewisser Weise wie eine leidner Flasche"* (Volta 1900a, S. 5f.).

Volta ging in seinen Versuchen zur thierischen Elektrizität aber weiter und entschloß sich, die *"... die Qualität, Quantität und die Art derselben zu untersuchen. Die Untersuchung der Quantität oder der Stärke derselben, schien mir allen anderen vorgehen zu müssen. Was lässt sich Gutes, besonders in der Physik, hervorbringen, wenn nicht alles auf Maas und Grade berechnet ist. Wie lassen sich die Ursachen abwägen, wenn weder die Stärke noch die Menge und der innere Gehalt der Wirkungen bestimmt ist"* (ebenda, S. 23). Volta versuchte herauszufinden, wieviel künstliche Elektrizität nötig sei, um eine Muskelreaktion hervorzubringen. Als Elektrizitätsquelle diente eine geladene Leydener Flasche, deren Ladung er mit einem Elektrometer bestimmte. Volta fand, daß selbst Ladungen, die er mit den empfindlichsten Elektrometern nicht nachweisen konnte, in der Lage waren, Zusammenziehungen in den Muskeln hervorzurufen. *"Ein auf diese Art zubereiteter Frosch gibt einen Elektrizitätsmesser ab, der ohne Vergleich empfindlicher ist als jeder andere"*(ebenda, S. 24). Außerdem stellte Volta

bei seinen Untersuchungen fest, daß es gar nicht nötig war, eine Verbindung zwischen Nerven und Muskeln der Tiere herzustellen, um Reaktionen hervorzubringen, sondern daß es ausreichte, wenn der Nerv mit zwei verschiedenen Metallen belegt wurde, die sich entweder untereinander berührten oder mittels eines dritten Leiters verbunden wurden. Die Stärke der Muskelreaktionen hing von der Art der verwendeten Metalle ab. Daraufhin gab Volta eine andere Erklärung der Phänomene. *"Ja es ist ein ganz anderes Spiel des elektrischen Fluidums, von dem man eher sagen kann, es störe das Gleichgewicht, statt ein solches wiederherzustellen; denn dieses Fluidum fließt von einem Theil des Nerven oder des Muskels, sowohl innerlich in ihren leitenden Fasern, als auch äusserlich in den angebrachten metallischen Leitern, nicht in Folge eines vorhandenen Überschusses oder Mangels, sondern in Folge einer eigenen Wirkung eben dieser Metalle, sobald sie verschieden sind. ... es sind tatsächlich Wirkungen einer sehr schwachen künstlichen Electricität, die in einer Art und Weise erregt wird, von der man keine Ahnung hatte, durch einfache Anbringung zweier Belegungen aus verschiedenen Metallen, wie ich oben bereits andeutete und anderswo besser erläutern werde.... Es ist wirklich ein neues sehr merkwürdiges Gesetz, das ich entdeckte; ein nicht der thierischen, sondern der gemeinen Electricität zugehöriges Gesetz, denn der electriche Strom, der keineswegs momentan ist, wie eine Entladung es wäre, sondern andauernd, solange die Verbindung zwischen den beiden Belegungen besteht, der auch auftritt, seien nun die Belegungen an lebenden oder toten Theilen angebracht oder an anderen nichtmetallischen Leitern, aber hinreichend guten Leitern, wie Wasser oder feuchte Körper"*(ebenda S. 80/81, Hervorhebungen d.V.).

Volta wiederholte die Versuche mit unterschiedlichsten Metallbelegungen, z.B. mit den Kombinationen Zink-Blei, Zink-Eisen, Stanniol-Blei, Stanniol-Eisen usw. und stellte fest, daß die Stärke der Muskelkontraktionen von der Kombination der jeweiligen Metallbelegungen abhing. Er gab eine Reihenfolge an, in der die untersuchten Metalle so geordnet waren, daß sie, je weiter entfernt sie voneinander standen, desto heftiger die Reaktionen waren, wenn sie als Belegungen verwendet wurden.

"Zink
Stanniol
Gewöhnliches Zinn in Platten
Bley
Eisen
Gelbkupfer und Bronze von verschiedener Beschaffenheit
Kupfer
Platina
Gold
Silber
Quecksilber
Reissbley".

(ebenda S. 107)

Für Volta waren Metalle nicht nur Leiter, sondern auch Erreger der Elektrizität. Er nannte sie "Leiter erster Klasse", während er flüssige Leiter die "Leiter zweiter Klasse" nannte. Daß die Versuche Galvanis auch gelungen waren, wenn man Muskel und Nerv mit einem Draht ver-

band, der nur aus einem Material bestand, begründete Volta wie folgt: *"Man wende mir nicht ein, dass manchmal in dem nach Galvani's Art präparierten Frosche Bewegungen erhalten werden, wenn man auch an dem einen und andern Theile Metalle von einer und derselbigen Beschaffenheit, nämlich Silber und Silber, Quecksilber und Quecksilber, Zinn und Zinn, Eisen und Eisen anbringt. Ja man erhält sie (aber nicht immer) in den ersten Augenblicken, wenn das auf die beste Weise präparierte Thier noch so erregbar ist, dass es das geringste fühlt. Aber wie kann man behaupten, dass die Metalle, die man anwendet, vollkommen und durchaus gleich sind? Sie sind es nur den Rahmen nach, nicht der Substanz nach; zufällige Eigenschaften, als Härte, Weiche, Glätte und Glanz der Oberfläche, Wärme u.s.w. können sie in Ansehung der electricischen Action, in Ansehung des Vermögens nämlich, das electricische Fluidum in dem feuchten Körper, den sie berühren, fortzustossen oder anzuziehen, hinreichend verschieden machen"* (ebenda, S. 108f).

Die Anhänger der tierischen Elektrizität hatten jedoch weitere Einwände gegen Volta. Sie hatten es fertiggebracht, Muskelzusammenziehungen an Froschschenkeln zustande zu bringen, indem sie Rückenmuskel und Fußsehne verbanden, also ohne daß irgendein Metall zur Anwendung kam. Diese Anfechtungen beantwortete Volta damit, *"... dass, wenn nur der Leiterzirkel aus drey was immer für Leitern, wenn sie nur sonst verschieden sind, zusammengesetzt ist, immer entweder ein mittelmässiger, schwacher, oder der schwächste Lauf dieser Flüssigkeit erfolget"* (ebenda, S. 153). Volta wies nach, daß die von den Verfechtern der tierischen Elektrizität oben angeführten Versuche darauf beruhten, daß hier drei verschiedene Leiter, nämlich Sehnen, Muskeln und Blut in Berührung kamen. Wurde der präparierte Frosch nämlich gründlich vom Blut gereinigt, so war der Effekt nicht mehr nachweisbar.

Volta machte Versuche mit allen möglichen Kombinationen von Leitern erster und zweiter Klasse und beurteilte deren Wirkungen an Hand der Zusammenziehung von Froschschenkeln. Die Versuche führten ihn zur Konstruktion seines elektromotorischen Instruments. Über den Aufbau, die Vor- und Nachteile des Gerätes berichtete er: *"Dreissig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke von Kupfer oder besser Silber, von denen jedes auf ein Stück Zinn oder viel besser Zink gelegt ist, und eine gleich grosse Anzahl von Schichten Wasser oder irgendeiner anderen Flüssigkeit, welche besser leitet, als gewöhnliches Wasser, wie Salzwasser, Lauge u.s.w., oder Stücke von Pappe, Leder u.s.w., die mit diesen Flüssigkeiten gut durchtränkt sind, diese Stücke zwischen jedes Paar oder jede Verbindung von zwei verschiedenen Metallen geschaltet: eine derartige Wechselfolge in stets gleicher Ordnung der drei Arten von Leitern, das ist alles, woraus mein neues Instrument besteht, welches, wie gesagt, die Wirkungen der Leidener Flaschen oder der elektrischen Batterien (mehrere in Reihe oder parallel geschaltete Leydener Flaschen wurden zu dieser Zeit als Batterie bezeichnet, der Ursprung dieses Begriffs dürfte offensichtlich sein, d. Verf.) nachahmt, indem es dieselben Erschütterungen giebt, wie diese, wobei es allerdings weit unterhalb der Wirksamkeit stark geladener Batterien bleibt, was die Kraft und das Geräusch der Explosionen, den Funken, die Schlagweite u.s.w. anlangt; es gleicht nur bezüglich der Wirkung einer sehr schwach geladenen Batterie, die indess eine ausserordentliche Capacität besitzt, übertrifft aber die Kraft und das Vermögen dieser Batterien unendlich darin, dass es nicht wie diese vorher durch fremde Electricität geladen werden braucht, und dass es den Schlag zu geben fähig ist jedesmal, wenn man es passend berührt, wie oft auch diese Berührungen erfolgen mögen"* (Volta 1900b, S. 77).

Ein weiteres Gerät zur Erzeugung von Elektrizität, welches Volta baute, war die Tassenkrone. Sie bestand aus einer Anzahl von nichtleitenden Gefäßen aus Glas, Ton o.ä., die mit Salzwasser gefüllt waren. In jeweils ein Gefäß wurden zwei Platten aus unterschiedlichem Metall, z.B. Kupfer und Zink eingetaucht. Die Kupferplatte eines Gefäßes wurde mit der Zinkplatte des benachbarten Gefäßes leitend verbunden. Diese Anordnung brachte dieselben Effekte wie das oben beschriebene elektromotorische Instrument.

Damit hatte Volta Geräte entwickelt, die im Gegensatz zur Leydener Flasche im Prinzip in der Lage waren, einen Stromfluß ständig aufrecht zu erhalten. Diese Apparate eröffneten den Forschern der damaligen Zeit die Möglichkeit zu vielfältigen weiteren Untersuchungen.

Alessandro Volta.

»Ich setzte immer voraus, dass man bei dem Aufbau der Säule alle erforderliche Sorgfalt beobachtet hat, dass jedes Paar der Metalle aus einer Platte von Silber in Berührung mit einer von Zink mit dem folgenden durch eine genügende Feuchtigkeitsschicht verbunden ist, welche besser aus Salzwasser als aus gewöhnlichem besteht, oder durch eine Scheibe von Pappe, Leder oder anderem ähnlichen Stoff, der mit solchem Salzwasser wohl getränkt ist; diese Scheibe sei nicht zu klein, und sei in guter Berührung mit den Oberflächen der metallenen Platten, zwischen denen sie sich befindet.

»Diese genaue und ausgedehnte Berührung der feuchten Platten ist sehr wichtig, während die metallenen Platten jedes Paares sich nur in wenigen Punkten zu berühren brauchen, vorausgesetzt nur, dass die Berührung eine unmittelbare ist.

[409] »Hieraus ergibt sich (um es im Vorübergehen zu sagen), dass während die Berührung der Metalle in einigen Punkten allein hinreichend ist (da sie alle ausgezeichnete Leiter sind), um einen mittelstarken elektrischen Strom frei durchgehen zu lassen, dies bei Flüssigkeiten, oder mit Feuchtigkeit getränkten Körpern nicht der Fall ist, da diese viel unvollkommenere Leiter sind und daher einer reichlichen Berührung mit den Metallen, und noch mehr mit einander bedürfen, damit die elektrische Flüssigkeit mit Leichtigkeit durchgehen kann, und nicht in ihrem Laufe aufgehalten wird, insbesondere wenn sie nur geringe Kraft besitzt, wie in unserem Falle.

»Uebrigens sind die Wirkungen meines Apparates (die Schläge, die man erhält) in dem Maasse sehr viel fühlbarer, als die Temperatur der umgebenden Luft, des Wassers oder der feuchten Platten, welche sich in der Säule befinden, und selbst des Wassers im Gefäss, höher ist, denn die Wärme macht das Wasser besser leitend. Was diese Wirkung aber noch besser hervorbringt, sind fast alle Salze, und besonders das gewöhnliche Salz. Dies ist einer der Gründe, wenn nicht der einzige, warum es vortheilhaft ist, dass das Wasser des

Entdeckung des Säulenapparates.

Gefässes, und vor Allem das zwischen den metallenen Paaren, das Wasser, womit die Pappscheiben u. s. w. getränkt sind, gesalzen ist, wie ich bereits erwähnt habe.

»Alle diese Hilfsmittel und Maassregeln haben aber schliesslich nur eine begrenzte Wirkung, und lassen nie sehr starke Erschütterungen erreichen, so lange der Apparat nur aus einer Säule von nur 20 Plattenpaaren besteht, wenn es auch die besten Metalle zu diesem Versuch, nämlich Zink und Silber, sind; denn wären es Silber und Blei oder Zinn, oder Kupfer und Zinn, so würde man nicht die Hälfte der Wirkung erlangen, wenn nicht die grössere Anzahl der Paare die geringere Kraft jedes einzelnen ersetzt. Was aber thatsächlich die elektrische Kraft des Apparates vermehrt, und sie soweit steigert, dass sie der des Zitterrochens und des Zitterraales gleichkommt und sie auch übertrifft, ist die Zahl der Platten, wenn sie in der beschriebenen Weise und mit den angegebenen Vorsichtsmaassregeln angeordnet werden. [410] Fügt man den oben beschriebenen 20 Paaren noch 20 oder 30 weitere in gleicher Ordnung hinzu, so sind die Erschütterungen der so verlängerten Säule (ich werde alsbald angeben, wie man sie aufrecht halten kann, dass sie nicht umfällt, oder wie man sie besser in zwei oder mehr Säulen theilen kann) schon weit stärker, und erstrecken sich durch die Arme bis zur Schulter, namentlich in dem Arm, dessen Hand ins Wasser getaucht ist, welche Hand nebst dem ganzen Arm mehr oder weniger betäubt bleibt, wenn man durch häufige Wiederholung der Berührungen diese Schläge schnell und ohne Aufhören sich folgen lässt. Dies erfolgt, wenn man die Hand ganz oder fast ganz in das Wasser des Gefässes taucht; senkt man aber nur einen Finger ganz oder theilweise ein, so werden die Erschütterungen fast völlig auf ihn concentrirt, und werden entsprechend schmerzhafter und so schneidend, dass sie unerträglich werden.

»Es ist wohl zu erwarten, dass diese aus 40 oder 50 Metallpaaren gebildete Säule, welche mehr als mittlere Schläge in den Armen einer Person hervorruft, noch merkliche an mehrere Personen ertheilen kann, welche sich an den (hinreichend feuchten) Händen halten und eine ununterbrochene Kette bilden.

»Um auf die mechanische Anordnung meines Apparates zurückzukommen, welche mehrerer Abänderungen fähig ist, werde ich hier zwar nicht alle, welche ich ausgedacht und in

Alessandro Volta.

grossen oder kleinem Maassstabe ausgeführt habe, beschreiben, sondern nur einige, welche besonders interessant und nützlich sind; welche einen wirklichen Vortheil besitzen; indem sie sich leichter oder bequemer herstellen lassen, sicherer in ihren Wirkungen oder länger in gutem Zustande zu erhalten sind.

[411] »Und um mit einer anzufangen, welche fast alle diese Vortheile vereinigt, und dabei am meisten der Gestalt nach von dem oben beschriebenen Säulenapparate abweicht, welche aber den Nachtheil hat, eine viel grössere Maschine zu sein, stelle ich Ihnen diesen neuen Apparat, welchen ich die Tassenkrone (couronne des tasses) nenne, in der beistehenden Figur 1 dar.

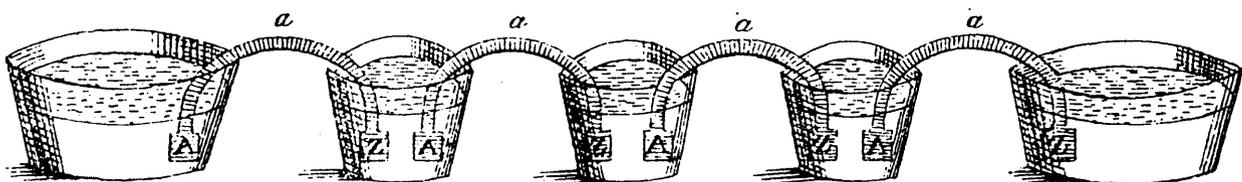


Fig. 1.

»Man ordnet eine Reihe von mehreren Tassen oder Töpfen von beliebigem Stoffe ausser Metall an, hölzerne Tassen, Muscheln, irdene Gefässe, besser gläserne (kleine Trinkgläser oder Becher sind die geeignetsten), die zur Hälfte mit reinem Wasser, oder besser mit Salzwasser oder Lauge gefüllt sind; man verbindet sie und bildet aus ihnen eine Art Kette mittelst ebenso vieler metallener Bögen, von denen ein Arm *Aa* oder auch nur das Ende *A*, welches in einen der Becher taucht, aus Kupfer, Messing oder besser aus versilbertem Kupfer ist, während der andere *Z*, welcher in den folgenden Becher taucht, aus Zinn oder besser aus Zink ist. Ich bemerke hier beiläufig, dass Lauge oder andere alkalische Flüssigkeiten vorzuziehen sind, wenn eines der eingetauchten Metalle Zinn ist; Salzwasser ist vorzuziehen, wenn es Zink ist. Die beiden Metalle, aus denen jeder Bogen besteht, sind an irgend einer Stelle oberhalb deren, die in die Flüssigkeit taucht, zusammengelöthet; letztere muss sie in einer genügend grossen Fläche berühren, es ist daher passend, dass dieser Theil aus einer Platte von einem Zoll im Quadrat oder nur wenig kleiner besteht; der übrige Theil des Bogens kann so schmal sein, wie man will, selbst ein einfacher Metalldraht. Er kann auch aus einem dritten Metall bestehen, welches von denen ver-

Entdeckung des Säulenapparates.

schieden ist, die in die Flüssigkeit der Becher tauchen; denn die Wirkung auf die elektrische Flüssigkeit, welche von allen Berührungen mehrerer unmittelbar auf einander folgender Metalle herrührt, oder die Kraft, mit welcher diese Flüssigkeit an das Ende getrieben wird, ist absolut oder nahezu dieselbe, welche sie durch die unmittelbare Berührung des ersten Metalles mit dem letzten, ohne irgend eines der Zwischenmetalle, empfangen haben würde, wie ich dies durch unmittelbare Versuche bestätigt habe, von denen ich anderweit zu sprechen Gelegenheit haben werde.

[412] Eine Reihe von 30, 40, 60 dieser Becher, die auf diese Weise verknüpft sind, und die in einer geraden Linie oder in irgend einer Curve oder in beliebiger Weise geordnet sind, bildet den ganzen neuen Apparat, welcher im Grunde und wesentlich derselbe ist, wie die oben beschriebene Säule; die Hauptsache, welche in der unmittelbaren Verbindung zweier verschiedener Metalle besteht, die jedes Paar bilden, und in der mittelbaren eines Paares mit dem anderen, nämlich durch den feuchten Leiter, findet sich bei einem Apparate wie dem anderen.

»Was die Art anlangt, wie man den Becherapparat erprobt, und bezüglich der Versuche, zu denen er dienen kann, habe ich nicht viel zu sagen nach dem, was ich bei Gelegenheit der Säule erwähnt und ausgiebig erklärt habe. Man wird leicht verstehen, dass es genügt, um Schläge zu erfahren, wenn man die Hand in einen Becher steckt, und einen Finger der anderen Hand in einen anderen Becher, der von jenem hinreichend entfernt ist; dass dieser Schlag um so stärker sein wird, je mehr beide Gefässe von einander entfernt sind, d. h., je mehr Gefässe dazwischen sind; und man wird daher den stärksten Schlag erhalten, wenn man den ersten und den letzten Becher der Kette berührt. Man wird auch verstehen, wie und warum die Versuche besser gelingen, wenn man mit der gut angefeuchteten Hand eine ziemlich grosse Metallplatte fest anfasst (damit die Verbindung hinreichend vollkommen und in einer grossen Anzahl von Punkten stattfindet), und mit dieser Platte das Wasser des bestimmten Bechers, oder besser den metallenen Bogen berührt, während die andere Hand in den anderen, entfernten Becher getaucht ist, oder man durch eine ebenso angefasste Platte dessen Bogen berührt. [413] Schliesslich wird man das Ergebniss einer grossen Zahl von Versuchen, die man mit dieser Tassenkrone leichter, anschaulicher und sozusagen mehr zu den Augen sprechend als mit

Alessandro Volta.

der Säule ausführen kann, verstehen und sogar vorhersagen können. Ich erspare mir daher die Beschreibung einer grossen Zahl leicht zu erfindender Versuche und erwähne nur einige, welche nicht weniger belehrend als ergötzlich sind.

»Es seien dreimal zwanzig dieser Tassen oder Becher geordnet und mit einander durch metallene Bogen verkettet, aber in der Weise, dass in den ersten zwanzig die Bogen nach derselben Seite gewendet sind, z. B. die Arme mit dem Silber nach links und die mit dem Zink nach rechts; in den zweiten zwanzig aber im umgekehrten Sinne, d. h. das Zink nach links, das Silber nach rechts, schliesslich in den letzten zwanzig das Silber wieder nach links, wie zuerst. Nachdem die Sachen so geordnet sind, tauchen Sie einen Finger in das Wasser des ersten Bechers, und berühren Sie mit der in der andern Hand gehaltenen Platte in der beschriebenen Weise den ersten metallenen Bogen (den, welcher den ersten Becher mit dem zweiten verbindet), sodann den zweiten Bogen zwischen dem zweiten und dritten Becher, und nach einander die anderen bis zum letzten. Wenn das Wasser wohl gesalzen und warm ist, und die Haut der Hand gut befeuchtet und erweicht, so werden Sie eine kleine Erschütterung in den Fingern bereits empfinden, wenn Sie zum vierten oder fünften Bogen gelangt sind (ich habe sie einige Male ziemlich deutlich durch die Berührung des dritten empfunden), und indem Sie folgeweise auf den sechsten, siebenten u. s. w. übergehen, nehmen die Schläge stufenweise an Stärke zu bis zum zwanzigsten Bogen, d. h. bis zu dem letzten in einem Sinne gewendeten; [414] gehen Sie aber weiter zum 21., 22., 23., oder ersten, zweiten, dritten der zweiten Zwanzig, so werden die Schläge bei jedem Schritt schwächer, und zwar so, dass sie beim 36. oder 37. unmerklich und absolut Null beim 40. werden; ist dieser überschritten (und werden die dritten Zwanzig begonnen, die den zweiten entgegengesetzt aber den ersten analog sind), so werden die Schläge bis zum 44. oder 45. unmerklich sein; sie werden von da ab aber merklich werden und stufenweise zunehmen in dem Maasse, wie Sie bis zum 60. vorschreiten, wo sie ebenso stark sein werden, wie beim 20. Bogen.⁶⁾

»Wenn nun die zwanzig mittleren Bogen in demselben Sinne gewendet wären, wie die zwanzig vorhergehenden und die zwanzig folgenden, wenn also alle 60 zusammenwirkten, um die elektrische Flüssigkeit in demselben Sinne zu treiben, so versteht man, wieviel grösser die Wirkung und stärker die

Entdeckung des Säulenapparates.

Erschütterung schliesslich sein würde, und man versteht im Allgemeinen, wie und bis zu welchem Punkte sie abgeschwächt werden muss, wenn eine grössere oder geringere Anzahl dieser Kräfte vermöge der umgekehrten Stellung der Metalle einander entgegengesetzt sind. Wenn die Kette irgendwo unterbrochen ist, weil das Wasser in einem Becher fehlt, oder weil ein metallischer Bogen entfernt oder in zwei Stücke getheilt worden ist, so werden Sie keinen Schlag spüren, wenn Sie einen Finger in das Wasser des ersten, den zweiten in den des letzten Gefässes tauchen, Sie werden ihn aber in dem Augenblicke haben, stärker oder schwächer je nach den Umständen, wenn (während die Finger eingetaucht bleiben) die unterbrochene Verbindung hergestellt wird, wenn etwa eine andere Person in die beiden Tassen, wo der Bogen fehlt, zwei ihrer Finger steckt (welche ihrerseits auch einen leichten Schlag erhalten werden), oder besser, wenn man den entfernten Bogen oder irgend einen andern wieder einsenkt, oder, wenn man im Fall des in zwei Stücke getheilten Bogens diese wieder zu gegenseitiger Berührung bringt (auf diese Art wird der Schlag stärker, als vorher), oder endlich, wenn man im Falle der leeren Tasse Wasser in diese giesst, so dass es die beiden in dieser Tasse befindlichen, vorher trockenen Bogen erreicht.

[415] »Ist die Tassenkette oder -krone genügend lang und im Stande, einen starken Schlag zu geben, so wird man sogar einen allerdings viel schwächeren spüren, wenn man beide Finger oder beide Hände in ein einziges ziemlich grosses Gefäss mit Wasser taucht, in welchem der erste und letzte metallene Bogen endigt, vorausgesetzt, dass eine oder die andere der eingetauchten Hände, oder besser beide, mit diesen Bogen in Berührung, oder ziemlich nahe sind; man wird, sage ich, einen Schlag fühlen, sowie (nachdem die Kette irgendwo unterbrochen war) die Verbindung wieder hergestellt und der Kreis auf irgend eine der erwähnten Arten geschlossen wird. Nun könnte man überrascht sein, dass in diesem Kreise der elektrische Strom, obwohl er freien Durchgang durch eine ununterbrochene Wassermasse, nämlich das Wasser des Gefässes hat, diesen guten Leiter verlässt, um durch den Körper der Person, welche ihre Hände in dies Wasser getaucht hält, zu gehen, und so einen längeren Weg zurückzulegen. Aber diese Überraschung wird aufhören, wenn man überlegt, dass die lebenden und warmen thierischen Stoffe und insbesondere ihre Feuchtigkeiten im Allgemeinen bessere Leiter sind, als das Wasser

Alessandro Volta.

Es gewährt daher der Körper der Person, welche die Hände in das Wasser gesteckt hat, dem elektrischen Strome einen leichteren Durchgang, und dieser muss ihn vorziehen, obwohl er etwas länger ist. Da übrigens die elektrische Flüssigkeit, wenn sie in Masse unvollkommene Leiter und insbesondere feuchte Leiter durchdringen muss, sich in einen breiteren Canal auszubreiten, oder sich in mehrere zu theilen liebt, ja sogar Umwege geht, wenn sie dort geringeren Widerstand findet, als wenn sie dem kürzesten Wege folgt: [416] so nimmt in unserem Falle nur ein Theil des elektrischen Stromes diesen neuen Weg durch die Person und entfernt sich vom Wasser, der andere, grössere oder geringere Theil geht durch das Wasser des Gefässes. Dies ist der Grund, weshalb der Schlag, den man fühlt, viel schwächer ist, als wenn der elektrische Strom ungetheilt bleibt, indem die Person allein die Verbindung von einem Bogen zum anderen bildet.

Nach diesen Versuchen sollte man meinen, dass, wenn der Zitterrochen dem menschlichen Arme, oder den Thieren, die es berühren, oder sich ihm zu sehr nähern, einen Schlag versetzen will (ein Schlag, der viel schwächer ist als der, den er ausserhalb des Wassers ertheilen kann), so braucht es nur einige Theile seines elektrischen Organes einander zu nähern, da nämlich, wo eine Verbindung fehlt; er muss diese Lücken zwischen den einzelnen Säulen fortschaffen, Lücken, die entweder zwischen den Häuten, die in Form schmaler Scheiben in jeder Säule von unten bis oben über einander liegen; diese Lücken, sage ich, müssen an einer oder mehreren Stellen fortgeschafft und es muss der Contact hergestellt werden, entweder durch Zusammendrücken dieser Säulen oder durch Zufluss irgend einer Flüssigkeit in die Häutchen oder Zwischenräume. So denke ich, könnte die ganze Thätigkeit des Rochens gedacht werden, wenn er Schläge ertheilt und ich glaube wirklich, dass es sich so verhält; denn alles Uebrige, die Erregung und Fortbewegung der Elektrizität folgt nothwendig aus dem Bau des sonderbaren Organes: es besteht aus einer grossen Reihe von Leitern, die ich als sehr verschieden anzusehen allen Grund habe, [417] so dass sie Motoren der Elektrizität sein können, sobald sie sich berühren, denn sie mögen so angeordnet sein, dass sie mit hinreichender Kraft dieses Fluidum in Bewegung setzen können, von oben nach unten oder umgekehrt, und dass sie einen zur Erschütterung

Entdeckung des Säulenapparates.

hinreichenden Strom bilden, sobald alle nothwendigen Berührungen und Verbindungen hergestellt sind.

»Lassen wir nun aber den Zitterrochen und sein natürliches elektrisches Organ, und kehren zu dem künstlichen elektrischen Organ meiner Erfindung zurück, und insbesondere zu dem, welches das erstere auch in seiner Gestalt (von der der Becherapparat sich entfernt) nachahmt, nämlich dem Säulenapparat. Ich hätte einiges über die Construction des genannten Becher- oder Tassenapparates zu sagen, z. B. dass es gut ist, die erste und letzte Tasse recht gross zu nehmen, um nach Bedarf die ganze Hand hineinsenken zu können, doch würde es zu weit führen, auf alle diese Einzelheiten einzugehen.

»Was den Säulenapparat anlangt, so habe ich Mittel gesucht, um ihn erheblich durch Vervielfältigung der metallischen Platten zu verlängern, ohne dass er umfällt; ferner ihn bequem und tragbar und vor Allem dauerhaft zu machen; und ich habe unter anderen Mitteln folgende gefunden, welche ich Ihnen durch die beifolgenden Figuren vor Augen bringe. (Fig. 2, 3, 4.)

»In der Fig. 2 sind m, m, m, m Säulen oder Stäbe, drei, vier oder mehr an der Zahl, welche sich vom Fuss der Säule erheben und wie ein Käfig die auf einander gelegten Platten oder Scheiben von beliebiger Zahl und Höhe umfassen und sie so verhindern, umzufallen. Die Stäbe können von Glas, Holz oder Metall sein; nur muss man im letzteren Falle verhindern, dass sie die Platten unmittelbar berühren; [418] dies kann geschehen, indem man die Metallstäbe mit Glasröhren umgiebt, oder zwischen sie und die Säule einige Streifen Wachstuch, Ölpapier oder sogar gewöhnliches Papier oder endlich irgend einen anderen Körper bringt, welcher isolirt oder schlechter Leiter ist: Holz und Papier sind es genug, wenn sie nur nicht sehr feucht oder nass sind.

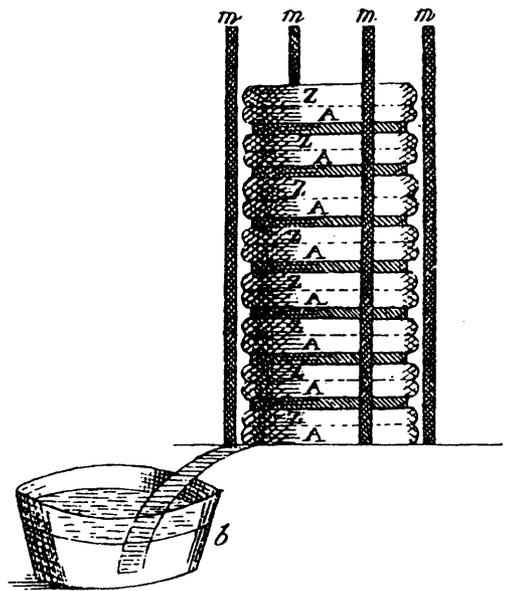


Fig. 2.

Alessandro Volta.

»Das beste Mittel aber, wenn man einen Apparat aus einer grossen Zahl von Platten bauen will, wie z. B. über 60, 80 oder 100, besteht darin, die Säulen in zwei, oder drei oder mehrere zu theilen, wie man in den Fig. 3 und 4 sieht, wo die Stücke alle ihre Stellungen und Verbindungen haben, als

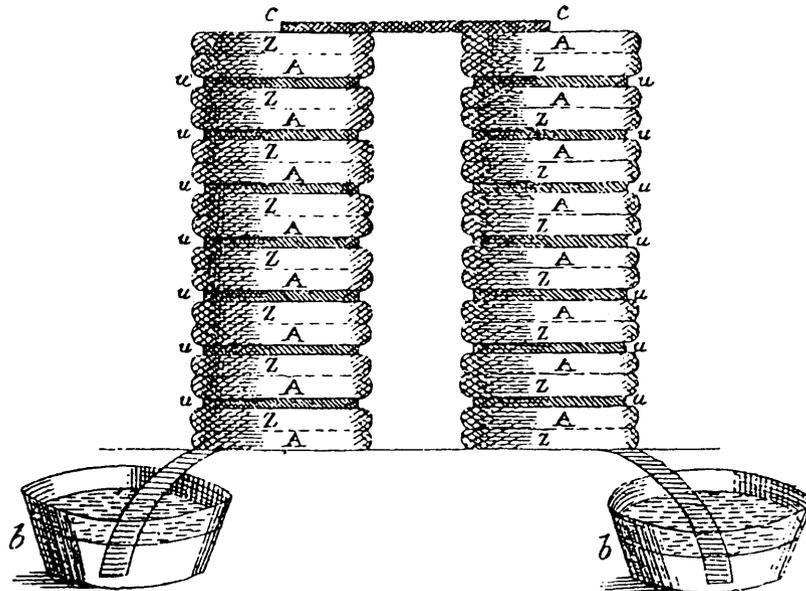


Fig. 3.

wenn es eine einzelne Säule wäre. Man kann in der That die Fig. 4 und 3 als eine umgebogene Säule ansehen.

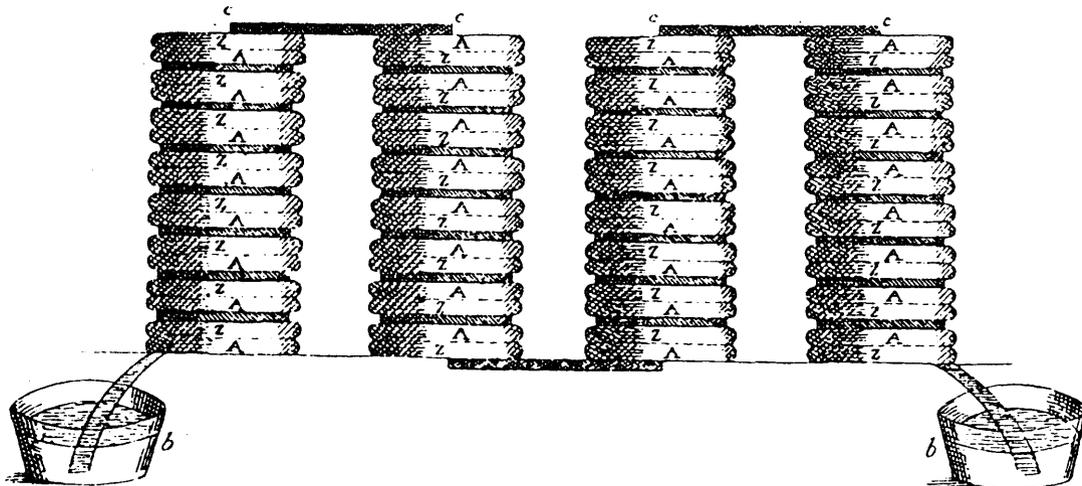


Fig. 4.

»In allen Figuren sind die verschiedenen metallenen Platten mit den Buchstaben *A* und *Z* bezeichnet (welches die Anfangsbuchstaben von argent und zine sind), und die zwischengelegten feuchten Platten (von Pappe, Leder u. s. w.) sind schwarz gemalt.

Alessandro Volta.

»Die von unseren Organen empfundenen Wirkungen, welche ein Apparat aus 40 bis 50 Plattenpaaren (oder auch ein kleinerer, wenn die Metalle Silber oder Kupfer und Zink sind), beschränken sich nicht auf die Schläge allein: [420] der Strom der elektrischen Flüssigkeit erregt, wenn er von einer solchen Zahl und Art verschiedener Leiter, Silber, Zink und Wasser, die in der beschriebenen Weise abwechselnd geschichtet sind, in Bewegung gesetzt und getrieben wird, nicht nur Zusammenziehungen und Krämpfe in den Muskeln, mehr oder weniger heftige Convulsionen der Glieder, welche er in seinem Laufe durchströmt, sondern er erregt auch die Organe des Geschmacks, des Gesichts, des Gehörs und des eigentlichen Gefühlssinnes, und bringt hier die jedem eigenen Empfindungen hervor.

»Was zunächst den Tastsinn anlangt: wenn ich durch eine reichliche Berührung der (gut befeuchteten) Hand mit einer Metallplatte oder besser durch tiefes Eintauchen der Hand in das Wasser des Gefäßes einerseits eine gute Verbindung mit einem Ende meines elektromotorischen Instrumentes (man muss Instrumenten, die nicht nur der Form nach, sondern auch nach ihren Wirkungen oder nach den Principien, von denen sie abhängen, neu sind, auch neue Namen geben) herstelle, und ich bringe das andere Ende an die Stirn, das Augenlid, die Nasenspitze, die gleichfalls befeuchtet sind, oder an irgend eine andere Stelle des Körpers, wo die Haut dünn genug ist; wenn ich, sage ich, einen dieser empfindlichen Körpertheile gut befeuchtet unter etwas Druck mit der Seite eines Drahtes berühre, welcher mit dem anderen Ende des genannten Apparates passend verbunden ist, so fühle ich in dem Augenblicke, wo der leitende Kreis geschlossen wird, an der berührten Stelle der Haut und etwas darüber hinaus einen Schlag und einen Stich, welche schnell vorübergehen und sich so oft wieder einstellen, als man den Kreis öffnet und schliesst; so dass, wenn diese Unterbrechungen oft erfolgen, sie ein sehr unangenehmes Schütteln und Prickeln verursachen. Wenn aber die Verbindung ohne diesen Wechsel, ohne die mindeste Unterbrechung bestehen bleibt, so fühle ich während einiger Augenblicke nichts mehr, worauf alsdann an der mit dem Ende des Metalldrahtes berührten Stelle sich eine andere Empfindung geltend macht, welche ein scharfer Schmerz (ohne Stoss) ist, der sich genau auf die Berührungsstelle beschränkt, ein Brennen, welches nicht nur andauert, sondern immer stärker wird,

Entdeckung des Säulenapparates.

bis es nach kurzer Zeit unerträglich wird, und welches nicht aufhört, bevor man den Kreis unterbricht.

[421] »Welchen augenscheinlicheren Beweis für die Fortdauer des elektrischen Stromes während der ganzen Zeit, dass die Verbindungen zwischen den Körpern, die den Kreis bilden, bestehen bleiben, kann es geben? und dass erst beim Unterbrechen desselben ein solcher Strom aufgehoben wird? Dieses endlose Kreisen der elektrischen Flüssigkeit (dieses perpetuum mobile) kann paradox, ja unerklärlich erscheinen, es ist aber nichtsdestoweniger wahr und wirklich, man fasst es sozusagen mit der Hand. Ein anderer evidenter Beweis kann gleichfalls daraus gezogen werden, dass man bei derartigen Versuchen oft in dem Augenblicke, wo man den Kreis plötzlich unterbricht, gleichfalls einen Schlag, einen Stich, eine Erschütterung verspürt, ganz wie im Augenblicke, wo der Kreis geschlossen wird; mit dem einzigen Unterschiede, dass diese durch eine Art von Rückfluss der elektrischen Flüssigkeit oder durch den Stoss vermöge der plötzlichen Aufhebung ihres Stromes hervorgerufenen Empfindungen schwächer sind. Ich habe aber nicht nöthig, und es ist hier nicht der Ort, Beweise für ein derartiges endloses Kreisen der elektrischen Flüssigkeit in einem Kreise von Leitern anzuführen, unter denen es welche giebt, die gemäss ihrer verschiedenen Natur durch ihre gegenseitige Berührung das Amt der Erreger oder Motoren ausüben: dieser Satz, welchen ich seit meinen ersten Untersuchungen und Entdeckungen im Gebiete des Galvanismus stets behauptet habe, wird, wie ich hoffe, keine Widersacher mehr finden.

[422] In Hinsicht auf den Schmerz, den man bei den vorstehenden Experimenten empfindet, muss ich hinzufügen, dass, wenn dieser Schmerz schon recht stark und empfindlich ist an Stellen mit unverletzter Haut, er doch bedeutend anwächst, wenn die Haut fehlt, in Wunden z. B. und bei frischen Verletzungen. Befindet sich irgendwo ein kleiner Schnitt oder eine Schramme an dem in irgend eine der Flüssigkeiten am Ende des Apparates eingetauchten Finger, so empfinde ich einen so lebhaften und brennenden Schmerz, im Augenblick wo der Kreis geschlossen wird, dass ich alsbald vom Versuch abstehen muss, d. h. ich muss den Finger herausziehen oder anderswie den Strom unterbrechen. Ja ich kann kaum mehr als einige Secunden dem Schmerz widerstehen, wenn der Apparat ungefähr 20 Elemente enthält.

6. Rollenspiel und Arbeitsblätter

Das folgende Rollenspiel soll zum einen die Aufgabe erfüllen, die SchülerInnen den Physikunterricht einmal anders erleben zu lassen. Es kann weiterhin dazu beitragen, daß die Schüler sich in eine Theorie vertiefen und die Gedankengänge früherer Forscher zu begreifen versuchen. Es wird deutlich, daß es verschiedene Theorien zu einem physikalischen Gebiet geben kann und das sich die Theorien an experimentellen Ergebnissen messen müssen. Wir empfehlen für das Rollenspiel durch Kostümierung der Schüler und durch Bereitstellung von passenden Experimentiergeräten (Leydener Flasche usw.) eine entsprechende Atmosphäre im Klassenzimmer herzustellen.

Die folgenden SchülerInnenarbeitsblätter können verschiedene Aufgaben erfüllen. So kann mit ihrer Hilfe schon behandelter Unterrichtsstoff wiederholt werden. Da es uns mit dieser Unterrichtseinheit aber in erster Linie wichtig ist, eine Hilfe für die LehrerInnen zu geben, die den historisch-genetischen Ansatz ausprobieren wollen, sollten die Arbeitsblätter vorwiegend als Experimentieranleitungen verwendet werden. Die Aufgabenstellungen in den Arbeitsblättern sind so gehalten, daß ein geleitetes Experimentieren der Schüler möglich ist, sich aber immer weiterführende Fragestellungen ergeben können. Die Aufgaben fordern die SchülerInnen dazu auf Beobachtungen zu sortieren und zu systematisieren und Erklärungen für Beobachtungen zu geben. Es bietet sich bei Verwendung der Arbeitsblätter an, die SchülerInnen in Gruppen arbeiten zu lassen, da zum einen sicherlich nicht genügend Experimentiergerät für jeden Schüler zur Verfügung steht. Zum anderen bietet aber gerade diese Arbeitsform die Möglichkeit innerhalb einer Gruppe oder zwischen den verschiedenen Gruppen fruchtbare Diskussionen entstehen zu lassen, wenn es z.B. darum geht Erklärungen für beobachtete Phänomene zu geben.

Die Arbeitsblätter können direkt als Kopiervorlagen verwendet werden, sollten aber auch als Anregung dazu dienen, eigene Arbeitsblätter zu erstellen. Auf jeden Fall sind die hier abgedruckten Arbeitsblätter nicht zur Leistungskontrolle gedacht oder geeignet.

Rollenspiel

Disput der Gelehrten

Die Französische Akademie der Wissenschaften tritt zusammen, um in ihrer Sitzung eine Streitfrage zu klären, die die wissenschaftlichen Gemüter seit einiger Zeit sehr stark beschäftigt.

Diese Sitzung wollen wir gemeinsam abhalten.

Geleitet wird die Sitzung vom Vorsitzenden der Akademie. Als Vertreter der unterschiedlichen Theorien zur Elektrizität sind Herr Symmer und Herr Franklin vor ein gelehrtes Publikum geladen.

Deine Rolle ist die Rolle:

des Vorsitzenden

Lies bitte diese Rollenanweisung genau durch und versuche, dich mit dem Argumenten vertraut zu machen, damit du deine spezielle Rolle einnehmen kannst.

Der Vorsitzende der französischen Akademie der Wissenschaften zu Paris spricht die Begründungsworte in der Sitzung zur Frage der möglichen Anzahl elektrischer Fluida.

Hochwohlgeborene Herren,

es ist mir eine außerordentliche Freude und Ehre, Ihnen mitteilen zu können, daß es der Akademie gelungen ist, die Begründer zwei so verschiedener Theorien der elektrischen Erscheinungen zu einer öffentlichen Auseinandersetzung über die Frage nach der Anzahl elektrischer Fluida bewegen zu können. Herr Dr. Benjamin Franklin als Verfechter seiner sogenannten Ein-Fluida-Theorie und Robert Symmer als Vater der Zwei-Fluida-Theorie.

Wie ich der Veröffentlichung des Kollegen Symmer aus dem Philosophical Transactions entnehmen konnten, hat zwar ein privates Treffen zwischen beiden stattgefunden, doch führte es zu keiner eindeutigen Klärung der Angelegenheit.

Weshalb derzeit keine öffentliche Diskussion an der Royal Society angestrebt wird, darüber möchte ich an diesem Orte nicht spekulieren. Tatsache ist jedoch, daß Robert Symmers wissenschaftliche Arbeit vorwiegend im Ausland auf Gehör stößt, man denke nur an das herausragende Lob unseres Kollegen Abbé Nollet.

Kurz und gut, nicht nur die hier in Frankreich geführte Diskussion um die neuen Franklin'schen Begriffe von "Plus-" und "Minus-Elektrizität, sondern insbesondere auch die vielerorts zu beobachtende Unklarheit in der Interpretation der verwendeten Begrifflichkeiten, veranlaßte die französische Akademie dazu, die Begründer der zwei wesentlichen Denkrichtungen zu einem Expertengespräch einzuladen.

Es freut mich insbesondere, dem derzeit vielbeschäftigten Herrn Franklin persönlich für diese Auseinandersetzung gewinnen zu können, zumal mir über ihn bekannt ist, daß er öffentlich Diskussionen philosophischer Probleme verabscheue. Um so mehr möchte ich mich im Namen der Akademie für das Erscheinen bedanken. Desweiteren hoffe ich, daß der von Herrn Symmer mehrfach geäußerte Wunsch nach einer fairen Austragung dieser Angelegenheit erfüllt wird.

Die anwesenden Wissenschaftler und Mitglieder der Akademie möchte ich auffordern, ihre kritischen Einwände im Anschluß an die Einzelvorträge zu stellen.

Bevor ich nun die benannten Herren zu Wort kommen lasse, möchte ich kurz den Stand der Entwicklung wiedergeben:

Seit Beginn dieses Jahrhunderts sind in der Elektrizitätsforschung widersprechende Theorien der Elektrizität aufgestellt worden. In Frankreich wies Charles Dufay sehr überzeugend die Existenz zweier verschiedener Elektrizitäten nach, die Harz- und die Glaselektrizität. Doch kurze Zeit darauf macht in Deutschland Johann Heinrich Winkler von sich reden, indem er mit seiner Ein-Fluidum-Theorie alle bisher bekannten elektrischen Phänomene beschreiben konnte.

Aus der neuen Welt, aus Amerika, erreichte uns Benjamin Franklins Vorschlag eines Blitzableiters und erregte in Europa großes Aufsehen. Es folgten sehr schnell die ersten Übersetzungen seiner "Briefe über die Elektrizität" ins Französische und Deutsche. Seine sogenannte "elektrische Algebra" faszinierte viele französische Philosophen wegen der Möglichkeit der buchhalterischen Erfassung elektrischer Vorgänge, insbesondere im Verstärkungsexperiment. Doch taucht auch Probleme mit den Begrifflichkeiten auf, die hoffentlich heute ausgeräumt werden können.

Kurz nach Erscheinen dieser Theorie veröffentlichte nun Herr Symmer seine Zwei-Fluida-Vorstellung, die, wie zum Beispiel auch die Theorie von Herrn Dufay, zwei Elektrizitätsarten zur Erklärung der Phänomene benötigt.

Die Akademie möge nach dem heutigen Disput entscheiden, ob nun die Theorie des Herrn Symmer oder die des Herrn Franklin die richtige sei, um alle elektrischen Erscheinungen so einfach und dennoch so schlüssig wie möglich zu erklären.

Hierzu erteile ich nun den Betroffenen das Wort.

Für den Ablauf der Diskussion hier noch einige Tips:

Gerät die Diskussion ins Stocken, so kannst du das bisher gesagte zusammenfassen oder auch gezielte Fragen stellen, z.B.:

- Wie erklären Sie die Anziehung elektrisierter Gegenstände?
- Wie erklären Sie die Abstoßung elektrisierter Gegenstände?
- Wie erklären Sie den Leiterkreis?
- Wie erklären Sie die Erzeugung von Elektrizität?
- Wie erklären Sie die Leydener Flasche?
- Wie erklären Sie das Elektroskop?

Fallen dir noch weitere Fragen ein?

Sollte die Diskussion zu lebhaft werden, führe eine Rednerliste!

Sorge für Ruhe und Aufmerksamkeit (unterdrücke aber bitte keine lebhaftige Diskussion).

Du kannst auch das Publikum ermuntern Fragen zu stellen oder Argumente vorzubringen etc..

Zum Schluß bittest du um eine Entscheidung der Fragestellung.

Danke den Kontrahenten vor und nach Bekanntgabe des Abstimmungsergebnisses und allen Anwesenden für die Beteiligung an dieser Sitzung.

Disput der Gelehrten

Die französische Akademie der Wissenschaften tritt zusammen, um in ihrer Sitzung eine Streitfrage zu klären, die die wissenschaftlichen Gemüter seit einiger Zeit sehr stark beschäftigt.

Diese Sitzung wollen wir gemeinsam abhalten.

Geleitet wird die Sitzung vom Vorsitzenden der Akademie. Als Vertreter der unterschiedlichen Theorien zur Elektrizität sind Herr Symmer und Herr Franklin vor ein gelehrtes Publikum geladen.

Deine Rolle ist die Rolle:

des Herrn Franklin

Lies bitte diese Rollenanweisung genau durch und versuche, dich mit dem Argumenten vertraut zu machen, damit du deine spezielle Rolle einnehmen kannst.

Franklins ökonomische Theorie der Elektrizität

Liest man in der heutigen Zeit Aufsätze über oder von Benjamin Franklin, so handeln diese selten von der Elektrizität. Mit seiner Person verbindet man eher die amerikanische Unabhängigkeitsbewegung oder seinen für einen Amerikaner typischen Geschäftssinn. "Time is Money" (Zeit ist Geld) ist einer seiner berühmten Belehrungssprüche, der an Beliebtheit bis in die heutige Zeit keineswegs verloren hat. Franklin, Politiker, Journalist, Geschäftsmann und Naturphilosoph in einer Person, wirkte nicht nur maßgeblich im Streit Englands und Frankreichs um die amerikanischen Kolonien mit, sondern schaffte es gleichzeitig, seinen naturphilosophischen Positionen, insbesondere zur Elektrizität, einen bedeutenden Platz in Europa zu verschaffen. Innerhalb der Elektrizitätslehre fand sein Denken in so wesentlichen Begriffen wie positive und negative Ladung, Leitungsstrom und Ladungserhaltung seinen Niederschlag. Doch diese uns heute so selbstverständlich erscheinenden Begriffe wurden seit den fünfziger Jahren des 18. Jahrhunderts nur mit größter Zurückhaltung in Europa aufgenommen, geschweige denn verstanden.

Am 17. Januar 1706 wurde Franklin als siebentes Kind aus zweiter Ehe seines Vaters in Boston geboren. Seine Eltern lebten in sehr ärmlichen Verhältnissen, so daß er mit neun Jahren die Lateinschule wegen finanzieller Schwierigkeiten verlassen mußte. Er wechselte zu einer Schreib- und Rechenschule über, in der er seine Schriftstellerischen Fähigkeiten entdeckte. Aber auch dieser Aufenthalt war recht kurz. Bereits mit zehn Jahren sah er sich gezwungen, sein Leben selbst in die Hand zu nehmen. Er arbeitete tagsüber in der Druckerei seines Bruders James, in den Abendstunden und frühmorgens bildete er sich weiter. Das nötige Geld für die Bücher verschaffte er sich unter anderem durch sparsame vegetarische Ernährung.

Bereits im Alter von sechzehn Jahren wollte er seine Gedanken der Öffentlichkeit mitteilen. Mit achtzehn Jahren galt er in Philadelphia bereits als exzellenter Journalist. Im Jahre 1725 druckte er selbst eine philosophische Abhandlung. Obgleich ihn inhaltliche Vorbehalte veranlaßten, diese Abhandlung wieder aus dem Verkehr zu ziehen, so zeigt diese Arbeit bereits eine für Franklin typische Denkfigur: Er glaubte,

"dass jedes wahrgenommene Vergnügen (oder jeder Schmerz) letztendlich durch ein gleiches Maß an Schmerz (oder Vergnügen) aufgewogen wird. A habe 10 Einheiten Schmerz. Zehn Einheiten Vergnügen müssen deshalb auf sein Konto gebucht werden."

Viele Stellen in seinem umfangreichen Nachlaß belegen dieses buchhalterische Denken. Entscheidungen jeglicher Art hielt er durch rationales Abwägen der Vor- und Nachteile für lösbar. Er selbst nannte dieses Verfahren "Moral and Prudential Algebra" (moralische und kluge Algebra). Dieser Geist "wirtschaftlicher und technischer Regsamkeit" führte ihn geradezu zwangsläufig zur Beschäftigung mit der Ökonomie. Er wünschte sich von ihr, daß sie die führende Philosophie der Menschheit werde. Durch eigene Beiträge erlangte sein Name Weltruf.

Noch lange vor seinen Arbeiten zur Elektrizität veröffentlichte Franklin ein für die damalige Zeit (1729) ungewöhnliches Papier: "The Nature and Necessity of a Paper Currency". Dieses

anonym herausgegebenes Plädoyer für die verstärkte Einspeisung von Papiergeld in den Geldkreislauf beunruhigte besonders die reicheren Bürger. Für Franklin war die Zirkulation dieses "Etwas" (Hartgeld oder Papiergeld) die Grundvoraussetzung für Wohlstand:

"Je mehr davon vorhanden ist, desto mehr erzeugt das Geld beim Umschlag, so daß der Nutzen schneller und immer schneller steigt."

Wesentliche Bedingung für eine funktionierende Wirtschaft sind nach Franklin der beständigen Geldumlauf (Zirkulation) sowie das Vorhandensein von Geld in genügend großer Quantität. Die Qualität des Mediums Geld ist für ihn nicht bestimmbar und auch nicht notwendig, denn aus welchem Stoff es auch immer gemacht sei, *"es ist für diese, die es besitzen (wenn sie sich irgendeine Sache wünschen), gerade die Sache, die sie sich wünschen... Es ist ein Tuch für jemanden, der sich ein Tuch wünscht, und Korn für jemanden, der sich Korn wünscht."*

Seine Kontakte zu Europa lenkten Franklins Aufmerksamkeit auch auf die damaligen Ergebnisse der Elektrizitätsforschung. Ein Verbindungsmann in London, Peter Collins, übersandte ihm sowohl eine zur Elektrizitätserzeugung notwendige Glasröhre als auch die Ausgabe des Gentleman`s Magazine aus dem Jahre 1745, in der eine Zusammenfassung der wesentlichen in Deutschland durchgeführten Experimente und Interpretationen abgedruckt war. Aus dem sich ab 1746 entwickelten intensiven Briefwechsel mit Collins wurden dann - allerdings nur stark verkürzt - Auszüge aus seinen Briefen in die Philosophical Transactions eingerückt. Collins ließ im Jahr 1751 eine Auswahl der Briefe in Buchform unter dem Titel "Experiments and Observations on Electricity" drucken.

Die wesentlichen Prinzipien seiner Theorie zur Elektrizität hatte Franklin bereits im Winter 1745/46 formuliert (vgl. Heilbron 1979, S.324 ff). Er interpretierte die elektrischen wie auch die anderen Naturvorgänge nach seiner buchhalterischen Manier. Die folgende Deutung des von ihm durchgeführten Versuchs zeigt diesen charakteristischen Zug.

1. Zwei Versuchspersonen stehen isoliert gegen den Erdboden. Die Person A reibt einen Glasstab, während die Person B durch Annäherung an den Stab beständig Funken zieht. Beide Personen erscheinen gegenüber einer dritten Person C, die auf dem Erdboden steht, elektrisiert.
2. Berühren sich A und B während des Reibevorgangs, so wird keiner von beiden elektrisch erscheinen.
3. Berühren sich die Personen A und B nach dem unter 1. beschriebenen Vorgang, dann ist der Funke zwischen ihnen stärker als jener zwischen A und C oder B und C.

Franklins Interpretation lautete:

"A...zieht das elektrische Feuer aus sich heraus in den Glasstab;...B...erhält das Feuer, welches am Glas von A gesammelt worden ist;...Für C...erscheinen beide elektrisiert; denn diese, eine "middle quantity" von elektrischem Feuer besitzend, erhält einen Funken von B, welche eine "over quantity" hat und gibt einen Funken an A, welche eine "under quantity" besitzt. Wenn A und B einander berühren, so ist der Funke stärker, weil die Differenz zwischen ihnen größer ist. Nach einer solchen Berührung gibt es keine Funken mehr zwischen ihnen und C, da das elektrische Feuer auf das ursprüngliche Gleichgewicht reduziert worden ist. Wenn sich

die Personen während des Reibens berühren, wird das Gleichgewicht niemals zerstört, das Feuer zirkuliert nur. Hieraus haben sich für uns zwei neue Begriffe ergeben: ...B ist plus elektrisiert; A minus."

Um es mit den Worten des Geschäftsmannes noch deutlicher zu sagen: jede Person A,B,C bringt 10 Einheiten elektrisches Fluidum von Natur aus mit ins Geschäft. Durch Reiben der Glasröhre stellt man eine neue Verteilung her; wenn A an B zwei Einheiten abgibt, dann herrscht dort ein Mangel, B hingegen besitzt einen Überschuß, d.h. B besitzt nun insgesamt 12 Einheiten. Die Differenz zwischen A und C sowie zwischen B und C beträgt jeweils 2 Einheiten, welche die gleichen Wirkungen hervorrufen. Die Differenz zwischen A und B beträgt aber 4 Einheiten, was einer Verdoppelung der Wirkung entspricht.

Mit dieser Interpretation von elektrischen Vorgängen unterstellte Franklin, daß die Natur ein konstantes Quantum an elektrischem Fluidum besitze. Nicht das Wesen dieser Materie sei von Interesse, sondern ihre Quantitäten.

Wie aber stellte sich Franklin die Verteilung der Elektrizität in der Materie vor?

"Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr subtile Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursache aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Theile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Aether, Feuer, Licht u. dergl. m. benennen kann, stossen sich untereinander ab. Sie werden aber von den Theilen der gemeinen Materie, aus welchen die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Theil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne das dieselbe auf der Oberfläche mehr als im Innern gehäuft liegen bleibt; so ist er, in Absicht auf die Elektrizität, in natürlichem Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Übergang dieser Materie aus einem Körper in den anderen und die dadurch hervorgebrachte ungleiche Verteilung derselben in den Körpern."

Mit diesen Grundannahmen ließ sich offensichtlich gut weiterarbeiten: Elektrischer Strom war danach nicht mehr ein unkontrollierbares, sich nach allen Seiten ausbreitendes Fluidum, sondern ein an Materie gebundener Leitungsstrom. Wie das Wasser in einer Röhre bewegt sich das elektrische Fluidum in vom Menschen arrangierten Bahnen. Auf solche Analogien stützend hielt es Franklin für notwendig, irreführende Begrifflichkeiten ein für alle Mal richtig zu stellen: Er sprach nicht mehr von Unterstützer der Elektrizität und Empfänger oder "electrics per se" (von sich aus elektrisch) und "non-electrics" (nicht-elektrisch), sondern von Nichtleitern und Leitern ("non-conductor" und "conductor"). Metalle waren von nun an die besten Leiter, obwohl jahrzehntelang gerade diese Materialien den Auströmungstheoretikern die größten Probleme bereiteten. Unter Nichtleiter faßte er alle Stoffe zusammen, die zuvor als "electrics per se" eingeordnet wurden.

Die Angemessenheit und Fruchtbarkeit seiner Theorie wußte Franklin selbst von Anfang an in glänzender Weise zu verteidigen. Gleich in dem ersten der Briefe (vom 28. Juli 1747), in denen er Nachrichten über seine elektrischen Entdeckungen nach Europa sandte, konnte er die erstaunlichen Wirkungen der zwei Jahre vorher erfundenen Leydener Flasche, die man bis dahin nur angestaunt, aber nicht begriffen hatte und die auch bei Nollet noch unerklärt geblieben

waren, nach seiner Theorie in so klarer Weise erläutern, daß diese Erläuterung in den Fundamenten bis heute noch unverändert geblieben ist. *"Wenn man den Draht und den Kopf der Bouteille",* so sagt er in jenem Briefe, *"positiv oder plus elektrisiert; so wird zu gleicher Zeit der Boden (d.h. die äußere Belegung) derselben in gleichem Verhältnis negativ oder minus elektrisiert; d.i. soviel von dem elektrischen Feuer durch den Kopf inwendig hineingebracht wird, eben soviel geht aus dem Boden wieder heraus. Man nehme an: der ganze Vorrath von elektrischer Materie, der sich in jeder Fläche des Glases befindet, ehe noch das Elektrisieren den Anfang genommen hat, betrage zwanzig; bei jedem Striche mit der Elektrisieröhre aber werde ein Theil der elektrischen Materie, den man für Eins annimmt, in dasselbe hineingebracht: so beträgt die Menge von elektrischer Materie im Drahte und dem oberen Theil der Flasche nach dem ersten Striche ein und zwanzig, im Boden hingegen neunzehn. Nach dem zweiten Striche bekommt der obere Theil zwei und zwanzig, der untere wird aber itzt nur noch achtzehn Theile enthalten."*

Symmers Thesen

Sein Konzept beruhte auf der Annahme, "daß Elektrizität nicht auf einer einzigen Kraft, sondern auf zwei unterschiedlichen Kräften beruht, welche durch ihr Gegeneinanderwirken die verschiedenen Phänomene erzeugten. Und daß, wenn ein Körper plus elektrisch ist, dies nicht darauf beruht, daß er zuviel von einer einzigen Art elektrischer Materie besitzt, sondern daß eine von zwei verschiedenen im Überschuß vorhanden ist."

"Ein Körper hat also im natürlichen Zustande von beiden Elektrizitäten gleiche Mengen, wird er nun elektrisch erregt, sei es durch Reiben oder Influenz, so erfolgt eine Scheidung: indem beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektrizität bekommt, und bei der Influenz durch einen genäherten elektrischen Körper am zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität angesammelt wird, am abgewandten die gleiche Elektrizität."

Wie aber kam Symmer überhaupt auf die Idee, zwei Fluida anzunehmen? Symmer war ein Anhänger der naturphilosophischen Anschauung von Wirkung und Gegenwirkung (actio und reactio). Jede Wirkung in der Natur findet ihr entsprechendes Gegenstück, eine Wirkung, die genau entgegengesetzt ist. Ähnliches gilt für Kräfte.

Disput der Gelehrten

Die Französische Akademie der Wissenschaften tritt zusammen, um in ihrer Sitzung eine Streitfrage zu klären, die die wissenschaftlichen Gemüter seit einiger Zeit sehr stark beschäftigt.

Diese Sitzung wollen wir gemeinsam abhalten.

Geleitet wird die Sitzung vom Vorsitzenden der Akademie. Als Vertreter der unterschiedlichen Theorien zur Elektrizität sind Herr Symmer und Herr Franklin vor ein gelehrtes Publikum geladen.

Deine Rolle ist die Rolle:

des Herrn Symmer

Lies bitte diese Rollenanweisung genau durch und versuche, dich mit dem Argumenten vertraut zu machen, damit du deine spezielle Rolle einnehmen kannst.

Robert Symmers Konzept der zwei Fluida

(Fluidum, das; besondere von einer Sache ausgehende Wirkung,... Duden Band 5, Fremdwörterbuch)

Durch Robert Symmer wurde eine entscheidende Sichtweise der elektrischen Erscheinungen eingeführt. Bevor jedoch Symmers Vorstellungen allgemeine Anerkennung erlangten oder zumindest beachtet wurden, verging einige Zeit. Doch gehen wir der Reihe nach vor.

Über Symmers Leben ist nur sehr wenig bekannt, so fehlt beispielsweise sein genaues Geburtsdatum. Das Geburtsjahr wird entweder mit 1703 oder mit 1707 angegeben. Über sein Elternhaus und seine Kindheit ist uns nichts bekannt. Bis 1735 studierte er an der Universität Edinburgh unter anderem Naturphilosophie. Aufgrund fehlender Arbeitsmöglichkeiten verließ er Schottland und zog einige Jahre umher, später ließ er sich in London nieder und bekleidete die Position eines Zahlmeisters am Königlichen Hof.

1752 wurde er Mitglied der Royal Society in London. Dies wurde er allerdings nicht wegen seiner Experimente, sondern aufgrund von Beziehungen zu Leuten, die bereits Mitglied waren und Symmer ebenfalls als Mitglied vorschlugen.

Erst 1757 begann er seine elektrischen Studien. 1759 schrieb er vier Abhandlungen über die Elektrizität. Diese vier Abhandlungen sind das Einzige, was über sein Konzept der Elektrizität von ihm selbst veröffentlicht wurde. Symmer starb im Jahre 1763.

Sein Konzept beruhte auf der Annahme, *"dass Elektrizität nicht auf einer einzigen Kraft, sondern auf zwei unterschiedliche Kräften beruht, welche durch ihr Gegeneinanderwirken die verschiedenen Phänomene erzeugten. Und daß, wenn ein Körper plus-elektrisch ist, dies nicht darauf beruht, daß er zuviel von einer einzigen Art elektrischer Materie besitzt, sondern daß eine von zwei verschiedenen im Überschuß vorhanden ist."* (Fraunberger, Elektrizität im Barock, S. 168, 1964).

Doch lassen wir Symmer selber zu Wort kommen. In seiner Veröffentlichung aus dem Jahre 1759 schreibt er:

"... Meine Vorstellung ist es, daß die Vorgänge der Elektrizität nicht von der Kraft eines einzigen Fluidums abhängen, gemäß der allgemein angenommenen Vorstellung; sonder von zwei verschiedenen, positiven und aktiven Kräften, welche durch ihre Verschiedenheit und ihr Entgegenwirken die unterschiedlichen Phänomene der Elektrizität hervorbringen; und das es sich weder bei einem Körper, von dem gesagt wird, er sei positiv elektrisiert um einen solchen handelt, der einfach einen größeren Anteil an elektrischer Materie besitzt als einer im natürlichen Zustande, noch bei einem als negativ elektrisiert bezeichneten um einen solchen, der weniger an elektrischer Materie besitzt. Sondern im ersten Fall besitzt der Körper eine größere Menge einer der aktiven Kräfte und im letzteren Fall eine größere Menge der anderen aktiven Kraft; das ein Körper im natürlichen Zustande unelektrisch erscheint, beruht auf dem Gleichgewicht dieser zwei Kräfte in ihm."

E. Hoppe faßt in seiner 'Geschichte der Elektrizität' (1848) Symmers Konzept wie folgt zusammen: *"Ein Körper hat also im natürlichen Zustande von beiden Elektrizitäten gleiche Mengen, wird er nun elektrisch erregt, sei es durch Reiben oder Influenz, so erfolgt eine Scheidung: indem beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektrizität bekommt, und bei der Influenz durch einen genäherten elektrischen Körper am zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität angesammelt wird, am abgewandten die gleiche Elektrizität."*

Wie aber kam Symmer überhaupt auf die Idee, zwei Fluida anzunehmen? Symmer war Anhänger der naturphilosophischen Anschauung von Wirkung und Gegenwirkung. Jede Wirkung in der Natur findet ihr entsprechendes Gegenstück, eine Wirkung, die genau entgegengesetzt ist. Ähnliches gilt für Kräfte. In seinen Veröffentlichungen führt Symmer folgendes aus:

"Wenn aber zwei verschiedene und entgegengesetzte Kräfte existieren, so wie es mir scheint und wie es die vorangegangenen Experimente und Beobachtungen augenscheinlich machen, so wird es in diesem Falle unmöglich sein, ohne eben dieses Prinzip der zwei Kräfte, eine in sich vollständige und geschlossene Theorie der Elektrizität aufzustellen. Zudem würden wir nicht feststellen, nach genauen Betrachtungen, daß dies Prinzip mit den allgemeingültigen Prinzipien der Natur nicht übereinstimmt. Es ist eines der fundamentalen Gesetze der Natur, daß Actio und Reactio untrennbar und gleichbedeutend sind. Und wenn wir uns umschauen, sehen wir, daß jede Kraft, die in der materiellen Welt existiert mit einer entgegengesetzten Kraft verbunden ist, die den Effekt kontrolliert und reguliert, entsprechend der weisen Voraussicht der Vorsehung."

Kommen wir nun zu Symmers elektrischen Untersuchungen und Versuchen, die ein Zwei-Fluida Konzept zu sprechen scheinen. Auch wenn seine Versuche doch sehr merkwürdig und vielleicht auch Anlaß zum schmunzeln sein mögen, so möchten wir sie dennoch nicht auslassen. Symmer hatte die Angewohnheit zwei Paar Socken übereinander zu tragen: *"Manchmal habe ich beobachtet, wenn ich abends meine Strümpfe auszog, daß diese ein knackendes und klatschendes Geräusch von sich gaben und im Dunckeln konnte ich bemerken, wie sie Funken von sich gaben."* Aber mit dieser Beobachtung nicht genug, Symmer ging diesem Phänomen nach und stellte sehr bald fest, daß die Strümpfe solange keine Wirkung zeigten wie sie zusammen blieben. Wurden die Strümpfe jedoch voneinander getrennt, schwoll jeder derart an, als ob sie noch einen Körper beinhalten würden. Und umgekehrt fielen die Strümpfe wieder zusammen, nachdem sie ineinandergesteckt wurden. Er stellte bei seinen Versuchen fest, daß der Effekt immer dann am größten war, wenn er Strümpfe aus schwarzer und weißer Seide benutzte. Hielt er zwei derart aufgeladene schwarze oder weiße Strümpfe aneinander, so stießen sie sich ab. Hielt er jedoch einen weißen und einen schwarzen dicht zusammen, so zogen sie sich gegenseitig an.

Im Folgenden sollen noch einige Experimente angeführt werden, die ebenfalls für eine Zwei-Fluida Theorie sprechen.

1. *"Wenn wir zur gleichen Zeit die Außenbemantelung einer leicht elektrisierten Verstärkungsflasche mit dem Finger der einen Hand und den Draht mit dem Finger der anderen Hand berühren, erhalten beide einen leichten Schlag,..."*

2. *"Wenn man einen elektrischen Schlag durch einen festen Körper mit einer solchen Kraft passieren lassen würde, daß er die Substanz durchbohren und aufreißen würde, erwarte ich, daß solche Kennzeichen zurückbleiben würden, die es uns ermöglichen, mit Sicherheit den Verlauf der elektrischen Kraft auf seinem Weg durch den Körper verfolgen zu können."*

Tatsächlich zeigt sich, wenn man einen elektrischen Funken durch dünne Blätter von Papier, Metall usw. schlagen läßt, daß die Ränder der Durchgangsöffnung sich immer nach beiden Seiten umgebogen zeigen:

Franklins Thesen

In Franklins Arbeiten zeigt sich immer wieder eine typische Denkfigur: Er glaubte,

"dass jedes wahrgenommene Vergnügen (oder jeder Schmerz) letztendlich durch ein gleiches Maß an Schmerz (oder Vergnügen) aufgewogen wird. A habe 10 Einheiten Schmerz. Zehn Einheiten Vergnügen müssen deshalb auf sein Konto gebucht werden."

Diese Idee kennzeichnet auch seine wissenschaftlichen Arbeiten:

Um es mit den Worten des Geschäftsmannes noch deutlicher zu sagen: jede Person A,B,C bringt 10 Einheiten elektrisches Fluidum von Natur aus mit ins Geschäft. Durch Reiben der Glasröhre stellt man eine neue Verteilung her; wenn A an B zwei Einheiten abgibt, dann herrscht dort ein Mangel, B hingegen besitzt einen Überschuß, d.h. B besitzt nun insgesamt 12 Einheiten. Die Differenz zwischen A und C sowie zwischen B und C beträgt jeweils 2 Einheiten, welche die gleichen Wirkungen hervorrufen. Die Differenz zwischen A und B beträgt aber 4 Einheiten, was einer Verdoppelung der Wirkung entspricht.

Mit dieser Interpretation von elektrischen Vorgängen unterstellte Franklin, daß die Natur ein konstantes Quantum an elektrischem Fluidum besitze. Nicht das Wesen dieser Materie sei von Interesse, sondern ihre Quantitäten.

Wie aber stellte sich Franklin die Verteilung der Elektrizität in der Materie vor?

"Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr subtile Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursache aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Theile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Aether, Feuer, Licht u. dergl. m. benennen kann, stossen sich untereinander ab. Sie werden aber von den Theilen der gemeinen Materie, aus welchen die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Theil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne das dieselbe auf der Oberfläche mehr als im Innern gehäuft liegen bleibt; so ist er, in Absicht auf die Elektrizität, in natürlichem Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Übergang dieser Materie aus einem Körper in den anderen und die dadurch hervorgebrachte ungleiche Verteilung derselben in den Körpern."

Disput der Gelehrten

Die Französische Akademie der Wissenschaften tritt zusammen, um in ihrer Sitzung eine Streitfrage zu klären, die die wissenschaftlichen Gemüter seit einiger Zeit sehr stark beschäftigt.

Diese Sitzung wollen wir gemeinsam abhalten.

Geleitet wird die Sitzung vom Vorsitzenden der Akademie. Als Vertreter der unterschiedlichen Theorien zur Elektrizität sind Herr Symmer und Herr Franklin vor ein gelehrtes Publikum geladen.

Deine Rolle ist die Rolle:

eines Gelehrten

Lies bitte diese Rollenanweisung genau durch und versuche, dich mit dem Argumenten vertraut zu machen, damit du deine spezielle Rolle einnehmen kannst.

Die Gelehrten im Publikum, sowie der Vorsitzende der Französischen Akademie der Wissenschaften kennen folgende Thesen der zur Diskussion stehenden Theorien:

Franklins Thesen

In Franklins Arbeiten zeigt sich immer wieder eine typische Denkfigur: Er glaube,

"dass jedes wahrgenommene Vergnügen (oder jeder Schmerz) letztendlich durch ein gleiches Maß an Schmerz (oder Vergnügen) aufgewogen wird. A habe 10 Einheiten Schmerz. Zehn Einheiten Vergnügen müssen deshalb auf sein Konto gebucht werden."

Diese Idee kennzeichnet auch seine wissenschaftlichen Arbeiten:

Um es mit den Worten des Geschäftsmannes noch deutlicher zu sagen: jede Person A,B,C bringt 10 Einheiten elektrisches Fluidum von Natur aus mit ins Geschäft. Durch Reiben der Glasröhre stellt man eine neue Verteilung her; wenn A an B zwei Einheiten abgibt, dann herrscht dort ein Mangel, B hingegen besitzt einen Überschuß, d.h. B besitzt nun insgesamt 12 Einheiten. Die Differenz zwischen A und C sowie zwischen B und C beträgt jeweils 2 Einheiten, welche die gleichen Wirkungen hervorrufen. Die Differenz zwischen A und B beträgt aber 4 Einheiten, was einer Verdoppelung der Wirkung entspricht.

Mit dieser Interpretation von elektrischen Vorgängen unterstellte Franklin, daß die Natur ein konstantes Quantum an elektrischem Fluidum besitze. Nicht das Wesen dieser Materie sei von Interesse, sondern ihre Quantitäten.

Wie aber stellte sich Franklin die Verteilung der Elektrizität in der Materie vor?

"Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr subtile Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursache aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Theile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Aether, Feuer, Licht u. dergl. m. benennen kann, stossen sich untereinander ab. Sie werden aber von den Theilen der gemeinen Materie, aus welchen die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Theil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne das dieselbe auf der Oberfläche mehr als im Innern gehäuft liegen bleibt; so ist er, in Absicht auf die Elektrizität, in natürlichem Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Übergang dieser Materie aus einem Körper in den anderen und die dadurch hervorgebrachte ungleiche Verteilung derselben in den Körpern."

Symmers Thesen

Sein Konzept beruhte auf der Annahme, "daß Elektrizität nicht auf einer einzigen Kraft, sondern auf zwei unterschiedlichen Kräften beruht, welche durch ihr Gegeneinanderwirken die verschiedenen Phänomene erzeugten. Und daß, wenn ein Körper plus elektrisch ist, dies nicht darauf beruht, daß er zuviel von einer einzigen Art elektrischer Materie besitzt, sondern daß eine von zwei verschiedenen im Überschuß vorhanden ist."

"Ein Körper hat also im natürlichen Zustande von beiden Elektrizitäten gleiche Mengen, wird er nun elektrisch erregt, sei es durch Reiben oder Influenz, so erfolgt eine Scheidung: indem beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektrizität bekommt, und bei der Influenz durch einen genäherten elektrischen Körper am zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität angesammelt wird, am abgewandten die gleiche Elektrizität."

Wie aber kam Symmer überhaupt auf die Idee zwei Fluida anzunehmen? Symmer war ein Anhänger der naturphilosophischen Anschauung von Wirkung und Gegenwirkung (actio und reactio). Jede Wirkung in der Natur findet ihr entsprechendes Gegenstück, eine Wirkung, die genau entgegengesetzt ist. Ähnliches gilt für Kräfte.

Als Gelehrter auf dem Gebiet der Elektrizität bist du aufgefordert, eine Entscheidung in der Streitfrage herbeizuführen, welche Theorie die richtige ist.

Du darfst Zwischenfragen stellen und Probleme aufwerfen.

Du darfst Dich zu einer Theorie bekennen und den Disputanten helfen.

Vergiß nicht: Du bist vom Fach!

SchülerInnenarbeitsblatt

a) Welche Stoffe bringen das Phänomen der Anziehung hervor und welche nicht?

b) Welche Umstände beeinflussen das Phänomen?

c) Wie unterscheidet sich die Kraft des Bernsteins von der Kraft der Magnete?

d) Wie entsteht die elektrische bzw. die magnetische Kraft?

SchülerInnenarbeitsblatt

Baut die Tassenkrone auf, indem ihr jedes der Kupfer-Zink-Elemente in Reihe schaltet (was heißt das?) und die Glasgefäße mit Salzlösung füllt.

Taucht einen Finger in das erste Glasgefäß. Taucht danach (langsam!) einen Finger der anderen Hand nacheinander in verschiedene andere Glasgefäße ein.

Beobachtung?

Erklärung?

Schaltet nun jeweils sechs Elemente parallel (was bedeutet das, wie geht das?) und diese dann jeweils in Reihe.

Taucht einen Finger in das erste Glasgefäß. Taucht danach (langsam!) einen Finger der anderen Hand nacheinander in verschiedene andere Glasgefäße ein.

Beobachtung?

Erklärung?

Nehmt nach dem Ende der Versuche Eure Kupfer-Zink-Elemente aus der Salzlösung und vergleicht sie mit unbenutzten.

Beobachtung?

Erklärung?

Hat die Tassenkrone etwas mit der Elektrizität zu tun, die Ihr bisher kennt, und wenn ja, was?

Was stellt Ihr Euch vor, was in der Voltasäule passiert?

Welche Rolle spielen dabei die Kupferscheiben, die Zinkscheiben und die Salzlösung?

SchülerInnenarbeitsblatt

Baut mit den Kupfer-, Zink- und Lederscheiben eine Voltasäule auf. Welche Reihenfolge wählt ihr und warum?

Berührt zwischendurch mit einem Finger die erste (unterste) und mit einem Finger der anderen Hand die jeweils oberste Scheibe.

Beobachtung?

Erklärung?

Versucht nun, mehrere Voltasäulen zu verbinden (wie könnte dies geschehen?). Berührt diese Säulen an verschiedenen Platten. Beobachtung?

Erklärung?

Zerlegt nach dem Ende der Versuche Eure Säulen wieder und vergleicht die Scheiben mit unbenutzten.

Beobachtung?

Erklärung?

Hat die Voltasäule etwas mit der Elektrizität zu tun, die Ihr schon kennt, und wenn ja, was?

Was stellt Ihr Euch vor, was in der Voltasäule passiert?

Wofür braucht Ihr Kupfer, Zink, Leder, Salzlösung?

7. Nachbauanleitungen

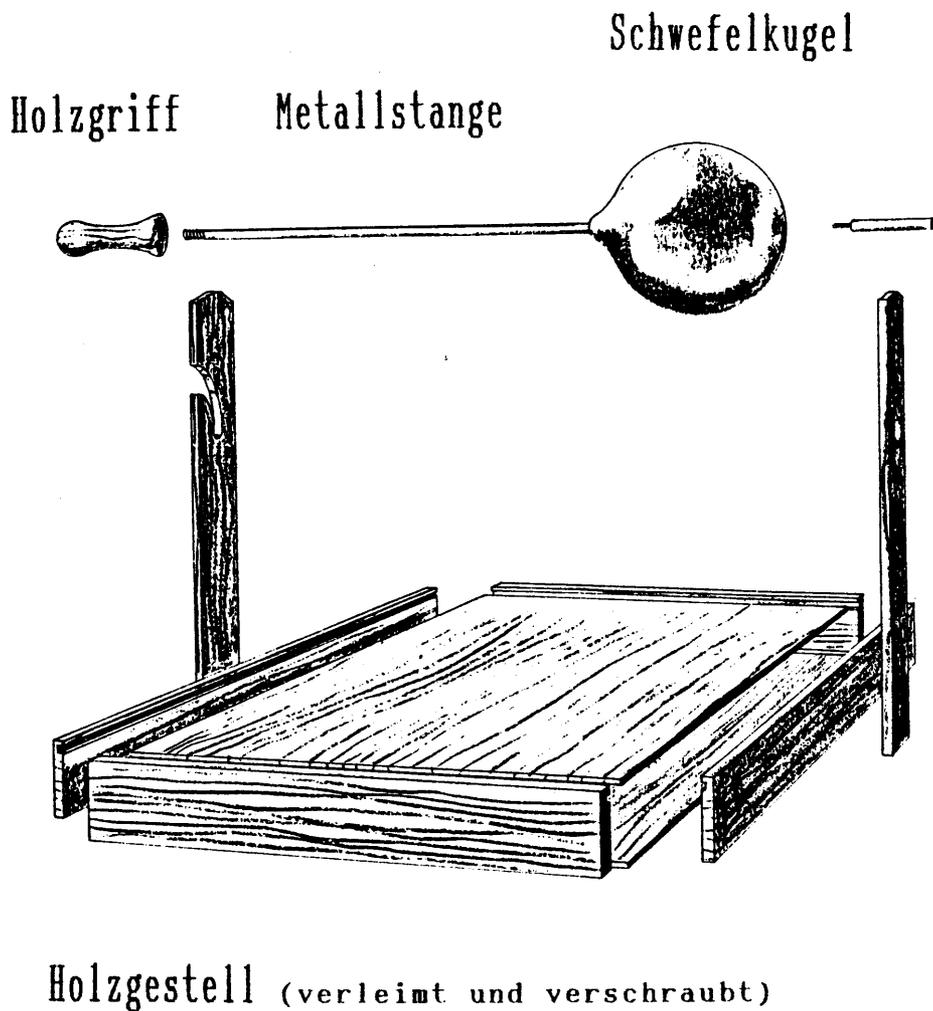


Abb. 11.: Die "Elektrisiermaschine" des Otto von Guericke

Bei der Herstellung der Schwefelkugel kann man so vorgehen, wie es Guericke selbst beschrieben hat (siehe S. 29 im Materialenteil). Doch Vorsicht ist auf alle Fälle geboten. (Schwefeldämpfe, gleichmäßige Erwärmung des Glases etc.)

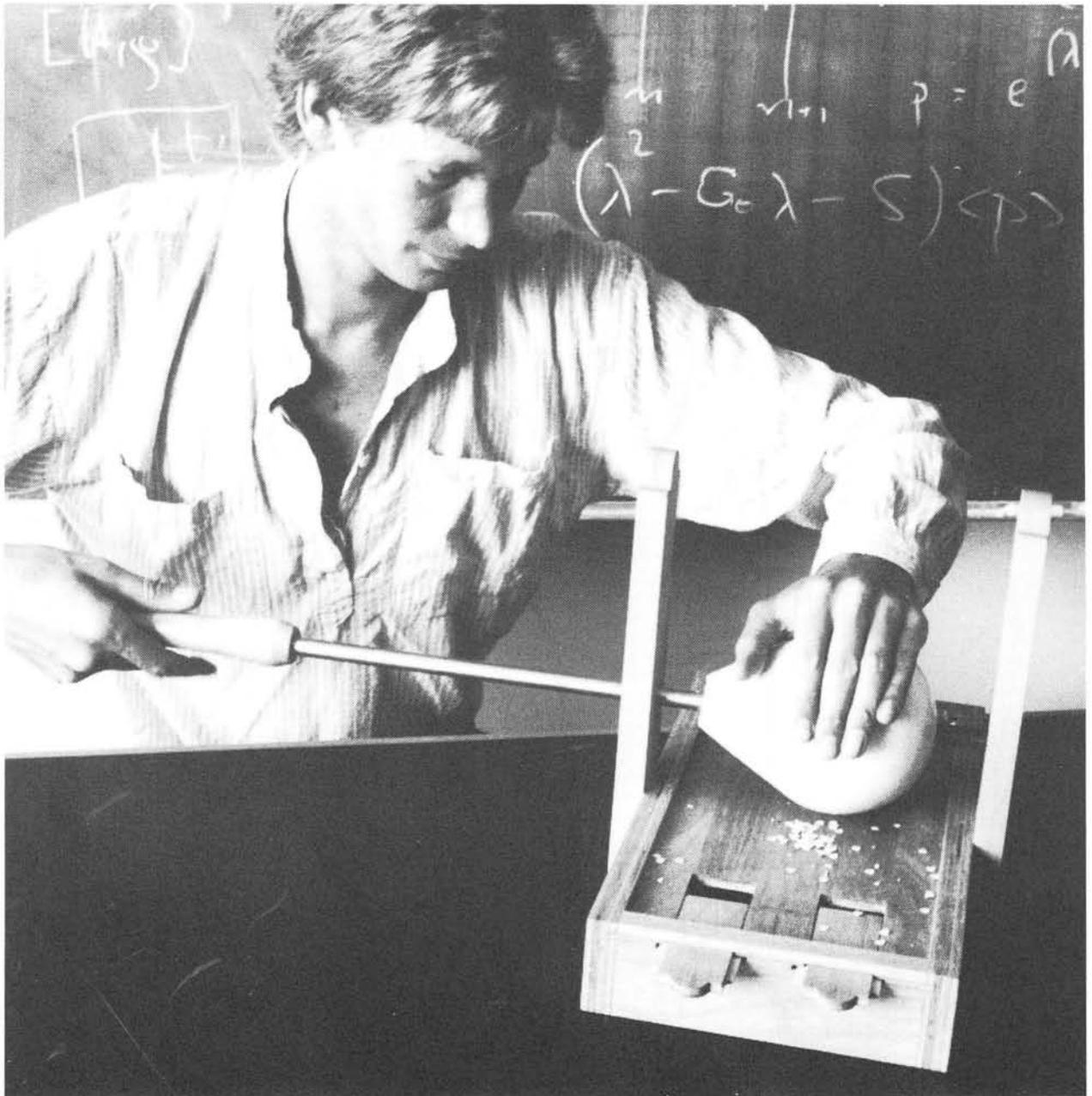


Abb. 12.: An der Universität Oldenburg hergestellte Schwefelkugel

Messingdraht (gebogen)

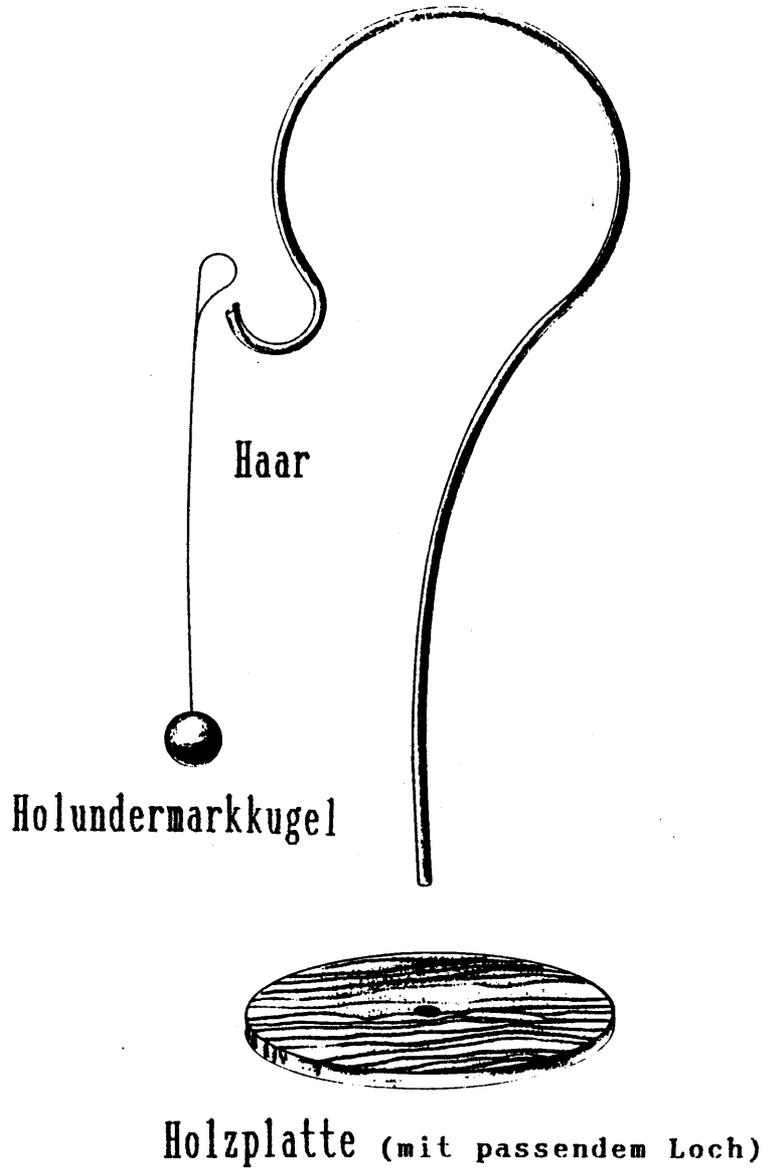
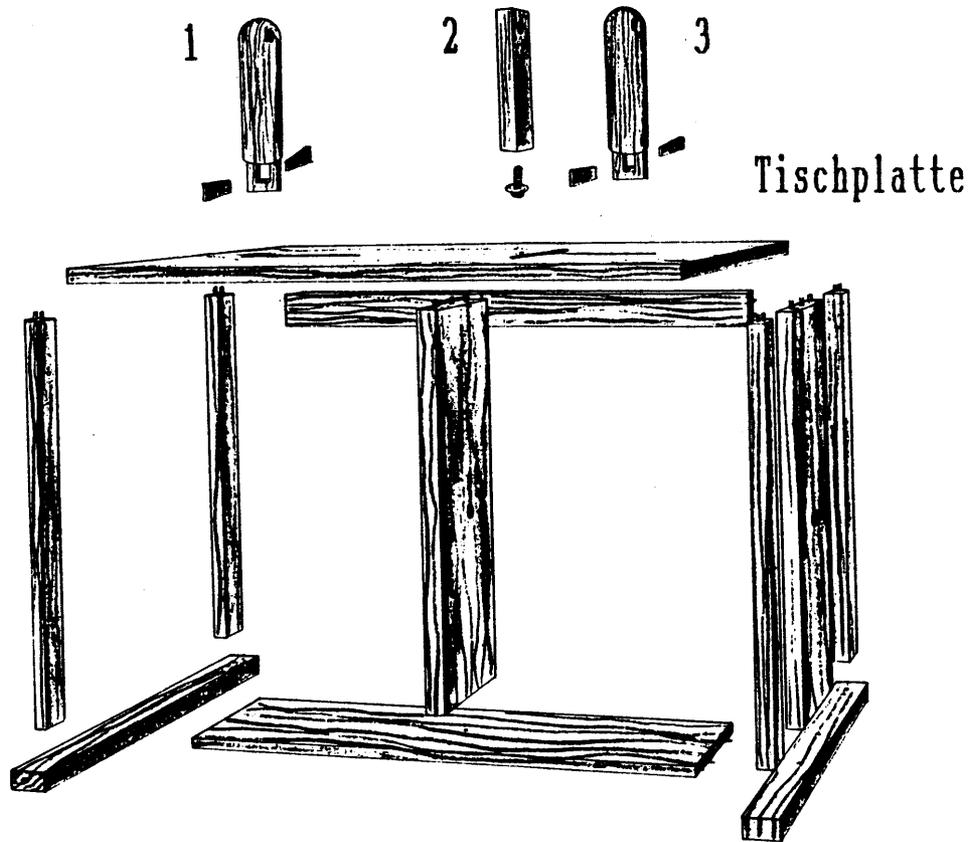


Abb. 13.: Pendelelektroskop

Elektrisierungsmaschine



1, 2 und 3 dienen zur Befestigung des Reibkörpers auf der Tischplatte. 1 und 3 sind abgerundete Hölzer, an ihrem oberen Ende sind sie mit einer durchgehenden Bohrung versehen, durch die die Achse gesteckt wird. Am unteren Ende befinden sich Einschnitte. Mit Hilfe von jeweils zwei Holzkeilen werden die Rundhölzer unter der Tischplatte verkeilt. Teil 2 dient der zusätzlichen Stabilisierung der Achse. Das Holzgestell wird mit Hilfe von Holzdübeln verleimt.

Abb. 14.1.: Holzgestell der Elektrisierungsmaschine

Holzscheibe (mit eingefräster Rundung)

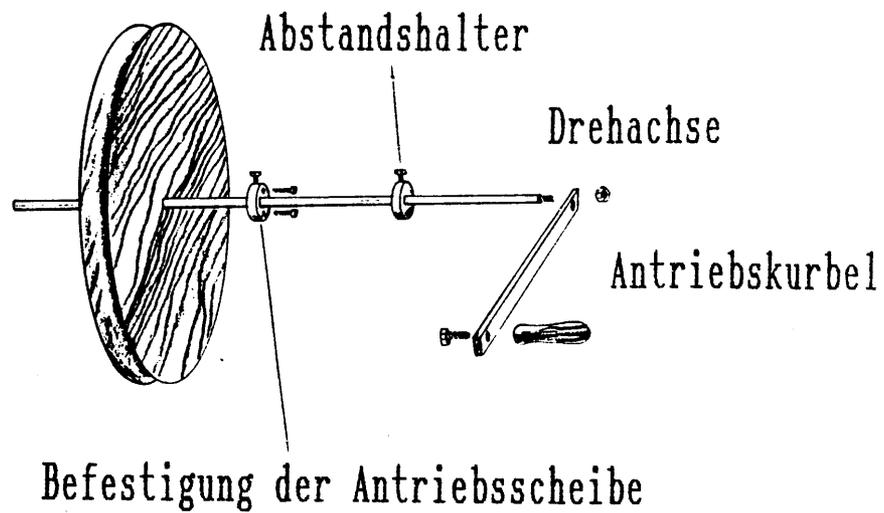
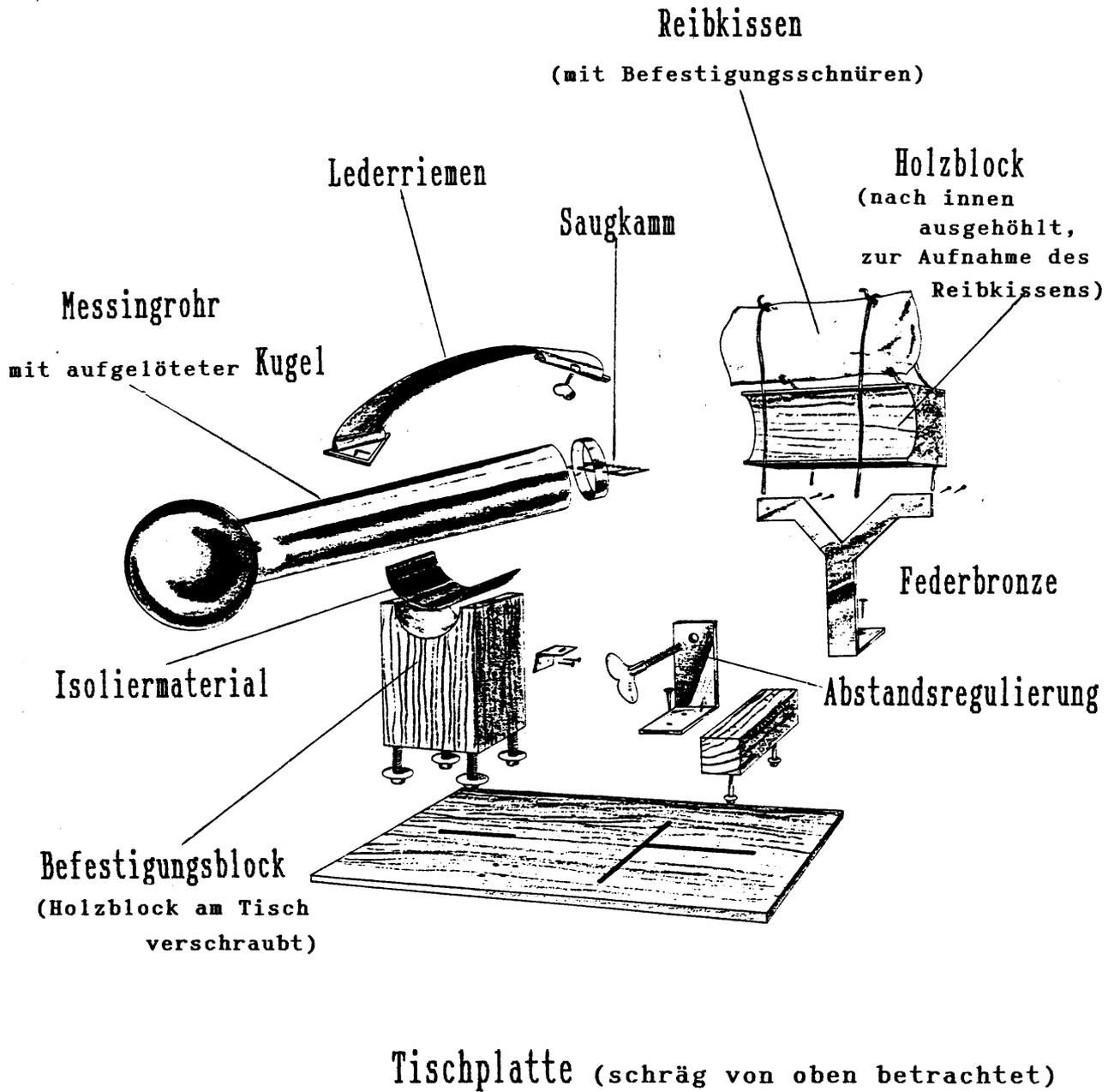
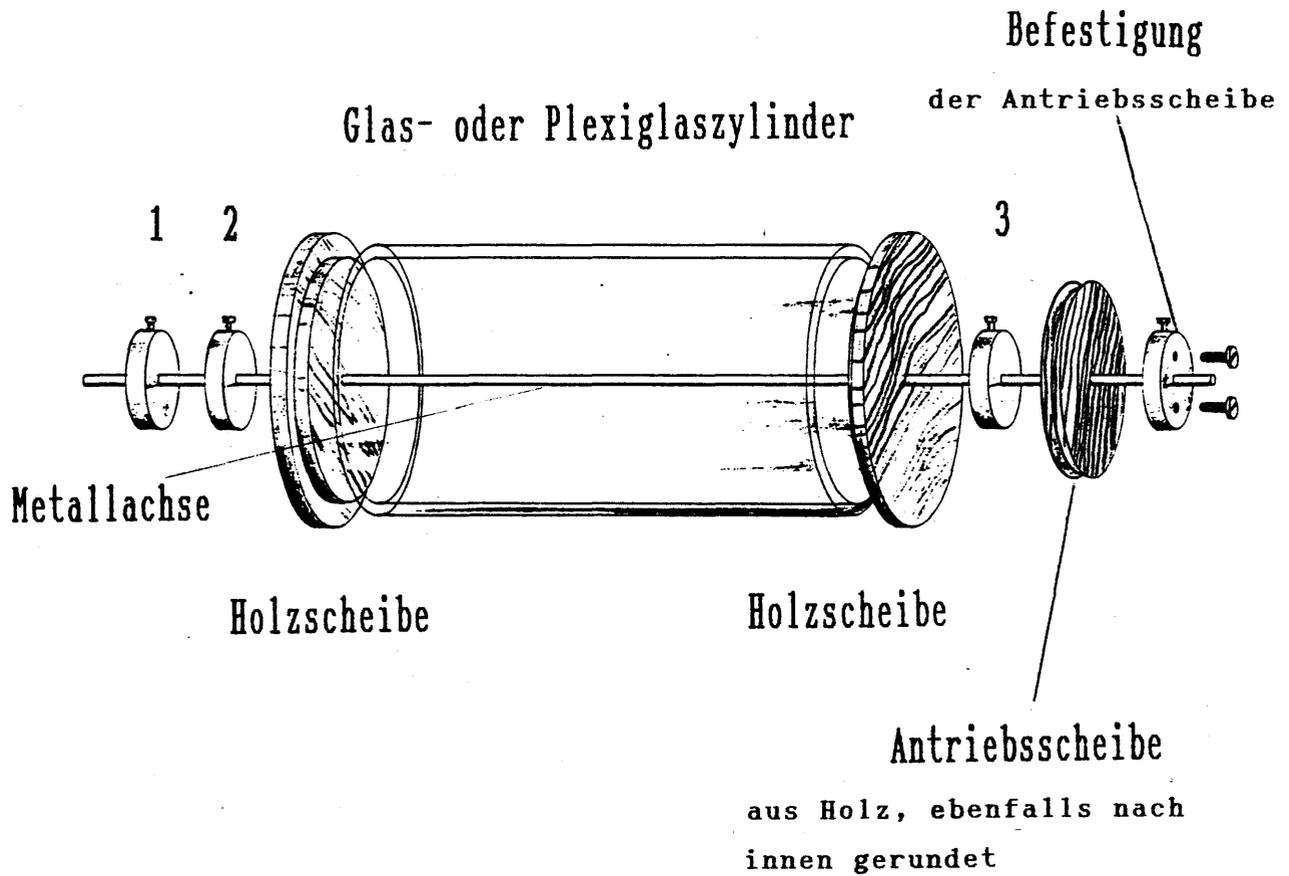


Abb. 14.2.: Antriebsachse mit Antriebsrad der Elektrifiziermaschine



(Federbronze und Abstandsregulierung werden gemeinsam auf einen kleinen Holzklötz geschraubt, der Abstand mit Hilfe der Flügelschraube reguliert)

Abb. 14.3.: Tischaufbau der Elektrisiermaschine mit Konduktor und Reibkissen



1,2 und 3 sind Abstandshalter

1 und 3 klemmen den Zylinder zwischen den Holzscheiben fest

Abb. 14.4.: Reibkörper der Elektrisiermaschine

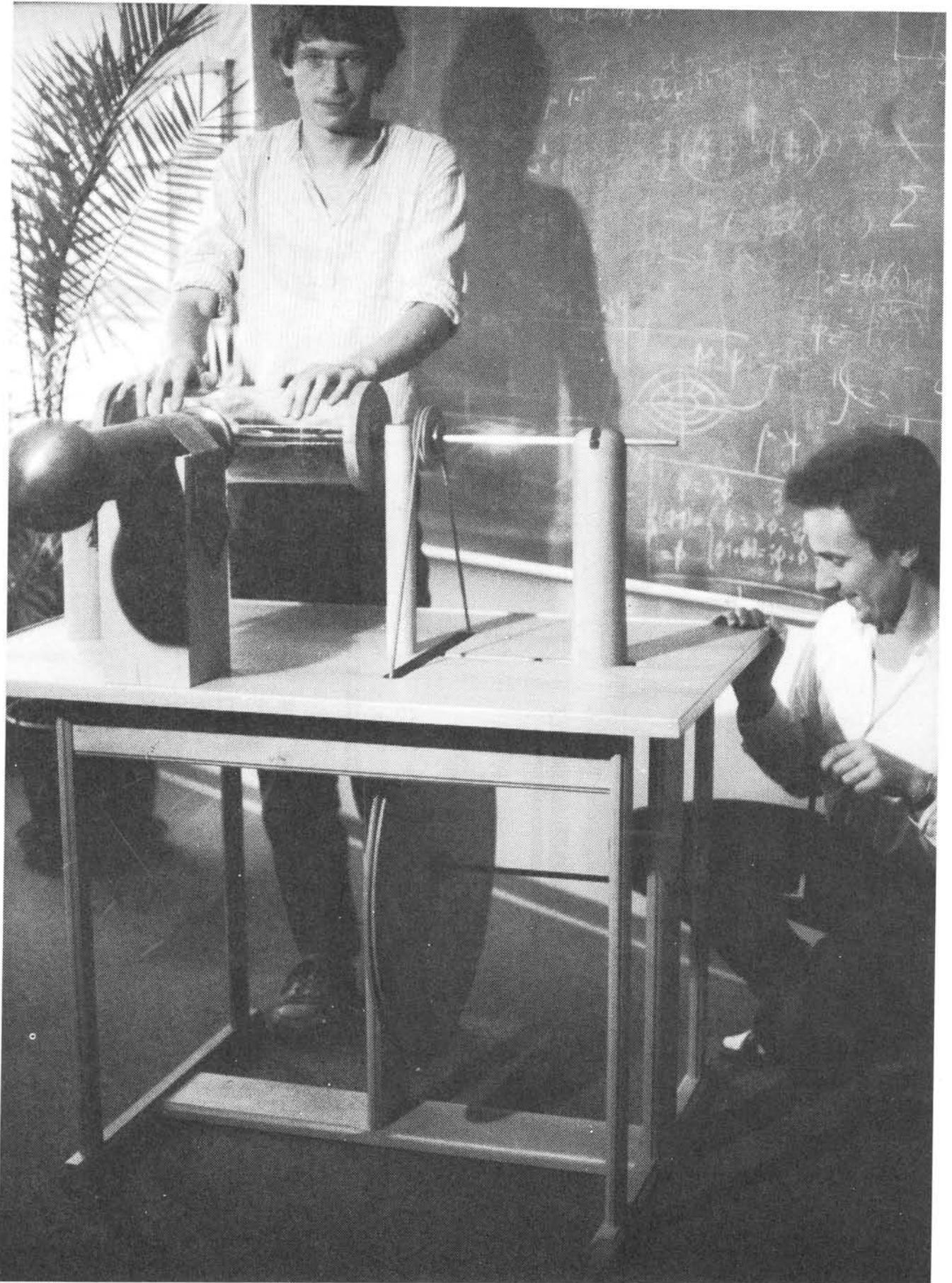
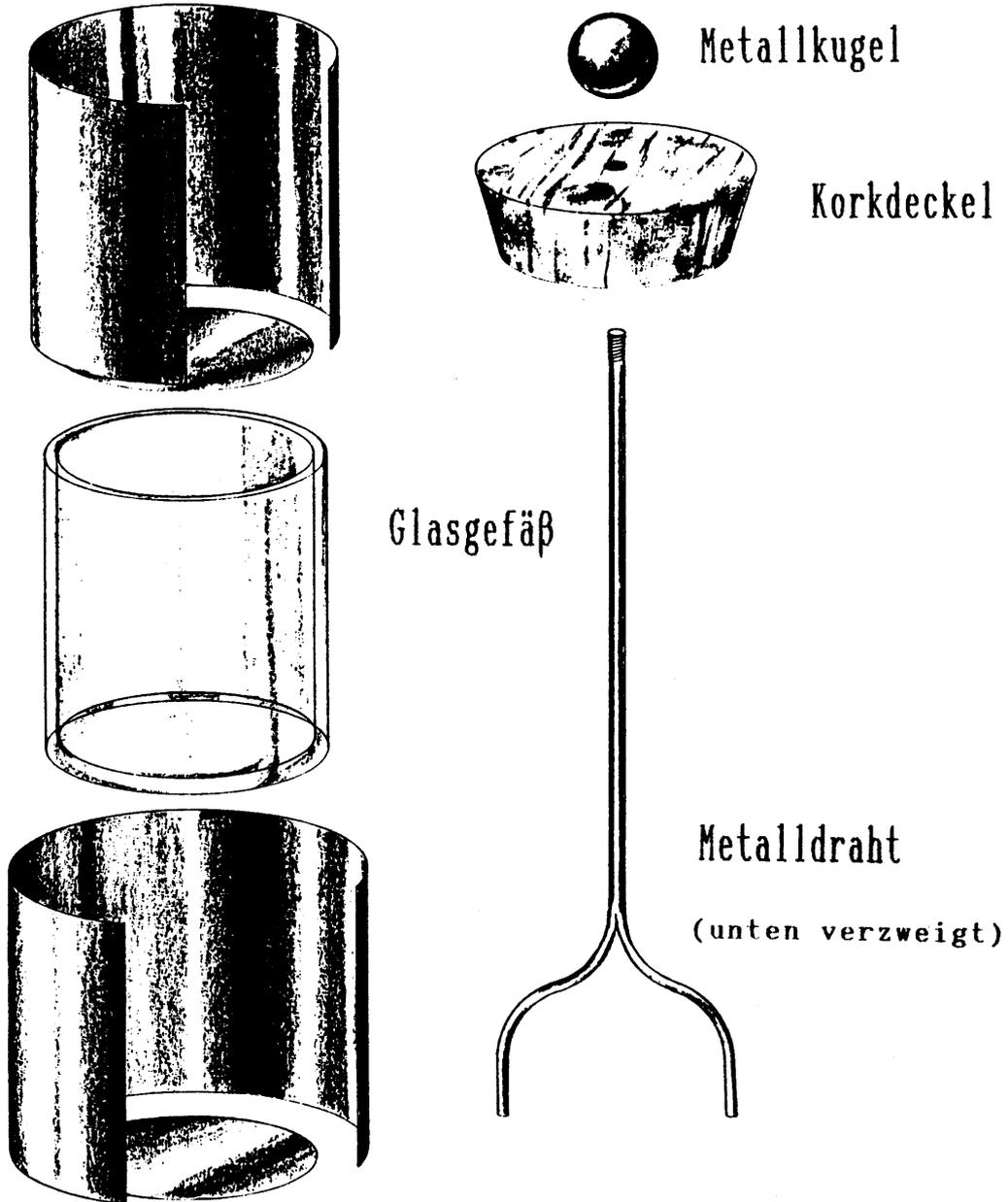


Abb. 15.: An der Universität Oldenburg hergestellte Elektrisierungsmaschine

Metallfolie (innere Belegung)



Metallfolie (äußere Belegung)

Abb. 16.: Leydener Flasche

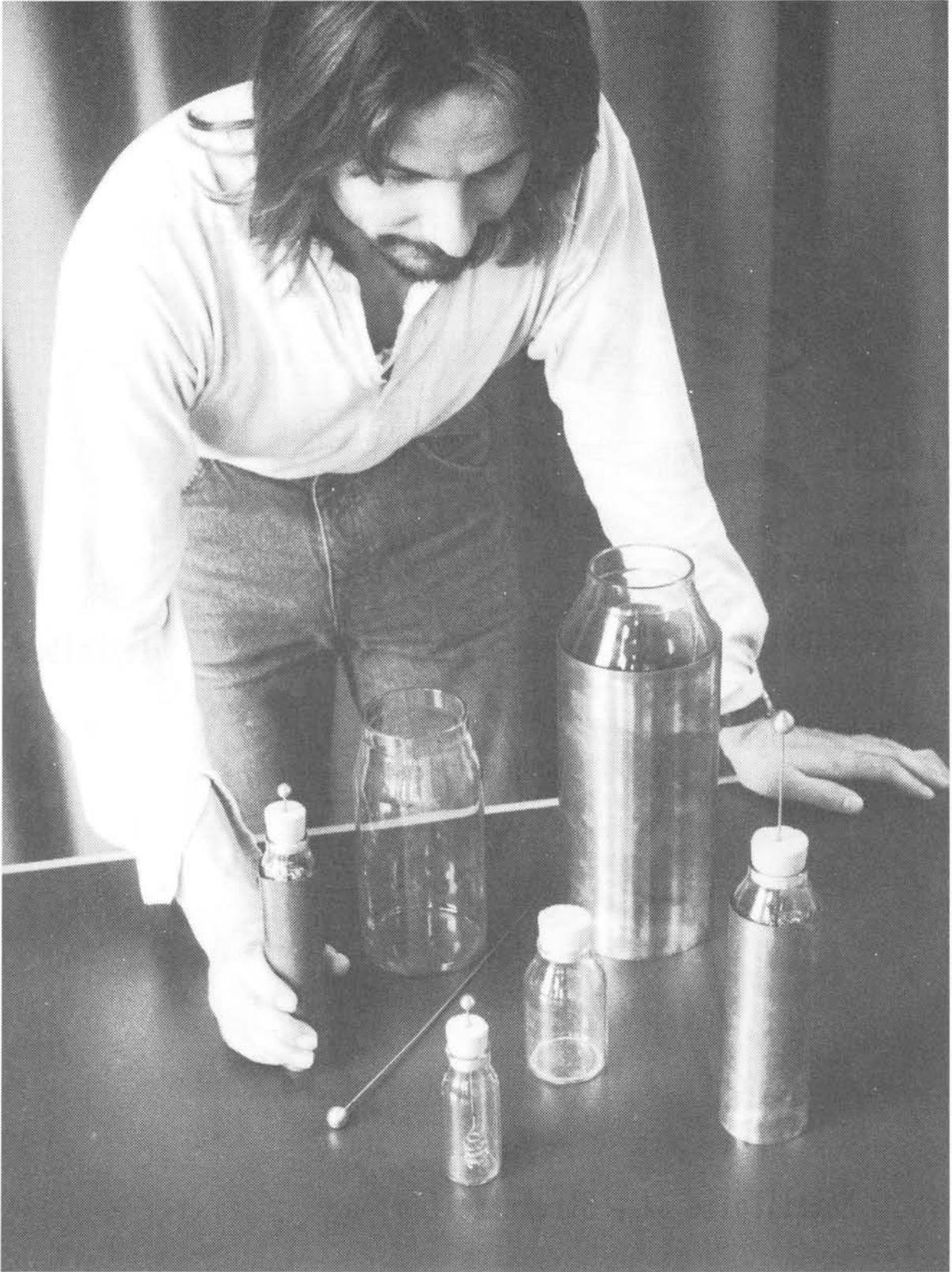


Abb. 17.: An der Universität Oldenburg hergestellte Leydener Flaschen

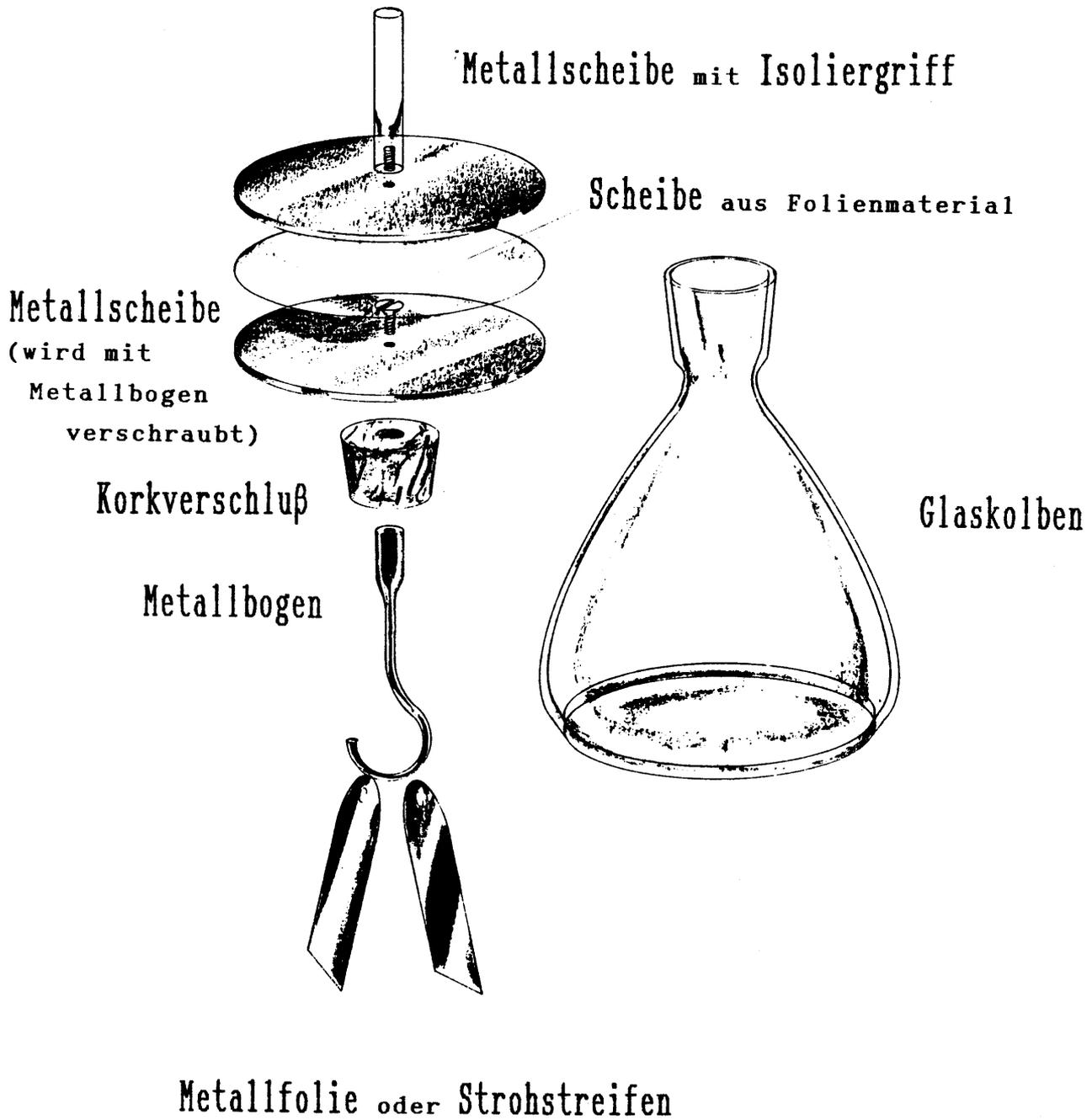


Abb. 18.: Kondensatorelektroskop

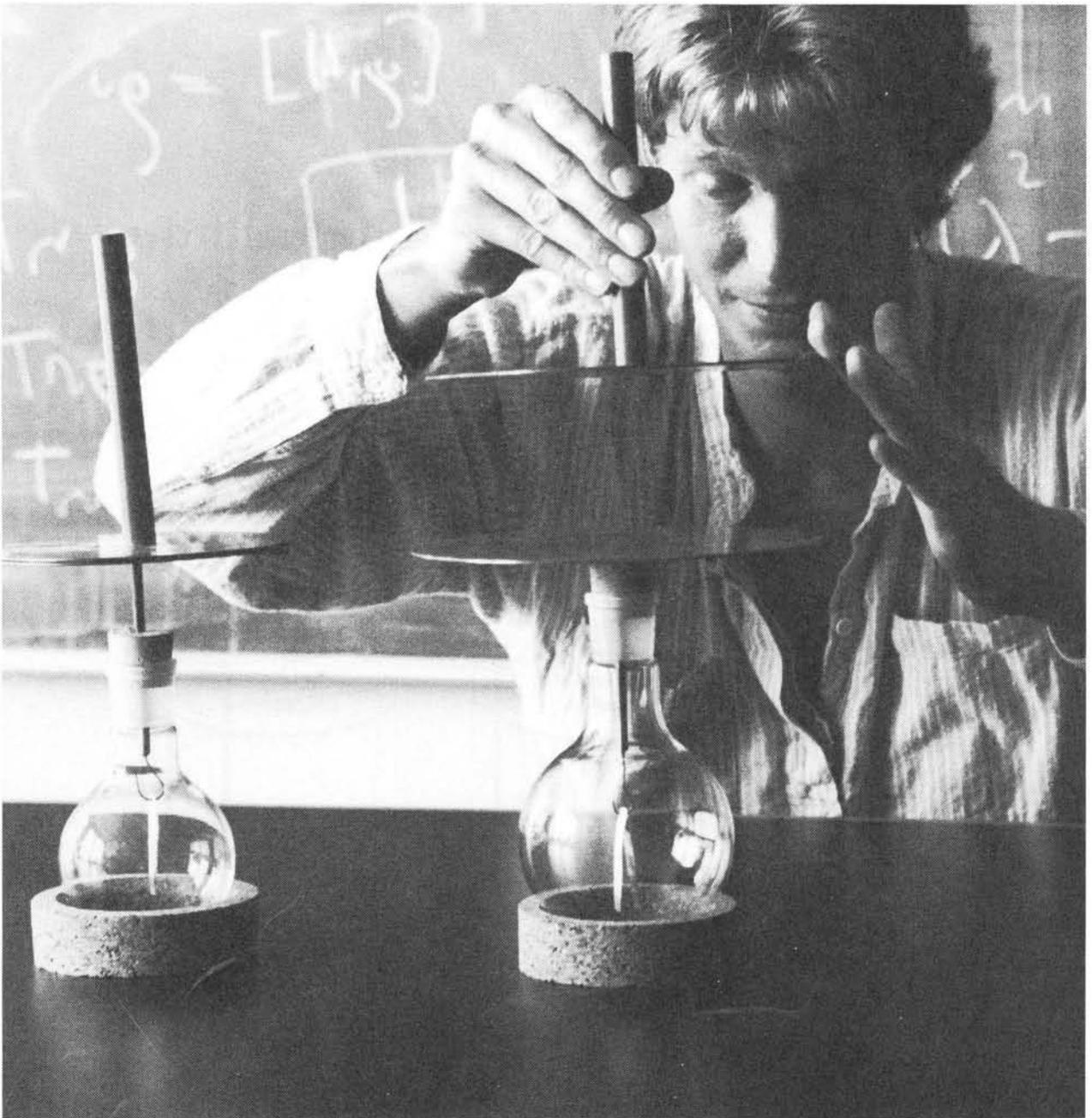
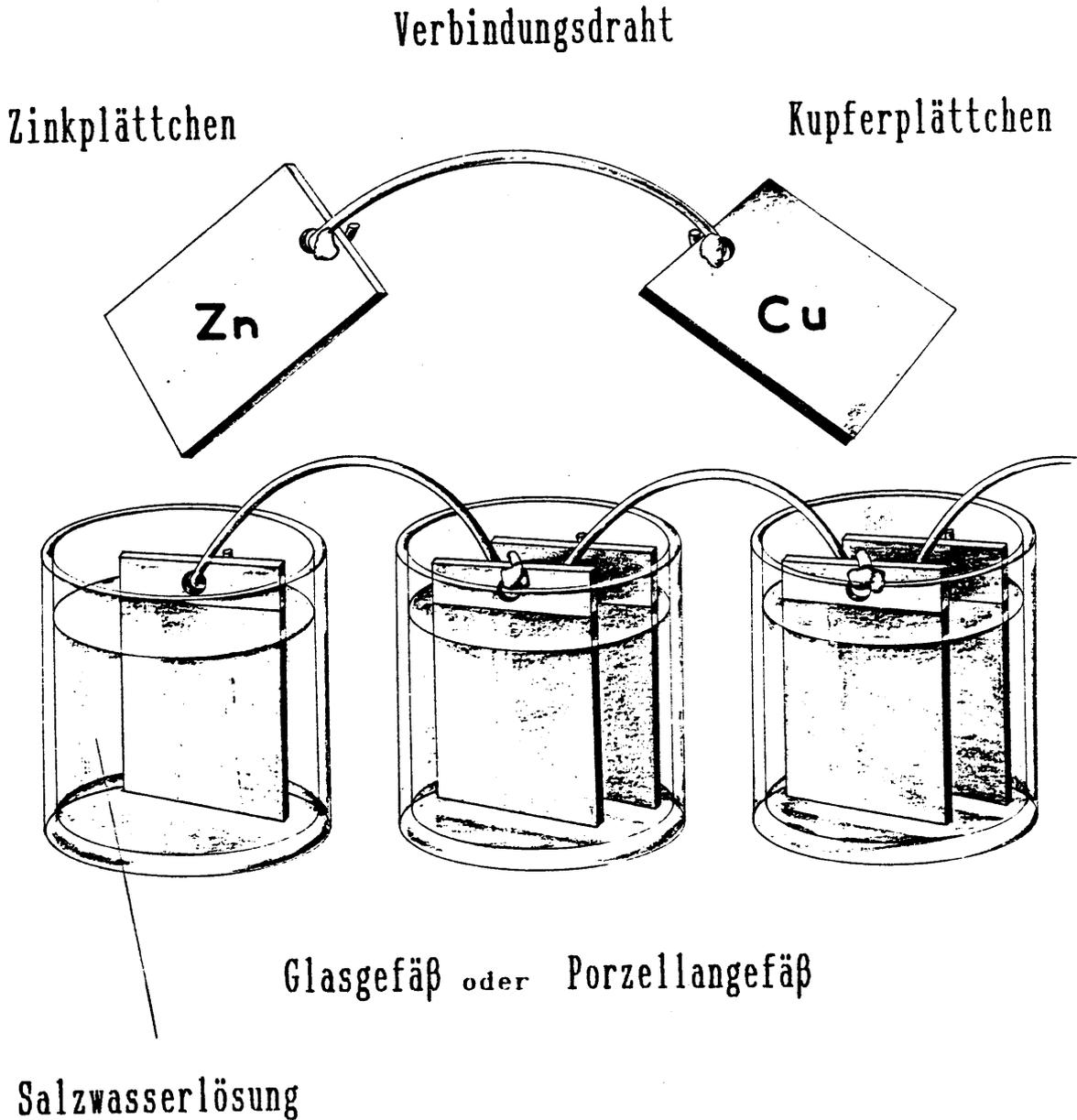
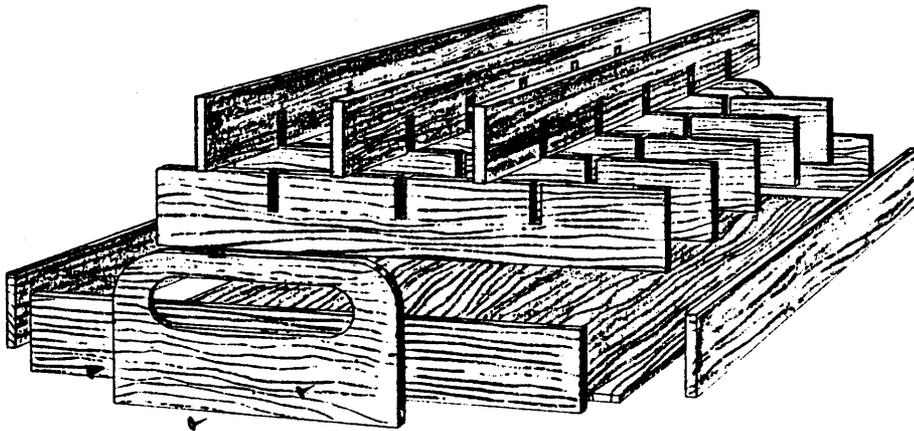


Abb. 19.: An der Universität Oldenburg hergestelltes Kondensatorelektroskop



Jeweils ein Zink- und Kupferplättchen werden mit Hilfe eines Verbindungsdrahtes zusammengelötet. Die einzelnen Elemente werden im Holzgestell entsprechend angeordnet und verbunden.

Abb. 20.: Voltaelemente



Holzkonstruktion (verleimt und verschraubt)

Abb. 21.: Voltas Tassenkrone

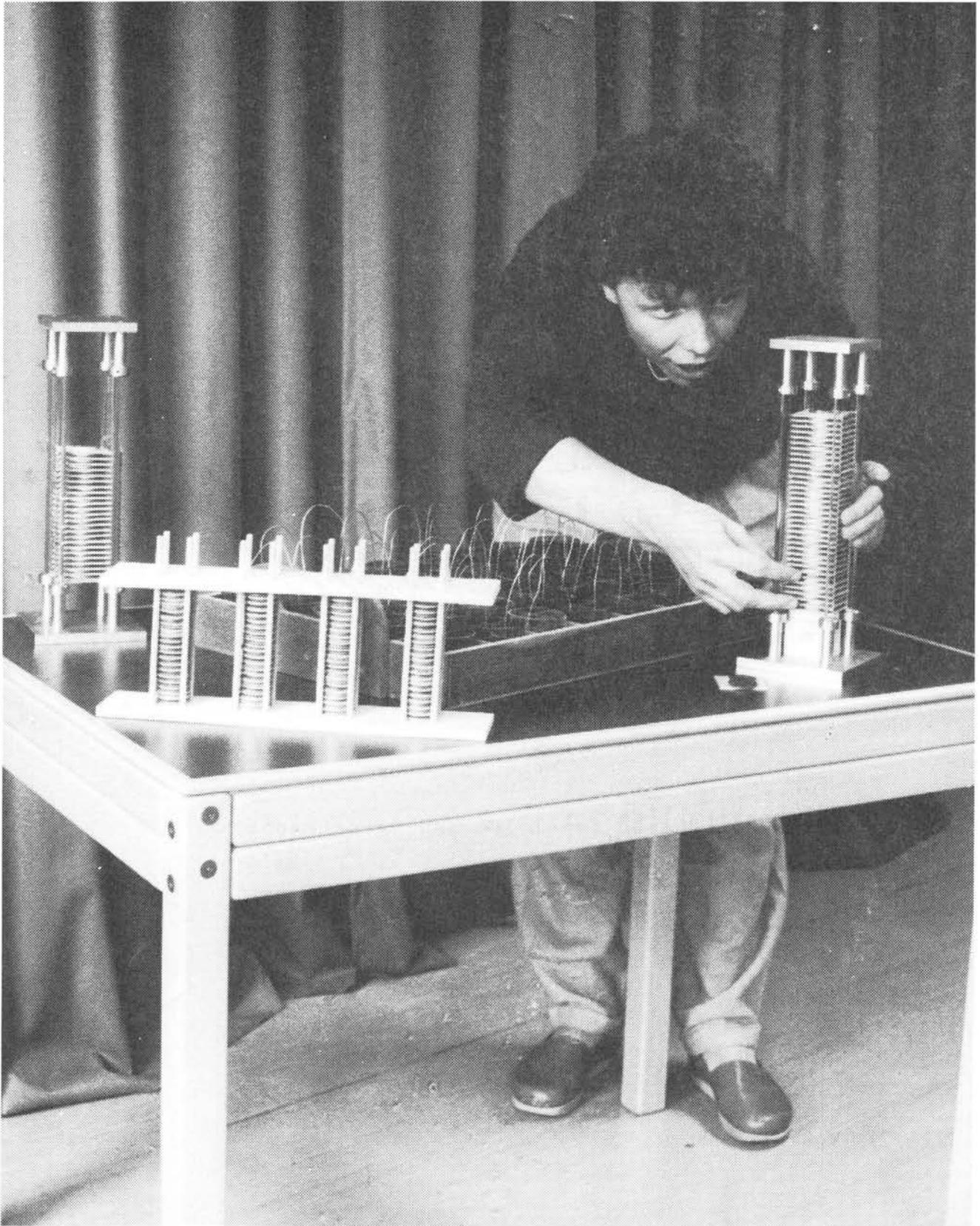
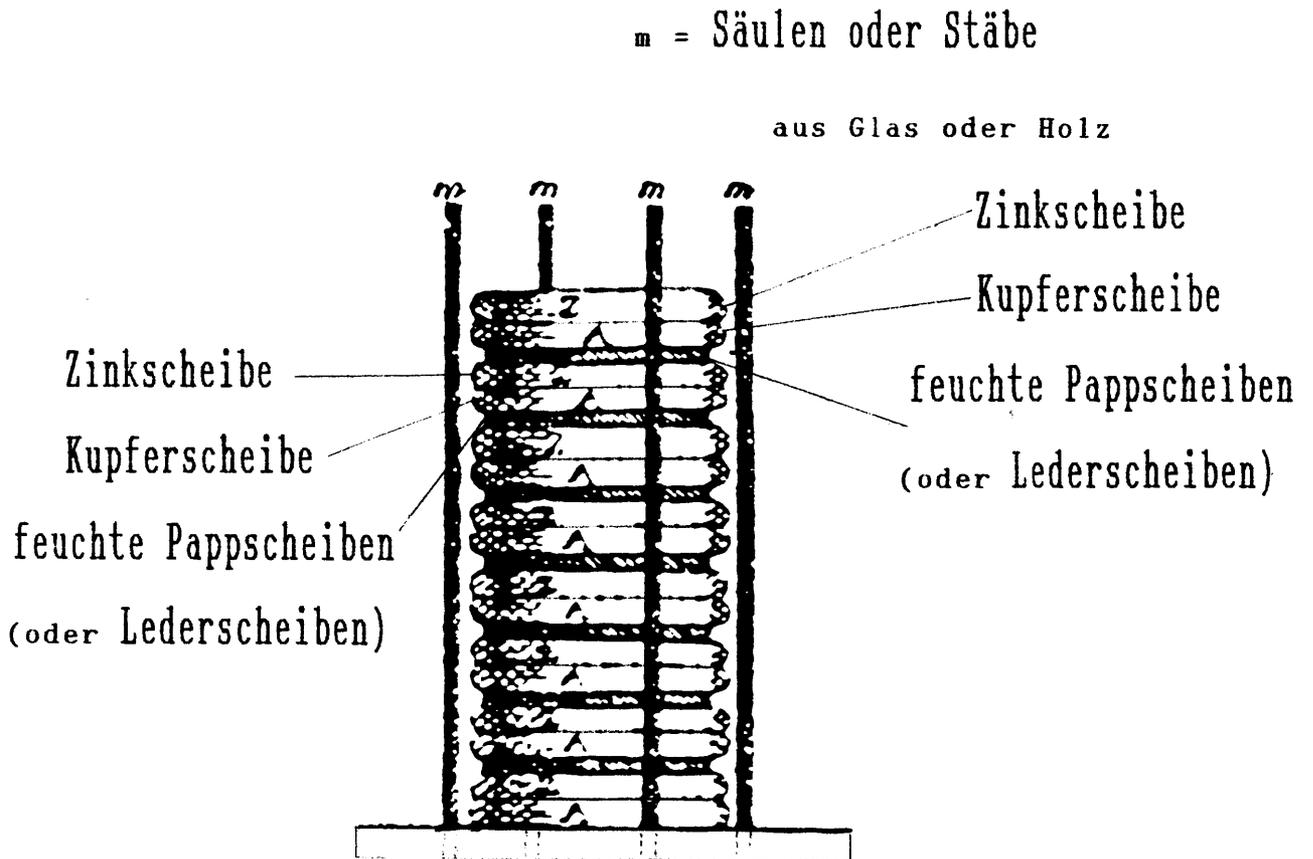


Abb. 22.: An der Universität Oldenburg hergestellte Tassenkrone und Voltasäulen



(um die Säulen oder Stäbe zu stabilisieren ist es sinnvoll, am oberen und unteren Ende eine Halterung zu konstruieren, in die die Säulen oder Stäbe gesteckt werden können)

Abb. 23.: Voltas Säulenapparat

Zeitleiste Elektrizitätsforschung

Zeit	Entwicklung der Elektrophysik	Zeit	Allgemeinhistorische und wissenschaftsgeschichtliche Daten
um 600 v.Chr.	Thales von Milet führt die Anziehung von Bernstein auf die Beseeltheit dieser Materialien zurück		
1550 n.Chr.	H. Cardanus unterscheidet zwischen elektrischer und magnetischer Kraft		
1600	W. Gilbert prägt den Begriff "vis electrica" und wendet ihn auf alle bekannten Anziehungsphänomene an	1600	England wird dominierende Seemacht
		1618	Beginn des Dreißigjährigen Krieges
		1620	F. Bacon: "Novum Organum"
		1638	G. Galilei: "Discorsi"
1641	A. Kirchner veröffentlicht sein umfassendes Werk zum Magnetismus, in dem er den Einfluß des Magnetismus auf die Tier- und Pflanzenwelt (Torpedofisch, Sonnenhoroskop) beschreibt	1644	R. Descartes: "Principia Philosophiae"
		ab 1650	
		1662	Gründung der Royal Society in London. Beginn der "Experimentellen Philosophie"
		1666	Gründung der Academie Royale des Sciences in Paris
1672	Otto v. Guericke veröffentlicht seine frühen Experimente zu den Weltkräften (1663)	1687	Newton: "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica"
		ab 1687	Streit um die Angemessenheit von Wirkungsmodellen: Descartessche Nahwirkung versus Newtonsche Fernwirkung
		1700	Gründung der Akademie der Wissenschaften in Berlin
1705	F. Hauksbee konstruiert den Prototyp einer Elektrisiermaschine und zeigt den Zusammenhang von Licht und Elektrizität	1709	F. Hawksbee entwickelt die erste Ventilluftpumpe
		1710	Chr. Wolff kritisiert in Deutschland das Newtonsche Kraftkonzept
1713	Newton spricht vom "electric spirit" und sieht darin eine mögliche Erklärung der Granitation	1713 bis 1740	Friedrich Wilhelm I. regiert in Preußen

ab 1729	St. Gray und G. Wheler klassifizieren Stoffe als "Unterstützer" (Nichtleiter) und "Empfänger" (Leiter) von Elektrizität. Gray demonstriert die Fortleitung der elektrischen Kraft		
1731	E. Halley identifiziert den Newtonschen Äther mit der Elektrizität		
ab 1733	Ch. Dufay entwickelt eine Auströmungstheorie in Anlehnung an das Descartesche Wirkungsmodell. Er weist experimentell zwei elektrische Zustände nach: Glas- und Harzelektrizität. Dies führt ihn zur Annahme einer Zwei-Fluida-Theorie		
1737	G.M. Bose lernt die französischen Experimentalarbeiten kennen. Zur Verstärkung der Effekte ergänzt er die Elektrisiermaschine durch einen Konduktor	ab 1738	Popularisierung der Newtonschen Physik in Frankreich die Marquise de Chatelet und Voltaire
		1740	Friedrich der Große wird König von Preußen
1744	Ch.F. Ludolff gelingt es, Alkohol durch einen elektrischen Funken zu entzünden. J.H. Winkler versucht durch spektakuläre Experimente die Gegner der Elektrizitätsforschung in Deutschland für sich zu gewinnen. Er veröffentlicht seine Ein-Fluidum-Theorie	1744	Wiedereröffnung der Berliner Akademie
1745	E.J. v. Kleist teilt Mitgliedern der Berliner Akademie und der Danziger Naturforschenden Gesellschaft die Entdeckung der Erschütterungs- oder Verstärkungsflasche (Kondensator) mit	ab 1745	Beginn der Elektrotherapien mit Hilfe von Elektrisiermaschinen und Verstärkungsflaschen
1745/46	B. Franklin beginnt mit der Elektrizitätsforschung in Amerika		
1756/57	J.A. Nollet stellt in Frankreich eine modifizierte Auströmungstheorie auf der Grundlage der Winklerschen Annahmen vor. Winkler veröffentlicht die erste wissenschaftliche Abhandlung über den Verstärkungseffekt.		
ab 1747	Franklin entwickelt seine Ein-Fluidum-Theorie und liefert eine Erklärung für die Verstärkungsflasche		
1748	Franklin schlägt den Blitzableiter vor	ab 1750	Verstärkte Ablehnung eines universellen Äthers zur Erklärung der Naturphänomene; allmähliche Einführung verschiedener Fluida für spezielle Phänomenbereiche
1756/57	P. Collinson in England veranlaßt die Veröffentlichung der Franklinschen Briefe zur Elektrizität	ab 1751	Beginn der Herausgabe der Französischen Enzyklopädie von Diderot und Alambert
1752	T.F. Dalibard überprüft in Frankreich experimentell die Identität von Blitz und Elektrizität auf Grundlage des Franklinschen Experimentiervorschlages		
ab 1753	Nollet ersinnt Experimente gegen Franklins Theorie		
1754	P. Divisch weist auf die Notwendigkeit der Erdableitung bei Blitzableiterversuchen hin und stellt eine Wettermaschine auf	1755	E. Kant veröffentlicht seine Theorie der Entstehung des Sonnensystems

1756/57	Franklins Theorie wird in Deutschland zur Kenntnis genommen. Beginn einer kritischen Überprüfung durch J.C. Wilcke und F.U.T. Aepinus		
1758	Wilke konstruiert einen Luftkondensator und stellt damit das Konzept der "elektrischen Atmosphäre" in Frage. Aepinus führt den Begriff "elektrischer Wirkungskreis ein" und stützt damit das Fernwirkungsmodell		
ab 1759	R. Symmer stellt eine Zwei-Fluida-Theorie auf Fernwirkungsbasis vor. Beginn einer wissenschaftlichen Kontroverse um die Anzahl elektrischer Fluida.	1760	Georg der III. wird König in England
1761	Wilcke wechselt zur Zwei-Fluida-Theorie Symmers. Er konstruiert eine Ladungsmaschine	1762	J.J. Rousseau: "Du Contract Social". Der Psychologe A.v. Haller beschreibt die "vis insita" oder die "Irritabilität"
1765	F.C. Oetinger gibt Auszüge aus der antropologisch orientierten Theorie der Elektrizität von Divisch heraus		
1767	J. Priestley: "The History and Present State of Electricity"	ab 1770	A.L. Lavoisier betreibt chemische Untersuchungen auf der Grundlage des Massenerhaltungssatzes, den er allerdings erst 16 Jahre später veröffentlicht
1771	H. Cavendish bestätigt die Gültigkeit der Newtonschen Kraftgesetze für die elektrische Materie		
ab 1771	Experiment an Verstärkungsflaschen führen in England und Italien zur Unterscheidung von Ladungsmengen und Spannung		
1772	Franklin erstellt ein wissenschaftliches Gutachten zur "Kraft der Spitzen". Beccaria bezeichnet das Fassungsvermögen eines Leiters mit dem Ausdruck "Capacita" (Kapazität)		
1773/74	Anatomische Studie von Hunter zum Torpedofisch, dessen Kraft man für elektrisch hielt		
1774	Priestley formuliert eine Hypothese zur Muskelbewegung, nach der Phlogiston in Elektrizität umgewandelt wird	1774	Beginn der Regierungszeit Ludwig XVI. Priestley entdeckt den Sauerstoff
1775	Volta konstruiert einen Elektrophor, der zu einem Standardgerät in der Elektrizitätsforschung wird	1775	Beginn des amerikanischen Unabhängigkeitskrieges
1776	H. Cavendish konstruiert einen künstlichen Torpedofisch, an dem er Kenntnisse über Leitfähigkeit, Widerstand und Stromverzweigungen entwickelt. Anwendung der Franklinschen Ein-Fluidum-Theorie zur Erklärung der Elektrotherapie in Frankreich	1776	Unabhängigkeitserklärung Amerikas. Die Königliche Akademie der Medizin in Paris bestimmt einen Forschungsbeauftragten für Elektrotherapie. In Wilkinsons Eisenwerk in England läuft eine der ersten Wattschen Dampfmaschinen
1777	B. Wilson versucht den Blitzableitervorschlag Franklins experimentell zu widerlegen.	ab 1777	B. Franklin führt als amerikanischer Botschafter in Paris Unterstützungsverhandlungen mit Frankreich

1778	Lichtenberg geht dem Fluida-Streit aus dem Weg, indem er Plus- und Minuselektrizität als rein mathematische Bezeichnungen verstanden wissen möchte.	ab 1778	F.A. Mesmer betreibt magnetische Heilkuren in Paris und begründet die "Societe de L` Harmonie Universelle"
ab 1780	Die Idee der "thierischen Elektrizität gewinnt an Bedeutung. Die Zwei-Fluida-Theorie wird in Europa favorisiert. L. Galvani studiert die Muskelreizung durch künstliche Elektrizität		
1782	A. Volta stellt der Öffentlichkeit sein Kondensatorelektroskop vor, an dem er den mathematisch-physikalischen Zusammenhang von Ladungsmenge, Spannung und Kapazität demonstriert	1782	P.S. de Laplace stellt die Gleichung für das Potential auf
		1783	Friede von Versailles: England erkennt die amerikanische Unabhängigkeit an. Erster Aufstieg der Brüder Montgolfier mit einem Heißluftballon. Krieg zwischen Holland und England
1784	M. van Marum experimentiert mit einer ungewöhnlich großen Scheibenelektroskopmaschine: Er liefert damit unter anderem einen weiteren "Beweis" für die Ein-Fluidum-Theorie Franklins	1784	Offizielle Verurteilung des "thierische Magnetismus" in Frankreich
1785	Ch.A. Coulomb weist experimentell das elektrostatische Grundgesetz analog zum Newtonschen Gravitationsgesetz nach. Für die "Französische Schule" bildet es die Grundlage zur mathematischen Theorie der Elektrostatik		
1786	Galvani entdeckt die "thierische Elektrizität"	1786	Pulvermagazine in Österreich, Preußen und Dänemark sind mit Blitzableitern versehen
		1789	Beginn der Französischen Revolution. Lavoisier: "Traite elementaire de chimie". Sein Lehrbuch markiert die Geburtsstunde der neuen Chemie und den Untergang der Phlogistontheorie
1791	Galvani veröffentlicht das Ergebniss seiner Forschungen	1791	Gren gibt die "Annalen der Physik" heraus
1792	Volta hält einen Vortrag über die "thierische Elektrizität", in dem er Galvanis Experiment würdigt, seine Interpretation jedoch verwirft	1792	Frankreich wird Republik. Beginn der Koalitionskriege
1794	G. Aldini versucht, durch ein Gegenexperiment die Metallkontakthypothese Voltas zu widerlegen	1794	Gründung der Ecole Polytechnique
		1796	Besetzung Norditaliens durch Napoleonische Truppen
		1797	Gründung der Cisalpinischen Republik
		1798	Erster internationaler Wissenschaftlerkongress in Paris zur Standardisierung der Maße. C. Cavendish entwickelt Meßmethode zu Bestimmung der Erddichte

1799	Volta erfindet das "elektromotorische Instrument" und liefert damit die erste elektrische Stromquelle	1799	Staatsstreich Napoleons
1800	Volta teilt seine Erfindung der Royal Society in London mit. Entdeckung der elektolytische Zersetzung von Wasser durch Nicholson und Carlisle Einladung Voltas nach Paris. Die "Galvanische Kommission" überprüft die Identität der elektromotorischen Kraft mit der elektrostatischen Kraft	um 1800	Laplace vollendet die Newtonsche Himmelsmechanik
		1806	Schlacht bei Jena und Auerstedt, Zusammenbruch Preußens
		ab 1807	Reformen in Preußen: Bauernbefreiung, Auflösung der Stände, Bildungsreform
1812	H.Ch. Oersted behauptet die Verwandtschaft von elektrischer und magnetischer Kraft		

9. Literaturverzeichnis

- Albrecht, G.: Geschichte der Electricität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen. Wien/Pest/Leipzig 1885
- Bennet, Abraham: Description of a new Electrometer. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London, Band 77, 1787, S. 26 - 34
- Dannemann, Fr.: Die Naturwissenschaften. III. Band, 2. Aufl., Leipzig 1922,
- du Bois-Reymond: Untersuchungen über tierische Elektrizität, I. Band, Berlin 1848
- Feldhaus, Franz Maria: Die Erfindung der elektrischen Verstärkungsflasche. Heidelberg 1903
- Fischer, Johann Carl: Geschichte der Physik seit der Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften. 8 Bände, Göttingen 1801 - 1808
- Fraunberger, Fritz: Elektrizität im Barock, Köln 1964, abgedruckt in: Fraunberger: Illustrierte Geschichte der Elektrizität
- Fraunberger, Fritz: Illustrierte Geschichte der Elektrizität. Köln, Aulis Verlag 1985
- Gerland/Traumüller: Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Hildesheim 1965
- Galvani, L.: De viribus electricitatis in motu musculari commentatio (Italien 1791), in deutsch erschienen im 52. Band von Ostwalds Klassiker: Abhandlungen über die Kräfte der Elektrizität bei der Muskelbewegung, Leipzig 1894
- Gigon, Olaf (Hrsg.): Platons Spätdialoge. Zürich und Stuttgart 1969
- Häußler, P., L. Hoffmann, J. Rost: Zum Stand physikalischer Bildung Erwachsener, Kiel 1986
- Hauksbee, Francis: Physico-Mechanical Experiments on various Subjects. London 1709, Reprint New York & London 1970
- Heilbron, J.L.: Electricity in the 17th and 18th Centuries. Berkeley, University of California Press 1979
- Höfling, Oskar: Physik Band I, 16. Auflage, Bonn, Dümmler, 1980
- Hoff, Hebbel E.: Galvani and the Pre-Galvanien Electrophysiologists. In: Annals of Science Band 1, Heft 2, 1936, S. 157 - 172
- Hoppe, Edmund: Geschichte der Elektrizität. Leipzig 1884
- Kuhn, Thomas S.: The Function of Measurement in Modern Physical Science. In: The Essential Tension, Chicago and London, University of Chicago Press, 1977, S. 178 - 224
- Lane: Description of a new Electrometer. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London Band 57, 1767, S. 451 - 460
- Mahr, Otto: Die Entdeckung der galvanischen Elektrizität. Technik Geschichte Band 28, 1939, S. 119 - 126
- May, E.: Über die Anfänge der Elektrik. In: Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft Folge 9/10, September/Oktober 1940, S. 217 - 242
- Meya, Jörg; Sibum, Heinz Otto: Das fünfte Element. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt 1987
- Meyer, M. Wilhelm: Die Naturkräfte. Leipzig und Wien 1903
- Niedersächsischer Kultusminister (Hrsg.): Rahmenrichtlinien für das Gymnasium, Klasse 7 - 10, Physik. Hannover 1981
- Niedersächsischer Kultusminister (Hrsg.): Rahmenrichtlinien für das Gymnasium, Gymnasiale Oberstufe, Physik. Hannover 1982
- Physikalische Blätter 3/1992: Zwölfter Tag der DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft): Was Lernen unsere Schüler im Physikunterricht?, S. 169 - 182

- Priestley: An Account of a new Electrometer; contrived by Mr. William Henley, and of several Electrical Experiments, made by him. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London Band 62, 1772, S. 359 - 364
- Priestley, Joseph: Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität, nebst eigenthümlichen Versuchen. Übersetzung der englischen Ausgabe von J. Krünitz, Berlin und Stralsund 1772, Reprint Hannover, Edition "libri rari" 1983
- Prinz, H.: 200 Jahre Experimentierkunst mit Reibungselektrizität. In: Bulletin des Schweizer Elektrotechnischen Vereins. Jg. 55 Nr. 1, 1964 S. 2 - 21
- Pukies, Jens: Das Verstehen der Naturwissenschaften. Braunschweig, Westermann 1979
- Redaktion SozNat (Hrsg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht in der Gegenperspektive, Braunschweig 1982
- Reil, Johann Christian: Schreiben des Herrn Prof. Reil an den Herausgeber, über die sogenannte thierische Electricität, in: Gren's Journal der Physik, Bd.6, S. 411 -414, Leipzig 1792
- Rödl u.a.: Der gebändigte Blitz. Oldenburg/Hamburg, 1972
- Rosenberger, F.: Die Geschichte der Physik. Zwei Theile, Braunschweig, 1882 und 1884
- Rosenberger, Ferdinand: Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien. Leipzig, 1898
- Rosenberger, Ferdinand: Die erste Entwicklung der Elektrisiermaschine. In: Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik 8. Heft, Leipzig 1898, S. 69 - 88
- Schimank, Hans: Geschichte der Elektrisiermaschine bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts. In: Zeitschrift für technische Physik Band 16, 1935, S. 245 - 254
- Schimank, Hans: Otto von Guericke's Stellung in der Geistesgeschichte. In: Zeitschrift für technische Physik, 17. Jg., Nr. 7 (1936)
- Sibum, Heinz Otto: Ladung, Ladungserhaltung, Stromkreis, Leitungsstrom. Benjamin Franklin's ökonomische Theorie der Elektrizität. In: physica didactica, 15. Jg. Heft 3/4, 1988, S. 85 - 102
- Steidl, Hans; Stiegler, Leonhard: in: Natur und Technik Physik, Gesamtausgabe, Teilband I, Cornelsen, Berlin, 1979
- Symmer, R.: New Experiments and Observations concerning Electricity. In: Philosophical Transactions of the Royal Society London, Band 51, 1759, S. 340 - 389
- Volta, Alessandro: Briefe über Thierische Elektrizität (1792). Ostwald's Klassiker Nr. 114 (Hrsg.: A.J. von Oettingen), Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1900
- Volta, Alessandro: Galvanismus und Entdeckung des Säulenapparates 1796 bis 1800. Ostwald's Klassiker Nr. 118 (Hrsg.: A.J. von Oettingen), Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann 1900
- Winkler, J.H.: Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Elektrizität. Leipzig 1744
- Wittstein, G.C.: Die Naturgeschichte des Gajus Plinius Secundus, übersetzt und mit Anmerkungen versehen. 5. Bd., 23. Buch