

Ganz schön geladen – Lichtenberg und die Elektrizität

von Peter Kasten

KONZEPTE



Der moderne naturwissenschaftliche Unterricht soll grundlegende Begriffe und Geräte wie elektrische Ladung und Kondensator verständlich machen. Wir wollen nun anregen, exemplarisch Untersuchungen und Berichte von Lichtenberg, die er vor mehr als 200 Jahren entwickelte, in den Unterricht von heute einzubringen.

Im 18. Jahrhundert erfreuten sich die „gehobenen Schichten“ zunehmend an elektrischen Vorgängen. In den Salons wurde experimentiert und spekuliert. Besonders eindrucksvoll war z.B. die Erzeugung künstlicher Blitze. Erst später beschäftigten sich Forscher gezielt mit dem Thema. Zu einer systematischen Darstellung trugen Benjamin Franklin, Alessandro Volta und auch Georg Christoph Lichtenberg bei. Elektroskop, Leidener Flasche, Elektrophor und Elektrisiermaschinen waren damals wichtige Geräte. Man untersuchte Reibungs-, Kontakt-, Wolken- und Tier-Elektrizität.

Heute gehören diese Phänomene zum Gebiet der Elektrostatik. Diese befasst sich mit elektrischen Ladungen, den Kräften zwischen ihnen, der Influenz und der Energiespeicherung in Kondensatoren. Zusammenhänge zwischen diesen lassen sich am Beispiel der Lichtenbergschen Figuren erkunden. Diese wurden 1777 von Lichtenberg zufällig entdeckt und anschließend von ihm durch gezielte Experimente untersucht und beschrieben. Sie wurden später genau erklärt.

Rückblick

Zwei Körper lassen sich elektrisch aufladen durch engen Kontakt, meist durch Reiben, und anschließende Trennung. Die riesige Zahl an Stoffkombinationen wurde von Lichtenberg in einer Tabelle in seinem Lehrbuch „Vorlesungen zur Naturlehre“ (4.ed. 1787, §514) sehr übersichtlich und mit den mathematischen Symbolen + und – für die verschiedenen Paare zusammengefasst.

So lange man noch nicht elektrische Mühlen anlegt, wodurch man ganze Laboratorien Jahre lang, mit allem was darinnen ist, elektrisieren kann, wird man in dieser Lehre noch lange zurück bleiben.

(K 386)



Tabelle geriebener moderner Stoffe										
	PLEXIGLAS	GLAS	FOLIE	WATTE	GEODREIECK	SCHALLPLATTE	PAPIERTASCHENT.	KAMM	PLASTIKBESTECK	LUFTBALLON
PLEXIGLAS										
GLAS										
FOLIE										
WATTE										
GEO-DREIECK										
SCHALL-PLATTE										
PAPIER-TASCHENT.										
KAMM										
PLASTIK-BESTECK										
LUFT-BALLON										

[Dieses Arbeitsblatt kann von
der Webseite www.lichtenberg-gesellschaft.de unter der Ru-
brik „Schule“ heruntergeladen
werden.]

437 Von der Elektricität.		polirt. Glas	Matt geschl. Glas	Harz	Siegel-lack	Schwe-fel	Wolle	Holz	Pa-pier	Federn	Wachs	Seide	Haare	Me-talle
	polirt. Glas.	*	—		—	—	—	—	—	—	—	—		—
	Matt ge-schliffen Glas	*			*	—	*	*	*	*	*	—		
	Harz.	*		o			*						*	*
	Siegel-lack	*	—		o	—	*						*	
	Schwefel	*	*		*	o		*	*	*	*			
	Wolle	*	—	—	—	—		—					*	
	Holz	*	—		—	—	*					—	*	
	Papier	*	—		—	—							*	
	Federn	*	—		—	—								
	Wachs	*	—		—	—								
	Seide	*	*					*					*	*
	Haare	*		—	—			—				—	*	
	Metalle	*	*		*								*	o

Manche dieser Stoffe lassen sich noch heute beschaffen und gegeneinander aufladen. Ergebnisse können in der unten stehenden Tabelle eingetragen werden.

437 Von der Elektricität.		polirt. Glas	Matt geschl. Glas	Harz	Siegel-lack	Schwe-fel	Wolle	Holz	Pa-pier	Federn	Wachs	Seide	Haare	Me-talle
	polirt. Glas.													
	Matt ge-schliffen Glas													
	Harz.													
	Siegel-lack													
	Schwefel													
	Wolle													
	Holz													
	Papier													
	Federn													
	Wachs													
	Seide													
	Haare													
	Metalle													

Andere Materialien lassen sich heute leichter beschaffen. Dazu kann die Tabelle auf der linken Seite verwendet werden.

Wie eine Multiplikationstafel: geriebene Körper als Faktoren und hervorgebrachte Elektrizität als Produkt.

Aus: *Erleben, Anfangsgründe der Naturlehre*, 4. Aufl. (1787)

Anregung für historisch nachvollziehbare Aufladungs-Experimente

Vorschläge zu Aufladeversuchen:

- Ermittle mit einer Glimmlampe den jeweiligen Ladungszustand der geriebenen Stoffe.
- Untersuche verschiedene Pulver: Mehl, Pfeffer, Puderzucker, Zimt, Schwefel, Bärlappsporen auf geladene Flächen streuen.
- Untersuche Papierschnipsel aus einem Locher.

Lange Zeit konkurrierten zwei Beschreibungen für elektrische Ladungen: Benjamin Franklin (1706-1790) entwickelte 1752 sein unitaristisches Modell. Er beschrieb Ansammlungen bzw. Mangel von „elektrischem Fluidum“ buchhalterisch wie den Geldumlauf. Er kannte also nur eine Sorte von Ladungsträgern, die im Überfluss („positiv“) oder im Mangel („negativ“) vorlagen. Beim Entladen fand ein Ausgleich statt. Franklin verdeutlichte die Situation mit einem nass triefenden Schwamm, der bis zum trockenen Zustand entleert werden kann.

Nun hatten Experimente gezeigt, dass sich zwei Mangelgebiete abstoßen: Als er zwei Paar übereinander getragene Seidenstrümpfe beobachtete, stellte Robert Symmer (1707-1763) fest, dass sich auch die beiden „negativ“ geladenen Strümpfe gegenseitig abstoßen. Dass zwei Mangelzustände aber eine Kraft aufeinander ausüben, ließ sich mit dem Franklinschen Modell nicht verstehen.

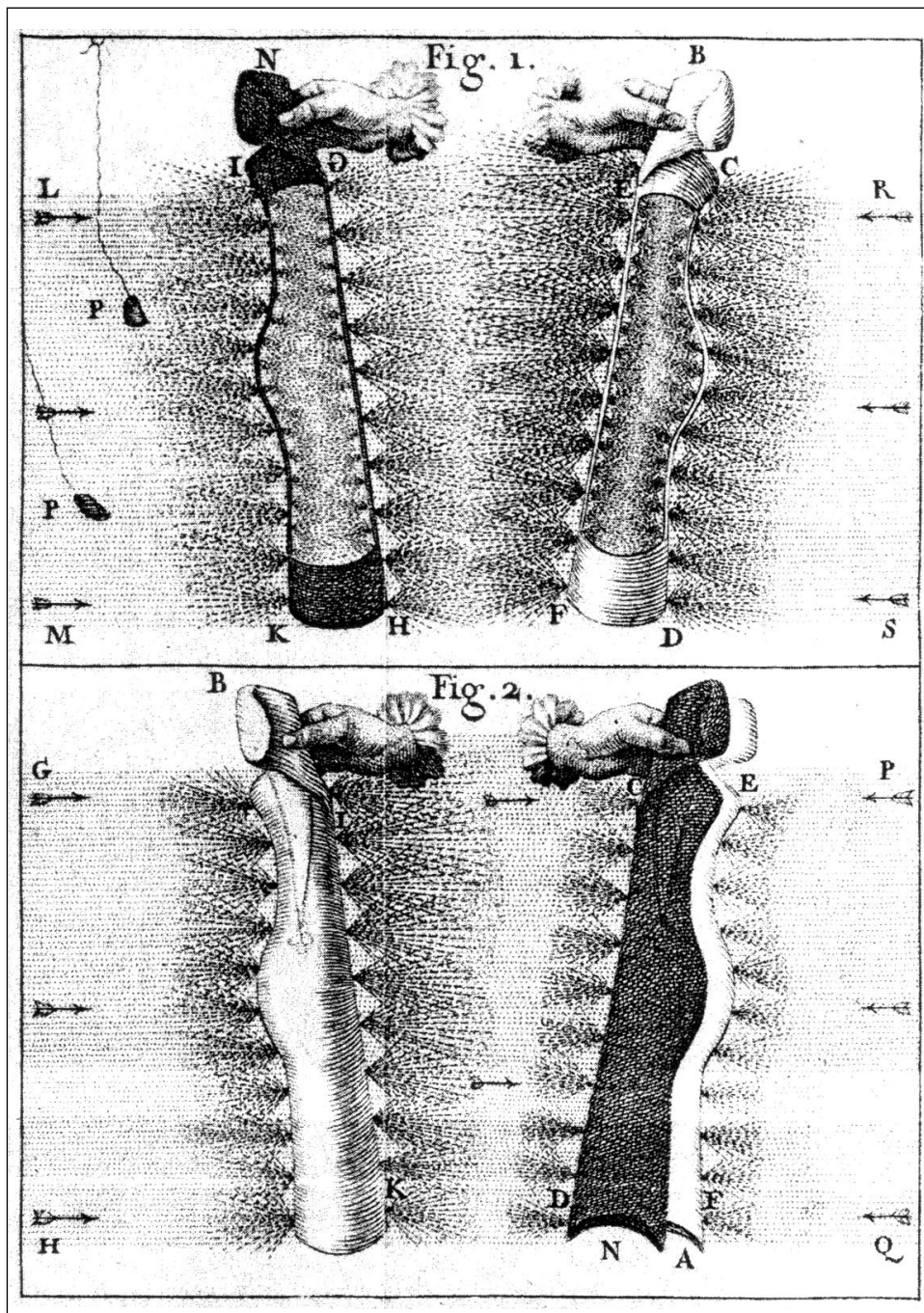
Symmer stellte 1759 sein dualistisches Modell mit zwei verschiedenen Ladungen vor, die sich gegenseitig neutralisieren konnten. Die Elektrizitätstheoretiker zur Zeit Lichtenbergs stritten somit hauptsächlich über die Frage, ob Franklins unitarische oder Symmers dualistische Auffassung richtig ist, ob den beiden Ladungszuständen ein oder zwei elektrische „Fluida“ entsprechen.

Man versuchte, die Vorstellung von den Ladungszuständen durch bekannte Analogien zu veranschaulichen:

Zufluss/Abfluss

Wärme/Kälte

Säure/Lauge



Der berühmte Socken-Versuch von Robert Symmer

Fig.1: Es werden zwei Seiden-Socken zusammen über einen Fuß angezogen, anschließend ausgezogen und von einander getrennt. Dabei bläht sich jeder Strumpf auf, weil sich gleichgeladene Flächen gegenseitig abstoßen. Die leichten Gegenstände P, die aufgehängt wurden, werden deutlich zu den Socken gezogen.

Fig.2: Die Socken kollabieren, wenn sich anschließend beim engen Kontakt die verschiedenen Ladungstypen überlagern. Der angenommene elektrische Materietransport wird im Bild sehr unterschiedlich in den Bereichen CD und dann bei EF angedeutet.

Aus: J.A. Nollet, *Lettres sur l'électricité*, Vol III, p. 80. Paris 1767)

Lichtenberg konnte sich für keines der beiden Modelle entscheiden. Aber er forderte die Naturforscher auf, alles daran zu setzen, die Elektrizität der Mathematik näher zu bringen. Erst die Entdeckung der Elementarteilchen wie Elektronen und Protonen lieferte im 20. Jahrhundert ein angemessenes Bild: Negativ geladene Körper besitzen einen Überschuss von Elektronen gegenüber Protonen. Leiter besitzen meist bewegliche negative und ortsfeste positive Ladungen. Nichtleiter (Isolatoren) besitzen nur ortsfeste Ladungen.

Die Erzeugung der Lichtenbergschen Figuren

Influenz

Sie wurde 1758 von Johann Carl Wilcke (1732–1796) erstmals gedeutet.

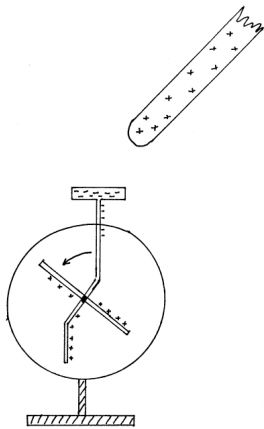
Versuch dazu: Ein positiv geladener Körper wird einem Zeiger-Elektroskop (Benet 1787) genähert, ohne es zu berühren.

Beobachtung: Je näher man dem Elektroskop kommt, desto größer wird der Zeigerausschlag, beim Entfernen geht der Zeiger wieder in die Ruhelage zurück.

Erklärung des Zeigerausschlags: Der positiv geladene Körper zieht die beweglichen Elektronen im Elektroskop zur Konduktorkugel an. Im Zeiger und der festen Stange entstehen so positive Gebiete, die sich gegenseitig abstoßen. Entsprechende Veränderungen treten beim Annähern mit einem negativ geladenen Körper ein. Mit dieser Methode lassen sich in Leitern Ladungen voneinander trennen. Die Trennung bleibt bestehen, wenn der geladene Körper das Elektroskop berührt hat. Mit diesem als Influenz bezeichneten Vorgang lässt sich der Ladungszustand eines Körpers mit einem Elektroskop bestimmen.

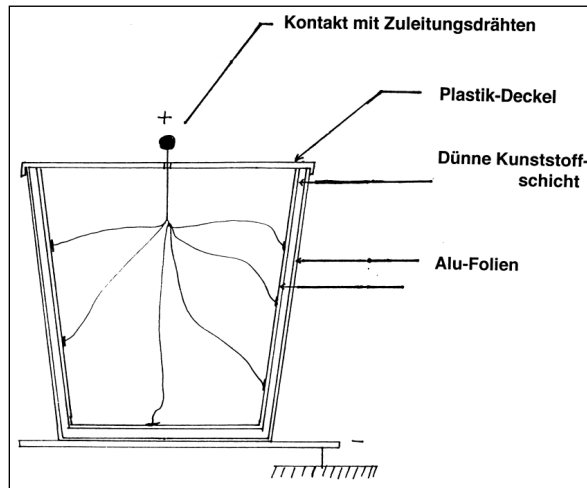
Aufladung eines Kondensators (Sammler)

Ein Kondensator besteht aus zwei leitenden Platten und einem nicht leitenden Zwischenraum (Dielektrikum). Es reicht aus, nur eine der Platten aufzuladen, weil die Influenz auf die andere Platte dort zu einer Wanderung und damit zu einer Trennung der Ladungsträger führt. Ein Kondensator ist auch dann aufge-



Elektroskop-Ausschlag durch Influenz

laden, wenn nur das Dielektrikum durch Reiben aufgeladen wird. Die Ladungen verteilen sich dann auf den beiden Platten durch Influenz. Kondensatoren speichern Energie, die sich durch Entladung abrufen lässt (z.B. Fahrradstandlicht). Durch Vergrößern des Plattenabstandes werden Ladungen voneinander getrennt und damit der Energieinhalt des Kondensators erhöht. Die 1745 in Leiden (NL) entwickelte Glasflasche mit Metallfolienbelag stellt auch einen Kondensator dar, mit Glas als Dielektrikum. Diese „Leidener Flasche“ lässt sich leicht aus einem Plastik-Joghurtbecher herstellen, der innen und außen mit Aluminiumfolie (als Kondensatorplatten) beklebt ist.



Joghurtbecher als Leidener Flasche

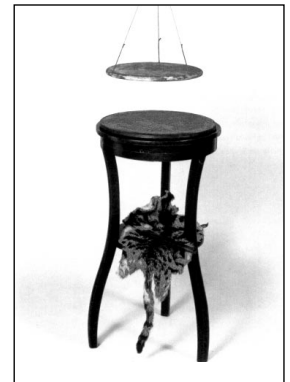
Elektrophor

Einen besonders wirkungsvollen Kondensator entwickelten J.C. Wilcke und später A. Volta (1745-1827) mit dem Elektrophor (Elettrophoro perpetuo = beständiger Ladungsträger). Er ermöglicht, unbegrenzt Auf- und Entladungen durchzuführen. Das Grundprinzip wurde später gezielt in Influenzmaschinen angewandt, um hohe Spannungen zu erzeugen (siehe auch Seite 46).

Weitere Versuche mit dem Elektrophor:

- Aufladen einer Leidener Flasche
- Nachweise mit Glimmlampen bzw. Elektroskop
- Entladung mit Funkenbildung
- Entzündung von Alkohol durch Funken

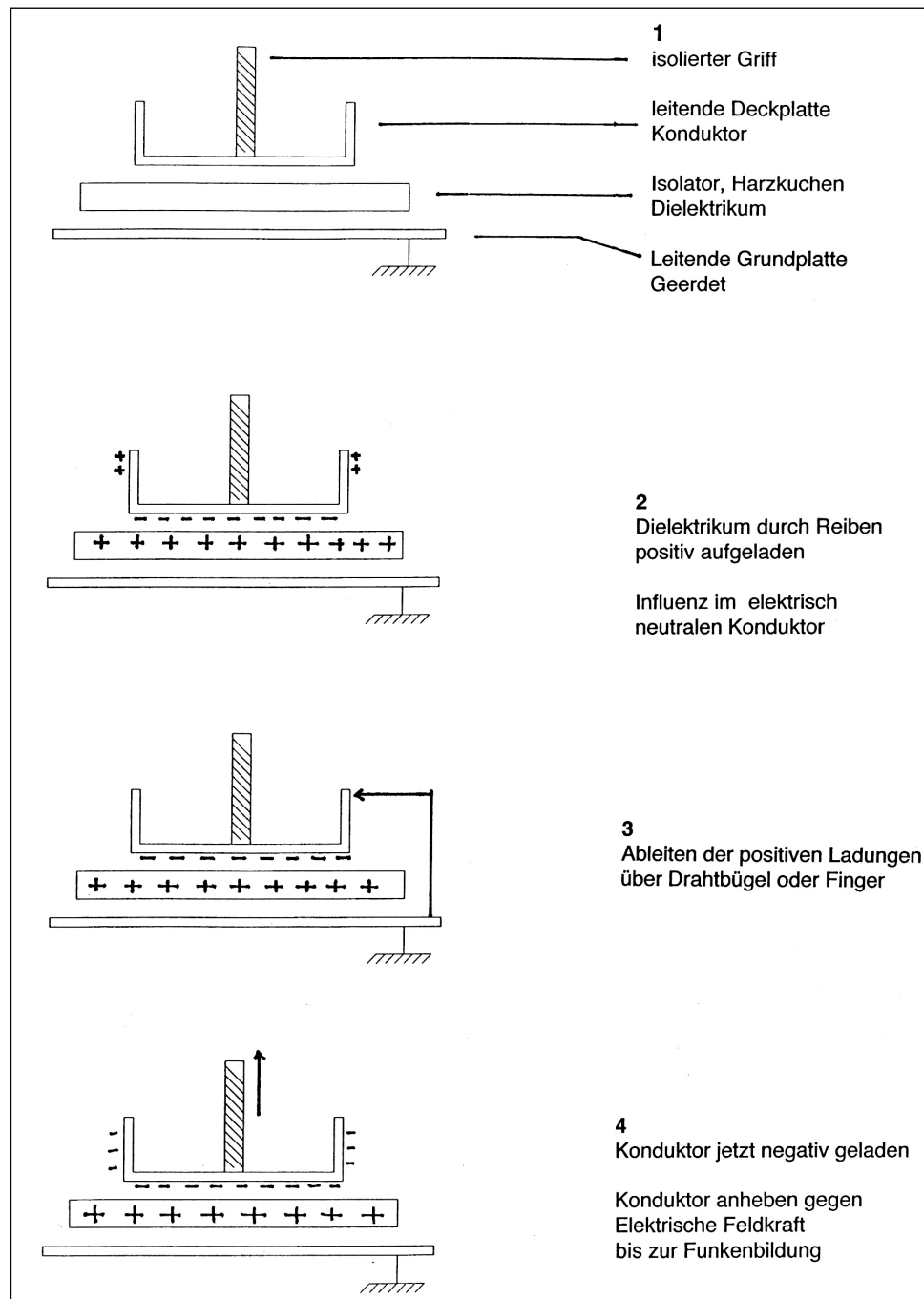
Historischer Aufbau

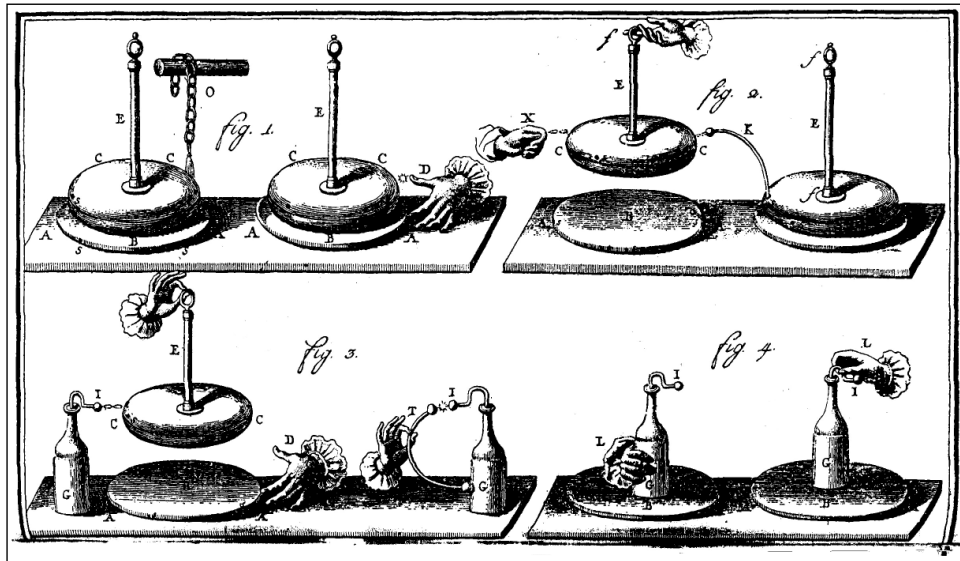


Elektrophor aus der Lichtenberg-Sammlung (um 1780, 76 cm hoch).

Aus: *Historische Sammlung des 1. Physikalischen Instituts der Universität Göttingen.*

Zum Elektrophor: Aufbau
und Ladungsvorgänge





Elektrophor von Volta

Originalzeichnungen aus:
Le Opere di A. Volta, Vol III
(1926). Aus einem Brief an J.
Priestley vom 10. Juni 1775.

Fig. 1: A Metallschüssel, B Harzkuchen, C Deckel mit Isoliergriff E, Metallkette O isoliert. Rechts: Funken zwischen geerdetem Daumen D und oberem Deckel C.

Fig. 2: Abheben des geladenen Deckels C, Funken zur geerdeten Fläche oder zum Finger X.

Fig. 3: Abgehobener geladener Deckel C mit Kontakt zur Leidener Flasche G. Entladungsfunken über Draht T.

Fig. 4: Vermutlich geladene Leidener Flaschen.

Lichtenbergsche Figuren

In einem zweiteiligen Vortrag vor der Göttinger Akademie der Wissenschaften mit dem Titel „De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi commentatio prior“ („Über eine neue Methode, die Natur und Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen“) berichtete Lichtenberg 1777/8 über seine neuartigen Beobachtungen. Es war die Entdeckung, die später mit seinem Namen benannt wurde.

Es handelte sich um Staubablagerungen auf elektrisch geladenen Harzflächen: Solche mit radialen Strahlen und solche mit konzentrischen Ringen. Sie erinnerten ihn an Sterne der Milchstraße oder Eisblumen an Fensterscheiben, auch an die Feldlinienbilder von Eisenfeilspänen in Magnetfeldern. Diese Zufallsentdeckung wurde zuerst 1777 von ihm auf einem riesigen Elektrophor mit „sechs Pariser Fuß“ (0,32484 m), also 1,95 m Durchmesser beobachtet. Lichtenberg veränderte die Staubart (Glas, Schwefel, Lycopodium u.a.) und das Elektrophormaterial (Harz, Glas, Holz u.a.), um deutlichere Figuren zu erhalten. Er nahm auch Versuche im Vakuum vor. Zur systematischen Deutung der Phänomene ordnete er die radialstrahlenförmige Figur der Ladung +E und die konzentrische dem Typ -E zu. Denn er wollte mit Ladungsmengen rechnen.

Die Bezeichnungen +E und –E hatten den weiteren Vorteil, dass sie sich im theoretischen Streit über das Wesen der Elektrizität für beide Konzepte eigneten: Für Unitarier galt + = Überfluss und – = Mangel, während Dualisten +E und –E als Namen auffassen konnten für die beiden unterschiedlichen Ladungen oder „Fluida“, die sich gegenseitig ausgleichen können. Damals benutzte man für unterschiedlich geladene Flächen auch die gegensätzlichen Begriffe Phlogiston und Säure. Lichtenberg lehnte dies ab, weil Begriffe nicht auf einer schwankenden Theorie begründet werden dürften und weil er die Elektrizität mit mathematischen Begriffen belegen wollte.

Es zeigten sich mitunter fast unzählbar viele Sterne, Milchstraßen und größere Sonnen; Bogen, die an ihrer hohlen Seite dunkel, an ihrer erhabenen aber mit Strahlen versehen waren; ganz fein gebildete Ästchen, denen ähnlich, welche gefrorener Dampf an Fensterscheiben erzeugt; ferner Wolken, sehenswert in ihrer mannigfachen Gestalt. ...

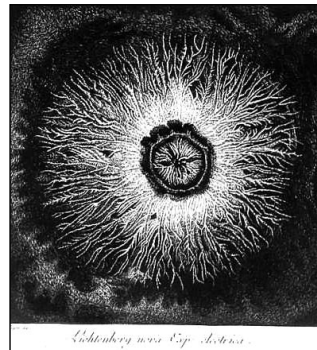
Lichtenberg, Über eine neue Methode, S. 151 (vgl. Tafel I)

Literatur

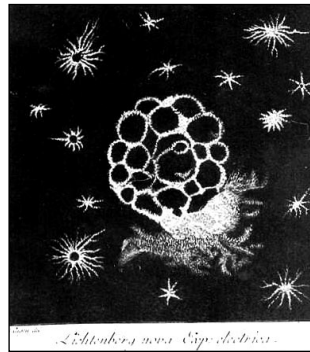
Historischer Bezug

G.C. Lichtenberg, *Über eine neue Methode die Natur und Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen*. Wieder abgedruckt in: Hasse, D.N.: *Lichtenberg, Observationes*. Göttingen: Wallstein 1997, S.142 – 203, 228 – 240

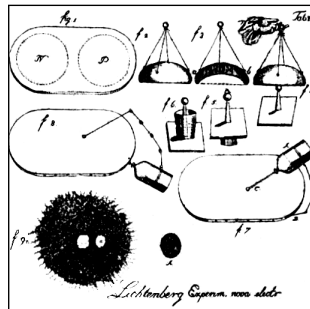
Meya, J. / Sibum, H.O.: *Das fünfte Element, Wirkungen und Deutungen der Elektrizität*. Hamburg: Rowohlt 1987



Tafel II: positiver Ladungszustand

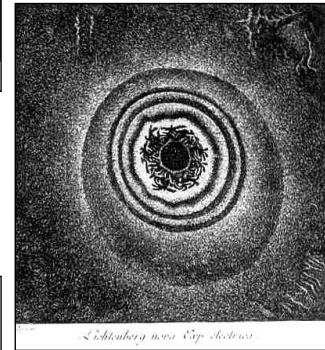


Tafel I: verschiedene kleinere Gebilde



Tafel IV: der doppelte Elektrophor mit N- und P-Flächen als Versuchsaufbau

Er konnte unter ihnen zwei Typen ausmachen. Die von Lichtenberg besorgten Tafeln zu seiner Abhandlung zeigten:



Tafel III: negativer Ladungszustand

So sah er in seinen Figuren den entscheidenden Nutzen, dass sie eindeutig angaben, welche Polarität die untersuchten Körper hatten. Außerdem meinte er, dass in den Figuren der Bewegungsablauf der elektrischen Materie sichtbar wird und dass der Unterschied zwischen positiver und negativer Elektrizität nun erforscht werden kann. Die damals gebräuchlichen Elektroskope konnten das nämlich nicht. Er konnte die Figuren sogar fixieren und kopieren, so waren sie Vorläufer der heutigen Xerographie-Verfahren (Fotokopierer). Er beschreibt auch eine elektrische Geheimschrift, die *Steganographie* = verdeckt schreiben.

Lichtenberg wusste, dass die Wolken am Himmel elektrisch geladen sind. Um die Art der Ladung herauszufinden, ließ er einen Drachen zu den Wolken steigen. Der Drache war über einen Metalldraht mit dem Elektrophor verbunden. So konnten auf dem Harzkuchen Lichtenbergsche Figuren entstehen, die die Ladungsart der Wolke anzeigten. Er dachte sogar daran, mithilfe einer Trommelaufzeichnung eine Langzeitregistrierung von aufgeladenen Wolken durchzuführen. Diesen Plan führte er allerdings nicht mehr durch. Heute lassen sich Lichtenbergsche Figuren so feinverästelt erzeugen, dass sie nahezu selbstähnliche also fraktale Struktur aufweisen. (vgl. die *Nature*-Artikel von Martin Kemp und John Heilbron auf der Webseite der Lichtenberg-Gesellschaft unter www.lichtenberg-gesellschaft.de/schule/)

Literatur

Teichmann, J.: *Experimente, die Geschichte machten*. bsv 1995

Heilbron, J.L.: *Electricity in the 17th and 18th Century*. Berkeley 1979

Bauanleitungen

Wilke, H.-J.: *Geschichte der Elektrostatik in Experimenten (4), Physik in der Schule*. 36 (2), S. 64-69 (1998)

Beuermann, G., Werner, Th.: *50 kV, eine historische Elektrisiermaschine für den Selbstbau durch Schüler*, Praxis der Naturwissenschaften-Physik 10, S. 307-309 (1981)

Einfache Versuche

Hans-Jürgen Press: *Spiel – das Wissen schafft*, Ravensburger Versuche 36-47 (1975)

Hans Backe: *Das Physik-Experimentierbuch*, Harri Deutsch, S. 117-146 (1987)

Peter Labudde: *Alltags-Physik*, Dümmler Verlag, S. 74-76 (1986)

Anwendungen

Kilian, U.: *Der Laserdrucker*, Physik Journal 1, S. 76-77 (2002)