

Ueber die

# Lichtenberg'schen Figuren.

(Ein Jahrhundert nach ihrer Entdeckung.)

Von

Moriz Kuhn.

Beinahe hundert Jahre sind verflossen seit der Entdeckung der elektrischen Staubfiguren durch den genialen Professor der Physik an der göttinger Universität Georg Christoph Lichtenberg. Auch heute noch sind die sogenannten Lichtenberg'schen Figuren das einzige Mittel, um schnell und sicher die Verschiedenheit der beiden Elektrizitätsarten zur Anschauung zu bringen, obgleich man gegenwärtig bereits mehrere Methoden kennt, die Elektrizität zu zwingen, eine bleibende Spur an gewissen Stellen des von ihr betretenen Weges zu hinterlassen; abgesehen von den Priestley'schen Ringen, deren Entdeckung jener der Lichtenberg'schen Figuren voranging.<sup>1)</sup>

An die elektrischen Staubfiguren knüpfte sich von Anbeginn die Hoffnung, dieselben werden den Schlüssel abgeben, um das Wesen der Elektrizität ergründen zu können. Der Entdecker selbst sprach die Ueberzeugung

aus, „daß die von ihm aufgefundenene Erscheinung für die Physik überhaupt wichtig werden und einen neuen Weg zur genaueren Erforschung der elektrischen Materie anbahnen kann.“

Wie weit ist man nun seitdem in der Erkenntniß des Wesens der Elektrizität gelangt? Wohl hat die nachfolgende Generation, sowohl in dieser einen bestimmten Richtung und noch viel mehr auf ganz neuen, zur Zeit Lichtenberg's nicht geahnten Wegen Erfahrung auf Erfahrung gehäuft und alle geistige Anstrengung aufgeboten, um die mannigfachsten Erscheinungen einem einheitlichen Systeme einzureihen: man hat in der Elektrizität eine der Wärme in mehrfacher Beziehung verwandte Kraft erkannt, hat sich dieselbe mit dem größten Erfolge dienstbar zu machen gewußt, aber ihre Natur kennt man nur mittelbar. Die Vermuthung, daß die Elektrizität eine eigenthümliche Bewegungserscheinung sei, für welche allerdings eine nahe zur Gewißheit gesteigerte Wahrscheinlichkeit spricht, erhärtet durch die Analogie mit der in dieser Hinsicht schon besser erforschten Wärme und durch eingehendes Studium der elektrischen Thatfachen selbst an der Hand der Mathematik ist Alles, was man bisher erreicht hat. Die Resultate der Speculation über das Wesen der Elet-

<sup>1)</sup> Die Priestley'schen Ringe wurden zuerst beschrieben in dem bekannten Werke ihres Entdeckers: History and present state of electricity etc. London, 1767. S. 639. — Ausführlicher sind dieselben behandelt in den Philos. Transact. f. 1768 unter dem Titel: Account of rings, consisting of all the prismatic colours, made by electrical explosions on the surface of pieces of metal.

trizität sind also vorläufig blos negativ — d. h. eine eigene elektrische Materie hat so gut, wie der Wärmestoff heute nur mehr eine historische Bedeutung und deren Beibehaltung hat lediglich den Zweck, die Vorstellung zu erleichtern.

Nichtsdestoweniger bieten die Staubfiguren und die Untersuchungen, welche im Verlaufe der Zeit darüber angestellt worden sind, an und für sich ein genügendes Interesse, um den Versuch zu rechtfertigen, auf das verstrichene Jahrhundert zurückzublicken und die Ergebnisse der Forschung über diesen Gegenstand zusammenzustellen.

Der von Wilke 1762 erfundene Apparat, welcher aber erst durch Volta 1775 in verbesserter Form unter dem Namen *Elettroforo perpetuo* (beständiger Elektrizitätsträger) eingeführt, allgemeines Aufsehen erregte, fand auch an Lichtenberg einen Bewunderer. Letzterer fertigte sich einen derartigen Elektrophor an, dessen Harzkuchen mehr als 6 Fuß im Durchmesser hatte, in der Hoffnung mit Hilfe einer Vorrichtung in solchen Dimensionen neue Erfahrungen zu sammeln und die scheinbare Abweichung beheben zu können, welche die Wirkungen des Elektrophors gegenüber jenen der Elektrifiziermaschine zeigten. Durch diese ungewöhnliche Größe waren in der That, wenn auch nur mittelbar günstige Bedingungen zur Entdeckung der Staubfiguren geschaffen.

Ueber die Veranlassung der Entdeckung sowie über die weiteren Untersuchungen erstattete Lichtenberg der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen zwei Berichte (21. Februar und 19. December 1778).<sup>2)</sup>

In dem ersten dieser beiden Berichte erzählt derselbe Folgendes: „Die Verfertigung meines großen Elektrophors war gegen das Frühjahr 1777 zu Stande gekommen; in meiner Kammer war noch Alles voll von feinem Harzstaub, der beim Abhobeln und Glätten des Kuchens oder der Basis aufgestiegen war, sich an die Wände und auf die Bücher gelegt hatte, und oft bei

entstehender Bewegung der Luft, zu meinem großen Verdruß auf den Deckel des Elektrophors herabfiel. Nun fügte sich's, daß der Deckel, der von der Decke herabging, einmal etwas längere Zeit von der Basis abgehoben war, so daß der Staub auf die Basis selbst fallen konnte, und da geschah es, daß er sich hier nicht wie vorher auf den Deckel gleichförmig anlegte, sondern an mehreren Stellen, zu meinem großen Vergnügen, kleine Sternchen bildete, die zwar anfangs matt und schlecht zu erkennen waren, als ich aber den Staub mit Fleiß stärker aufstrebte, sehr deutlich und schön wurden, und hie und da erhabener Arbeit glichen. Es zeigten sich bisweilen unzählige kleine Sterne, ganze Milchstraßen und größere Sonnen; die Bogen waren von der hohlen Seite matt, von der erhabenen aber mit Strahlen geziert; ferner sehr niedliche kleine Nestchen, denen nicht unähnlich, welche die Kälte an den Fensterscheiben erzeugt; kleine Wolken von mannigfaltiger Gestalt und Schattirung; endlich noch mancherlei Figuren von besonderer Gestalt“.<sup>3)</sup>

An diese Erzählung anknüpfend, bemerkt Lichtenberg, daß die Figuren nach dem Abwischen des Staubes beim wiederholten Bestäuben von Neuem und oft sogar viel schöner wieder auftraten und gibt auch bereits ein einfaches Verfahren an, die Figuren zu fixiren, welches darin bestand, daß ein mit klebriger Masse bestrichenes, schwarzes Papierblättchen leise auf die Figuren gedrückt wurde.

Als nächste Ursache des Zustandekommens der Sternchen erkannte Lichtenberg das Ueberspringen von Funken aus dem Deckel auf den Harzkuchen; die Figuren bildeten sich an den von den Funken getroffenen Stellen und diese selbst erwiesen sich als positiv elektrisch, woraus auf ein Ueberströmen der Elektrizität des Deckels auf die Harzfläche geschlossen wird. Auch den Gegenversuch stellte er bereits an; gute Leiter mit ihren Spitzen oder Kanten auf den geriebenen Harzkuchen aufgesetzt, gaben ebenfalls mit Strahlen umgebene Figuren.

So war es ihm möglich geworden, die Figuren beliebig hervorzurufen.

<sup>2)</sup> Ge. Chr. Lichtenberg de nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, *Commentatio prior*. (Novi Commentarii Soc. Reg. Sc. Gotting. Tom. VIII ad a. 1777 pag. 168.) — *Super nova methodo motum ac naturam etc. Comment. posterior*. (Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. Vol. I. Class. Mathem. T. I. ad a. 1778. p. 65.) — Die beiden Abhandlungen erschienen auch separat abgedruckt: *Comment. prior. Gottingae 1778; Comment. post. Ibid. 1779.*

<sup>3)</sup> Nach der deutschen Uebersetzung in: „Lichtenberg's vermischte Schriften.“ Wien, 1844. 7. Bd. — Die dem Originale beigegebenen Abbildungen sind viel natürlicher als die der Uebersetzung.

Zu den ferneren Untersuchungen verwendete er kleinere Elektrophore, besonders aber eine Vorrichtung, welche er ausführlich beschreibt und „doppelter Elektrophor“ nennt, die aber in der That ein doppelender Elektrophor ist, eine Influenzmaschine, und zwar sowohl im Prinzip als auch in der Wirkung. Lichtenberg war über die Art und Weise der Wirksamkeit dieses Apparates vollkommen im Klaren und benützte denselben außerdem in sinnreicher Weise dazu, um bestimmte Mengen Elektrizität für die Erzeugung der Staubfiguren zu erhalten. Diese interessante Vorrichtung ist mehr oder minder in Vergessenheit gerathen, obwohl der Erfinder sie ausdrücklich der Aufmerksamkeit der Physiker empfahl.<sup>4)</sup>

Mit Hilfe des erwähnten Elektrophors und mittelst metallener Röhren, die nach oben in eine Spitze oder einen Knopf endigten, erzeugte Lichtenberg unter verschiedenen Umständen auf Scheiben von Schellack (Gummilack) Figuren durch Bestäuben mit Hexenmehl oder gepulvertem Harze und gelangte zu folgenden Resultaten.

Der positive Funke erzeugt immer eine strahlige, der negative hingegen eine strahlenlose rundliche Figur. Erstere mag kurz die positive, letztere die negative Figur genannt werden. In beiden Fällen ergibt sich ein Unterschied, je nachdem die Röhre leitend oder isolirt abgehoben wird. Beim Abheben mit bloßer Hand erscheinen schwarze unbestäubte Stellen, die beim isolirten Abheben nicht vorhanden sind; in der positiven Figur bilden diese concentrische Ringe, von denen die Strahlen ausgehen, in der negativen einen eigenthümlich gestalteten, nach außen zu laubförmig verästelten Kern.

Wird eine Schellackscheibe an zwei gegenüberliegenden Stellen ihrer beiden Flächen mit der Basis zweier Metallröhren in Berührung gebracht, die eine derselben abgeleitet, die andere aber isolirt und unmittelbar elektrisirt, so zeigt die Scheibe nach dem Abheben und Bestäuben auf beiden Seiten Figuren. Die

<sup>4)</sup> Riess schreibt die Erfindung eines ähnlichen doppelenden Elektrophors Volta zu. (Die Lehre von der Reibungselektrizität. I, Seite 293.) Doch ist die Wirksamkeit der Vorrichtung gegenüber jener Lichtenbergs zu bezweifeln. — Emsmann erwähnt in dem Artikel „Elektrophor“ des doppelten Elektrophors von Lichtenberg, ohne aber der verstärkenden Wirkung desselben zu gedenken. (Emsm. Phys. Wörterb. I, Seite 275.) — Besser hat Pfaff diesen Apparat gewürdigt. (Geh. Phys. Wörterb. III. Bd. S. 783.)

auf der Seite der elektrisirten Röhre ist mit der angewandten Elektrizität gleichnamig, während jene auf der anderen Fläche den entgegengesetzten Charakter hat. Mehrere Scheiben in ähnlicher Weise mit dazwischen gestellten Röhren benützt, zeigen auf den dem Zuleitungskörper zugewendeten Flächen der mitgetheilten Elektrizität gleichnamige und auf den abgewendeten Flächen dieser Elektrizität entgegengesetzte Figuren.

Eine Leidnerflasche auf die Schellackscheibe gestellt und geladen, gibt Figuren, gleichnamig der Elektrizität, welche man dem Knopfe mittheilt.

Führt man mit dem Knopfe einer stark positiv geladenen Leidnerflasche, die man an der äußeren Belegung ansaßt, über die Oberfläche des Elektrophors, so erhalten die Züge nach dem Bestäuben das Ansehen von Schachtelhalmen. Verwendet man in passender Weise statt des Knopfes einen mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung stehenden Metallstift oder die Kette der Flasche, so sehen die beschriebenen Züge wie Perlenchnüre aus. Selbstverständlich gelingt der letztere dieser beiden Versuche auch, wenn man die Flasche negativ ladet und den Knopf zum Schreiben benützt. Diese Züge können selbst nach mehreren Tagen durch Bestäuben sichtbar gemacht werden, und geben eine Art Geheimschrift ab. Das Experiment hat aber eine weit höhere Bedeutung als die einer bloßen elektrischen Spielerei, wie Lichtenberg übrigens später selbst erkannte; es zeigt deutlich eine Intermittenz der Entladung.

Diese Versuche wurden hier angeführt, weil sie für das Spätere als Ausgangspunkte dienen werden, während andere, die nicht unmittelbar zur Erklärung geeignet scheinen, übergangen werden mögen. Nur sei noch bemerkt, daß sich Lichtenberg bereits des Verfahrens bediente, der Harzplatte, um dieselbe zu neuen Versuchen brauchbar zu machen, durch Anhauchen die Fähigkeit zu benehmen, das Harzpulver anzuziehen.

In der zweiten Abhandlung stellte Lichtenberg 16 Körper, auf welchen Figuren erzeugt werden können und eben so viele Körper, welche im gepulverten Zustande zur Erzeugung der Figuren brauchbar sind, nach dem Grade ihrer Verwendbarkeit in eine Reihe zusammen. Er selbst benützte aber bei seinen späteren Versuchen gewöhnlich nur Pulver von Harzen oder Schwefelpulver, als Scheiben aber nicht wie früher Schellackplatten, sondern Blechscheiben, die auf beiden Seiten mit

Harz, überzogen waren; diese lieferten, in der vorher besprochenen Weise angewendet, gleichzeitig beide Arten von Figuren und erwiesen sich auch für die schwächste Elektrizität empfänglich, wenn der Ueberzug sehr dünn war.

Nach einer kurzen Erklärung, betreffend den Sinn der in der ersten Abhandlung gebrauchten Franklin'schen Bezeichnung, positive und negative Elektrizität, und namentlich der dafür benützten Symbole + E und — E, spricht Lichtenberg nochmals mit Bestimmtheit aus, daß der elektrische Zustand der vom Funken getroffenen Stellen als die Ursache des Entstehens der Figuren anzusehen sei. Der von einigen Physikern aufgestellten Behauptung, der elektrische Zustand der Staubtheilchen wäre die alleinige Ursache, widerspricht er, gibt jedoch zu, daß dieser Umstand mitwirken könne; nur findet nach ihm die Elektrisirung des Staubes erst in der elektrischen Atmosphäre der Harzscheibe und nicht durch Schütteln im Staubbeutel Statt; für welche Ansicht er das Auftreten von Figuren durch den aus der Luft herabfallenden Staub und mehrere andere Gründe anführt.

Lichtenberg bemerkt, daß es ihm allerdings nicht gelungen sei, die Schwierigkeiten zu überwinden, welche sich der Erklärung der Formverschiedenheit positiver und negativer Figuren entgegenstellen, daß aber eben dieser Unterschied die Wichtigkeit der Figuren als elektroskopisches Hilfsmittel begründe und gibt bei dieser Gelegenheit einen sinnreichen Registrir-Apparat für atmosphärische Elektrizität an, den er sich ausgedacht, jedoch nicht construirt hatte. Die fruchtbare Idee der Benützung der Staubfiguren zu elektroskopischen Zwecken ist selbst heute noch viel zu wenig ausgebeutet — doch wird diese Methode gewiß zur Geltung kommen, sobald alle Zweifel über die Entstehungsweise der Figuren behoben sein werden.

Der bereits früher erwähnte Gegenversuch der Ableitung an einer Stelle einer elektrisirten Harzfläche wird auch in der zweiten Schrift erwähnt und auf positiv elektrisirte Scheiben ausgedehnt. Die Art der Herstellung der letzteren gibt Lichtenberg nicht an; er erinnert auch nicht daran, den Versuch mit der negativ elektrischen Harzscheibe schon am Elektrophor ausgeführt zu haben.

Schließlich wäre noch zu bemerken, daß Lichtenberg auch schon folgende Erfahrung machte. Im luftverdünnten Raume erzeugt, ergeben die Figuren eine

beträchtliche Vergrößerung, sowohl im Ganzen, als auch in den einzelnen Theilen, namentlich eine Verbreiterung der Keste, ferner treten die Unterschiede der positiven und negativen Figur nicht mehr so scharf hervor. In den weißen Strahlen der positiven zeigt sich noch eine schwarze Linie und in den schwarzen Stellen der negativen tritt eine vom Staube bedeckte (sternförmige) Zeichnung auf.<sup>5)</sup>

Auch noch andere Versuche theilte der göttinger Gelehrte mit, welche aber, weil sie weniger als Vorbereitung zu den folgenden Ergebnissen anderer Forscher dienen, nicht eigens angeführt werden sollen.

Die Lichtenberg'schen Figuren, welchen sich sehr bald die Aufmerksamkeit der Physiker jener Zeit zuwendete, wurden nun mit Eifer studirt. Tiberio Cavallo hat 1779 nochmals auf den für die Theorie der Erscheinung wichtigen Umstand aufmerksam gemacht, daß das zur Hervorrufung der Figuren verwendete Harzpulver elektrisirt sei<sup>6)</sup>. Jedoch nicht hierin bestand sein Verdienst, denn die Elektrisirung des Staubes wurde gleich nach dem Erscheinen der ersten Abhandlung Lichtenberg's ausgesprochen, sondern darin, zuerst den bestimmt negativ elektrischen Zustand des durch Leinwand gesiebten Harzpulvers nachgewiesen zu haben.

Der berühmte Meteorologe des vorigen Jahrhunderts Jean André Deluc, welcher gerade um die Zeit, da Lichtenberg noch mit seinen Versuchen beschäftigt war, durch Göttingen kam, fand daselbst Gelegenheit, die verschiedenen Experimente von dem Letzteren ausführen zu sehen. Auch er schloß damals mit dem Entdecker der Staubfiguren, daß dieselben ermöglichen werden, Aufschluß über die Natur des elektrischen Fluidums zu erlangen und fühlte sich daher angeregt, eine Reihe von Versuchen darüber anzustellen, deren Resultate er im Jahre 1787 in dem ersten Theile seiner „Neuen Ideen über die Meteorologie“ mittheilte<sup>7)</sup>.

<sup>5)</sup> Comment. post. Tab. I. — Deutsche Ausgabe. Zweite Abh. Tafel VI und VII.

<sup>6)</sup> Cavallo. An account of some new experiments in electricity, with the description and use of two new electrical instruments. (Phil. Transact. Vol. 70. P. 1. p. 15.)

<sup>7)</sup> J. A. de Luc. Nouv. Idées sur la Météorologie. 2 Bd. Paris 1787. — Neue Ideen über die Meteorologie von J. A. de Luc. Aus dem Französischen übersetzt. 2. Th. Berlin und Stettin, 1787. Im ersten Theile ist ein ganzer Abschnitt: „Von den elektrischen Figuren des H. Professor Lichtenberg.“ Seite 390—411 ausschließlich diesem Gegenstande gewidmet.

Die Elektrisirung des Harzstaubes durch Reibung beim Durchgange durch Gewebe erschloß Deluc daraus, daß die Figuren bei Anwendung von dichterem Leinwand, welche starkes Schütteln erforderte, weit schöner ausfielen, als wenn man lockere Leinwand benützte, die den Staub leicht hindurchfallen ließ, also weniger rieb.

Er gebrauchte zu seinen Versuchen Glasplatten, die entweder einseitig oder beiderseitig mit schwarzem Siegelack überzogen waren, mitunter aber auch solche, die theils mit Siegelack bedeckte, theils unbedeckte Stellen besaßen.

An zwei gegenüberliegenden Stellen auf beiden Seiten einer in horizontaler Lage frei aufgestellten Platte wurden zwei leitende Körper, von welchen der eine zur Uebertragung der Elektrizität, der andere zur Ableitung bestimmt war, durch eigens construirte hebelartige Vorrichtungen sanft angeedrückt. Mittelfst fünf Arten der leitenden Körper (Spitzen, Platten etc.) stellte Deluc in acht verschiedenen Abwechslungen des Versuches, welche zumieist die Art des Abhebens von der Platte betrafen, bei Anwendung von positiver und negativer Elektrizität 80 durch besondere Kennzeichen verschiedene Figuren her, die er jedoch nicht näher beschreibt. Außerdem wurden die Versuche noch variirt durch Bestäuben der Platte vor dem Abheben des Zuleiters oder Ableiters, sowie vor dem Anlegen dieser Körper.

Alle diese Versuche, von welchen Deluc sagt, daß der Theil seines Journals, der ihre näheren Angaben enthält, einen ganzen Band füllen würde, hatten zwar zunächst den Zweck, eine Erklärung der Entstehungsweise der elektrischen Figuren zu finden, doch interessirte er sich für dieselben wie für alle elektrischen Erscheinungen auch insoferne, weil es eine seiner Lieblingsideen war, das elektrische Fluidum mit den Wasserdünsten zu vergleichen, um so eine übereinstimmende Theorie für die wässerigen Meteore und die elektrischen Thatsachen zu gewinnen.

Von den weiteren Untersuchungen wäre noch bemerkenswert, daß Deluc eine zerlegbare Franklin'sche Tafel (Kleist'sche Platte), deren isolirende Schichte eine den früher erwähnten ähnliche, mit einem Harzüberzuge versehene Glasplatte bildete, lud, sodann die Belege entfernte und den Isolator mit Harzpulver bestäubte. Die während des Ladens von den Belegungen bedeckten Theile zeigten, nebst einem verworrenen Gewölke kleine Sternchen auf der positiven und kleine

perlartige Flecken auf der negativen Seite. Wurde die Franklin'sche Tafel aber früher entladen, so kamen nebst diesem Gewölke, einige kleine Sterne auf der negativen und einige Perlen auf der positiven Seite zum Vorschein. Diese Thatsache, deren nächste Ursache leicht anzugeben ist, führte nun Deluc dazu, die Form der positiven Figur mit dem von einem positiv elektrisirten Körper ausgehenden Lichtbüschel, die Form der negativen Figur mit dem Glimmlichte negativ elektrisirter Körper in Zusammenhang zu bringen. Hierdurch wurde übrigens nur eine schon von Lichtenberg gemachte Andeutung weiter ausgeführt und bestimmter ausgesprochen, denn schon dieser sagte, daß bei den mit dem Elektrophor im Dunkeln angestellten Versuchen leuchtende Büschel aus dem Deckel herabfuhren, die auf die Basis projectirt, jene Sternchen bildeten<sup>5)</sup>.

Nach der theoretischen Ansicht, welche sich Deluc über die Elektrizität gebildet hatte, bezeichnen die kleinen Sterne den Ort, wo ein Strahl von elektrischem Fluidum sich ergossen hat; die kleinen Perlen bezeichnen Punkte, zu welchen sich das eigene Fluidum der Platte hingegeben hat. Hiemit ist wohl die Analogie mit dem Lichtbüschel einerseits und mit dem Glimmlichte andererseits gegeben; hätte aber, abgesehen von der Hypothese, die hier zu Grunde gelegt wird, des umständlichen Beweises mit der Kleist'schen Platte nicht bedurft.

Die Begründung der Art und Weise, wie die Staubfiguren entstehen, ist nach Deluc's Vorstellung ziemlich verwickelt, jedoch mit viel Scharfsinn durchgeführt.

Die elektrischen Zustände auf beiden Seiten der Platte, modifiziren sich nach ihm gegenseitig und wirken gemeinschaftlich auf die Anordnung des Staubes ein. Deluc untersuchte auch die verschiedenen Phasen dieser elektrischen Zustände, welche auftreten, je nachdem man den elektrisirten Körper blos genähert und wieder entfernt oder bis zum Ueberspringen des Funkens dem Zuleiter nahe gebracht hatte.

Die Formverschiedenheit der ungleichnamigen Figuren wird damit zu erklären versucht, daß bei der Bildung der negativen Figur ein Vorrücken der eigenen elektrischen Materie der Platte Statt findet, welches in concentrischen Zonen geschieht, während die positiven Figuren von dem Zuflusse fremden Fluidums herrühren,

<sup>5)</sup> Comment. prior. pag. 8.

welches sich, da es der Zuleitungskörper und die getroffene Stelle nicht ganz fassen kann, nach seiner Neigung zur Bewegung in gerader Linie bei seinem Austritte in Strahlen über die Platte verbreitet.

Deluc meinte, die Figuren können nur auf isolirenden Platten entstehen, weil auf solchen allein die Elektrizität dauerhafte Stellungen annimmt. Da Glas dieses nichtleitende Vermögen in einem geringeren Grade besitzt als Siegellack, so versuchte er Figuren auf Glas herzustellen, um ihre Charaktere mit den bekannten Figuren auf Siegellack zu vergleichen. Wenn die Glasplatten unmittelbar nach der Operation bestäubt wurden, so waren die Figuren des Glases und Lacks wenig verschieden; je länger er aber mit dem Bestäuben säumte, desto unordentlicher wurden sie auf dem Glase und bildeten am Ende nur verworrenes Gewölk. Zu einem besonderen Resultate scheint übrigens Deluc in dieser Richtung nicht gelangt zu sein, da er weiter nichts hierüber angibt, was in der Schwierigkeit der Herstellung der Figuren auf Glas seinen Grund hat, wie schon Lichtenberg's Erfahrungen zeigen, der mehrere Glasarten an ziemlich später Stelle in der von ihm aufgestellten Reihe anführt. In der ersten Schrift sagte Lichtenberg: „Man kann zwar Glasscheiben anstatt Harzscheiben nehmen, allein die Figuren werden selten so nett und deutlich darauf.“<sup>9)</sup>

Schließlich möge hier noch eine von den vielen Abwechslungen des Versuches Platz finden, welche Figuren liefert, deren Eigenthümlichkeiten unter allen complicirten Erscheinungen, die Deluc angibt, die größte Aufmerksamkeit verdienen. Er verwendete, wie schon bemerkt worden ist, auch kreisförmige und anders gestaltete Metallplatten als Zuleitungskörper und modificirte den Versuch dadurch, daß er die mit schwarzem Siegellack überzogene Glasplatte früher bestäubte. Hatte er bei dieser Anordnung der oberen Metallplatte eine größere Menge Elektrizität mitgetheilt, während die untere abgelenkt war und sodann der ersteren durch Annähern des Fingers einen Funken entzogen, so kamen verwickelte Figuren zum Vorschein. Die Mitte derselben also die von der Platte, während des Ladens und Entladens bedeckten Stellen waren mit schwarzen oft mehrfach umsäumten Nesten ausgefüllt, die sich auf ihren Wegen krümmten, abzweigten und an ihren Enden ver-

<sup>9)</sup> Comment. prior, pag. 14. — Uebers. S. 38.

diehten. Deluc nennt diese merkwürdigen Eigenthümlichkeiten blättrige Ramificationen oder auch Laubwerk und bemerkt nur noch, daß es ihm unmöglich sei, ohne Abbildung die Unterschiede derjenigen Figuren klar zu machen, welche man durch entgegengesetzte Elektrisirung erhält.

Mit dem Studium der Lichtenberg'schen Figuren beschäftigten sich unter Anderen auch der holländische Arzt und nachmalige Kriegsminister Cornelis von Kraenhoff, der amsterdamer Kaufmann Paets van Troostwijk und der Domprobst Lars Ekmark in Strengnäs.

Die beiden Erstgenannten suchten in einer gemeinschaftlichen Publication mit Hilfe der Resultate ihrer Arbeit die Franklin'sche Hypothese der Einheit der elektrischen Materie zu stützen.<sup>10)</sup>

Der Letztere hingegen stellte in einer etwas abgeänderten Art Lichtenberg'sche Figuren dar und glaubte in den dabei auftretenden Erscheinungen einen Beweis für den Symmer'schen Dualismus zu finden.<sup>11)</sup>

Nachdem man Cavallo gezeigt hatte, daß Harzpulver durch Schütteln im Staubbeutel negativ elektrisch werde, und durch Lichtenberg's subtile Versuche (wenigstens für die strahlige Figur) nachgewiesen worden war, daß die den Harzstaub annehmenden Stellen positiv elektrisch seien, so suchte man die Anhäufung des Staubes auf diesen Stellen einfach durch Anziehung ungleichnamiger Elektricitäten zu erklären. Diese Erklärung gilt aber unter der obigen Voraussetzung sowohl wenn die vom Staube freien Stellen der Harzplatte neutral, als auch dann, wenn sie negativ elektrisch wären. In dem ersten Falle braucht man nur eine ausgedehnte Wirkungssphäre anzunehmen, in dem zweiten Falle ist es klar, daß die entgegengesetzt elektrischen Stellen sich in ihren Wirkungen auf das Pulver unterstützen. Der Zustand der unbestäubten Stellen bleibt auf diese Weise unbestimmt und der von Deluc ausgesprochene Satz, daß alle Theile der Platte, welche

<sup>10)</sup> Verhandeling over zekere onderscheidene Figuren, welken door de beide Soorten van Electriciteit vorden voordgebracht door A. Paets van Troostwijk en C. R. T. Kraenhoff. (Allg. Magazyn Nat. 1. Bd.) — Uebers. in d. Leipziger Samml. zur Phys. und Naturg. IV. Bd., St. 4. 1790. S. 337.

<sup>11)</sup> L. Ekmark. Nytt bevis för teorien om tveone elektriska ämnen. (Kongel. Ventens. Acad. Nya Handlingar. Stockholm 1800. 2. Quartal.) — Gilbert's Ann. 23. S. 431.

keinen Harzstaub aufnehmen, negativ elektrisch sind, ist nicht unbedingt richtig.<sup>12)</sup> Noch weniger kann man seiner Auslegung zustimmen, es habe schon Lichtenberg einen solchen ungerechtfertigten Schluß gemacht.<sup>13)</sup>

Mit Rücksicht auf die Unbestimmtheit des elektrischen Zustandes der unbestäubten Stellen, bei Anwendung von Harz- oder Schwefelpulver, sowie anderer von Lichtenberg und Deluc benützter pulverförmiger Körper, muß eine im Jahre 1788 gemachte Erfindung als ein für die Theorie der Staubfiguren wichtiger Fortschritt bezeichnet werden. Hr. v. Villarsh aus Chalons sur Marne empfahl dem Mechaniker Bienvenu sich bei der Darstellung der Figuren eines Gemenges von Schwefelblumen und Mennigpulver zu bedienen, welches auch heute noch mit Vortheil benützt wird. Unter Anwendung des Villarsh'schen Gemenges nehmen, wie Bienvenu mittheilte,<sup>14)</sup> die positiven, strahligen Figuren das Schwefelpulver an und erscheinen gelb gefärbt; die negativen Figuren erscheinen hingegen roth, indem sie von Mennige bedeckt werden.

Da es nahe lag, diese Erscheinung durch entgegengesetzte Elektrisirung der beiden Bestandtheile des Villarsh'schen Gemenges zu erklären, und zwar einer negativen des Schwefels und einer positiven der Mennige, so wandte sich nun das größte Interesse der Elektrisirung von pulverförmigen Körpern durch Reibung zu. Namentlich solche Pulver, welche eine ausgezeichnete Farbe besaßen, wurden in dieser Hinsicht untersucht.

Cavallo suchte in einer Reihe von Experimenten die Art der Elektrizität auszumitteln, welche verschiedene Pulver annehmen, indem sie auf materiell verschiedene Körper gelegt und von deren Oberfläche durch Schütteln herabgeworfen wurden.<sup>15)</sup> Harzstaub fand er wie schon bei früherer Gelegenheit negativ elektrisch, wenn man ihn von Papier, Glas oder einem metallenen Löffel herabfallen ließ; ebenso auch Schwefelblumen, nur im geringeren Grade. Selbst Metallpulver erwiesen sich als elektrisch und zwar wurde bei-

spielsweise Eisenfeilicht, aus einer gläsernen Flasche oder von Papier geschüttet, negativ.

Ähnliche Versuche stellten Bennet, Volta, Bassali, Singer, Kortum, so wie später Becquerel und Faraday an, und benützten hiebei Elektroskope zur Anzeige. Die Reibung von Pulvern untereinander untersuchten Gersdorf, Aldini und Arnim; bei den letzteren Versuchen gaben die Lichtenberg'schen Figuren selbst das Prüfungsmittel ab.<sup>16)</sup>

Von den Erfahrungen, die dabei gemacht wurden, und unter denen auch manches Widersprechende vorkommt, sind für den vorliegenden Zweck folgende besonders erwähnenswert.

Der Pfarrer Abraham Bennet bemerkte schon 1787, daß Mennige mit einem Blasebalge gegen den Deckel eines Elektrophors geblasen, denselben negativ elektrisch mache.<sup>17)</sup>

Der Banquier Karl Kortum in Warschau, dem das Villarsh'sche Experiment noch der Angabe Bienvenu's anfangs durchaus nicht gelingen wollte, stellte 1795 ausführliche Versuche über die elektrischen Zustände an, welche verschiedene Pulver durch Reiben annehmen, da er die Ursache der Trennung beider Ingredienzien in den entgegengesetzten Elektrizitäten derselben vermuthete.<sup>18)</sup> Die von ihm zuerst angewandte Mennigsorte erwies sich in der That am Elektrometer negativ elektrisch, während andere in der Farbe von der ersten nicht verschiedene Gattungen das entgegengesetzte Verhalten zeigten. Sobald er diese Verschiedenheit kannte, war es ihm nicht schwer mehrere Pulvergemische zuzubereiten, die das schöne Phänomen in mancherlei Farben zum Vorschein brachten.

Kortum stellte die Resultate der Prüfungen am Elektrometer in einen Katalog zusammen und gab zur Anfertigung von Gemengen den Grundsatz an, daß gemischte Pulver, die sich separiren sollen, einzeln durch einerlei Staubbeutel gesiebt, entgegengesetzte Elektrizität

<sup>12)</sup> Ausführliches über die Elektrizitätserregung von Pulvern findet man in: Rieß, die Lehre von der Reibungs-Elektrizität. 2. Bd. S. 393.

<sup>17)</sup> A. Bennet. Description of a new electrometer. (Philos. Transact. f. 1787.)

<sup>18)</sup> Karl Kortum. Separation verschiedener Pulvergemische durch elektrische Affinität und Untersuchung der Elektrizität von einer Anzahl Pulver. (Voigt's Magazin. 10. Bd. St. 2. S. 1-15.)

<sup>12)</sup> Neue Ideen über die Meteorologie etc. S. 398.

<sup>13)</sup> Ebd. S. 391.

<sup>14)</sup> Journal général de France. 1788. Nr. 9. — Voigt's Magazin für das Neueste der Physik. 8. Bd. S. 4, S. 176.

<sup>15)</sup> Cavallo. Complete treatise on electricity. London 1795. Vol. 2. pag. 75.

erlangen müssen. Auch ist es nicht gleichgültig aus welchem Stoffe der Stoffbeutel gefertigt sei, oder welche Farbe er habe.

Das Pulver, welches die positive Figur bedeckte, gibt am Elektrometer auch nachträglich eine negative elektrische Anzeige und so umgekehrt. Beide Bestandtheile des Gemenges verbleiben also in dem elektrischen Zustand, in dem sie sich befinden, als sie den Staubbeutel verlassen. Pulver, die trocken und warm positive Elektrizität geben, zeigen nicht selten das entgegengesetzte Verhalten wenn sie etwas feucht sind; während solche, die trocken negativ elektrisch werden, diese Eigenschaft durch die ihnen anhängende Feuchtigkeit nicht einbüßen.

Aldini fand, daß verschiedene Arten von Pulver, des Mineral-, Pflanzen- oder Thierreiches auf einen elektrisirten Harzfuchen geworfen, verschiedene Erscheinungen darboten.<sup>19)</sup> Machte er positive Punkte mit der Flasche auf demselben und streute Mennige darauf, so bildeten sich Sterne; bei negativer Elektrisirung hingegen kreisrunde Figuren. Wurden Mennige und gepulverter Schwefel in gleichen Theilen vermischt und die positiv elektrisirte Fläche mit dem Gemenge bestäubt, so setzte sich der Schwefel sternförmig an, das Mennigepulver dagegen wurde ohne Ordnung zerstreut. Bei negativer Elektrisirung der Harzfläche setzte sich Mennige in regelmäßigen Kreisen, der Schwefel in Unordnung an. Es wurde also Mennige, welche allein angewendet, beiden Elektrizitäten gleich geneigt war, in diesem Gemenge von der negativen Elektrizität mehr angezogen, als von der positiven. Bei derselben Gelegenheit benützte er auch auf Anregung seines Oheims Galvani Flüssigkeiten. Ein Kranz von Del um den Zuleiter gebracht, wurde durch den positiven Funken strahlenförmig ausgedehnt. Von seinen weiteren Versuchen mag nur noch erwähnt werden, daß ihn dieselben dazu führten, die Bildung der Schneefiguren einer Einwirkung der Elektrizität zuzuschreiben, was auch Kortum schon angedeutet hatte.

Arnim untersuchte in ähnlicher Weise mehrere Pulvergemenge.<sup>20)</sup>

<sup>19)</sup> Annali di Chimica d. S. Brugnatelli. Tom. 13. p. 135—154. — Elektrische Versuche von Aldini. (Gilb. Ann. d. Phys. 4. Bd. S. 419.)

<sup>20)</sup> Elektrische Versuche von L. A. Arnim. (Gilb. Ann. 5. Bd. S. 33.)

Herr Jakob Schneider, gegenwärtig Gymnasialprofessor in Düsseldorf, wählte im Jahre 1840 die elektrischen Figuren als Gegenstand seiner Inaugural-Dissertation.<sup>21)</sup> Die Abhandlung, welche viel Interessantes enthält, scheint indeß nicht besonders bekannt geworden zu sein.

In dem ersten Theile derselben wird zunächst ein wesentlicher Unterschied gemacht zwischen den Figuren, welche entstehen, je nachdem man der Harzfläche früher Elektrizität mittheilt und sie nachher bestäubt, oder dieselbe vorher mit dem Staube bedeckt und erst nachträglich elektrisirt. Sodann werden diese beiden Arten von Figuren, welche kurz erhabene und vertiefte genannt werden mögen, eingehend beschrieben und die dabei beobachteten Einzelheiten erklärt.

Wenn man die harzige Oberfläche des Elektrophors mit dem Knopfe einer positiv geladenen Leidnerflasche berührt und hernach Pörlappsaamen aufstreut, erhält man eine Figur, in welcher sich Nestchen zeigen, die aus aufgehäuften Staub bestehen, und in ihrer Mitte eine, vom Staube beinahe freie Furche besitzen; rings um die Nester erscheint ein kleiner von Stäubchen freier Raum. Durch diese Nester oder Strahlen wird der Weg angezeigt, den die Elektrizität längs der Harzfläche eingeschlagen hat.

Diese Eigenthümlichkeit, welche nur in besonders ausgebildeten Figuren zu erkennen, und in der von Lichtenberg gegebenen Abbildung der im luftverdünnten Raume erzeugten Staubfigur ebenfalls zu sehen sind<sup>22)</sup>, erklärt Schneider folgendermaßen. Sobald man den Staub auf die Oberfläche gestreut hat, wird sich derselbe in kurzer Zeit zu der genannten Figur zusammenhäufen. Die beiden Ränder des von der Elektrizität gefüllten schmalen Streifens reißen den sie von außen umgebenden Staub deshalb mit größerer Leichtigkeit und Gewalt an sich als die mittleren Partien, weil sie demselben näher liegen; die in der Mitte befindliche Elektrizität wirkt um so schwächer nach außen, je weiter sie vom Rande entfernt ist. Dadurch entsteht die früher erwähnte, den Ast in der Mitte durchziehende, beinahe von jedem Staube freie Furche. Nicht selten erhält man aber auch

<sup>21)</sup> Jacobus Schneider. De figuris electricis. Dissertatio etc. Cum tabula lithographica. Bonnae 1840.

<sup>22)</sup> Comment. post. Tab. I. — Deutsche Ausgabe. Zweite Abth. Tafel VI und VII.

Figuren, deren Nistchen solcher Furche oder Kanäle enthalten. Der Umstand, daß die Furchen sich nicht bis zum äußersten Ende der Niste hinziehen, ist ebenso zu erklären.

Bläst man mit einem kleinen Blasbalg oder mit dem Munde den Staub auf der Oberfläche an, so bleibt außer an den elektrischen Orten nirgends Staub liegen. Hierdurch kommt eine Figur zum Vorschein, welche den Weg, den die Elektrizität genommen hat, anzeigt; es sind aber dann keine Furchen in den Nisten bemerkbar, da der so aufgewirbelte Staub nun an den in der Mitte der Niste befindlichen Stellen vorübergeführt auch von diesen angezogen wird und sie ausfüllt.

Wenn man mit einem negativ elektrischen Körper die Platte berührt und dann Bärklappsaamen daraufstreut, so entsteht ein Staubkreis, den ein vom Staube fast ganz freier Raum umgibt. Betrachtet man diesen Kreis genauer, so sieht man, daß der Staub vom Umfange gegen die Mitte zu abnimmt. Den Grund dieser Erscheinung erklärt Schneider in ähnlicher Weise. Der Saum dieses den Weg der Elektrizität anzeigenden und mit derselben erfüllten Kreises zieht den um ihn herum auffallenden Staub aus den oben angeführten Gründe stärker an als die Mitte, und es entsteht so außen ein staubfreier Raum und im Innern eine Vertiefung.

Wird aber der auf der Oberfläche befindliche, bewegliche Staub angeblasen, so bleibt er nirgends liegen, außer im elektrischen Kreise, welcher den vorüberstreichenden Staub gleichmäßig anzieht. In solcher Weise erscheinen dann alle Stellen der elektrischen Kreisfläche vom Staube bedeckt und kein Punkt des gefüllten Staubkreises ist niedriger.

Die vertieften Figuren beschreibt Schneider im Wesentlichen wie folgt. Die positive Figur erscheint mit staubleeren Strahlen oder Nisten geziert, welche manchmal durch eine schmale, bestäubte Längsrippe in der Mitte ausgezeichnet sind, die negative als leerer Kreis mit einem im Centrum befindlichen kleinen Staubkern, der jedoch fast nie vermischt wird. Da, wie aus der Anordnung beim Versuche hervorgeht, der Staub ebenso wie der Harzkuchen elektrisirt wird, so müssen innerhalb der Figur, in Folge der Abstossung gleichnamiger Elektrizitäten, leere Stellen da auftreten, wo sich bei der ersten Erzeugungart Staub aufhäuft. Die Entstehung der Rippen und des Staubkernes läßt Schneider unerklärt.

Im zweiten Theile der genannten Schrift gibt derselbe ein abgeändertes Verfahren an, Staubfiguren herzustellen. Man lade eine zerlegbare, am besten mit kreisrunden Belegen versehene, horizontal aufgestellte Franklin'sche Tafel. Nach geschehener Ladung entferne man die obere Metallplatte und bestreue die Glas-tafel mit Bärklappsaamen. Sodann entlade man die Tafel, indem man den einen Knopf des Ausladers mit der unteren noch nicht entfernten Belegung und den anderen mit der Mitte der oberen bestreuten Glasfläche in Berührung bringt. Ist die Entladung vor sich gegangen, so erscheint eine schöne elektrische Figur auf der Glas-tafel, welche fast die Größe der abgehobenen Belegung hat, und zwar eine negative, wenn die obere Seite positiv, eine positive, wenn sie negativ geladen war. Die beiden Figuren können nach Schneider auch gleichzeitig erhalten werden, also entweder auf der oberen Seite die negative, auf der untern die positive oder umgekehrt. In diesem Falle müssen beide Seiten der Tafel mit Staub bedeckt werden.

Ein bedeutendes Interesse hat die so entstehende, negative Staubfigur, von welcher der Genannte eine Abbildung beischloß. In der Mitte derselben befindet sich ein beinahe staubleerer Kreis, der von Staub umgeben ist und im Centrum etwas Staub zeigt. Von einem einzigen Punkte des Kreises gehen einige staubleere, durch verschiedene Krümmungen und mehrfache Verzweigungen charakterisirte, schmale Niste aus. Sie sind scharf begrenzt und auf beiden Seiten von Staub umgeben, der nach außen zu allmählich abnimmt und endlich sich ganz verliert; sodann folgt dichter Staub, der in den gleichmäßig bestäubten Grund, auf welchen die Figur sich bildet, übergeht oder die einzelnen Theile derselben scheidet.

Die Form dieser Figur erinnert auch an die merkwürdigen laubförmigen Verästelungen, welche Lichtenberg's negative Figur so deutlich zeigt<sup>23)</sup>, so wie an das Laubwerk, welches DeLuc bei Anwendung von Platten als Zuleiter erhielt und dem er eine große Aufmerksamkeit zuwendete.<sup>24)</sup> In der von Schneider gegebenen Abbildung finden sich die charakteristischen Merkmale, welche DeLuc seiner merkwürdigen Figur

<sup>23)</sup> Comment. post. Tab. III. — Deutsche Ausgabe. Erste Abh. Tafel III.

<sup>24)</sup> Neue Ideen u. d. W. S. 403.

zuschreibt, alle getreu wieder. Sowohl die Krümmungen und Abzweigungen der einzelnen Theile, sowie die Verdickungen an den Enden sind in der genannten Abbildung zu sehen. Aus der Uebereinstimmung in der Form der Figuren und in der Anordnung des Experimentes geht hervor, daß die von Schneider genau beschriebene Figur mit jener Deluc's identisch ist.

Wie schon vorhin bemerkt wurde, erhält man bei negativer Ladung der oberen Metallplatte auf der von dieser berührten Glasfläche eine positive Figur, welche den von der Belegung eingenommenen Raum ausfüllt. Diese besteht aus einem in dem vom Auslader berührten Orte sich bildenden kleinen Kreise, von welchem viele Strahlen ausgehen und sich in ihrem Verlaufe mehrfach theilen.

Die beiden letzterwähnten Figuren werden von Schneider als bis dahin nicht beobachtete Erscheinungen vorgeführt. Ihre Herstellung wurde ihm von Prof. Plücker, seinem damaligen Lehrer zum Behufe der Veröffentlichung mitgetheilt.

In der vom dänischen Regimentschirurgen Friedr. Saxtorph herausgegebene Elektrizitätslehre findet sich zuerst eine Andeutung über die Erzeugung elektrischer Zeichnungen, welche im Gegensatz zu den Staubfiguren elektrische Staubbilder genannt werden und deren Studium vom wesentlichen Nutzen für die Theorie der Lichtenberg'schen Figuren ist.<sup>25)</sup> Doch erst Mas-son hat 1843 ähnliche Versuche mit Münzen und Medaillenformen angestellt und einen Umstand hervorgehoben, der beachtenswerth schien. Wurde nämlich die auf eine Harzplatte gelegte Münze positiv elektrifirt, so nahmen die Stellen, welche mit den erhabenen Theilen der Münze in Berührung standen, nach dem Abheben und Bestäuben mit Mennige dieses Pulver an und es entstand so ein Abbild der Münze. Bei Anwendung von negativer Elektrizität blieben die erwähnten Stellen unbestäubt.<sup>26)</sup>

Rieß machte schon im Jahre 1838 die Erfahrung, daß der über die Oberfläche von Glas oder Glimmer entlang gehende elektrische Entladungsfunkel aus-

<sup>25)</sup> Elektrizitätsläre, 2 Dl. Kiöbnh. 1802—3. — Deutsch von B. Fangel, 2 Bde. Kopenh. 1803—4. 1. Bd. 487.

<sup>26)</sup> A. Ph. Masson. Sur la formation d'une certaine classe d'image au moyen de l'étincelle électrique. — Sur la formation des images de Moser. (Compt. rend. de l'Acad. de France 1843. T. 16.)

nehmend regelmäßige und zierliche Streifen zurückläßt, welche auf Glimmer und unter gewissen Umständen auch auf Glas mit farbigen Säumen umgeben sind und dann elektrische Farbstreifen genannt werden.<sup>27)</sup> Außer diesen Streifen lassen sich auf der Oberfläche der genannten Körper noch andere Stellen als durch die Entladung verändert erkennen. Sie erscheinen beim Anhauchen als eigenthümlich verästelte Figuren, die spiegelhell auf dem vom Hauche getrübbten Grunde stehen. Besonders auf Glimmer erhielt Rieß um die Ansatzstelle der Spitzen des Entladungsapparates regelmäßige von der Peripherie eines Kreises ausgehende Verästelungen, die er als sehr schöne Lichtenberg'sche Figuren bezeichnete und vier Jahre später mit dem Namen elektrische Hauchfiguren belegte.<sup>28)</sup>

Durch die Analogie der Hauchfiguren mit den im Jahre 1842 von Moser entdeckten Lichtbildern zu ähnlichen elektrischen Versuchen angeregt, fand G. Karsten gegen Ende des genannten Jahres eine weitere Art elektrischer Zeichnungen, die sogenannten elektrischen Hauchbilder<sup>29)</sup>. Eine Münze wurde auf eine Spiegelglasplatte gelegt, die auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte ruhte; nachdem während hundert Umdrehungen der Scheibe einer Elektrirmaschine Funken vom Conductor zur Münze und von dieser zur Metallplatte schlugen, wurde die Münze abgehoben. Die Platte gab angehaucht einen vollständigen, bis in die kleinsten Details getreuen Abdruck der Münze. Es ist wichtig zu bemerken, daß die Genauigkeit der Abbildung sehr gefördert wird, wenn aus der Münze Funken auf das Metallblech überschlagen; entweicht die Elektrizität langsam aus der Münze so erscheinen die Bilder undeutlich. Um auf polirten Metallplatten Hauchbilder herzustellen, mußte zwischen der Münze und der Platte ein geöltes Papierblatt angebracht werden. Sicherer gelingen die Bilder, wenn man, wie Karsten später angab, ein dünnes Glimmerblättchen als Zwischenkörper benützt;<sup>30)</sup> 15 bis 20 Umdrehungen der Scheibe der

<sup>27)</sup> Rieß. Ueber die Erwärmung im Schließungsbogen der elektrischen Batterie. (Pogg. Ann. d. Ph. u. Ch. 43. Bd. S. 47.) — Die betreffende Stelle findet sich auf Seite 84.

<sup>28)</sup> Repertorium der Physik. 6 Bd. 1842. S. 180.

<sup>29)</sup> Gustav Karsten. Ueber elektrische Abbildungen. (Erste Abh. Pogg. Ann. 37. Bd. S. 492.)

<sup>30)</sup> G. Karsten. Ueber elektrische Abbildungen. (Zweite Abh. Pogg. Ann. 58. Bd. S. 115.)

Elektrifirmaschine genügen zur Hervorrufung eines scharfen Hauchbildes, wenn hierbei häufig Funken von der Münze zur Platte überspringen.

Karsten nennt Hauchbilder, welche durch Zuführung positiver Elektrizität gebildet werden, negativ elektrische und solche, die durch Zuführen negativer Elektrizität erzeugt werden, positiv elektrische Bilder, da ihr Entstehen der auf der Platte gebundenen Elektrizität zuzuschreiben ist. Ein Unterschied beider Arten von Bildern läßt sich nach ihm bei Anwendung von Wasserdämpfen zur Hervorrufung nicht erkennen; die ungetrübten Stellen der Platte entsprechen stets den erhabenen Theilen des Modells. Wendet man zur Fixirung der Bilder Jod- und Quecksilberdämpfe an, so läßt sich wohl ein Unterschied zwischen ihnen herausfinden, indem die negativ elektrischen den Eindruck einer vertieften, die positiv elektrischen den einer erhabenen Münze machen, doch schlagen diese Merkmale häufig um und scheinen mehr mit der Quantität als mit der Qualität der gebrauchten Elektrizität im Zusammenhange zu stehen.

Eine spätere Abhandlung Karsten's, welche sich hauptsächlich mit dem Zusammenhange der elektrischen Bilder der Moser'schen Lichtbilder und der Knorr'schen Thermographien beschäftigt, enthält die Bemerkung, daß die vom Hauche ungetrübten, also scheinbar nicht von den Wasserdämpfen beschlagenen Stellen der elektrischen Bilder, eigentlich die Dämpfe noch viel stärker condensiren und so durch ein Ineinanderfließen der kleinen Tropfen sich mit einer fast zusammenhängenden Wasserschichte überziehen.<sup>31)</sup>

Elektrische Bilder, welche auf zwei Messingplatten erzeugt worden waren, kamen, wie Karsten fand, auch zum Vorschein, wenn die Platten mit den beiden Polen eines Calorimotors leitend verbunden und in eine schwache Kupfervitriollösung gebracht wurden, so daß eine Zersetzung der genannten Lösung eintretet. Am Sauerstoffpole erschien das Bild nur schwach, aber es war wenigstens so viel ersichtlich, daß die den erhabenen Theilen des Objectes entsprechenden Stellen des Bildes stärker angegriffen wurden. Am Wasserstoffpole dagegen schlug sich das Kupfer an diesen Stellen nieder, und es entstand ein rothes Bild auf gelbem Grunde.

<sup>31)</sup> G. Karsten. Ueber elektrische Abbildungen. (Dritte Abh. Pogg. Ann. 60. Bd. S. 1 u. ff.)

Auch durch bloßes Eintauchen in eine sehr verdünnte Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd konnte das auf einer Messingplatte erzeugte elektrische Bild sichtbar gemacht werden, indem das Silber der Lösung auf den oben genannten Stellen stärker gefällt wurde, als auf den übrigen Theilen der Platte.

Aus der kräftigeren Einwirkung der den erhabenen Theilen entsprechenden Stellen des Bildes auf Wasserdünste und Metallsalze schließt Karsten, daß durch den Prozeß der Bildererzeugung irgend welche Reinigung der Platte verursacht werde.

Den erwähnten Zeichnungen schloß sich 1846 noch eine Entdeckung von Rieß an, die sogenannten elektrolytischen Bilder.<sup>32)</sup> Wird die stumpfe Spitze einer Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Papier gestellt, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, so entsteht unter der Spitze ein brauner Fleck, wenn man die Nadel positiv, aber kein Fleck, wenn man sie negativ elektrisirt. Durch aufeinanderfolgende Anwendung von positiver und negativer Elektrizität in beliebiger Ordnung bleibt dennoch die Färbung durch positive Elektrizität zurück; auch dann, wenn die Menge der negativen Elektrizität bei Weitem überwiegend ist gegen jene der positiven.

So wurde den Lichtenberg'schen Figuren im Verlaufe der Zeit eine Reihe von Experimenten an die Seite gestellt, welche mit Einschluß der bereits früher entdeckten Priestley'schen Ringe alle das Gemeinsame hatten, entweder unmittelbar oder mittelbar eine sichtbare und längere Zeit andauernde Spur der Elektrizität zu erhalten.

Im Jahre 1846 legte Rieß der Berliner Akademie der Wissenschaften eine ziemlich umfangreiche Abhandlung vor, in welcher nebst historischen und kritischen Bemerkungen eine Reihe von theils neuen, theils abgeänderten Versuchen enthalten sind, die sich auf alle früher genannten Arten von elektrischen Zeichnungen beziehen.<sup>33)</sup> Von diesen Versuchen beschäftigten sich 6 unmittelbar mit den Staubfiguren, 8 mit den Staubbildern, 6 mit den Hauchfiguren und 10 mit den Hauchbildern, ferner 2 mit den elektrolytischen

<sup>32)</sup> Rieß. Elektrolytische Bilder. (Pogg. Ann. 67. Bd. S. 135.)

<sup>33)</sup> Rieß. Ueber elektrische Figuren und Bilder. In den Abhandlungen der kön. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Aus dem Jahre 1846. S. 1—50.

Bildern. Außerdem enthält diese Schrift eine kurze Bemerkung über unechte Hauchbilder, eine Classification der elektrischen Zeichnungen und eine neue Erklärung der Formverschiedenheit positiver und negativer Staubfiguren.

Die Resultate dieser Arbeit sind folgende. Zunächst wird nochmals mit Bestimmtheit der elektrische Zustand der Harzfläche an der die Figur bildenden Stelle darge-  
gethan. Auf den gegenüber liegenden Flächen einer beiderseitig mit schwarzem Pech überzogenen Kupferplatte wurde die gleichzeitige Bildung beider Arten von Figuren veranlaßt. Durch Vorüberführen je einer der beiden Flächen an einer Weingeistflamme verlor die von der Flamme getroffene Stelle die Fähigkeit, die Staubtheilchen des Villars'schen Gemenges anzuziehen, während die gegenüber liegende Fläche diese Eigenschaft nicht einbüßte. Um beiden Flächen die Fähigkeit zu benehmen, nach der Elektrisirung Figuren zu bilden, müssen auch beide an der Flamme vorübergeführt werden.

Weiters hat Rieß durch zwei sich gegenseitig kontrollirende Versuchsmethoden gezeigt, daß unter sonst gleichen Umständen der Flächenraum der positiven Figur ungefähr siebenmal größer ist als jener der negativen.

Von den ferneren Untersuchungen, welche sich mit den anderweitigen elektrischen Zeichnungen beschäftigen, mögen diejenigen Ergebnisse hervorgehoben werden, welche für die Theorie der Staubfiguren von unmittelbarem Interesse sind. Bei Anwendung von positiver Elektrizität sind die Staubbilder roth, bei Anwendung von negativer Elektrizität gelb gefärbt. Der elektrische Zustand der von den erhabenen Theilen des Stempels oder der Münze berührten Stellen ist also entgegengesetzt dem elektrischen Zustande des angewendeten Modells. Diesen im Vergleiche zu den Staubfiguren wichtigen Unterschied erklärt Rieß dadurch, daß die dem Stempel mitgetheilte Elektrizität durch Zufluenz an der Oberfläche der Platte die ihr entgegengesetzte Elektrizität erregt und zwar am stärksten dort, wo sie der Harzfläche am nächsten ist, also an den von den erhabenen Theilen des Stempels berührten Stellen, und wo die Elektrizität selbst am stärksten auftritt, also an den Rändern. Unter gewöhnlichen Umständen treten Bilder und Figuren gleichzeitig auf, da der Uebergang der Elektrizität auf die Harzfläche nicht ganz zu verhindern ist. Vollkommen reine Bilder er-

hielt Rieß unter dem Recipienten der Luftpumpe bei einer Verdünnung bis auf 3 Linien Druck.

Auf Grund dieser und anderer Erfahrungen, welche Rieß bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die elektrischen Staubbilder gemacht hatte, sucht derselbe die älteren Hypothesen, womit die Verschiedenheit der entgegengesetzt elektrischen Figuren bis dahin erklärt wurde, zu widerlegen. Bei allen Versuchen verging eine Minute oder mehr, ehe die Pechplatte nach Abnahme des Stempels bestäubt wurde, und dennoch zeigten sich gleiche und gleich scharfe Bilder, von welcher Elektrizitätsart sie auch herrühren mochten. Nirgends fand sich in dem eigentlichen Bilde eine strahlige Ausbreitung der positiven oder eine rundliche der negativen Elektrizität, nirgends waren die geraden Linien der Umrisse im geringsten gestört. Hieraus folgert Rieß: Wären die Formverschiedenheiten der beiden Staubfiguren Eigenthümlichkeiten der beiden Elektrizitätsarten, so hätte sich hier die Neigung zu denselben zeigen müssen; würde eine Elektrizitätsart von der Luft oder der isolirenden Platte besser geleitet als die andere, wie Tremery annahm, so hätte sich ein solcher Unterschied in verzerrten Dimensionen der Bilder bemerkbar gemacht.

Rieß gelangte nun zu dem Schlusse: Elektrische Staubfiguren entstehen nur dann, wenn Elektrizität durch eine discontinuirliche Entladung an eine isolirende Platte gekommen ist. Das Medium wird daher auf dem Wege der Entladung mit Hestigkeit nach allen Seiten fortgeschleudert. Aus Faraday's Versuchen läßt sich nun folgern, daß die isolirende Platte durch die mit den ersten Partialentladungen gegen sie getriebene feuchte Luft negativ elektrisirt wird. Auf einer an und für sich elektrischen Platte muß sich aber die nachströmende Elektrizität verschieden ausbreiten, je nach dem sie selbst positiv oder negativ ist. Im ersten Falle wird ein leichtes Ausbreiten stattfinden, im letzteren aber ein Zurückdrängen und Eindämmen.

So ließe sich in der That die größere Ausdehnung der positiven Figur gegenüber der negativen erklären. Rieß sucht hierin auch den Grund der Formverschiedenheit, was jedoch nicht so leicht einzusehen ist.

Im Jahre 1856 sind zwei Abhandlungen, welche in dieses Gebiet gehören, zu verzeichnen.

Die erste von Prof. R. Böttger enthält Anweisung zur Erzeugung von Staubfiguren in verschiedenen Farben auf Scheiben, die aus weißem, rothem

oder schwarzem Siegellack bestehen, und hat vielmehr eine technische als theoretische Bedeutung.<sup>34)</sup>

Die zweite von Dr. J. Schneider<sup>35)</sup> beschäftigt sich nochmals mit den schon früher erwähnten von Plücker angegebenen Experimenten und mit einigen den Lichtenberg'schen Figuren verwandten atmosphärischen Erscheinungen deren Aufnahme über den Rahmen dieser Schrift hinausgehen würde. In Bezug auf den ersten Gegenstand ist zu bemerken, daß Schneider mit mehr Klarheit, als er dies in seiner Dissertation gethan hat, das Experiment und die dabei erhaltenen Figuren beschreibt, ohne aber diesmal eine Abbildung zu geben.

Er hebt dabei hervor, es könne die negative Figur sich ebensowohl in strahligen Verästelungen darstellen, als die positive. Es sei demnach unrichtig, wenn man, wie es in der Regel geschieht, als Unterscheidung der positiven von den negativen Figuren angibt, daß sich jene im Gegensatz zu diesen in strahligen Formen ausprägen. Die Aeste seiner negativen Figur sind aber, sowohl der Zahl als der Form nach, besonders in den beschriebenen Einfassungen von jenen der entsprechenden positiven Figur verschieden.

Für eine Wiederholung des Experimentes dürfte es von Interesse sein, zu hören, was Schneider weiter erzählt.

Als ihm Plücker seine neue Methode mittheilte, stellte er mit demselben Apparate, dessen sich der Entdecker bedient hatte, genau nach Angabe eine Reihe von Versuchen an, ohne jedoch die Figuren in ihrer Vollkommenheit zu erhalten. Er bekam als negative Figur stets um den Knopf des Entladens rundliche fast kreisförmige Gestalten, aus denen aber durchaus keine Strahlen oder Aeste hervorbrachen. Auch die Wiederholung mit einem andern Apparate und die Erfüllung voraussichtlich günstiger Bedingungen ergab dasselbe Resultat. Erst als die früher immer gebrauchte Vorsicht, die Glastafel zu reinigen, einmal zufällig vernachlässigt wurde, gelang das Experiment vollkommen.

<sup>34)</sup> Dr. Jac. Schneider. Ueber elektrische Figuren, mit Rücksicht auf verwandte Erscheinungen des elektrischen und magnetischen Gewitters. (Phys. Abh. 3. Progr. d. kön. Gymnasiums zu Emmerich 1833/36.) — Ueber einige elektrische Meteore. (Pogg. Ann. 98. Bd. S. 324.)

<sup>35)</sup> Rudolph Böttger. Erzeugung elektrischer (sogenannter Lichtenberg'scher) Staubfiguren in größter Vollkommenheit und in verschiedenen Farben. (Pogg. Ann. 98. Bd. S. 170.)

Eine Nachforschung in dieser Richtung führte darauf, daß das Vorhandensein einer dünnen Staubschichte auf der Glastafel vor dem Laden für das Gelingen des Experimentes wesentlich sei; mit Berücksichtigung dieses Umstandes mißlang später kein einziger Versuch.

Nach Schneider ist die Ursache des Entstehens dieser Art von Figuren in einer Elektrisirung der Glastafel zu suchen. Hat die Oberfläche des Glases eine hinlängliche Menge positiver oder negativer Elektrizität angenommen, so wird dadurch der ausschlagenden ungleichnamigen Elektrizität nach allen Seiten gleichsam der Weg gebahnt. Die Wirkung der Staubschichte besteht nun nach seiner Auffassung darin, daß sie den Uebergang der Elektrizität der Metallplatte auf die von ihr berührte Gasfläche vermittelt.

Der von Rieß ausgesprochene Satz: Elektrische Staubfiguren entstehen nur dann, wenn Elektrizität durch eine diskontinuirliche Entladung an eine isolirende Platte gekommen ist, so wie die von ihm gegebene Erklärung, wie eine solche diskontinuirliche Entladung die Formverschiedenheit der positiven und negativen Figur verursache, veranlaßte Dr. Reitlinger in Wien eine Reihe von Versuchen anzustellen deren Ergebnisse in einer im Jahre 1860 veröffentlichten Abhandlung niedergelegt sind.<sup>36)</sup> Diese Versuche wurden nicht wie bei den vorher mitgetheilten Untersuchungen mit der ursprünglich durch Reibung erzeugten Elektrizität, sondern mit dem Ruhmkorff'schen Inductionsapparate ausgeführt.

Eine Metallspitze, welche mit dem äußeren Pole der Inductionsvolle eines gewöhnlichen Ruhmkorff-Apparates in leitender Verbindung stand, sonst aber isolirt war, wurde während der Wirksamkeit des Apparates einen Harzkuchen genähert. Bestäubt man eine in solcher Weise gebrauchte Harzscheibe nachher mit dem Villarsy'schen Gemenge, so entstehen ebenfalls Staubfiguren, welche zwar im Allgemeinen complicirt ausfallen, bei bestimmter Entfernung der Spitze von der Harzplatte aber vollkommen rein erhalten werden können. Ist nämlich die Spitze mit der Platte in Berührung und der inducivende Strom so geschlossen, daß

<sup>36)</sup> Dr. Edm. Reitlinger. Zur Erklärung der Lichtenberg'schen Figuren. (Sitzb. der kais. Acad. d. Wissensch. zu Wien. 41. Bd. S. 358—376.)

die Spitze an einem Elektroskope Anzeigen von positiver Elektrizität gibt, so erhält man eine gelbe, sonnenähnliche Figur mit einem unbestäubten Kreise im Innern, der einen kleinen rothen Kreis concentrisch einschließt, also eine vorwiegend positive Staubfigur. Die entgegengesetzte Schließung liefert einen rothen Ring, der außen noch von kurzen Strahlen umgeben ist und im Innern eine gelbe von unbestäubten Rändern begrenzte Figur einschließt, deren Strahlen sich theils in gerader Linie vom Centrum entfernen, theils von der geraden Linie abgelenkt das Centrum in sich erweiternden Kreisen umwinden. Diese Complicationen werden hier, wie leicht einzusehen ist, durch die Intermittenz des Stromes bewirkt, ähnlich wie bei den früher erwähnten Methoden die ableitende Berührung während der Abnahme des Leiters die Bildung der Kerne zur Folge hat.

Reine positive und negative Figuren erhält man, wenn die Drahtspitze gerade so hoch über der Platte aufgestellt wird, daß nur mehr die durch den Dessnungsstrom erzeugte Spannungs-Elektrizität des Poles den Zwischenraum überspringen kann.

Dr. Reitlinger erblickt in dieser Thatsache eine Bestätigung der Poggendorff'schen Theorie des Inductions-Apparates.<sup>37)</sup> Die reinen Figuren werden folgendermaßen beschrieben. Bei positiver Elektrizität erhält man einen gelben Stern mit aus dem Centrum nach allen Seiten geradlinig sich entfernenden Strahlen, deren gelber Staub nicht in der Mitte selbst, sondern in einem das Centrum umschließenden Kreise die größte Dichtigkeit besitzt. Bei negativer Elektrizität bekommt man eine rothe Scheibe, deren Staub ebenfalls nicht im Centrum, sondern in einem dasselbe umschließenden Kreise am dichtesten gelagert ist. Da bei gleicher Dauer der elektrischen Einwirkung der Drahtspitze die einzelnen Dimensionen der mit dem Ruhmkorff-Apparate erhaltenen Figuren bei wiederholter Schließung derselben Kette nahezu gleich sind, so ist diese Elektrizitätsquelle für gewisse Versuche besonders gut geeignet.

Unter Anwendung dieses neuen Hilfsmittels wiederholte nun Reitlinger zunächst die schon von Lichtenberg und später von Rieß angestellten Versuche, Staubfiguren im luftverdünnten Raume zu er-

zeugen. Während Lichtenberg, wie schon erwähnt, nebst der Vergrößerung ein Aehnlichwerden der positiven und negativen Figur fand, gibt Rieß an, bei starker Verdünnung der Luft (bis auf 2–3 Lin. Druck) keine Art von Zeichnung mehr bekommen zu haben. Die Drahtspitze hinterließ nur einen Punkt auf der Pechfläche, der bei positiver Elektrizität roth, bei negativer gelb gefärbt war und nach Rieß als durch Influenz-Elektrizität gebildet erklärt werden müsse.

Reitlinger legte der von Lichtenberg ange deuteten Vergrößerung eine höhere Bedeutung bei und constatirte das wichtige Gesetz, daß sich sowohl die positive als negative Staubfigur im luftverdünnten Raume in ihrem Umfange wie auch in allen einzelnen Theilen ausbreite, und daß die Vergrößerung im umgekehrten Verhältnisse zum Barometerstande oder im geraden Verhältnisse zur Luftverdünnung stehe. Die veröffentlichten Beobachtungsergebnisse zeigen zwar eine nicht unbedeutende Fehlergrenze, doch läßt sich das Gesetz recht gut erkennen. Aus dem Reitlinger'schen Gesetze der Vergrößerung geht aber zugleich hervor, daß man sehr leicht zu irrigen Schlüssen verleitet werden könne, wenn man gleich eine zu starke Verdünnung in Anwendung bringt, indem der innere von den Strahlen eingeschlossene Kreis bereits eine Ausdehnung erlangen kann, welche die Größe der Harzplatte überschreitet. Daß Aehnliches bei den Versuchen von Rieß eingetreten sei, läßt sich aber umsomehr annehmen, als derselbe ziemlich kleine Harzplatten benützte. Es erklärt sich nun auch ganz leicht, warum Rieß bei großer Luftverdünnung reine Staubbilder ohne Beimengung von Staubfiguren erhalten konnte.

Das Reitlinger'sche Gesetz, welches die Abhängigkeit der Größe der Staubfiguren von der Luftverdünnung ausspricht, ist genau dasselbe, welches Snow Harris für die Vergrößerung der Schlagweite bei Luftverdünnung fand. Da die Schlagweiten auch in verschiedenen Gasen verschieden sind, so lag die Vermuthung nahe, daß auch die Staubfiguren in Gasen von verschiedener materieller Beschaffenheit Unterschiede in Form und Größe zeigen würden, und zwar stand zu erwarten, daß die Größe der Figuren jener der Schlagweiten, ebenso wie bei der Luftverdünnung, proportional sein werde. In der That fand Reitlinger bei Versuchen mit getrocknetem Wasserstoffgas, welches nach Faraday im Vergleiche zu ge-

<sup>37)</sup> J. C. Poggendorff, Beitrag zur Kenntniß der Inductionsapparate und deren Wirkungen. (Pogg. Ann. 94. Bd. S. 289 u. ff.)

wöhnlicher Luft die auffallendste Vergrößerung der Schlagweite zeigt, diese Vermuthung bestätigt. Selbst nach einer anderen Seite ließ sich eine Uebereinstimmung der beiden Erscheinungen erkennen. Die Lichtenberg'schen Figuren sind unter sonst gleichen Umständen nicht nur größer als in atmosphärischer Luft, sondern auch regelmäßiger, reicher und in ihrem positiven Theile bei Weitem verästelter. Die auffallend schön geformten gelben Verästelungen bieten einen prachtvollen Anblick dar, und erinnern an die sehr schönen Verästelungen des elektrischen Büschels, deren Faraday erwähnt.<sup>38)</sup>

Aus der Uebereinstimmung, welche die Staubfiguren mit den unter ähnlichen Verhältnissen auftretenden elektrischen Lichterscheinungen zeigen, schloß nun Reitlinger, daß die Lichtenberg'schen Figuren auf indirecte Weise die Art der Bewegung der elektrisirten Lufttheilchen sichtbar machen, welche, wie Plücker bei anderer Gelegenheit nachwies, in der That verschieden ist, je nachdem die Lufttheilchen von einem positiv oder negativ elektrisirten Leiter fortgeführt werden.

Reitlinger begnügte sich jedoch nicht mit bloßen Analogien, sondern suchte die Frage mit Evidenz zu entscheiden. Da Poggendorff elektrische Lichterscheinungen unter ähnlichen Bedingungen erzeugt hatte, unter welchen Lichtenberg'sche Figuren entstehen,<sup>39)</sup> so ist es vor allem nothwendig, diese zu berücksichtigen.

Poggendorff legte eine Glasplatte auf eine Metallscheibe, die mit einem Pole des Inductions-Apparates in Verbindung stand, und näherte eine mit dem anderen Pole verbundene Drahtspitze der unbelegten Fläche des Glases. War die Spitze bis auf einige Linien der Glastafel nahe gebracht, so ging ein ununterbrochener schwach leuchtender Funkenstrom auf dieselbe herab. Bei einer weiteren Annäherung der Spitze, etwa bis auf ein Viertel einer Linie wurden die Funken nicht nur heller, sondern sie zerstoben auch auf dem Glase nach allen Richtungen, dabei eine fein geäderte Figur erzeugend, ähnlich der Lichtenberg'schen Figur von positiver Elektricität gebildet. Zwar konnte Poggendorff keinen Unterschied in der Gestalt beobachten, wenn

der inducirende Strom einmal in der einen, das zweitemal in der entgegengesetzten Richtung geschlossen war, sondern bloß eine größere Ausdehnung der Figur bei Positivität der Spitze; allein nach den früher erwähnten Versuchen Reitlingers hätte er, bei dieser Annäherung der Spitze auch auf dem Harzstücken die zwei gemischten Figuren erhalten müssen, welche beide mit positiven Zacken begrenzt sind.

Ähnliche, hierher gehörige Experimente stellte auch Du Moncel an.<sup>40)</sup> Wenn derselbe zwei mit den Polen seines Ruhmkorff-Apparates verbundene Drahtspitzen einer Wasserfläche so weit näherte, daß ein continuirlicher Funkenstrom überging, so sah er an den Polen zwei der Größe und Gestalt nach verschiedene Lichterscheinungen. Du Moncel fügte der Veröffentlichung seiner Versuche die Abbildung dieser Erscheinungen bei, ohne jedoch eine nähere Beschreibung derselben zu geben oder sich auf eine Vergleichung mit den Staubfiguren einzulassen.

Reitlinger, welcher durch wiederholte Versuche mit allen einzelnen Theilen der vom Ruhmkorff-Apparate erzeugten gemischten Staubfiguren, mit ihren je nach den Polen völlig charakterisirten Eigenthümlichkeiten und ihren relativen Größen so vertraut geworden, erkannte alsbald in den genannten Abbildungen die Identität der Lichterscheinungen Du Moncel's mit den Lichtenberg'schen Figuren. Indem er dessen Versuche wiederholte, überzeugte er sich, daß man bei passend gewählter Entfernung der Spitzen von der Wasserfläche den reinen Charakter positiver oder negativer Figuren auch in diesen Lichterscheinungen erhalten kann. Am negativen Pole sieht man einen kleinen Lichtkegel, der mit runder Basis auf der Wasserfläche aufsteht, am positiven Pole lebhaft niedersahrende, an verschiedenen Punkten eines kleinen Kreises das Wasser treffende Funken, die in fein geäderte Figuren zerstieben, welche astförmig sich radial vom Mittelpunkte des der Spitze gegenüber liegenden kleinen Kreises entfernen. Diese Versuche waren von ähnlichem günstigen Erfolge be-

<sup>38)</sup> Faraday. Experimental researches in electricity. al. 1459.

<sup>39)</sup> J. C. Poggendorff. Beitrag zur Kenntniß der Inductionsapparate und deren Wirkungen. (Pogg. Ann. 91 Bd. S. 289 u. ff.)

<sup>40)</sup> Notice sur l'appareil de Ruhmkorff par le Vicomte Theodor du Moncel. 4. ed. Paris, 1859. — Ruhmkorff's Inductions-Apparat und die damit anzustellen Versuche. Nach dem franz. Orig. des Hrn. Th. du Moncel, mit dessen Autorisation, bearbeitet von Dr. C. Bromeis und J. F. Volkemann. Frankfurt a. M. 1857. (Die Figuren befinden sich auf Seite 39.)

gleitet, als die beiden Pole des Ruhmkorff-Apparates durch die beiden Conductoren einer Winter'schen Elektrifizirmaschine ersetzt wurden.

Durch die von Reitlinger modificirten Versuche Du Moncel's ist die Gültigkeit der Hypothese, welche Rieß über die Entstehungsweise positiver und negativer Staubfiguren aufgestellt hat, mehr als zweifelhaft geworden, da bei demselben die Elektrizität auf Wasser übergeht. Auch alle anderen Versuche, welche Reitlinger unternahm, sprechen nicht dafür, daß die Formverschiedenheit beider Arten von Figuren in der negativen Elektrifizierung, der die Figur bildenden Fläche durch feuchte Luft zu suchen sei. In einem abgesperrten mit wohlgetrockneter Luft erfüllten Raume ließen sich die Staubfiguren ebenso deutlich charakterisirt herstellen, als bei den besten Experimenten in gewöhnlicher Luft.

Da Rieß seine Theorie auch auf den Lullin'schen Durchbohrungsversuch anwendete, so sah sich Reitlinger veranlaßt auch für dieses Experiment einen Anhaltspunkt zur Widerlegung zu gewinnen. Bediente er sich beim Experimente eines mit einer Schichte flüssigen Terpentins bedeckten Kartenblattes, so fand auch hier wie gewöhnlich die Durchbohrung an der negativen Spitze des Ruhmkorff-Apparates Statt, und doch hätte, wie sich aus Faraday's Resultaten über die Elektrizitäts-erregung schließen läßt, nach der Erklärung, die Rieß gibt, eine Umkehrung der Erscheinung eintreten müssen.

Plicker hatte, wie schon früher bemerkt wurde, die Verschiedenheit der Bewegung elektrisirter Theilchen des Mediums der Entladung an beiden Elektroden dargestellt.<sup>41)</sup> Aus einer großen Anzahl von höchst interessanten Beobachtungen über die Einwirkung des Magnets auf die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen, zog er den Schluß, daß die positive Elektrizität es sei, welche den Weg bis zur negativen Elektrode mache und hier die Ausgleichung bewirke. Hierauf basiert gibt Reitlinger im Zusammenhange mit den von ihm gemachten Erfahrungen folgende Erklärung über die Formverschiedenheit ungleichnamiger Lichtenberg'scher Figuren. Indem die Theilchen, welche positive Elektrizität übertragen, mit der ihnen zukommenden,

<sup>41)</sup> Plicker. Fortgesetzte Beobachtungen über die elektrische Entladung in gasverdünnten Räumen. (Pogg. Ann. 107. Bd. S. 77—113.)

gegen die negative Elektrode gerichteten Bewegung, von einer Spitze schief gegen eine Harzfläche ankommen, streiften sie vermöge der zu dieser Fläche parallelen Bewegungscomponente noch ein Stückchen an derselben fort und entfernen sich demnach radial von dem der Spitze gegenüberliegenden Punkte. Die negativ elektrisirten Theilchen, die keine eigene Bewegung besitzen, dehnen sich um die Spitze herum in einem Kreise aus.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte Reitlinger auch in seiner späteren Arbeit über den Lullin'schen Versuch<sup>42)</sup>, so daß er sich veranlaßt sah, in einem im Wiener Vereine zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse gehaltenen „Montags-Vortrage“ die von Rieß aufgestellte Ansicht über die Verschiedenheit der positiven und negativen Staubfigur nochmals zu widerlegen.<sup>43)</sup>

Eine fernere Reihe von Experimenten über die Lichtenberg'schen Figuren in verschiedenen Gasen führte zu folgenden Ergebnissen.<sup>44)</sup> Die linearen Dimensionen der in Luft, Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlensäure erzeugten Staubfiguren verhalten sich wie die Schlagweiten in diesen Gasen, wenigstens so weit man es durch die Angaben Faraday's über die Schlagweiten, die große Fehlergrenzen haben, prüfen kann. Die Configuration, namentlich der positiven Figur, ist in jedem der vier genannten Gase verschieden, und stimmt auffallend genau mit den Angaben Faraday's bezüglich des elektrischen Lichtbüschels in den betreffenden Gasen überein. Das Größenverhältniß der positiven und negativen Figur in diesen vier Gasen entspricht genau dem Größenverhältnisse der positiven und negativen Lichtbüschel, wie sie Faraday für die vier Gase angibt.

Etwa einen Monat nach der Bekanntmachung der letzterwähnten Untersuchungen Reitlingers zeigte

<sup>42)</sup> Dr. E. Reitlinger. Zur Erklärung des Lullin'schen Versuchs und einiger anderer Artunterschiede der positiven und negativen Elektricität. (Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. 51. Bd. S. 739. u. ff.)

<sup>43)</sup> Ueber die Artunterschiede der positiven und negativen Elektricität. Von Dr. E. Reitlinger. Vortrag gehalten am 21. und 28. Jänner 1861. — Abgedruckt in den Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissensch. Kenntnisse in Wien. 1. Bd. Seite 151—190.

<sup>44)</sup> Dr. E. Reitlinger. Vorläufige Note über Lichtenberg'sche Figuren in verschiedenen Gasen. (Sitzb. der kais. Akad. der Wissenschaften. 53. Bd. S. 26.)

Rieß, daß auch die Priestley'schen Ringe, von denen bis dahin eine Verschiedenheit, je nach der Richtung des sie bildenden Funkenstromes nicht erkannt worden war, dennoch einen Unterschied bemerken lassen, also in positive und negative Ringfiguren nicht bloß nach der Art ihrer Erzeugung, sondern nach bleibend sichtbaren Merkmalen zerfallen.<sup>45)</sup> Um einen solchen Unterschied zu erhalten, ist die Einschaltung eines Widerstandes in den Schließungsbogen erforderlich. In dieser Weise erhielt Rieß unter der positiven Elektrode (einer Stahlnadel, die mit der positiv elektrischen Belegung der angewendeten Leidnerflasche verbunden war) eine Ringfigur, welche aus einem gefärbten, nicht kreisrunden Kranze bestand, der eine blanke Fläche mit dunklem Mittelpunkte einschloß; Rieß nennt sie die negative Ringfigur. Unter der negativen Elektrode war eine Ringfigur entstanden, aus einer schwarzen, völlig kreisrunden Scheibe bestehend, und umgeben von einem schmalen blanken Ringe, der durch einen dunklen Kreis vom Grunde getrennt war; diese Zeichnung ist der obigen Benennung gemäß die positive Ringfigur. Von den Staubfiguren heißt die unter einer positiv elektrischen Spitze gebildete die positive, die unter der negativ elektrischen Spitze auftretende die negative; dies ist zu beachten, wenn man die Ringfiguren mit den Staubfiguren vergleichen will. Die von Rieß gewählte Bezeichnung wird von ihm dadurch gerechtfertigt, daß die Stelle einer Platte, zu der positive Elektrizität von einer Spitze durch die Luft übergeht, die negative Elektrode bildet, während die Stelle der Platte, von welcher positive Elektrizität zu einer Spitze geht, die positive Elektrode ist.

Auf die Mannigfaltigkeit der Farbe, welche die Ringe auf verschiedenen Metallen, wie durch Variation des Versuches und durch verschiedene Dauer der Einwirkung annehmen, kann hier nicht eingegangen werden. Was hervorgehoben werden muß, ist, daß Rieß die Erklärung Priestley's und Nobili's, zufolge welcher die unzweifelhafte Oxydation der Metallplatte, welche die Entstehung der Ringfiguren bedingt, der durch den Funkenstrom an dessen Eintrittsstelle im Metalle erregten Wärme zuzuschreiben wäre, nach seinen Erfahrungen nicht zulassen will, sondern zu beweisen

<sup>45)</sup> Rieß. Ueber elektrische Ringfiguren. Abhandl. d. Kön. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. 1861. S. 32. — Abhandlungen zu der Lehre von der Reibungselektrizität. Von P. Th. Rieß. Berlin, 1867. S. 248—286.

sucht, daß die Ringe durch Ozonisierung der Luft zu erklären seien.

Mit der Annahme eines elektrochemischen Prozesses, der übrigens in diesem Falle kaum bezweifelt werden dürfte, ist allerdings schon eine Verschiedenheit der Veränderung auf der Oberfläche des Metalls, je nach der Polarität der betreffenden Stellen erklärbar; minder leicht ist es, ohne Zuhilfenahme einer andern Ursache die Formverschiedenheit der Figuren einzusehen. Um auch diese erklären zu können, sieht sich Rieß genöthigt, die schon von Reitlinger angeführte und mit den Lichterscheinungen Du Moncel's im Zusammenhange stehende Bewegung elektrisirter Luft zu Grunde zu legen, doch verharret er auch hier bei der negativen Elektrisirung der Platte (?) durch die mit jeder Partialentladung gegen sie getriebene feuchte Luft. Es ist demnach das zur Erklärung der Ringfiguren gebrauchte Prinzip dasselbe, durch welches Rieß die Bildung der Staubfiguren begreiflich zu machen versuchte.

Da Rieß, ohne auch nur ein einziges Experiment Reitlinger's kritisch zu beleuchten, einfach dessen Erklärung der Staubfiguren in einer Note negirt, so fand sich Letzterer veranlaßt in einer neuen Abhandlung nochmals die einzelnen von Rieß ausgesprochenen Sätze zu widerlegen.<sup>46)</sup>

Hierauf antwortete Rieß abermals und zwar in den Poggendorff'schen Annalen in einem Zusatz zum Auszug seiner Abhandlung über die elektrischen Ringfiguren. Diese Antwort ist zwar absprechend, aber nicht entkräftigend.<sup>47)</sup>

Bei einer späteren Gelegenheit kam auch Reitlinger wieder auf die Lichtenberg'schen Figuren zurück und führte hiebei einen neuen Versuch an. Läßt man nämlich positive oder negative Elektrizität aus geringer Entfernung von einer Metallspitze auf die Oberfläche von Olivenöl überspringen, so erhält man Lichtenberg'sche Figuren.<sup>48)</sup> Die positive Figur ist sternförmig, gebildet durch Wellenberge, welche unter der Spitze zusammenstoßen, die negative Figur zeigt Wellen-

<sup>46)</sup> Dr. Edm. Reitlinger. Erläuterungen über Lichtenberg'sche Figuren. (Sitzb. d. kais. Akad. d. Wissensch. 53. Bd. S. 331 u. ff.)

<sup>47)</sup> Pogg. Ann. 114. Bd. S. 220.

<sup>48)</sup> Dr. Edm. Reitlinger und Fr. Kraus. Ueber Brande's elektrochemische Untersuchungen. (Sitzb. d. kais. Akad. d. Wissensch. 46. Bd. S. 374.)

züge, die in concentrischen Kreisen die Spitze umschließen. Die Wellenrichtungen der ersten und zweiten Figur stehen aufeinander senkrecht. Reitlinger erblickt hierin nicht mit Unrecht eine Stütze für seine Ansicht und betont die Wichtigkeit einer richtigen Theorie der Lichtenberg'schen Figuren für elektrochemische Fragen.

Mittlerweile wurde eine sehr interessante Arbeit von Prof. Rood in Troy bekannt gemacht.<sup>49)</sup> Derselbe photographirte den elektrischen Funken in einer von allen vorher angewendeten Methoden abweichenden Art und gelangte zu Resultaten, welche für die Theorie der Staubfiguren wichtig sind. Während man nämlich früher immer den Funken rechtwinklich gegen seine Bewegung photographirte, also eine Seitenansicht desselben bekam, versuchte er eine Aufnahme desselben parallel der Richtung seiner Bewegung zu bewerkstelligen, so daß die erhaltenen Bilder gleichsam Querschnitte der Funken und Büschel sind.

Die Bilder des positiven und negativen Funkens sind wesentlich verschieden und zwar zeigt sich im Allgemeinen bei den ersteren die strahlige Ausbreitung, bei den letzteren die rundliche Abgrenzung ähnlich wie bei den Staubfiguren.

Wie schon erwähnt wurde, sprach Deluc den Satz aus, daß elektrische Staubfiguren nur auf der Oberfläche isolirender Körper entstehen können. Die Richtigkeit dieses Satzes schien unzweifelhaft zu sein, denn die auf einen Leiter übergegangene Elektrizität breitet sich augenblicklich auf demselben aus, es mag dieser Uebergang in einer noch so bestimmten und charakteristischen Form stattgefunden haben, und das aufgestreute Pulver findet keine Stelle, an der es stärker haften könnte, als an allen andern.

Prof. August Kundt hat aber im Jahre 1869 gezeigt,<sup>50)</sup> daß sich unter gewissen Umständen auch auf einem Leiter elektrische Staubfiguren bilden, welche insofern den Lichtenberg'schen Figuren verwandt sind, als sie durch zurückbleibende Elektrizität verursacht werden. Sie unterscheiden sich aber von den auf Isolatoren erzeugten Staubfiguren dadurch, daß sie eine geringere

<sup>49)</sup> Silliman Journ. N. S. Vol. 33. pag. 219. — Ueber das Studium des elektrischen Funkens mittels Photographie. Von Prof. D. R. Rood in Troy, Staat New-York. (Pogg. Ann. 117 Bd. S. 593.)

<sup>50)</sup> Aug. Kundt. Ueber eine noch nicht beobachtete elektrische Staubfigur. (Pogg. Ann. 136. Bd. S. 612.)

Abhängigkeit von der Art der angewendeten Elektrizität besitzen.

Man erhält dieselben im Allgemeinen immer, wenn irgend eine elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden vor sich geht, von denen die positive eine horizontale mitycopodium oder irgend einem schlecht leitenden Pulver bestäubte, leitende Platte, die negative eine derselben gegenüberstehende Kugel oder Spitze ist. Versucht man das aufgestreute Pulver nach der Entladung von der Platte leicht wegzublasen, so bleibt dasselbe bloß an derjenigen Stelle haften, welche der Kugel oder Spitze gegenüberstand und bildet daselbst eine scharf begrenzte Kreisfläche, während es sich von den übrigen Stellen leicht entfernen läßt.

Diente hingegen die Platte als negative Elektrode, so erhält man bloß unter besonderen Bedingungen eine Staubfigur. Diese positive Figur erscheint aber ebenfalls in Gestalt eines Kreises wie die negative, somit wäre eine Formverschiedenheit zwischen den ungleichnamigen Figuren dieser Art nicht vorhanden.

Die Größe des Staubkreises variierte bei Kundt's Versuchen, je nach den sie begleitenden Umständen zwischen 10 und 200<sup>mm</sup>. Unter gleichbleibenden Bedingungen ist sie jedoch so constant, daß den Resultaten der Messung solcher Staubkreise eine praktische Bedeutung für das Studium der Elektrizitätsentladung zuerkannt werden muß.

Das Haften des Pulvers erklärt Kundt durch die Elektrizität, welche in dem isolirenden Pulver nach dem Versuche zurückbleibt; die Form dieser Staubfiguren läßt er aber unerklärt.

In jüngster Zeit hat Prof. v. Bezold in München drei in dieses Gebiet fallende Abhandlungen veröffentlicht.

Die erste enthält eine neue Methode Staubfiguren zu erzeugen.<sup>51)</sup> Die damit erhaltenen Figuren selbst sind aber ihrer Gestalt nach nicht neu, wie Bezold angibt, sondern fallen mit jenen von Reitlinger dargestellten Staubfiguren zusammen, sind also in der That bloß modificirte Lichtenberg'sche Figuren.

Schon Du Moncel hatte gezeigt,<sup>52)</sup> daß zwischen

<sup>51)</sup> W. v. Bezold. Ueber eine neue Art elektrischer Staubfiguren. (Sitzb. d. kön. bair. Akad. d. Wissensch. 1869. II. S. 145 u. ff.)

<sup>52)</sup> Ruhmkorff's Inductions-Apparat etc. Deutsch von Dr. C. Dromeis und J. F. Bockelmann. Seite 56 u. ff.

zwei einseitig belegten Glasplatten, deren unbelegte Flächen einander genähert wurden, eigenthümliche Lichterscheinungen zu beobachten sind, wenn die Belegungen mit den Polen eines in Thätigkeit befindlichen Ruhmkorff-Apparates in Verbindung stehen. Liegen die Glastafeln horizontal und sind sie einander genügend nahe gebracht, so werden Metallfeilspäne, welche man auf die untere Tafel gestreut hatte, zwischen beiden herumgeschleudert.

Bezold ersetzte das Metallpulver durch Bärlappsaamen und erhielt so die erwähnten Staubfiguren. Die mit dem negativen Pole verbundene Platte war mit kleinen Kreisen bedeckt, welche sich als staubfreie Flächen lebhaft von dem dicht bedeckten Grunde abhoben; bei manchen derselben befand sich in der Mitte ein kleines Häufchen Staub. Die mit dem positiven Pole in Verbindung gebrachte Platte zeigte gar keine staubfreien Stellen, sondern nur kleine solide Kreise und darüber Sternchen. Es wird noch bemerkt, daß die Figuren einen ganz verschiedenen Charakter annehmen, je nachdem man einen oder mehrere Entladungsschläge durch das System gehen läßt.

In der zweiten Abhandlung<sup>53)</sup> gibt Bezold an, daß man jene Figuren, welche er zuerst nur durch eine Reihe von Schlägen erhielt, auch mit einem einzigen hinreichend verstärkten Entladungsschlag herstellen könne. Es gelang seinen weiteren Bemühungen auch mit dem Ruhmkorff nach der gewöhnlichen Lichtenberg's-

<sup>53)</sup> W. v. Bezold. Elektrische Staubfiguren als Prüfungsmittel für die Art der Entladung. (Sitzb. d. kön. bair. Akad. d. Wissensch. 1869. II. S. 371.)

sehen Methode alle Uebergangsfiguren seiner Methode herzustellen. Dabei zeigte sich, daß diese Figuren einen vollkommen verschiedenen Charakter annehmen, je nachdem eine einfache oder alternirende Entladung eintrat. Reitlinger's Facharbeit scheint also Bezold nicht bekannt gewesen zu sein, so wie auch Lichtenberg's Anweisung Staubfiguren zu fixiren; er hätte sich sonst manches, was ihm zu finden gelang, leichter erwerben können.

Die verschiedenen Versuche, durch welche Bezold nachweist, daß einfache Entladungen auch einfache Figuren liefern, während alternirende Entladungen verwickelte, also zugleich positive und negative Figuren geben, können demnach nur mit ihrem Detail interessiren. Wichtiger erscheint hingegen die wirkliche Abbildung der fraglichen Staubfiguren, welche Bezold, nebenbei bemerkt, später mit Villarsy'schen herstellte, und zwar durch nachträgliches Aufstreuen, nachdem die Influenz-entladung zwischen den Glasplatten bereits vor sich gegangen war. Ein bedeutendes Interesse hat auch der Vorschlag, diese Staubfiguren umgekehrt zur Prüfung der Art der Entladung anzuwenden.

In der dritten Reihe von Untersuchungen<sup>54)</sup> hat Bezold selbst den schönsten Gebrauch hievon gemacht und damit zugleich dargethan, daß die Bedeutung, welche man den Staubfiguren vor einem Jahrhundert zugesprochen hat, keineswegs ungerechtfertigt war.

<sup>54)</sup> W. v. Bezold. Untersuchungen über die elektrische Entladung. (Sitzb. d. kön. bair. Akad. d. Wissensch. 1870. I. S. 113 u. ff.)