Lichtenberg Gesellschaft e.V.

www.lichtenberg-gesellschaft.de

Der folgende Text ist nur für den persönlichen, wissenschaftlichen und pädagogischen Gebrauch frei verfügbar. Jeder andere Gebrauch (insbesondere Nachdruck – auch auszugsweise – und Übersetzung) bedarf der Genehmigung der Herausgeber.

The following text is freely available for personal, scientific, and educational use only. Any other use, including translation and republication of the whole or part of the text, requires permission from the Lichtenberg Gesellschaft.

This document is made available by tuprints, E-Publishing-Service of the TU Darmstadt. http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de - tuprints@ulb.tu-darmstadt.de

© 1987-2006 Lichtenberg Gesellschaft e.V.

Lichtenberg-Jahrbuch / herausgegeben im Auftrag der Lichtenberg Gesellschaft.

Erscheint jährlich.

Bis Heft 11/12 (1987) unter dem Titel: Photorin.

Jahrbuch 1988 bis 2006 Druck und Herstellung: Saarbrücker Druckerei und Verlag (SDV), Saarbrücken

Druck und Verlag seit Jahrbuch 2007: Winter Verlag, Heidelberg

ISSN 0936-4242

Alte Jahrbücher können preisgünstig bei der Lichtenberg Gesellschaft bestellt werden.

Lichtenberg-Jahrbuch / published on behalf of the Lichtenberg Gesellschaft.

Appears annually.

Until no. 11/12 (1987) under the title: Photorin.

Yearbooks 1988 to 2006 printed and produced at: Saarbrücker Druckerei und Verlag (SDV), Saarbrücken

Printer and publisher since Jahrbuch 2007: Winter Verlag, Heidelberg

ISSN 0936-4242

Old yearbooks can be purchased at reduced rates directly from the Lichtenberg Gesellschaft.

Im Namen Georg Christoph Lichtenbergs (1742-1799) ist die Lichtenberg Gesellschaft ein interdisziplinäres Forum für die Begegnung von Literatur, Naturwissenschaften und Philosophie. Sie begrüßt Mitglieder aus dem In- und Ausland. Ihre Tätigkeit umfasst die Veranstaltung einer jährlichen Tagung. Mitglieder erhalten dieses Jahrbuch, ein Mitteilungsblatt und gelegentliche Sonderdrucke. Weitere Informationen und Beitrittsformular unter www.lichtenberg-gesellschaft.de

In the name of Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799) the Lichtenberg Gesellschaft provides an interdisciplinary forum for encounters with and among literature, natural science, and philosophy. It welcomes international members. Its activities include an annual conference. Members receive this yearbook, a newsletter and occasionally collectible prints. For further information and a membership form see www.lichtenberg-gesellschaft.de

---

Das Beispiel Lichtenberg und Müller zeigt, daß es zweckmäßig, ja notwendig ist, dem Lichtenbergschen Nachlaß in seiner ganzen Vielfalt weiter nachzugehen. Es ist sicher, daß sich dabei weitere interessante Verbindungen zwischen Lichtenberg und seinen Zeitgenossen finden werden, die nicht nur das Lichtenbergverständnis vergrößern, sondern auch weitere Details zu den wissenschaftlichen Verbindungen des 18. Jahrhunderts erbringen.

[1] Der Aufsatz erschien zuerst in den „Lichtenberg-Mitteilungen, hrg. vom Verein für Heimatgeschichte e.V. Ober-Ramstadt, Nr XX, 197., S. 3–6.

[2] Die Bestimmung erfolgte durch Frau Dr. Illgen, Darmstadt.

[3] H. Balmer: Das 1. Lichtenberg-Gespräch in Ober-Ramstadt 1972, S. 73.

[4] Otto Deneke: Göttingische Nebenstunden Heft 14, S. 111.

[5] W. Promies: Lichtenberg II, Seite 754, Nr. 340.

Peter Brix

Lichtenberg und die schweren Ionen

Er bearbeitet in seiner Schrift
eine schon ziemlich durchgearbeitete Materie noch einmal

In Darmstadt ging der Physiker Georg Christoph Lichtenberg zur Schule. Heute ist Darmstadt vielen Physikern in der Welt vor allem als Standort des leistungsfähigsten Beschleunigers für schwere Ionen bekannt. Dieser 100 Meter lange Linearbeschleuniger heißt UNILAC (Universal Linear Accelerator), wurde von Christoph Schmelzer und seinen Mitarbeitern entworfen und von der GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) erbaut. Die GSI ist eine Großforschungseinrichtung, die etwa 450 Mitarbeiter beschäftigt. Deutsche und ausländische Wissenschaftler von vielen Universitäten und Forschungsinstituten widmen sich hier gemeinsam mit ihren Kollegen von der GSI der Grundlagenforschung mit energiereichen schweren Ionen.

Unter einem Ion versteht man ein Atom, bei dem die Zahl der in der „Elektronenhülle" befindlichen Elektronen nicht übereinstimmt mit der Zahl der Protonen des Atomkerns. Da jedes Elektron eine negative, jedes Proton eine positive elektrische Elementarladung e trägt, sind Ionen elektrisch geladen. Die Protonenzahl eines Kerns ist die Ordnungszahl Z des chemischen Elements; z. B. ist $Z = 2$ für Helium, $Z = 82$ für Blei. (Neben diesen Atom-Ionen gibt es auch Molekül-Ionen, die hier nicht interessieren). Die höchste positive Ionenladung haben „nackte" Kerne, also Atome, welche vollständig ihrer Elektronenhülle beraubt (vollständig „gestrippt") wurden; sie tragen die Ladung $+Ze$. Ein Beispiel: Für Helium gibt es Ionen mit den Ladungen $-e$, $+e$ oder $+2e$.

Was das alles mit Lichtenberg zu tun hat? Nun, die „+" und „−" Zeichen stammen von ihm. Lichtenberg hat diese Bezeichnungen in die Elektrizitätslehre eingeführt, weil er der Meinung war, daß die Physiker „sich mehr an die Zeichengebung der Mathematiker als an die der Apotheker" halten sollten (Lic 78b). Nach Promies (Pro 74) finden sich die Zeichen „+" und „−" zuerst in Lichtenbergs „Erster Abhandlung" „über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen" (Lic 78a), ein Titel, den man fast zur Erklärung über den UNILAC hängen könnte. Diese Abhandlung trägt das Datum vom 21. Februar 1778. Das Plus-Zeichen findet sich dort zuerst an der Stelle (Pro 72): „[...] die positive Elektrizität

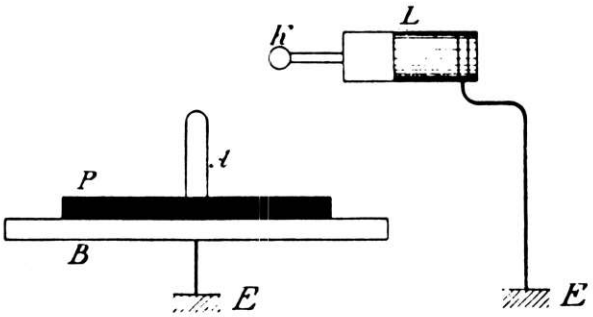
(die ich immer mit +E bezeichnen will,) [...]"; das Minus-Zeichen wird etwas später erstmalig benutzt.

Am 19. Dezember 1778 trug Lichtenberg seine abschließende „Zweite Abhandlung" mit dem gleichen Titel der königlichen Sozietät der Wissenschaften in Göttingen vor. Er sagte (Lic 78b): „Daß es aber zwei Elektrizitäten oder zwei verschiedene Modifikationen einer einzigen Materie gibt, die sich gegenseitig nach den Regeln positiver und negativer Größen aufheben, glaube ich, ist außer jedem Zweifel. Und ich bin der Überzeugung, daß dieser Satz unter den wenigen Sätzen, die in dieser Lehre zu einer mathematischen Gewißheit erhoben sind, die erste Stelle einnimmt". Und später: „Ich nenne diejenige Elektrizität positiv, die durch blankes Glas erregt, auf leitende Körper geleitet wird; die entgegengesetzte nenne ich negativ. Durch den einen Ausdruck will ich nicht einen Mangel, durch den anderen einen Überfluß der Materie andeuten, vielmehr will ich nur die Bezeichnungen + und − rechtfertigen".

Das Jahr 1978 war also ein Jubiläumsjahr. Die Experimente, über die Lichtenberg berichtete, hatten ihn ein Jahr vorher (1777) zur Entdeckung der nach ihm benannten Figuren geführt (Lic 77, Lic 78a).

Lichtenbergsche Staubfiguren können auf vielerlei Weisen gemacht werden. Eine der einfachsten ist die folgende (Abb. 1): Auf einer geerdeten Metallscheibe B liegt eine isolierende Platte P,

THE LICHTENBERG dust figures can be made in many ways; one of the simplest is as follows: An electrically neutral plate *P* of ebonite (Fig. 1) is placed on a metal disk *B*. From the knob *K* of a Leyden jar *L* a spark is passed to the



Simple Lichtenberg Arrangement.

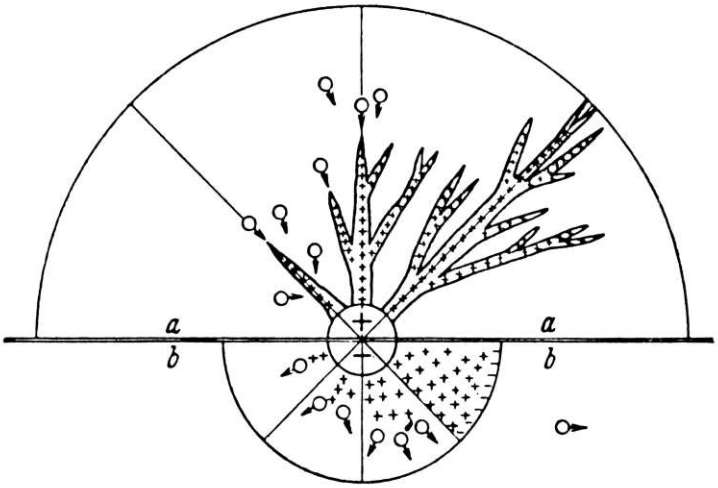
small metal rod *A* placed on *P*. The rod *A* is then removed and the plate *P* powdered with lycopodium, flour sulphur, or some other suitable powder. Mixtures of different powders may also be used with advantage. The dust settled on *P* then forms a LICHTENBERG figure.

Abb. 1

und darauf steht ein kleinerer Metallstab A. Von dem Knopf K einer Leidener Flasche läßt man einen Funken auf den Metallstab überspringen, entfernt den Stab und bestäubt anschließend die Platte P mit Lykopodium, Schwefelmehl oder einem anderen geeigneten Pulver. Der sich auf der Platte P absetzende Staub bildet eine Lichtenbergsche Figur. — Diese Anleitung wurde einer dänischen Zeitschrift aus dem Jahre 1919 (Ped 19) entnommen. (Siehe auch Tei 77).

Lichtenberg hatte, je nachdem ob der Knopf K positiv oder negativ geladen war, ganz verschieden aussehende Figuren erhalten. Er benutzte sie beispielsweise, um mit einem Drachen die Luftelektrizität über Göttingen zu messen (Lic 78b), und fand sie überwiegend positiv. Reproduktionen der von Lichtenberg gezeichneten positiven und negativen Figuren sind leicht zugänglich (z. B. Pro 72, Pro 64, Pup 56, Bri 79). Abb. 2 zeigt eine Erklärung ihrer Entstehung nach Merrill und von Hippel (MerH 39). Die Deutung ist kompliziert und oft diskutiert worden.

Die bei MerH 39) aufgeführten Literaturzitate bieten einen guten Zugang zu den bis 1939 publizierten Arbeiten.



Generation of the positive (*a*) and of the negative (*b*) Lichtenberg figure. o = electrons.

Abb. 2

Ganz grob darf man sich vorstellen, daß bei den positiven Figuren (oben in Abb. 2) ein Zusammenfließen der Elektronen sichtbar wird, die sich auf den positiv geladenen Stab zubewegt haben: ähnlich wie Rinnsale sich zu Bächen, Bäche sich zu Flüssen, Flüsse sich zu Strömen vereinigen. Die zurückgebliebene positive Oberflächenladung auf dem Isolator führte beim Bestäuben zu der Lichtenbergschen Figur. Daß die negativen Figuren ganz anders aussehen (unten in Abb. 2) ist nicht unverständlich, weil die Elektronen bei diesen vom Zentrum des Isolators aus nach außen fließen.

Es ist interessant, bei Lichtenberg nachzulesen (Lic 78b): „Die wunderbare Entstehung dieser negativen Figuren scheint einen wesentlichen Unterschied zwischen der positiven und negativen

Elektrizität anzuzeigen". Er stellt dann die uns prophetisch erscheinende Frage: „Wenn es zwei verschiedene Materien gäbe, könnte man da nicht eine Methode ersinnen, mit der man von einem Körper die eine Elektrizität absondern und somit eine dritte Art der Elektrizität: die wahre negative Elektrizität erhalten könnte?" Wer denkt da nicht an die drei Träger einer elektrischen Entladung, die positiven Ionen, die negativen Ionen und die freien Elektronen?? Aber bis zu dieser Erkenntnis ist der Weg noch weit. Ein Jahrhundert später wird das Elektron noch nicht entdeckt sein. Damals, Ende 1778, muß der größte deutsche Experimentalphysiker des 18. Jahrhunderts freimütig bekennen (Lic 78b): „Aber ich muß mich jetzt aller Mutmaßungen über diese Erscheinungen enthalten, da es mir nicht geglückt ist, – was ich vor elf Monaten noch glaubte – hierin Fortschritte zu erzielen und Gewißheiten zu erlangen".

Soweit diese Erinnerung an die tastenden Versuche vor 200 Jahren, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen. Alle Bemühungen in der Zeit davor lassen sich nicht besser zusammenfassen als mit Lichtenbergs Worten, auch vom Sommer 1778 (Lic 78c): „Wenn ich den Satz lerne: die Kraft, die im geriebenen Bernstein zieht, ist dieselbe, die in den Wolken donnert, welches sehr bald geschehen kann, so habe ich etwas gelernt dessen Erfindung den Menschen einige tausend Jahre gekostet hat".

Die bereits vielfach benutzte Bezeichnung „Ion" wurde übrigens 1834 durch Faraday eingeführt. Wieder kann man mit dem Finger auf die Zeile zeigen (Abb. 3; Far 39), in der das Wort zum ersten Mal vorkommt:

> **I propose to distinguish such bodies by calling those *anions** which go to the *anode* of the decomposing body; and those passing to the *cathode*, *cations*†; and when I have occasion to speak of these together, I shall call them *ions*. Thus, the chloride of lead is an *electrolyte*, and when *electrolyzed* evolves the two *ions*, chlorine and lead, the former being an *anion*, and the latter a *cation*.**
>
> * ἀνιὼν *that which goes up.* (Neuter participle.)
> † κατιὼν *that which goes down*

Abb. 3

In der Übersetzung: „Ich schlage vor, diejenigen Körper Anionen zu nennen, die zu der Anode gehen, diejenigen die zu der Kathode gehen, Kationen; und wenn ich Gelegenheit habe von diesen gemeinsam zu sprechen, *werde ich sie Ionen nennen.*" Damit prägte Faraday den Begriff, welcher der Schwerionenforschung und damit auch der GSI den entscheidenden Teil des Namens gibt. Schwere Ionen sind solche mit großem Atomgewicht, und das heißt mit nicht zu niedriger Ordnungszahl. Diejenigen von Chlor und Blei (Abb. 3) würde man heute als schwere und schwerste Ionen bezeichnen.

Wenn wir von Schwerionenforschung reden, dann sind allerdings nicht – wie bei Faraday – jene Ionen gemeint, die dafür sorgen, daß der elektrische Strom durch wässrige Lösungen von Salzen hindurchgehen kann. Wir haben es vielmehr mit gerichteten Strahlen von Atom-Ionen zu tun, die im luftleeren Raum elektrisch beschleunigt werden und dann auf Materie auftreffen. Solche Strahlen wurden 1881 als „Kanalstrahlen" von Goldstein entdeckt und 1898 von Willy

Wien als positiv geladene Ionen erkannt. Sie erhalten ihre Geschwindigkeit durch die an ein Gasentladungsrohr angelegte Gleichspannung. Die Beschleunigung von Ionen mit hohen und höchsten Gleichspannungen ist die eine Möglichkeit, hochenergetische Ionenstrahlen zu erzeugen. Zur Zeit sind elektrostatische Beschleuniger mit 14 Millionen Volt Hochspannung in Betrieb und mit 30 Millionen Volt im Bau.

Anstatt mit einer hohen Gleichspannung, bei der Probleme der elektrischen Isolatoren zu lösen sind und die Gefahr von Überschlägen besteht, lassen sich die Ionen auch mehrmals durch eine niedrige Wechselspannung beschleunigen. Die Idee ist zuerst 1924 von Ising (Isi 24) publiziert worden. Er hat sein „Prinzip einer Methode zur Herstellung von Kanalstrahlen hoher Voltzahl" an einem mechanischen Modell erläutert (Abb. 4), mit dem man die Idee eines Linearbeschleunigers ganz einfach erklären kann.

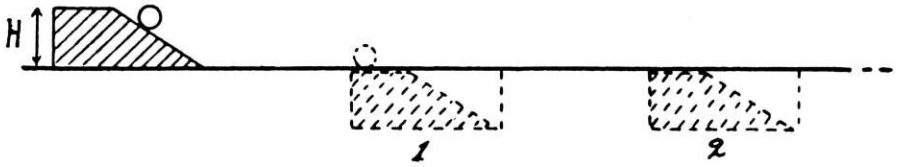


Abb. 4

Links im Bild rollt eine Kugel eine Rampe hinunter; sie wird durch die Schwerkraft auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt. Wie läßt sich eine größere Geschwindigkeit erreichen, wenn keine höhere Höhe H zur Verfügung steht? Man kann Klötze – wie bei 1 und 2 gezeichnet – im Boden versenken. Sobald die Kugel darauf rollt, hebt man diese Klötze hoch. Beim Herunterlaufen wird die Kugel schneller, und sie wird um so schneller, je häufiger man die Höhe H erneut für die Beschleunigung ausnutzt.

Für die elektrisch geladenen Ionen wollte Ising das mechanische Anheben von Klötzen durch das rasch aufeinanderfolgende Anlegen einer elektrischen Spannung ersetzen. Um die Apparatur zu entwerfen, mußte er wissen, in wie kurzer Zeit die elektrische Spannung von Null auf den Maximalwert ansteigen würde. Er fand diese Angabe in der Literatur (Ped 22); die Anstiegszeit betrug größenordnungsmäßig eine Milliardstel Sekunde und wurde – man staune (Abb. 5) – mit Hilfe von Lichtenbergschen Figuren gemessen! Teil I der Untersuchung von Pedersen „On the Lichtenberg Figures" (Ped 19) beginnt übrigens mit der in Abb. 1 wiedergegebenen Anleitung, Teil III erschien 1929 (Ped 29).

Ising hat seinen Apparat nicht gebaut. Die ersten funktionierenden Schwerionen-Linearbeschleuniger und auch der UNILAC arbeiten nicht mit einmaligen Spannungsstößen, sondern mit periodischer Wechselspannung. Im Modell der Abb. 4 würden die Klötze periodisch auf und ab zu bewegen sein. Die Anordnung müßte aber verbessert werden. Wer sich diese Verbesserungen überlegt, bekommt eine Ahnung von den Regeln, nach denen ein Linearbeschleuniger für schwere Ionen konstruiert werden muß.

Zur Erinnerung an die Einführung der jetzt jedermann geläufigen Vorzeichen „+" und „−" für die elektrische Ladung hat der Verfasser einen Vortrag über „Anfänge und Fortschritte der Schwerionenforschung", den er zum 70. Geburtstag von Professor Dr. Christoph Schmelzer am

17. 11. 1978 bei der GSI gehalten hat (Bri 79), mit Lichtenberg begonnen. Aus dieser Einleitung sind die vorliegenden Bemerkungen hervorgegangen.

Bri 79	P. Brix: GSI-Report 79-1 (1979)
Far 39	M. Faraday: Experimental Researches in Electricity (Reprinted from the Philosophical Transactions of 1831–1838) Vol I, London 1839, S. 198
Isi 24	G. Ising: Arkiv för Mat., Astron. och Fysik 18, No. 30, 1 (1924)
Lic 77	G. C. Lichtenberg (Verlesen von A. G. Kästner) in: Göttingische Anzeigen von gelehrten Sachen 1777, Bd. 1, S. 569 (vergl. Pup 56)
Lic 78a	G. C. Lichtenberg: Erste Abhandlung allgemeinere Experimente enthaltend über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen. Novi Commentarii Societatis Regiae Scientarium Gottingensis, tom. VIII, Phys. Math. Class., S. 168 (1778) (Pup 56)
Lic 78B	G. C. Lichtenberg: Zweite Abhandlung über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen. Ebd., Class. Math. tom. I, ad annum 1778, S. 65 (1779) (Pup 56)
Lic 78c	G. C. Lichtenberg: Sudelbuch F, Nr. 1039 (W. Promies: G. C. L., Schriften und Briefe Bd. 1, Hanser-Verlag München 1968, S. 608)
MerH 39	F. H. Merrill, A. von Hippel: Journ. Appl. Phys. 10, 873 (1939)
Ped 19	P. O. Pedersen: Kgl. Danske Videnskab. Selskab, Math.-fys. Medd I, Nr. 11 (1919)
Ped 22	P. O. Pedersen: Ebd. IV, Nr. 7 (1922)
Ped 29	P. O. Pedersen: Ebd. VIII, Nr. 10 (1929)
Pro 64	W. Promies: Georg Christoph Lichtenberg in Selbstzeugnissen und Bilddokumenten. Rowohlt Taschenbuch Verlag (1964)
Pro 72	W. Promies: G. C. L., Schriften und Briefe, Band III, Hanser-Verlag München 1972
Pro 74	W. Promies: G. C. L., Schriften und Briefe, Kommentarband zu Band III, Hanser-Verlag München 1974, S. 12
Pup 56	H. Pupke (Hrsg.): „Über eine neue Methode, die Natur und die Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen" von Georg Christoph Lichtenberg. Herausgegeben in neuer deutscher Übersetzung von H. Pupke, Schluß-Redaktion R. Zaunick. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 246. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1956
Tei 77	J. Teichmann: Kultur & Technik, Heft 2, 25 (1977)

ON THE LICHTENBERG FIGURES

PART II.

1. THE DISTRIBUTION OF THE VELOCITY IN POSITIVE AND NEGATIVE FIGURES

2. THE USE OF LICHTENBERG FIGURES FOR THE MEASUREMENT OF VERY SHORT INTERVALS OF TIME

BY

P. O. PEDERSEN

Abb. 5

VERMISCHTE SCHRIFTEN

von

Georg Christoph

Lichtenberg.

Erster Theil.

WIEN, 1817.

Bey Ch. Kaulfuß & C. Armbruster.

VERMISCHTE SCHRIFTEN

von

Georg Christoph

Lichtenberg.

Zweyter Theil.

WIEN, 1817.

Bey Ch. Kaulfuß & C. Armbruster.