

Natürliche und künstliche Tromben.

Von

Dr. **W. Holtz.**

Hierzu Tafel I.

Das Meteor, welches man Trombe oder Wettersäule nennt, hat im Laufe der Zeiten verschiedene Deutungen erfahren, ist aber heutigen Tages noch nicht vollständig erklärt. Bald sollten Luftströmungen allein, bald elektrische Kräfte allein, bald beide zugleich jene merkwürdige Naturerscheinung erzeugen. Die erstere, die sogenannte mechanische Theorie, ist die ältere und hat von jeher die meisten Anhänger gefunden. Zu ihr bekannten sich unter Andern Franklin¹⁾, Musschenbroek²⁾, De Maistre³⁾, später Kämtz⁴⁾, Oersted⁵⁾, Belt⁶⁾, Espy⁷⁾ und in neuerer Zeit besonders Reye⁸⁾. Diese Theorie leugnet das gleichzeitige Vorhandensein elektrischer Erscheinungen nicht, aber erklärt dieselben für sekundäre Wirkungen, welche die Haupterscheinung zufällig begleiten, oder aus derselben folgen. Die zweite, die so-

1) Franklin's Werke, Th. 2. S. 32.

2) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1684.

3) Biblioth. univers. de Genève, T. 3. p. 226.

4) Kämtz, Meteorologie, Th. 2. S. 544.

5) Schumacher's Jahrb. 1838. S. 228.

6) Phil. Magaz. 4. Ser. V. 17. p. 47.

7) Espy, Report on Meteorol. 1851 u. 1857.

8) Reye, Wirbelstürme u. s. w. 1872.

genannte elektrische Theorie, betrachtet umgekehrt die elektrischen Wirkungen als die primären, aus welchen die übrigen Erscheinungen folgen. Zu ihr bekannten sich unter Andern Beccaria¹⁾, Cavallo²⁾, Horner³⁾, Pohl⁴⁾, Hare⁵⁾ und namentlich Peltier⁶⁾, endlich Becquerel⁷⁾ und Riess⁸⁾. Die Mischtheorie hat weniger entschiedene Anhänger gefunden, doch spricht sich unter Andern Muncke⁹⁾ mit Vorliebe für dieselbe aus.

Die elektrische Theorie hat in letzter Zeit sehr an Gewicht verloren, vielleicht schon deshalb, weil man der atmosphärischen Elektrizität gegenwärtig überhaupt geringere Aufmerksamkeit zu schenken pflegt, aber mehr noch, weil die mechanische Theorie allmählich und zuletzt namentlich durch Reye so weit vervollkommnet ist, dass sie die Trombe der Hauptsache nach völlig erklärt. Aber nur diejenige Theorie ist die richtige, welche die Erscheinung bis in alle Einzelheiten deutet, und dies ist bisher noch nicht erreicht. Es liegt also bis heute noch kein Grund vor, die elektrische oder die Mischtheorie als absolut haltlos zu betrachten.

Nun muss es den letztern zur Stütze gereichen, wenn man experimentell auf rein elektrischem Wege der Trombe ähnliche Gebilde erzeugen kann. Dies ist zwar schon früher geschehn, aber mehr oder weniger unvollkommen. Meine eignen vor Jahren veröffentlichten Versuche hatten gleichfalls nur einseitigen Erfolg. Meine letzten Versuche sind indessen glücklicher ausgefallen, weil ich die Versuchsbedingungen vielseitiger gestalten konnte. Es haben sich zwischen Experiment und Natur grössere Aehnlichkeiten und theilweise an Punkten ergeben, welche vorzugsweise der Erklärung bedürftig sind.

1) Beccaria, Dell. Elettric. natur. ed. artif. 1753.

2) Cavallo, Compl. Treatise on Elect. 1777.

3) Gilbert's Ann. Bd. 73. S. 96.

4) Kästner's Arch. f. d. ges. Nat. Th. 4. S. 181.

5) Sillim. Americ. Journ. 1837, April.

6) Observ. et recherc. s. les causes des trombes, 1840.

7) Traité de l'électr. et de Magn. T. 6. p. 196.

8) Riess, Elektrizitätslehre Bd. 2. S. 565.

9) Gehlers Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1721.

Ich verkenne nicht den geringen Werth solcher Nachbildungen, da die Verhältnisse, wie sie in der Natur vorliegen, doch immer wesentlich mit allen Versuchsbedingungen contrastiren. Gleichwohl möchte ich sie dem Leser vor Augen führen, weil sie auch abgesehn von der in Frage stehenden Beziehung einiges Interesse beanspruchen dürften. Zuvor will ich aber um die fragliche Beziehung klarer zu stellen, ein Bild von der natürlichen Trombe und ihren bisherigen Erklärungsversuchen geben.

Natürliche Tromben.

Tromben nennt man jene schlauchartigen Gebilde, welche bei uns selten, in heissen Gegenden häufiger, meistens nach voraufgehender Windstille plötzlich entstehn, sich eine Wolke anheftend oder nach einer solchen aufsteigend, bald langsamer, bald schneller fortschreitend, fast immer rotatorisch bewegt. Im Momente der Entstehung erhebt sich ein Wind von allen Seiten der Trombe zugerichtet, aber örtlich begrenzt, so dass in einiger Entfernung wieder Windstille herrschen kann. Ist der Wind sturm- oder orkanartig, so stürzt er Bäume um, oder reisst Häuser ein, und die Trümmer steigend wirbelnd in dem Schlauche der Trombe auf. Der Schlauch ist bald cylindrisch, bald kegelförmig, letzteres namentlich in der Art, dass die Basis nach oben gerichtet ist; die Dicke des Schlauches soll nach Horner¹⁾ zwischen 2 und 200, seine Länge zwischen 30 und 1500 Fuss variiren. Ist es eine Landtrombe, so besteht der Schlauch vorzugsweise aus Staub oder Regen, ist es eine Seetrombe, so soll er auch, namentlich der untere Theil aus compacten Wassermassen gebildet seien. Den Tromben gehört aber noch eine weitere Erscheinung an, eine den Schlauch umkränzende hoch aufspritzende Staub- oder Wassermasse, welche der Fuss der Trombe heisst. Merkwürdiger Weise kann diese letztere Erscheinung auch für sich bestehn, zuweilen geht sie der Bildung des Schlauches voran und währt noch nach Verschwinden desselben fort. In vielen Fällen (Peltier zählte unter 116 Fällen 41)

1) Gilberts Ann. Bd. 73. S. 96.

sind mit der Trombe Blitz, Donner oder sonstige elektrische Lichterscheinungen wahrgenommen worden. Hierzu kommt noch der schwefel- oder richtiger phosphorähnliche Geruch, den man nicht selten in ihrer Nähe fand, und der allgemein elektrische Entladungen zu begleiten pflegt. Nicht immer tritt die Trombe vereinzelt auf, zuweilen bilden sich deren mehrere gleichzeitig, oder es wiederholt sich dieselbe Erscheinung an derselben Stelle. Die Dauer des Einzelphänomens mag sich durchschnittlich nach Minuten berechnen, doch sind auch Tromben beobachtet, welche eine halbe Stunde und länger währten.

Eine allgemeine Skizze der Bildung giebt Brewster ¹⁾ nach dem Tagebuche des Kapitain Maxwell, welcher auf seinen Reisen viele Tromben sah, wie folgt.

Aus der oberen Fläche einer schwarzen Wolke senkt sich ein kegelförmiges Stück zum Meere herab, dass nun unterhalb desselben zu dampfen beginnt und das Aussehn eines rauchenden Ofens gewinnt. Die schwarze Wolke fährt fort weiter herabzusteigen, bis sie beinahe die Oberfläche des Meeres erreicht, und dieses steigt rauchartig höher und höher, bis eine Vereinigung beider Theile stattgefunden hat. Gegen das Ende der Erscheinung zieht sich die schwarze Wolke wieder aufwärts und nimmt ein zottiges Aussehn an, lässt aber eine durchsichtige Röhre zurück, welche noch längere Zeit mit dem rauchenden Wasserkrater communicirt. Dieser merkwürdige Umstand, dass die Trombe gegen das Ende der Erscheinung aus einer oben dunklen, unten durchsichtigen Säule besteht, findet sich auch durch sonstige Beobachtungen constatirt.

Etwas anders beschreibt Buchanan ²⁾ die Bildung der Tromben, welche er auf seiner Reise nach Indien sah. Von ihm rühren auch einige Abbildungen der Erscheinung her. Eines Tages, nachdem kurz vorher eine Trombe verschwunden war, sah derselbe einen Schlauch aus der Wolke herabhängen, dessen Spitze windwärts gebogen war (Fig. 1.). Unmittelbar darauf erhob sich aus dem Meere eine Wolke oder

1) Gilbert's Ann. Bd. 73. S. 96.

2) Edinb. phil. Journ. 1821. — Gilbert's Ann. Bd. 70. S. 104.

ein dichter Nebel, der sich nach und nach vergrösserte, während sich der Schlauch immer tiefer herabsenkte, bis eine Vereinigung stattgefunden hatte (Fig. 2). Nach 2 Minuten zog sich der Schlauch wieder zurück, der Dunst oberhalb des Meeres zerstreute sich und bald hatte sich auch die Wolke am Himmel völlig zerstreut. Ein ander Mal zeigte sich zuerst eine Art von Wolke an der Oberfläche des Meeres. Ueber ihr hing eine dicke Wolke, während in einiger Entfernung ein starker Regen niederfiel. Da kam ein Schlauch aus dem Gewölk in Gestalt eines Ellbogens, der sich jedoch bald wieder zurückzog, während die Wolke auf dem Meere noch länger verblieb. Aber nach einer halben Stunde zeigte sich plötzlich eine vollständige Trombe, in welcher jene schlauchartige Erscheinung ganz bis zur Wolke des Meeres herniederstieg. Der Schlauch war unten zugespitzt, im Uebrigen grösseren Theils cylindrisch, oben aber theilte er sich in drei Arme, mit welchen er der Wolke angeheftet war. Er machte den Eindruck, als sei er hohl, aber voraussichtlich nur deshalb, weil die Mitte desselben durchsichtiger war. Während dessen floss unausgesetzt Regen, der fast so dicht als der Schlauch der Trombe schien. Nach 10 Minuten wurden Schlauch und Wolken allmählich lichter, bis sie gänzlich verschwanden. Ein ander Mal stieg wieder zuerst an der Meeresfläche jenes wolkenartige Gebilde auf, während zugleich ein starker Regen niederfiel. Bald darauf senkte sich ein Schlauch aus einer ziemlich hohen Wolke so weit herab, bis er die Hälfte des Weges nach der Meeresfläche erreicht. Er war unten zugespitzt und in der Richtung des Windes gebogen. Unterhalb war das Wasser in heftiger Bewegung und weiss, wie es bei einem Wasserfalle erscheint. Nach 3 Minuten zog sich der Schlauch wieder zurück, während das Wasser noch länger als 10 Minuten im heftigen Aufwallen verblieb. Bei allen diesen Erscheinungen wurde kein Geräusch bemerkt, aber voraussichtlich nur deshalb nicht, weil die Entfernung eine oder mehrere Seemeilen betrug.

Wieder ein anderes Bild entnehme ich einem Berichte Wolke's ¹⁾, welcher auf dem Finnischen Meerbusen eine

1) Gilbert's Ann. Bd. 10. S. 482.

Reihe von Tromben gleichzeitig sah und aus grosser Nähe beobachten konnte. Ueber dem Meere hing eine langgedehnte Masse düsterer Wolken. Der Nordwestwind war eben in völlige Windstille umgeschlagen. Da senkten sich plötzlich zwei fürchterlich aussehende Wolkenzipfel bis auf die Oberfläche des Meeres herab. In den so gebildeten Säulen schienen die Regentropfen nicht senkrecht, sondern schraubengängig und theils abwärts theils aufwärts zu wandern. Hierbei schien es, als ob die Säulen in grossen kugelförmigen Hohlschalen ruhten, mit denen sie langsam fortglitten, während die See mit Heftigkeit um den Rand der Schale kochte. Kleine und grössere Wassermassen tanzten um sie herum, 12—16 Fuss hoch aufspritzend, während eine leichte Wolke von Dünsten über den tanzenden Spitzen schwebte. Da nahte eine der Säulen dem Schiffe, stiess auf das Vordertheil, passirte das Schiff der Länge nach und überschüttet es mit Regentropfen von der Grösse einer Kirsche. Zugleich trat jener, eine elektrische Ausgleichung mit Sicherheit anzeigende sogenannte Schwefelgeruch auf. Weitere elektrische Erscheinungen fehlten, und dies lässt vermuthen, dass sonst, wo solche auch nicht beobachtet sind, gleichwohl elektrische Wirkungen im Spiele wären. Das Schauspiel sollte indessen noch vervollständigt werden. Kaum waren die genannten Tromben dem Blicke entschwunden, so stand schon eine Reihe anderer fertig da. Die dem Berichte beigegebene Skizze habe ich nachgebildet (Fig. 3.), doch bin ich im Unklaren, ob sieben oder nur fünf Tromben gleichzeitig beobachtet wurden.

Dass Tromben auf Schiffe stossen, ist häufiger beobachtet und hierbei hat man jedesmal die Erfahrung gemacht, dass die Schiffe mit süssem Wasser beschüttet wurden. Dies widerspricht nicht grade der Vorstellung, dass Seewasser in den Tromben aufsteige, da das aufsteigende, eben weil es aufsteigt, das Schiff nicht beschütten wird. Das Auffälligste an derartigen Begegnungen ist, dass Schiffe nur in den seltensten Fällen wirklichen Schaden erlitten haben. Gleichwohl fürchten die Schiffer das Meteor und wenden ein eigenthümliches Mittel an, von dem sie glauben, dass es die Wirkung desselben schwächt. Sie feuern auf die Trombe mit Kanonen, und hierbei hat sich die merkwürdige Thatsache ergeben, dass

ein Geschoss, welches trifft, den Schlauch spaltet, worauf die getrennten Stücke wohl pendelartig hin und her schwingen, bis sie sich wieder vereinigt haben¹⁾. Dass Wasser in der Trombe aufsteige, wollen Viele gesehn haben, während Andere wieder ein Abwärtsfliessen, Andere beide Bewegungsarten wahrgenommen haben. Sie schliessen einander nicht aus, da neben dem aufsteigenden Wasser der Erde sehr wohl das Wasser der Wolke abwärts fließen könnte. Das Aufwärtssteigen erscheint indessen häufiger oder mächtiger. So soll eine Trombe, welche über einen Weiher ging, diesen fast vollständig aufgesogen haben²⁾. Dass Wasser in ihnen selbst sehr hoch steigt, kann nicht bezweifelt werden, da Tromben wiederholt Fische und Frösche weit fortgeführt und, wie schon erwähnt, noch gewichtigere Dinge gehoben haben.

Nach dem obigen Berichte Wolke's soll der Schlauch der Trombe gleichsam in einer Kugelschale d. h. in einer Vertiefung gestanden haben. Diese Thatsache ist nicht vereinzelt und sie würde wohl häufiger bemerkt sein, wenn man die Erscheinung häufiger in der Nähe und, wie Wolke, von einem erhöhten Standpunkte betrachten könnte. Dort war die Vertiefung aber von hoch aufspritzendem Wasser umgeben, während Colden³⁾ einmal eine Vertiefung sah, um welche sich das Wasser nur wenig hob. Nach Colden's Bericht war die Trombe aber erst im Werden, da die Spitze des Schlauches noch etwa 8 Fuss über der Meeresfläche schwebte. Als sie das Schiff seitlich passirte, konnte man den heftigen Windstrom spüren, welcher der Spitze des Schlauches entströmte und jene Vertiefung zu bewirken schien.

Gleichzeitige Tromben, wie sie Wolke beschreibt, sind wiederholt gesehn worden, wenn auch nicht in so grosser Zahl, aber in der Regel nur auf der See. Beechey⁴⁾ sah einmal aus derselben Wolke drei lange, ausserordentlich dünne Schläuche herabhängen, welche in einander

1) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1667.

2) Gilbert's Ann. Bd. 10. S. 486.

3) Kämtz, Meteorol. Th. 2. S. 547.

4) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1674.

übergangen und sich dann wieder von einander trennten. Dass gleichzeitige Tromben vorzugsweise auf der See entstehn, erleidet indessen eine Ausnahme in den Sandtromben der Aequatorialgegenden, welche häufiger gleichzeitig entstehn. Bruce¹⁾ bemerkte solche von erstaunlicher Höhe, welche sich bald schnell bewegten, bald majestätisch fortrückten, bald sich dem Beobachter näherten, und ihn mit Sand überschütteten, bald in der Ferne den Augen entschwanden. Hiernach scheint es fast, als ob die Entstehung gleichzeitiger Tromben zum Theil an das Vorhandensein grosser ebener Flächen gebunden sei.

Nach den bisher angeführten Berichten erscheint die Trombe ziemlich harmlos, und dies mag auch die Regel sein bei den Seetromben, welche wir bisher vorzugsweise betrachtet haben. Wie arge Verwüstungen aber einzelne dieser Meteore, in Sonderheit Landtromben, verursachen können, mögen die folgenden Berichte zeigen.

Im Sommer 1824 riss zu Voitsbach (Kreis Bunzlau) eine Trombe von sieben Scheunen und Häusern die Dächer ab, zerstörte eine Scheune gänzlich und führte eine Menge Geräthschaften, als Wasserkannen, Stühle, Kleider, Betten u. s. w. zwei Stunden weit in den gleichfalls stark verheerten Wald²⁾.

Im Sommer 1806 wurde das Dorf Schweizershausen am Harz von einer Trombe heimgesucht, der bereits mehrere Gewitter vorausgegangen waren. Diese vereinigten sich und standen 15 Minuten unbeweglich, worauf sich zunächst eine schwarze und dann an einem andern Punkte noch eine röthliche Wolke bis zur Erde senkte. Beide vereinigten sich und streiften eine kleine Strecke über Saaten, worauf sie sich nach dem Dorfe wandten und in 3 Minuten von 8 Häusern die Dächer und die zweiten Stockwerke niederrissen. Im Ganzen wurden 42 Häuser beschädigt und 600 Bäume bis zur Dicke von 2 Fussen aus der Erde gehoben oder zerknickt³⁾.

Im Sommer 1835 beobachtete Pellis zu Flaujagues bei Ste. Foi (Dep. Gironde) eine mehrfach interessante Trombe⁴⁾.

1) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1637.

2) Kästner's Arch. f. d. ges. Nat. Th. 3. S. 450.

3) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. 10. S. 1641.

4) Ann. de Chim. et Phys. T. 61. p. 174.

Während es donnerte ohne zu regnen entstand eine schwarze Wolke, in welche sich seitwärts andere stürzten, während sie selbst eine drehende Bewegung zeigte. Hierauf senkte sie sich in schräger Richtung zur Erde und eilte nun vom Winde getrieben in 20 Minuten über eine französische Meile fort. Als sie hierbei zum zweiten Male die Dordogne passirte, senkte sich ihr unterer Theil in diese, während sich der obere hob und für sich weiter getrieben wurde. Als sie noch ganz war, verheerte sie auf einer Strecke von 50—60 Meter und einer Breite von 8—10 Meter Alles, was sie traf, riss die stärksten Bäume aus, brach sie ab oder drehte sie um, hob ein Dach auf und nahm die Trümmer desselben bis auf 100 Schritt Entfernung mit. Pellis meint, dass er in dem Schlauche, welcher wie dicker Rauch erschien, aber keinen Tropfen Regen fallen liess, zwei entgegengerichtete Strömungen erkennen konnte.

Im Sommer 1858 beobachtete vom Rath eine höchst merkwürdige Trombe, welche bei Königswinter den Rhein wiederholt passirte¹⁾. Es war Gewitterluft und es blitzte, donnerte und regnete in der Ferne. Da erhob sich plötzlich eine ungeheure Staubsäule, wohl von 2000 Fuss Länge, welche unten von einer grösseren Staubmasse eingehüllt war. So wanderte die Säule dem Rheine zu. Beim Eintritt spritzte das Wasser hoch auf im Kreise von 50 Schritt Durchmesser, in Schaumstrahlen von 20 bis 30 Fuss Höhe, während die innere Kreisfläche nur wenig gehoben war. Ganz nahe in der Mitte zweier Dampfschiffe durchschritt das Meteor so den Strom, während die Schaumsäule bis auf 40—50 Fuss Höhe wuchs. Erst jetzt machte sich eine gelblich-weiße Wolken spitze bemerkbar oberhalb der Säule, welche nun wieder eine reine Staubsäule geworden war. Schnell verlängerte sich jene und suchte sich mit dieser zu vereinigen, während die Erscheinung, sich immer drohender gestaltend, eine Strecke längs des Ufers des Stromes lief. Plötzlich haltmachend schritt sie wieder rückwärts und warf sich nun zum zweiten Mal auf den Rhein. Das Wasser schäumte und schien zu sieden. Plötzlich erhob

1) Poggend. Ann. Bd. 104. S. 631.

sich aus einer Wolke von Wasserstaub eine Wasser- oder Dunstsäule fast senkrecht, welche in drei parallele Strahlen gespalten war (Fig. 5). Dann wurden aus den drei Strahlen deren fünf; der mittelste stieg höher und höher; er strebte der degenförmigen Wolke zu, und am Ende hatte eine Vereinigung beider Theile statt. So schwebte die Säule längere Zeit, sich fortwährend etwas verändernd, während das Wasser des Stromes durch sie bis in die Wolken zu steigen schien. Nun schritt sie über eine Untiefe; hier fehlte das Wasser; ihr Fuss zog sich zusammen; zu gleicher Zeit vereinigten sich die Nebenstrahlen mit dem Hauptstrahle, so dass sie fast cylindrisch gestaltet schien (Fig. 4). Endlich verliess sie den Rhein und wurde theilweise wieder zur Staubsäule, während der Schaum noch bis in die Wolken stieg. Dann verschwand sie, während wolkenbruchartig Regen mit Hagel vermischte zur Erde stürzte.

Einer eigenthümlichen Wahrnehmung muss noch gedacht werden, welche man wiederholt an Bäumen machte, welche durch Tromben beschädigt wurden, weil diese auf starke elektrische Wirkungen schliessen lässt. Peltier gedenkt ihrer zuerst mit der fraglichen Beziehung; später Riess, nachdem kurz zuvor Martins¹⁾ reichhaltigere Beobachtungen gesammelt hatte. Das Wesentlichste ist, dass die Bäume wiederholt ausgetrocknet, als ob sie gedörret wären, oder latten- oder besenartig gespalten vorgefunden wurden. Nicht alle Bäume sind sich hierin gleich. Coniferen zeigen die geringsten Spuren, Eichen die stärksten. Letztere sind mehr lattenartig, Espen dagegen mehr faserartig zerschlitzt. Ganz ähnliche Beschädigungen zeigen aber auch Bäume zuweilen, welche der Blitz trifft. Ohne Zweifel ist es die Wärme, welche hier in Action tritt, indem sie die Säfte zur Verdampfung bringt.

Dies mag genügen, um sich von der Trombe und ihren Wirkungen eine ungefähre Vorstellung zu bilden.

Ihre Erklärungen.

Die mechanische Theorie spaltet sich in zwei Richtungen, oder besser: es giebt eine ältere und eine neuere,

1) Poggend. Ann. Bd. 81. S. 444.

welche auf völlig entgegengesetzter Basis ruhen. Die ältere sucht auf- oder abwärts gerichtete Luftströme durch Wirbelwinde, die neuere sucht Wirbelwinde durch auf- oder abwärts gerichtete Luftströme zu erklären.

Nach der ersteren sollen entgegengesetzte Luftströme, sei es, dass sie parallel gerichtet, sei es dass sie sich unter einem Winkel schneiden, zunächst eine Wirbelbewegung erzeugen. Wahrscheinlich ging diese Vorstellung von der Thatsache aus, dass zuweilen hinter Gebäuden und Hecken deutlich wahrnehmbare Staubwirbel entstehn. Durch das Zusammentreffen der Winde wird die Luft aber zugleich verdichtet, der Wasserdampf condensirt sich, die Luft wird schwerer und sinkt als Wolkenzipfel niederwärts. Weiter und weiter sinkt derselbe in beständigem Wirbel begriffen, und so bildet sich der Trombenschlauch, der einem wirbelnden Regenschauer vergleichlich ist. Dies ist im Wesentlichen die Ansicht Muschenbroek's, die sich indessen auf Annahmen stützt, welche schon früher verbreitet waren.

Hiernach wäre vielleicht die absteigende und wirbelnde Bewegung der Wolken, aber noch nicht die aufsteigende Bewegung von Staub und Wassermassen erklärt. Prudhomme¹⁾ vervollständigte dies. Er nahm an, dass sich die Wirbelbewegung des Schlauches mit auf die umgebenden oder darunter befindlichen Luftschichten erstrecke, und dass sich in der Axe des gesammten Wirbels wegen der Fliehkraft seiner Theile eine Verdünnung bilde, welche ein Aufsaugen bewirke.

Dieser letztere Gedanke wurde namentlich von Oersted weiter ausgebildet, der auch die Entstehung des Schlauches durch jene Verdünnung erklären will. Entgegengesetzte Winde erzeugen zunächst einen Luftwirbel oder richtiger eine wirbelnde Luftsäule, in deren Mittellinie eine starke Verdünnung herrscht. Von oben werden die Wolken in diese herabgezogen, während von unten Staub, Wasser, oder was sonst der Trombe begegnet, steigt. In Folge der gleichzeitigen Drehung geschieht das Sinken und Steigen in Spirallinien. Aus der unteren Verdünnung erklärt sich auch der rings nach dem Fusse der Trombe gerichtete Wind.

1) Gotha'sches Magaz. Th. 5. St. 4. S. 90.

Nach alledem ist die Wirbelbewegung der Anfang der Erscheinung. Aus ihr folgt erst das Auf- oder Absteigen der Luft und der sie begleitenden sichtbaren Massen. Jene selbst aber sollen entgegengerichtete Winde erzeugen d. h. also Luftströmungen, welche in horizontalen Ebenen vor sich gehn.

Der Uebergang von dieser zu der neueren Anschauung wurde schon einige Jahre vor Oersted's Veröffentlichung durch Kämtz angebahnt. Derselbe, obwohl im Wesentlichen noch der früheren Richtung huldigend, namentlich darin, dass er die Wirbelbewegung für die Hauptursache der Erscheinung hält, meint doch andererseits, dass nicht bloss entgegengesetzte Winde, sondern auch auf- oder absteigende Luftströme unter Umständen solche Wirbel erzeugen können. Diese herrschten vorzugsweise in heissen Gegenden und nach voraufgehender Windstille. So entständen vielleicht die Sandtromben jener Länder. Es wäre gleichzeitig die den meisten Tromben voraufgehende Windstille hiermit erklärt.

Nach der neueren Theorie sind auf- oder absteigende Luftströme die eigentliche Ursache der Tromben; alle übrigen Erscheinungen sind mehr oder weniger secundär. Eine Wirbelbewegung braucht nicht nothwendig statt zu haben, und wenn sie fast immer statt hat, so geht sie doch erst aus dem Auf- oder Absteigen hervor. Jede Masse, welche in einem andern Medium auf- oder absteigt, beginnt allmählig zu rotiren, weil die Triebkraft nie genau im Schwerpunkt der Masse wirkt. So erklärt sich die Drehbewegung der meisten Tromben, aber sie ist unbetheiligt an der Hebung von Staub, Wasser und andern Gegenständen, welche der Auftrieb der Luft schon genügend erklärt. Auch die Verwüstungen, welche Tromben zuweilen verursachen, lassen sich auf die Gewalt zurückführen, mit welcher die Winde den aufsteigenden Luftmassen folgen müssen. Dies ist im Wesentlichen die Ansicht Munckes, wenn er auch zur völligen Erklärung der Tromben noch elektrische Kräfte wirken lässt.

Muncke wusste nicht, dass schon einige Jahre früher in der Schilderung von Waldbränden für seine Meinung eine Stütze gewonnen war. Es handelt sich um jene Amerikanischen Waldbrände, welche man absichtlich und zwar so vorbereitet, dass grosse Holzmassen zuvor gefällt und getrocknet

werden. Hierbei pflegt sich dann neben einem von allen Seiten nach der Brandstätte stürmenden Winde eine hohe Feuer- und Rauchsäule zu erheben, unten Feuer, oben Rauch, in schneller Drehung begriffen, so mächtig, dass sie dünnere Stämme mit in die Lüfte tragen kann. Redfield¹⁾, welcher solche Berichte sammelte, hob bei ihrer Mittheilung zugleich die Aehnlichkeit dieser Feuer- und Rauchsäulen und jener der Vulkane hervor.

Eine zweite Stütze nach derselben Richtung wurde die spätere Schilderung Olmsted's²⁾ von einem Rohrbrande, wo gleichzeitig viele Säulen beobachtet wurden. Diese waren verschieden gestaltet, und eine der Schilderung beigegebene Zeichnung lässt alle bekannteren Formen der Trombe in ihnen erkennen. Es gab deren bis zu 200 Fuss Höhe, bald stationär, bald langsam fortschreitend, bald in einander aufgehend, aber immer rotatorisch bewegt. Die Hitze war übrigens so bedeutend, dass sich die Beobachter in einer Entfernung von 900 Fussen halten mussten.

Diese Beobachtungen vervollständigte Belt, welcher gegen das Ende der funfziger Jahre die Sandtromben Australiens näher erforschte. Bei solcher Gelegenheit machte er häufiger die Wahrnehmung, dass die Luft über dem heissen Lande, wie über einem Feuerherde zitterte. Plötzlich erhob sich ein Sturm im Kleinen und mit ihm eine Staubsäule, welche bald stille stand, bald langsam vorwärts schritt. War sie plötzlich wieder verschwunden, so war das Zittern der Luft nicht länger bemerklich, und die Atmosphäre war weniger schwül. Jene Säulen bildeten also die Canäle, durch welche die erhitzte Luft der Erde in höhere Regionen stieg. War einmal die Oeffnung erzwungen, so strömte die ganze erhitzte Luftmasse nach solchem Canale hin. Die allgemeine Windstille liess es zu, dass sich jene, ohne beständig aufzusteigen, stark erhitzen und so gewissermaassen in labilem Gleichgewicht verharren konnte. Um so grösser nachher die Gewalt des Auftriebs, wenn letzteres irgend wo gestört, und so der Anstoss zur Bewegung gegeben war.

1) Sillim. Amer. Journ. V. 36. p. 50.

2) Sillim. Amer. Journ. 2. Ser. V. 11. p. 181.

Inzwischen hatte Espy für die weitere Vervollkommnung der Hypothese einen ganz neuen Gesichtspunkt eröffnet. Man glaubte bisher, dass die Erwärmung, welche die Luft an der Oberfläche der Erde erfahre, die Hauptursache ihres Aufsteigens sei. Espy zeigte, dass die Luft während des Aufsteigens in Folge der bei Condensirung des Wasserdampfes befreiten latenten Wärme sich durch sich selbst erwärmen müsse. Ja er meint, dass diese letztere Erwärmung die Hauptrolle spiele und dass sie für sich allein schon genüge, um Wirbelstürme zu erzeugen. Ganz zufällig emporgerissene Luftmassen, sofern sich nur Wasserdampf in ihnen verdichtet, könnten schon den Keim eines Wirbelwindes in sich tragen. Die erzeugte Wärme würde die Luft, sie in kältere Regionen hebend, zu immer rascherem Aufsteigen zwingen.

Gegen diese letztere Auffassung wendet sich nun Reye, indem er nachweist, dass die fragliche latente Wärme für sich allein noch keine Erhebung bewirken könne, obwohl sonst mit Espy darin gleicher Ansicht, dass sie jedenfalls dem Aufsteigen förderlich sei. Feuchte Luft steigt also leichter als trockne, und Reye zeigt durch Rechnungen, dass der Unterschied ein erheblicher ist. Bei solcher Mitwirkung ist denn freilich eine starke Erwärmung der untern Luftschichten d. h. jenes labile Gleichgewicht, welches Belt voraussetzt, zur Erklärung der Tromben nicht grade nöthig; aber es ist nöthig, wenn man absteigende Luftströme, wo gedachte Beschleunigung fortfällt, als Ursache nimmt. Aller Wahrscheinlichkeit nach dürften daher die meisten Tromben und jedenfalls die gewaltsameren aufsteigenden Strömungen angehören. Aus der Condensirung des Wasserdampfes erklärt sich auch der Schlauch; durch diese wird die Erscheinung erst sichtbar d. h. in ihren oberen Theilen. Je nach dem Wassergehalt und der Temperatur beginnt die Condensirung bald in grösserer bald schon in geringerer Höhe, und der Schlauch erscheint kürzer oder länger. Meistens verlängert er sich; vielleicht geschieht dies, weil die aufsteigende Luft nach und nach kälter wird, und die Verdichtung um so früher beginnt. Da sich die Strömung in der oberen Luft verlangsamet, so muss sie sich über einen grösseren Querschnitt verbreiten; daher die kegelförmige Form. Den Fuss erklärt

Reye, wie seine Vorgänger, aus der Gewalt der den aufsteigenden Luftmassen nachstürmenden Winde, da einem Barometerfall um $2\frac{1}{2}$ Linien, wie solcher beobachtet, bereits eine Windgeschwindigkeit von mehr als 32 Metern entsprechen würde. Tromben durch abwärts gerichtete Luftströme erzeugt glaubt er wegen mehrfacher darauf hinweisender Beobachtungen wenigstens für möglich halten zu sollen, obwohl er einräumt, dass hier eine Verdichtung des Wasserdampfes und die darauf basirende Erscheinung des Schlauches weniger erklärlich sei.

Die elektrische Theorie, zu welcher ich nun übergehe, ist einfacher und lässt sich daher in kürzere Worte fassen. Die Hauptgrundlage für diese boten die mannigfachen elektrischen Erscheinungen, von denen Tromben begleitet sind.

Beccaria war der Erste, welcher den Gedanken äusserte, dass die Trombe wohl durch eine elektrische Anziehung zwischen der Wolke und der Erdoberfläche entstehe. Becket¹⁾ und Cavallo bemühten sich diese Ansicht experimentell zu begründen, indem sie durch elektrische Anziehung Tromben im Kleinen zu erzeugen suchten. Die hierbei beobachtete Drehbewegung scheint die Vorstellung veranlasst zu haben, als ob diese der elektrischen Wirkung specifisch angehöre. Vielleicht geschah es so, dass Reimarus²⁾ diese für die Hauptsache hielt und aus ihr verschiedene Eigenschaften der Tromben abzuleiten suchte.

Gehaltvoller ist eine kurze Bemerkung Horner's, welche ich nicht verschweigen will, weil Horner sich sehr eingehend mit diesem Gegenstande beschäftigt hatte. Er meint, dass die geringere Heftigkeit der Seetromben vielleicht darauf beruhe, dass das Wasser der Wolke entgegenkomme, und das elektrische Gleichgewicht so eher erhalten bleibe.

Nach Pohl erklären sich die wesentlichsten Erscheinungen, wenn man die Trombe als eine Art von Leiter betrachtet, durch welchen die Elektrizität der Wolke beständig fliesst. Während sich ihre Ausgleichung sonst beim Gewitter in einzelnen explosiven Acten vollziehe, gehe sie hier voraussicht-

1) Becket, Essay on Electr. p. 141.

2) Reimarus, Vom Blitze, 1778.

lich ähnlich vor sich, wie in dem Verbindungsdrahte einer galvanischen Batterie. Auf einen solchen Leiter müsste --- nothwendig der Erdmagnetismus wirken, und es würde hieraus die fortschreitende sowohl als die rotatorische Bewegung folgen. Aus der Drehbewegung und dem Auftrieb, welchen letzteren Pohl für eine Folge elektrischer Anziehung hält, gehe gleichzeitig die Spiralbewegung hervor.

Als einen Leiter, wenn auch nicht im Sinne Pohl's, betrachtet auch Hare die Trombe und meint, dass sich in ihr eine continuirliche elektrische Ausgleichung vollziehe. Der hiermit verbundene Auftrieb verursache eine Verdünnung, und diese die nach dem Fusse der Trombe gerichteten Winde.

Nach Peltier, welcher über ein besonders reiches Beobachtungsmaterial gebot, lassen sich alle Erscheinungen durch statische oder dynamische Elektrizität erklären. Eine elektrische Wolke nähert sich zuerst der Erde; ihr tiefster Theil spitzt sich kegelförmig zu und wird gleichzeitig zu einer halbflüssigen Masse verdichtet. Die Zuspitzung war bereits durch ältere Experimente wahrscheinlich gemacht, für die fragliche Verdichtung führt Peltier zwei neue Versuche an, die indessen wenig beweisen. Der untere Theil ist durch seine Verdichtung besser leitend geworden und zieht deshalb in verstärktem Maasse Staub, Wasser und Wasserdämpfe an. Von letzteren glaubt Peltier, dass sie durch elektrische Wirkung vermehrt würden. Er will dies gefunden haben, als er Wasser elektrischen Spitzen gegenüber beachte. Die gehobenen Dinge werden aber theilweise wieder zurückgeworfen, weil sie, sich an dem untern Schlauchende mit der Elektrizität desselben ladend, wieder abgestossen werden. So entsteht die Trombe und die ihren Fuss umkränzende Wolke von Wasser und Staub. Durch diese fließt nun die Elektrizität und hierbei erzeugt sie ein mit der Leitungsfähigkeit der Stoffe sich änderndes Geräusch. Die Drehbewegung entsteht durch den ungleichen Widerstand, welchen die durch elektrische Anziehung gehobenen Massen in ihrer Umgebung finden. Die fortschreitende Bewegung ist eine Folge der ungleichen elektrischen Einwirkung der Oberfläche der Erde. Weil neben der Anziehung gleichzeitig eine Abstossung herrscht, so erklärt sich auch die Versenkung, welche inmitten des auf-

spritzenden Wassers beobachtet ist. Je nach der Beschaffenheit des Bodens muss sich das gegenseitige Verhältniss jener Kräfte ändern und so zu mannigfachen Aenderungen der Erscheinung Anlass geben. Dass schwere Gegenstände, selbst Bäume gehoben werden, will Peltier gleichfalls durch elektrische Anziehung erklären, während er die Austrocknung und Zersplitterung der Bäume für die Wirkung einer besonders kräftigen elektrischen Strömung hält.

Hiermit war auch Becquerel der Hauptsache nach einverstanden. Riess erklärt sich nicht entschieden, stimmt aber scheinbar nur einzelnen Punkten bei.

Die Schwierigkeit alle Eigenschaften der Trombe rein mechanisch oder rein elektrisch zu erklären legte eine Mischtheorie nahe, und Th. Young¹⁾ war wohl der erste, welcher diesen Gedanken anzubahnen suchte. Er meint, dass, wenn auch die Hebung von Wassertropfen und ähnliche Erscheinungen auf die Wirkung von Wirbelwinden beruhten, doch bei andern Erscheinungen die gleichzeitige Mitwirkung der Wolkenelectricität sehr wahrscheinlich sei.

Entschiedener spricht sich in dieser Frage Muncke aus. Nicht Alles sei durch Wirbelwinde oder durch aufsteigende Luftströme zu erklären. So zunächst die bedeutende Hebung des Wassers, welche bis zu 30 Fuss und darüber beobachtet sei. Ferner die eigenartige Form des Fusses, wenn die Strahlen senkrecht aufsteigend in parabolischen Bögen wieder niederwärts gingen. Dies erscheine als das Product einer Kraft, welche das Wasser von unten emporwerfe und es gleichzeitig in Tropfen zerstäube. Hierhin gehöre ferner das häufig beobachtete gleichzeitige Auf- und Absteigen der Tropfen in den Schläuchen; eine Erscheinung, welche bei den Sandtromben kein Analogon finde, weshalb dort auch voraussichtlich nicht dieselben Kräfte wirkten. Zur Erklärung derartiger Effecte bleibe nur übrig, die Hülfe der Electricität mit in Anspruch zu nehmen, welche ähnliche Wirkungen sehr wohl erzeugen könne und ohnehin wohl stets die Begleiterin der Tromben sei. Muncke meint sogar, dass auch die Wirbelbewegungen der Tromben grössertheils auf elektrische Wirkung basiren könnten.

1) Young, Lectures on Nat. Philos. 1807.

Künstliche Tromben.

Bei der Erklärung von Naturerscheinungen hat man von jeher das Bedürfniss gefühlt, die Theorie durch Experimente zu stützen, in welchen die Anwendung gleicher Principien zu ähnlichen Erscheinungen führt. Und es spricht in der That dafür, dass man wenigstens theilweise die fraglichen Grundbedingungen erkannt, sobald man eine Naturerscheinung, wenn auch nur mit entfernter Aehnlichkeit willkürlich erzeugen kann. So ist denn auch für die Erklärung der Trombe nach verschiedenen Richtungen eine experimentelle Nachahmung angestrebt.

Zur Stütze der mechanischen Theorie stellte namentlich De Maistre einige beachtenswerthe Versuche an, in denen er Tromben durch eine Drehbewegung erzeugen konnte. Er füllte ein cylindrisches Glas 2 Zoll hoch mit Oel, den übrigen Theil mit Wasser, und brachte unter des letzteren Oberfläche ein kleines Flügelrad in der Axe des Gefässes an. Dieses liess er rotiren; da hob sich allmählich das Oel in Gestalt eines Kegels und rotirte mit, und die sogebildete Säule stieg höher, bis sie die Flügel des Rädchens traf. Hier bewegte sich das Oel nach aussen und sank dann an der Glaswand nieder, letzteres aber so langsam, dass sich die untere Masse völlig erschöpfen liess. Später brachte er das Rädchen über dem Boden des Gefässes an, dass nun ganz mit Wasser gefüllt war, und setzte es durch eine geeignete Vorrichtung in Rotation. So entstand eine von der Oberfläche abwärts steigende Luftspindel, welche sich zischend drehte, während von der untern Spitze Luftblasen abgerissen und nach auswärts geschleudert wurden. Endlich füllte er das Glas halb mit Wasser und halb mit Oel und liess das Rädchen in der Mitte rotiren. So entstanden zu gleicher Zeit zwei Kegel, von denen der obere sich senkte, während der untere stieg. Diese Versuche sollten beweisen — es galt noch die ältere mechanische Theorie —, dass Wirbel Tromben erzeugen, und dass ihr Steigen und Fallen von der Höhe der Wirbel abhängig sei.

Zur Stütze der elektrischen Theorie stellten zuerst Becket und Cavallo, nach Riess' Angabe auch Brisson¹⁾ ver-

1) Riess, Elektricitätslehre Bd. 2. S. 566. Mém. de l'acad. Par 1767.

schiedene Experimente an. Becket brachte zwischen zwei Platten, deren eine er ableitete, während er die andre mit dem Conductor eine Elektrisirmaschine verband, Papierschnitzelchen oder Kleie. Liess er die Maschine wirken, so geschah es alsdann zuweilen, dass sich diese Stoffe zu einer Art von Säule formirten, welche sich drehte und zuletzt wirbelnd auseinanderstob. Er stellte den Versuch auch so an, dass er die eine Platte anstatt sie abzuleiten mit dem zweiten Conductor verband. Cavallo liess von dem Conductor einer Elektrisirmaschine einen Wassertropfen herabhängen und näherte demselben eine grössere abgeleitete Fläche. Wirkte die Maschine alsdann, so dehnte er sich aus und nahm die Gestalt einer kleinen Trombe an. Etwas Aehnliches geschah, wenn er Wasser auf eine abgeleitete Fläche brachte und den Conductor von oben wirken liess, oder einen Tropfen auf den Knopf einer Flasche that und eine zweite mit entgegengesetzter Ladung wirken liess.

Diese Versuche wurden später von Peltier in grösserem Maassstabe wiederholt und nicht unwesentlich erweitert. Peltier vermuthete, dass es einen Unterschied mache, ob die elektrische Wirkung einer rauhen, oder einer polirten Fläche entspringe. Er stellte daher das eine Mal eine Kugel mit Spitzen, das andere Mal eine polirte Kugel einer abgeleiteten Wasserfläche gegenüber. Im ersten Fall fand auch wirklich eine Senkung, im zweiten eine Hebung in der Mitte der Flüssigkeit statt. Was die Hebung betrifft, so nennt er sie hier einen hervorspringenden Knopf (*un bouton saillant*)¹⁾. Eine Erhebung aber erfolgte auch bei Spitzen, wenn neben starker elektrischer Spannung nur eine schwache Ausstrahlung herrschte. Um dies zu erreichen, wandte Peltier statt einzelner Spitzen ein Spitzenbündel an. Hier spricht er nun von einer Hebung „en masse“ ohne sich sonst über die Art der Erscheinung und die Stärke des Effectes zu erklären. Der Trombe mehr ähnliche Gebilde wurden erhalten, wenn er Spitzen auf dampfendes Wasser wirken liess. Die Dampf-

1) So lauten wenigstens die Worte in Becquerel's Referat (in dessen *traité d'électr. et du magn.* T. 6. p. 192.). Die Originalarbeit ist mir leider nicht zugänglich geworden.

bläschen in der Entfernung schon elektrisirt, wurden wirbelnd umhergeworfen oder nach allen Richtungen zerstreut. Aehnliche Erscheinungen boten Versuche mit Rauch. Peltier spricht von „vapeur de résine“, was füglich nur Rauch bedeuten kann. Die Spitzen sollen die Rauheit der Wolke nachahmen, und ihre Wirkung soll die voraussichtliche Bedeutung dieser Rauheit illustriren.

Hieran würden sich nun meine ersten Versuche schliessen, welche ich im Jahre 1875 der Oeffentlichkeit übergab ¹⁾. Ich muss hier in Kürze über sie berichten, weil neuerdings derselbe Gegenstand noch von anderer Seite behandelt ist. Um die Erscheinungen, um welche es sich handelte, ungestörter beobachten zu können, liess ich die Wirkung der beiden elektrischen Flächen in einem cylindrischen Glasgefässe vor sich gehn. Die eine Elektrizität wurde durch ein Bohrloch auf die innere Seite des Bodens, welche mit Stanniol belegt war, die andere durch die Oeffnung des Gefässes auf einen in seiner Mitte schwebenden Metallkörper geführt. Der letztere konnte seiner Form nach geändert und den Versuchsstoffen, welche den Boden bedeckten, näher gebracht werden. Zunächst wandte ich bei Einwirkung eines scheibenförmigen Körpers pulverartige Stoffe an, welche sich sehr ungleich verhielten. Sand und ähnliche Stoffe von glatter Structur und geringer Leistungsfähigkeit wurden wild durch einander geworfen, während sich Holzfeilspäne und Kleie nach und nach zu kegel- und säulenartigen Gebilden formten. Eine wirbelnde oder fortschreitende Bewegung konnte jedoch bei letzteren niemals beobachtet werden. Dann wurden Flüssigkeiten benutzt und zwar vorzugsweise isolirende, nachdem der Versuch auf Wasser einzuwirken ohne Erfolg geblieben war. Jene Flüssigkeiten hoben sich kegel- oder säulenförmig und liessen zugleich wirbelnde und fortschreitende Bewegungen erkennen. Ganz besonders aber konnte die Hebung dadurch vergrössert werden, dass der Bodenfläche eine Spitze angeheftet wurde. Ueber derselben hob sich dann die Flüssigkeit zu einer trombenähnlichen Säule von 60—80^{mm} Höhe. Wurde der scheibenförmige Körper durch eine

1) Berlin. Akademieberichte, 1875, Oct.

Kugel ersetzt, so nahm die Hebung wegen der hierdurch begünstigten Funken- und Büschelbildung wesentlich ab. Figurirte eine Spitze als obere Elektrode, so trat keine Hebung, sondern eine trichterartige Vertiefung hervor. Ein Unterschied zwischen positiver und negativer Elektrizität stellte sich trotz sorgfältiger Beobachtung nicht heraus.

Inzwischen hat von Waha¹⁾, der meine Arbeit wohl nicht kannte, analoge Versuche angestellt und hat hierbei neue Erscheinungen aufgefunden. Von Waha liess zunächst eine Spitze auf eine dünne Schicht Oel wirken, welche auf einer Metallfläche ausgebreitet war. Es entstand in jener eine Vertiefung, oder eine Art Figur, welche aus vielen kleinen Vertiefungen gebildet war. Nun wurde das Metall durch ein Papierstück ersetzt, welches durch eine zweite Spitze von unten die nöthige Ableitung erfuhr. Jetzt war die Erscheinung die entgegengesetzte; es fand unterhalb der Spitze eine Erhöhung des Oeles statt. Von Waha goss ferner Oel auf Wasser, welches er ableitete, während der Oelschicht wieder eine Spitze zugewendet war. Die Elektrisirung bewirkte unter diesen Umständen, dass sich das Wasser in kleinen kegelförmigen Spitzen in die Oelschicht erhob. Bildete Quecksilber anstatt Wasser die leitende Unterlage, so wurde dieses erst allmählig an seiner Oberfläche bewegt, dann lösten sich zahllose Kügelchen von derselben ab, welche die isolirende Schicht durchdrangen und weit umher geschleudert wurden. Auch drei verschiedene Flüssigkeiten wurden über einander gegossen, nämlich Wasser, Terpentinöl und Alkohol, so dass das Terpentinöl in der Mitte der andern stand. Letztere traten alsdann gleichzeitig, wenn entgegengesetzt elektrisirt, in ab- respective aufsteigenden Kegeln in die isolirende Masse ein. Endlich wurde der Boden eines weiten Glasgefässes zweifach durchbohrt, und in jede Oeffnung eine Spitze eingeführt. Diese wurden mit den Conductoren einer Influenzmaschine verbunden, während Petroleum in dem Gefässe so hoch stand, dass es die Spitzen überragte. Als bald erhob sich am negativen Pole ein hoher Flüssigkeitsstrahl senkrecht, während die positive Nadel nur Tropfen nach der negativen

1) Wiedem. Ann. Bd. 4. S. 68.

hinüberwarf. Von Waha lässt es dahin gestellt, ob diese Bewegungsphänomene mit gewissen atmosphärischen Erscheinungen, womit er wohl die Tromben meint, in Beziehung zu bringen seien.

Indem ich mich hiernach zur Mittheilung meiner neueren Versuche wende, will ich vorweg bemerken, dass mir gleichfalls nicht immer die Trombe in Gedanken lag. Der Stoff der Untersuchung schien mir um seiner selbst willen interessant genug, um ihn nach verschiedenen Richtungen zu verfolgen. Ich will daher in der nachfolgenden Darstellung die fragliche Beziehung auch ganz unberücksichtigt lassen und das Resultat so geben, als hätte ich den Einfluss elektrischer Anziehung auf bewegliche Medien untersucht. Was hiernach oder was sonst zu Gunsten elektrischer Wirkung oder Mitwirkung bei Entstehung der Trombe spräche, mag später besonders erörtert werden.

Die Apparate im Allgemeinen.

Als Elektrizitätsquelle benutzte ich eine Influenzmaschine mittlerer Grösse, welche 200—300^{mm} lange Funken geben konnte. Man kann hiernach in etwas beurtheilen, was selbige überhaupt an statischer Wirkung zu leisten vermochte.

Um letztere soweit als möglich ausnutzen zu können, war der Isolirung eine besondere Sorgfalt zugewandt, namentlich auch darin, dass beide entgegengesetzt elektrische Flächen, und nicht nur die eine, isolirt gehalten wurden. Die Ausführung war um deswillen etwas umständlich, weil sich beide im vorliegenden Falle über einander befinden mussten. Auf eine Stange von Ebonit, welche als Stativ diente, war zunächst eine grössere Scheibe aufgesetzt, nämlich eine metallische Hohl-scheibe mit gewölbtem Rande, so dick, dass Ausströmungen ausgeschlossen waren. Diese Scheibe fungirte einmal als Teller für die untere Elektrode und eventuell als untere Elektrode selbst; zu gleicher Zeit vermittelte sie die Leitung mit dem rechten Conductor der Maschine, den sie mit ihrem Rande berührte. Die obere Elektrode, gleichviel von welcher Form, war auf das untere Ende einer Metallröhre aufgeschraubt, welche der Verstellbarkeit halber mit Federkraft in einer zweiten Röhre verschiebbar war. Diese zweite endigte oben

in eine Kugel, mit welcher sie an einer längeren horizontalen Metallröhre hing, nur lose befestigt, damit sich die oft nöthige Trennung schneller bewerkstelligen liess. Die Röhre wurde in ihrer Mitte mit Hülfe einer Kugel von einer längeren Glassäule gehalten, die ihren besondern Fuss hatte und somit unabhängig von dem früheren Stative verstellbar war. Eine letzte Röhre führte mit Hülfe zweier Kugeln als Zwischenglieder die Leitung dem zweiten Conductor zu. Fig. 7 zeigt das Ganze, wenn man das Glasgefäss hinwegdenkt, in welchem die obere Elektrode schwebt.

Das Glasgefäss diente zur Aufnahme von Flüssigkeiten und pulverförmigen Körpern, um deren Zerstreung zu verhüten. Der Boden war zuvor durchbohrt, und in die Oeffnung ein Stück einer Nadel eingekittet. Dann waren noch auf beide Bodenflächen zwei Scheibchen Stanniol geklebt, um eine bessere Dichtung zu bewirken. Für den oberen Verschluss sorgte eine Glasscheibe, in welcher für den mittleren Leiter ein Eingang ausgeschnitten war. Eine Scheibe mit bloss centraler Oeffnung ist sehr unbequem, aber man kann recht gut eine solche gebrauchen, wenn sie in zwei Theile zerschnitten ist. Das Gefäss war 260^{mm} hoch und 170^{mm} weit und war im Glase etwa 3^{mm} dick. Viel geringere Dimensionen sind nicht empfehlenswerth, namentlich in Ansehung der Weite und Glasdicke, wie ich wiederholt erfahren habe. Die Masse war vorzüglich isolirend und brauchte deshalb nicht lakirt zu werden, was wesentliche Vortheile in sich schloss. Ausser jenem Gefässe benutzte ich noch einige Schalen, wo ein völliger Abschluss weniger nöthig, oder unbequem war. Sie waren von Glas und Porzellan und etwa 12^{mm} hoch, doch hätte ich eben so auch flachere oder tiefere verwenden können. Der Boden war natürlich hier gleichfalls durchbohrt und mit der nöthigen Leitung versehen.

Weniger geeignet, wie die oben beschriebene Anordnung, sind diejenigen, welche die Figuren 6 und 8 erkennen lassen. Sie sind weniger geeignet, weil man hier die untere der beiden auf einander einwirkenden Flächen nicht isoliren kann. Das Arrangement in Fig. 6 hat noch den Nachtheil, dass der Apparat der Scheibe der Maschine etwas zu nahe gerückt ist. Andererseits sind diese Anordnungen, und namentlich die letzte,

besonders einfach, weshalb ich sie mit erwähnen will; vielleicht dass Einzelnen, welche meine Versuche wiederholen, grade daran gelegen wäre. Das Brett der Maschine oder der Tisch oder eine Metallscheibe als Unterlage bildet hier die untere Elektrode, während die obere an einer verkürzten oder verlängerten Entladungsstange des linken Conductors hängt. Der rechte Conductor ist abgeleitet, oder mit der eben gedachten metallischen Unterlage verbunden. Hierzu genügt ein Draht, den man freilich dem linken Conductor möglichst fern zu halten hat. Je nach der Höhe des Gefässes und der Polhöhe mag eher nach der einen, oder der andern Schablone verfahren werden. Der maximale Effect lässt sich indessen nur so erreichen, wie es oben beschrieben ist.

Um in der Grösse und Form der Flächen möglichst variiren zu können, war ich mit einer ganzen Reihe verschiedenartiger Körper ausgerüstet. Namentlich besass ich drei verschiedene Sorten von Scheibenelektroden, nämlich von 95, 140 und 230^{mm} Grösse. Ich meine hiermit das Maass zwischen der äussersten Wölbung. Die Dicke musste bei allen die gleiche sein, sie musste etwa 35^{mm} betragen, damit keine Ausströmung erfolge. Hierneben besass ich solche, welche weniger scheibenförmig als ellipsoidisch gestaltet waren und somit den Kugeln näher kamen. Hierzu kam eine grössere Zahl von Kugeln und kegelförmigen Körpern, welche ich nicht einzeln aufführen will. Um auch das Leitungsvermögen in etwas zu verändern, wandte ich neben den metallischen analog geformte hölzerne Stücke an. Um auch rauhe Flächen zu versuchen, klebte ich auf die hölzernen Tuch, Metallfeilicht oder Cartonscheiben, in welche zuvor Nadeln eingesteckt waren.

Erscheinungen an Tropfen.

Dass sich Wassertropfen unter elektrischer Einwirkung zuspitzen, war nicht mehr zweifelhaft, aber die Einzelheiten der Erscheinung waren bisher noch nicht untersucht.

Auf das Tellerstativ setzte ich zunächst eine kleine Kugel und auf diese brachte ich einen Wassertropfen von möglichst rundlicher Gestalt. Ueber letzterem schwebte in einem Abstände von einigen Centimetern eine kleinere Scheiben-

elektrode. Anfangs drehte ich die Maschine so langsam, als möglich. Hierbei zeigte sich ohne weiteres, dass die fragliche Zuspitzung ruckweise erfolgte. Sie erfolgte in regelmässigen Zwischenräumen und war jedesmal von einer deutlich wahrnehmbaren Büschelentladung begleitet. Mir kam dabei der Gedanke, dass sich auf solche Weise vielleicht am besten intermittirende Büschel gewinnen liessen. Dass der Entladung eine schwache Hebung voraufging, liess sich wohl wahrnehmen, aber nicht, wie Zuspitzung und Entladung auf einander folgten. Kaum hatte sich die Oberfläche einwenig gehoben, so trat auch die Zuspitzung und mit ihr die Entladung ein, und der Rückfall erfolgte unmittelbar hinterher. Eine namhafte Hebung oder gar eine Zuspitzung ohne gleichzeitige Entladung habe ich unter diesen Verhältnissen niemals wahrgenommen. Hiernach liess sich wohl erwarten, dass die Dauer der Intermittenzen von der Grösse und Leitungsfähigkeit der sich entladenden Flächen abhängig sei. Als ich Tropfen auf eine grössere Kugel oder eine Scheibe brachte, wiederholte sich die Erscheinung denn auch in grösseren Intervallen, sofern die übrigen Verhältnisse ungeändert blieben. Dasselbe geschah bis zu einem gewissen Grade, wenn ich grössere Tropfen gebrauchte, oder an andern Punkten als der Entladungsstelle die Oberfläche wachsen liess. Das Umgekehrte trat ein bei Anwendung von Holzelektroden, oder wenn ich sonst Sorge trug, dass sich die angehäuften Elektricitäten weniger vollständig entladen konnten. Am meisten aber wirkte der Unterschied der Elektricität selbst; war der Tropfen negativ, so war die Intermittenzzeit kürzer, was ja auch mit sonst bekannten Entladungserscheinungen harmonirt. Uebrigens konnte ich die Verhältnisse so wählen, dass ohne das Hinzuthun eines Wassertropfens überhaupt keine Entladung erfolgte. Dies bewies schon, dass Zuspitzung und Entladung nicht wohl in dem Verhältnisse stehn konnten, dass erstere eine blosser Folge der letzteren sei.

Wenn ich die Scheibe der Maschine schneller rotiren liess, erfolgte der Wechsel der Erscheinung in demselben Maasse schneller. Zuletzt sah ich den Tropfen in constanter Zuspitzung begriffen und fast unbeweglich stehn. Aber dies war nur eine Täuschung, wie sich leicht bei Anwendung

einer stroboscopischen Scheibe ergab. Mit einer solchen konnte ich noch immer die verschiedenen Phasen der Bewegung unterscheiden. Wie schnell diese Bewegung, liess sich näherungsweise schätzen, und hierbei drängte sich zuerst der Gedanke auf, dass die absteigende wohl nur zum kleinsten Theile eine wirkliche Fallbewegung sei. Um mich hiervon zu überzeugen, änderte ich später den Versuch so ab, dass ich den Tropfen an die obere Elektrode hing. Ich konnte so ganz ähnliche Bewegungen von ähnlicher Geschwindigkeit erzeugen. Vielleicht ist neben der Wirkung der Cohäsion noch eine elektrische, dem Rückschlag analoge Wirkung im Spiele, welche die Masse nach erfolgter Entladung so plötzlich nach der sich entladenden Fläche zurückschnellen lässt. Wenn ich die Kraft der Maschine noch weiter verstärkte, trat eine eigenthümliche Spaltung der Wassermasse ein. Zwei Kegel erschienen dicht neben einander, sich heftig hin und her schaukelnd, während ihre Spitzen nach auswärts gerichtet waren. Ob ihr Auf- und Absteigen harmonirte, habe ich nicht entscheiden können, zuweilen schien es so, zuweilen schien das Umgekehrte der Fall. Diese Gestaltung war keine zufällige, sie stellte sich allemal bei einer gewissen Stärke der Wirkung ein und blieb dann auch bei stärkerer Wirkung constant. Nur in seltenen Fällen oder allenfalls bei grösseren Tropfen konnte ich durch eine kräftigere Wirkung statt einer Zweitheilung eine Dreitheilung erzwingen. Ich gedachte hierbei unwillkürlich der Gestaltungen, welche ich an elektrisirten Flammen beobachtet und unlängst an einem andern Orte beschrieben habe ¹⁾. Eine Flamme ist ja auch ein leitender und zugleich beweglicher Stoff, und es lag nahe, dass sie und ein Wassertropfen, als Electrode angewandt, sich mehrfach ähnlich verhalten würden. So tritt denn auch bei der Flamme eine Zuspitzung, ein ruckweises Emporschiessen, eine Zweitheilung als characteristisch hervor. Nur hängt alles dies sehr wesentlich von der Art der Elektrizität ab, welche im vorliegenden Falle freilich eine geringere Rolle spielt.

Nachdem ich mit Wassertropfen experimentirt, wünschte ich zu wissen, wie sich mehr zähflüssige Massen unter gleichen

1) Carl's Repert. d. Phys. Bd. 17. S. 269.

Bedingungen verhalten würden. Ich benutzte anfangs Zuckerlösung, aber später mit Vorliebe warmen Leim, weil dieser während der Versuche allmählig alle Grade der Zähigkeit durchlief. War er noch warm, und wirkte die Maschine schwach, so verhielt er sich wie Wasser, nur dass die Entladungen einander langsamer folgten, und die Zuspitzung explosiver zu verlaufen pflegte. Es bedurfte augenscheinlich einer grösseren elektrischen Anhäufung, um aus der consistenteren Masse einen Kegel zu formiren. Noch immer aber fand eine regelmässige Hebung und Senkung im Tacte der Entladungen statt. Ganz anders bei kräftiger Wirkung der Maschine, oder wenn die Masse bereits sehr zähflüssig war. Der Tropfen blieb jetzt constant kegelförmig und zwar nicht scheinbar nur, sondern auch in Wirklichkeit, während sich gleichzeitig eine fast continuirliche Strömung aus seiner Spitze ergoss. Zwischen beiden Stadien lag aber noch ein drittes und dies war das interessanteste. Man konnte es dadurch gewinnen, dass man bei mittlerer Zähigkeit des Tropfens der Maschine eine bestimmte Stärke der Wirkung gab. Dann folgte ein kegelförmiges Steigen, ohne dass es nothwendig von einer Entladung begleitet war, und diese Thatsache zeigte wenigstens mit Wahrscheinlichkeit, dass die Entladung auch sonst nur eine Folge der Zuspitzung sei. In Etwas wirkte aber auch jene bei dieser; der Kegel behielt durchschnittlich eine rundliche Spitze, solange keine Entladung vor sich ging. Hiernach schien denn der Kegel mehr eine Bildung der statischen, seine Spitze mehr eine Bildung der dynamischen Elektrizität. In jenem Stadium zeigte sich nun aber zuweilen noch ein besonderes sehr merkwürdiges Phänomen. Zunächst liess sich bei sorgfältiger Regelung der Maschine erreichen, dass aus der Spitze des Kegels nach und nach ein feiner Faden stieg. Dergleichen Wirkungen auf zähflüssige Stoffe sind wohl nichts Neues; ich will auch weniger von der Erzeugung solcher Fäden als einer eigenthümlichen Bewegung derselben reden. War der Faden nämlich bis auf eine gewisse Länge gewachsen, so nahm er plötzlich eine pendelnde und zugleich eine rotatorische Bewegung an, wie wenn man einen Stab in starke Schwingungen versetzen und gleichzeitig seine Schwingungsebene drehbar machen könnte. Die Erscheinung bot

somit den Anblick eines vollen Kegels dar und zwar meistens eines stumpfwinkligen Kegels, so stark neigte sich die Spitze des Fadens der unteren Fläche zu. Zuweilen war die Drehbewegung aber so langsam, dass man sie verfolgen konnte, und nur so wurde es möglich beide Bewegungen genauer von einander zu scheiden. Mir ist kein Mittel bekannt eine solche Bewegungsart sonst künstlich zu erzeugen, und deshalb vermüthe ich fast, dass sie eine specifisch elektrische sei. Leider habe ich sie bisher auch so nicht immer willkürlich erzeugen, noch genauer verfolgen können.

Einige weitere Resultate mögen nur kurz erwähnt werden. An Quecksilbertropfen liess sich gar keine kegelförmige Erhebung constatiren. Säuren verhielten sich dem Wasser sehr ähnlich, während sich Oele noch leichter zuspitzten, aber weniger eine rückfällige Bewegung zeigten. Letzteres war wohl eine Folge ihres Isolationsvermögens, vermöge dessen sie, wenn auch zugespitzt, nicht so leicht eine Entladung verursachen konnten. Wasser als Leiter konnte sich deshalb auch nur wenig erheben; es stieg immer nur Millimeterweise und seine Spitze erreichte niemals die obere Fläche, während Oel mehr continuirlich steigend nicht selten in langen Fäden zur andern Elektrode überging. Ein Wassertropfen war deshalb auch sehr beständig; er verlor sich erst nach Minuten, vorausgesetzt, dass er die untere Fläche netzte. War letztere zuvor angefettet, so verschwand er sehr schnell, indem grössere Theile als sonst mit jeder Entladung fortgerissen wurden. Bei allen Stoffen trat, wenn sie die negative Elektrode bildeten, eine leichtere Zuspitzung und scheinbar eine grössere Hebung ein.

Erscheinungen an grösseren leitenden
Flüssigkeitsmassen.

Ich setzte auf das Tellerstativ eine Glasschale, füllte sie fast vollständig mit Wasser und liess darüber eine Spitzenelektrode schweben. Es ergaben sich unterhalb der Spitze kegelförmige Vertiefungen, je nach dem Grade der Annäherung 1—4^{mm} tief, und bei positiver Ausstrahlung allgemein etwas tiefer. Das Letztere war erklärlich, wenn man annahm, dass der Effect ausschliesslich dem von der Spitze ausgehen-

den Luftstrome zu verdanken sei, da solcher auch sonst, wie leicht mittelst eines Flügelrädchens zu constatiren, positiven Spitzen entströmend eine grössere Triebkraft hat. Bei stumpfen Spitzen war der Eindruck flacher; bei kleinen Kugeln verschwand er vollends, und es war bei diesen auch keine Hebung nachweisbar. Auch bei mittleren Kugeln konnte das Auge keine Hebung erkennen, aber es liess sich aus einer andern Erscheinung schliessen, dass doch eine solche bestand.

Während sich kleine Kugeln nach der Wasserfläche in einem Büschelstrome entluden, fand bei mittleren Kugeln schon eine lebhaftere Funkenbildung statt. Hierbei zeigte sich auf der Oberfläche ein kreisförmiges Wellensystem, und dies konnte als Beweis gelten, dass das Wasser vor jeder Entladung ein wenig stieg. Herwig¹⁾ gewann vor einigen Jahren dieselbe Erscheinung auf etwas andre Weise. Er verband eine Quecksilberfläche mit dem einen Pole einer Influenzmaschine und liess zwischen den Elektroden derselben eine Funkenentladung vor sich gehn. Man kann aber, wie ich mich überzeugt, statt des Quecksilbers auch Wasser nehmen; man erhält so wie so ein Wellensystem, das sich mit der Häufigkeit der Entladungen modificirt. Herwig vermuthet, dass die von ihm beobachtete Erscheinung auf die gegenseitige Abstossung der elektrisirten Quecksilberteilchen beruhe. Das mag unter gedachten Verhältnissen auch die einzig mögliche Erklärung sein, zumal sich kein Unterschied zeigte, ob das Quecksilber in eine Porzellan- oder Platinschale gegossen war. Aber bei der Wellenbewegung, welche mir vorlag, war die durch elektrische Anziehung bewirkte Hebung jedenfalls die Hauptursache, wie auch die weiteren Versuche zeigen.

Ich nahm nun grosse Kugeln und Ellipsoide. Die Flüssigkeit stieg jetzt merklich vor jedem Funken, während im Centrum zugleich eine kleine Kegelspitze sichtbar wurde. Hierbei kam sie, da die Hebung schon eine grössere Fläche betraf, in solche Schwankungen, dass die Oberfläche eine einzige stehende Welle darzustellen schien, d. h. sie stieg und fiel abwechselnd in der Mitte und am Rande und allmählich immer heftiger, bis sie am Rande überfloss. Die Ursache der Ver-

1) Poggend. Ann. Bd. 159. S. 489.

stärkung lag darin, dass jene in der Mitte aufwärts schwingend der oberen Elektrode näher trat, wodurch sie den Eintritt der Entladungen begünstigte und um so mehr begünstigte, je höher sie stieg. So kam es, dass der Tact ihrer Schwingungen allmählig sehr nahe mit dem Tacte der Funken harmonirte, in Folge dessen sich wieder die Effecte der in die Zwischenräume fallenden Anziehungen häuften. Ich konnte die Maschine freilich so drehen, dass die Harmonie ausblieb, während sie sich andererseits durch eine geeignete Drehung noch vollständiger machen liess. Geschah das Letztere, so stieg wohl der Wasserberg in der Mitte 20 — 30^{mm} über die normale Oberfläche hinaus. Nie jedoch berührte er, oder richtiger seine mittlere Spitze die obere Elektrode vollständig, ob ich diese auch tiefer stellen mochte.

Als ich Scheibenelektroden anwandte, konnte ich die oben geschilderte Wirkung unter gewissen Bedingungen noch vollständig erreichen. Es galt Sorge zu tragen, dass die Funken gleich anfangs und auch später immer die Mitte der Wasserfläche trafen. Dies liess sich indessen nur erreichen, wenn die Scheibe beträchtlich kleiner als jene, und daneben richtig eingestellt war, und auch dann nur, so lange der Gang der Maschine den Schwingungen sorgfältiger angepasst blieb. Andernfalls trat eine andere Erscheinung auf, und sie war die gewöhnliche Wirkung, welche ich bei Anwendung von Scheiben erhielt. Die nach einander an verschiedenen Punkten aufschlagenden Funken erregen kleinere Wellensysteme, welche mit einander interferiren, so dass die Wasserfläche bald hier, bald dort, bald in ihrer ganzen Ausdehnung mit kleinen Erhebungen und Vertiefungen angefüllt ist. Dass die Entladungsstelle wechselt, beruht wohl darauf, dass wenn ein Funke auf dem Wasser eine fortschreitende Welle erzeugt, mit dieser zugleich der Ort der kleinsten Entfernung der Flächen im Wechseln ist. Nur ausnahmsweise kann, wenn sich die Elektrizität aufs neue so weit gesammelt, dass der folgende Funke entsteht, die frühere Stelle für den Eintritt desselben wieder die günstigste sein. Vielleicht geschieht es aus diesem Grunde mit, dass die Erscheinung um so deutlicher wird, je näher beide Flächen einander stehen, weil der Unterschied der respectiven Entfernungen hierdurch schon an

und für sich ein grösserer wird. Stehn sie nahe, so folgen die Funken aber auch schneller auf einander, und dies mag ein Gleiches bewirken, weil jeder Funke den Wellenberg des früheren alsdann noch in grösserer Höhe trifft. Die schnellere Folge wirkt natürlich auch dahin, dass sie mehr gleich hohe Wellenzüge zur Interferenz gelangen lässt. Uebrigens ergab sich, dass es noch eines kleinen Kunstgriffs bedurfte für den Fall, dass die Scheibe grösser als die Flüssigkeitsfläche war. Dann zog sich nämlich das Wasser leicht an der Wand der Schale hoch und liess zerstaubend keine regelmässige Funkenfolge zu. Nur dadurch, dass ich den Rand genau horizontal stellte und die Schale fast zum Ueberlaufen füllte, liess sich dieser Uebelstand vermeiden. Zuweilen sind es aber auch die sich nach und nach an der oberen Fläche sammelnden Tröpfchen, welche die regelmässigen Entladungen stören. Ich musste deshalb häufiger auch bei früherer Gelegenheit gedachte Fläche reinigen, um regelrechte Erscheinungen zu erhalten.

Als ich die letzteren Versuche mit einer Holzscheibe wiederholte, stellte sich anfangs kein erheblicher Unterschied ein. Plötzlich schlug die bis dahin mehr funkenartige Entladung in eine eigenthümliche tactartige Büschelentladung um. Ebenso schnell gewann das Wellennetz der Wasserfläche, welches bis dahin schwankender war, eine feste Structur. Zu gleicher Zeit stiegen fast alle bis dahin nur geringfügigen Wasserhügel zu kegelförmige Spitzen auf. Es war kaum zweifelhaft, dass sich in dieser hübschen Erscheinung eine gewöhnliche Interferenzwirkung mit einer elektrischen Wirkung combinirte, und zwar so combinirte, dass beide mit einander verwachsen, und dass jede die andere hob. Dafür sprach der sprungweise Eintritt, das tactartige Geräusch und die feste Gestalt. Hiernach stand denn zu erwarten, dass sich die auf- und abschiessenden Spitzen der Reihe nach in entgegengesetzten Schwingungsphasen befänden. Dies wollte mir auch häufig so scheinen, doch weiss ich heute noch nicht bestimmt, ob es wirklich so ist. Ich versuchte dann später dieselbe Erscheinung auch mit einer Metallscheibe zu gewinnen, und es gelang mir zuweilen, wenn die Schale nämlich fast zum Ueberlaufen voll war, und die Scheibe so fern, dass keine Funken mehr erfolgten. Mit einer Holzscheibe aber konnte ich sie

stets sicherer erzeugen, und zuweilen so, dass fast die ganze Fläche mit 5—6^{mm} hohen Spitzen überzogen war. Die hier vorliegende Erscheinung ist wesentlich anders, als diejenige, welche von Waha sah, als er Petroleum über Wasser elektrisirte. Jene Wasserspitzen steigen nicht tactmässig auf und nieder, und ihrer Gesammtheit fehlt diejenige Regelmässigkeit, wie sie in Sonderheit einer schwingenden Bewegung eigen ist. Die Petroleumschicht hindert letztere wohl aus doppeltem Grunde, erstens weil sie die Entladung erschwert, dann, weil sie das Wasser unbeweglicher macht. Dass eine grössere Unbeweglichkeit für sich allein schon ein Hinderniss ist, sah ich daran, dass ich mit flüssigem Leime nicht ein Gleiches bewirken konnte.

Obwohl von vorneherein von der Erfolglosigkeit fast überzeugt, versuchte ich doch, ob mit einer rauhen Elektrode vielleicht eine grössere Hebung zu gewinnen sei. Ich erzeugte die Rauheit, wie bereits erwähnt, auf sehr verschiedene Weise, konnte aber nur constatiren, dass sie die Hebung in jedem einzelnen Falle schwächt. Je rauher die Fläche, um so mehr wirkte sie einer einzelnen Spitze ähnlich, d. h. statt eine Hebung zu bewirken liess sie eher Vertiefungen entstehen. Ich weiss daher nicht, was Peltier mit jener Hebung meint, welche er mit einem Bündel von Spitzen bewerkstelligt haben will, da sie ihm nennenswerther schien, als diejenige, welche er mit einer gewöhnlichen glatten Fläche erzeugen konnte. Selbst zugegeben, die Spitzen hätten so dicht gestanden, dass ihre Enden fast eine zusammenhängende Fläche gebildet hätten, so konnte ihre anziehende Wirkung doch niemals so gross sein, wie sie eine wirkliche und glatte Fläche zeigte. Es muss also bei Peltier's Versuchen wohl irgend ein Factor mitgewirkt haben, der nicht in Rechnung gezogen wurde.

Liess sich mit einer rauhen Elektrode keine bevorzugte Hebung erreichen, so mochte ein besonders vermindertes Leitungsvermögen vielleicht in günstigerem Sinne wirken. Eine Holzscheibe war vielleicht noch zu gut leitend. Es mochte von Werth sein, dass sich die obere Fläche nie ganz auf einmal entladen konnte. Um dies zu prüfen, schlug ich ein Stück Tuch über einen Ring von Ebonit und hing das

Ganze an den Zipfeln des Tuches auf. So hatte ich einen Körper, welcher sehr schlecht leitete und dem Wasser zugleich in einer grösseren Fläche gegenüberstand. Ich gewann hiermit nun freilich, dass der schaukelnde Wasserberg, was sonst nie geschah, zuletzt völlig bis an die obere Elektrode stieg -- ein Beweis, dass sich diese wirklich nur partiell entlud --, doch konnte ich eine namhafte Vergrößerung der Hebung auf solche Weise nicht erreichen.

Auch die unter dieser Rubrik aufgezählten Erscheinungen gelangen durchschnittlich besser, wenn das Wasser negativ elektrisch war.

Erscheinungen an grössern isolirenden Flüssigkeitsmassen.

Ich stellte noch einige weitere Versuche mit Wasser an, aber dabei wirkten schon isolirende Flüssigkeiten mit, weshalb ich sie hier beschreiben will. Die Masse musste nothwendig eher gehoben werden, wenn nicht Luft, sondern ein gewichtigeres Medium darüber gebreitet war. Hierzu konnte ich eine der verschiedenen isolirenden Flüssigkeiten wählen, welche noch dadurch in günstigem Sinne wirkte, dass in ihr nicht so leicht Entladungen erfolgen konnten. Eine solche Anordnung ist zwar nach von Waha's Versuchen keine neue, doch glaube ich sie in einigen Punkten vervollständigt zu haben.

Auf das Tellerstativ setzte ich diesmal das cylindrische Glas, nachdem ich es 10^{mm} hoch mit Wasser und 50^{mm} hoch mit Petroleum angefüllt hatte. Bei der Füllung war ich sehr sorgfältig zu Werke gegangen, damit in der Region des Petroleums die Glaswand ganz wasserfrei sei. Zur obern Elektrode wählte ich eine Scheibe und senkte sie ganz bis auf die Oberfläche des Petroleums herab. Als die Maschine hierauf in Action trat, erhob sich das Wasser in zahlreichen Kegeln von 10—30^{mm} Höhe, je nach der Wirkung der Maschine höher oder niedriger, hier kleinere, dort grössere, theilweise fortschreitend, theilweise rotatorisch bewegt. So geschah es auch bei späterer Wiederholung des Versuchs, nur zuweilen trat statt der Vielzahl eine geringere Menge grösserer Kegel auf (Fig. 9). Diese hatten theilweise

statt einer Spitze deren zwei und auch wohl mehr, und dies scheinbar häufiger, wenn sie negativ elektrisch waren. So währte die Erscheinung indessen immer nur kurze Augenblicke, weil sich das Wasser durch capillare und elektrische Wirkung zugleich an der Glaswand aufwärts zog, und weil der Staubregen, der sich von den Kegelspitzen fortgesetzt ablöste, bald die ganze Masse des Petroleums durchdrang. Um den ersteren Uebelstand weniger fühlbar zu machen, ahmte ich versuchsweise die von Waha'sche Anordnung nach und liess die obere eine Spitzenelektrode sein. Hierdurch wurde aber jener zweite Uebelstand desto unbequemer, weil die Flüssigkeitsmassen nun noch ungestümer durch einander geschüttelt wurden. Endlich verfiel ich darauf, das Wasser garnicht in das cylindrische Glas, sondern in eine der früher benutzten Schalen zu giessen und diese auf den Boden des Gefässes zu stellen. So konnte das Wasser nicht an der Wand des letzteren aufwärts steigen, und so gelang es mir den Versuch soweit zu verlängern, dass ich die Erscheinung wohl eine Minute lang beobachten konnte. Dies war ein wesentlicher Vortheil, weil für jede Wiederholung das Gefäss zuvor sorgfältig gereinigt und abgetrocknet werden musste.

Nach den Erfahrungen, welche ich an Tropfen gemacht, interessirte es mich zu wissen, wie sich wohl flüssiger Leim an Stelle des Wassers verhalten möchte. Ich stellte eine Leimauflösung her, welche, wenn auf die gewöhnliche Zimmertemperatur erkaltet, noch so beweglich war, dass sie der elektrischen Anziehung folgen konnte. Hierbei konnte sie indessen immer noch verschiedene Grade von Zähigkeit besitzen, und ich versuchte zuerst eine solche, welche verhältnissmässig dünnflüssig war. Die Erscheinung, welche ich so gewann, war eine unerwartet hübsche. Es traten nur einzelne 30–40^{mm} hohe scharf abgegrenzte Kegel hervor, welche sich an ihrem Fussende in völliger Ruhe befanden, während ihre ungewöhnlich langen Spitzen in fortwährender Drehung begriffen waren. Diese Drehung war so, dass ein Kegel beschrieben wurde, und sie war gleichzeitig mit einer wenn auch geringfügigen Pendelbewegung verknüpft, ähnlich jener Doppelbewegung, welche ich gelegentlich der Tropfen besprach, nur dass ich dort die Pendelbewegung stärker vertreten fand.

Ich kann nicht glauben, dass diese Bewegungen rein mechanische, d. h. dass sie nur dem ungleich vertheilten Widerstande der einander durchdringenden Massen zu verdanken sind. Denn zunächst sah ich sie auch, wenn die Kegel weder auf- noch abstiegen, und daneben wüsste ich so nicht die fragliche Doppelbewegung zu erklären. Wohl aber wäre es möglich, dass die absteigende Flüssigkeit die Rotation bewirkte, während gleichzeitig die Spitzen unter dem Einfluss elektrischer Anziehung oscillirten. Noch ein Andres fiel mir bei dieser Gelegenheit in die Augen, nämlich, dass zwei der Spitzen nicht rund, sondern fächerartig gebildet waren. Ich meinte anfangs, diese Gestaltung sei nur eine zufällige; doch zeigte sich bald, dass sie mit der Eigenart der Masse zusammenhing. Ich versuchte jetzt eine Leimlösung, welche zäher war, während ich alle übrigen Verhältnisse ganz ungeändert liess. Es entstanden gar keine Kegel; wohl aber hob sich die Masse an drei Stellen in hohen fächerartigen Lappen empor. Während dieser Versuche konnte ich viel länger beobachten, als früher, und eine Trübung der Flüssigkeit stellte sich überhaupt gar nicht ein. Gleichwohl musste Wasser, wenn auch in unsichtbaren Partikelchen dem Leim entzogen werden, da das Petroleum doch leitender wurde.

Einigen Beobachtungen an Glycerin oder Salzlösungen, welche ich an Stelle des Wassers setzte, will ich hier nicht weiter gedenken und nur noch einen Versuch anführen, in welchem ich Wasser als obere Elektrode wirken liess. Zur isolirenden Flüssigkeit nahm ich Schwefelkohlenstoff, während der Gefässboden selbst die untere Elektrode war. Ich erhielt diesmal natürlich absteigende Kegel (Fig. 10.). Sie waren scheinbar mehr vereinzelt, aber noch grösser, als ich sie früher erhalten hatte.

Es ist schon bemerkt, dass man dort, wo die isolirende Masse die obere ist, an Stelle der Scheibe auch eine Spitze gebrauchen kann. Es ist ziemlich gleichgültig, wie hoch diese dann über der Flüssigkeit schwebt, da sie letztere nur durch Ausstrahlung elektrisch machen soll. Hier ist es auch nicht die Spitze, welche das Wasser hebt, sondern es ist der flüssige Isolator selbst in seinen höher gelegenen Theilen; und dies ist um deswillen interessant, weil man sieht,

dass schwebende Theilchen, selbst sinkend, noch gedachte Effecte erzeugen können. Der Versuch bleibt hierbei aber nicht so einfach; es mischen sich mancherlei Erscheinungen bei, welche besser für sich betrachtet werden.

Letzteres geschah nun specieller bei den nachfolgenden Versuchen, wo ich isolirende Flüssigkeiten für sich allein der elektrischen Einwirkung unterwarf. Ich habe deren verschiedene geprüft, aber nicht wesentlich andre Resultate erhalten, weshalb ich hier nur das beschreiben will, was sich bei Anwendung von Petroleum ergab.

Ich goss die Flüssigkeit in dasselbe cylindrische Glasgefäß und brachte über ihr in 50^{mm} Entfernung eine Spitzenelektrode an. Eine starke Bewegung entstand und aus ihr hoben sich eine Reihe von Erscheinungen ab, wie von Waha sie schon theilweise beschreibt. An einzelnen Orten formirte sich die Oberfläche zu Hügeln, während sie gleichzeitig an anderen Orten trichterförmig sank. Jene erschienen mehr stumpf, diese mehr spitz, und je nach der Wirkung der Maschine von 5—10^{mm} Höhe. Hügel und Trichter änderten vielfach ihre Stellen, und in beiden fand eine fortwährende Drehung der Flüssigkeit statt. Von den Trichtern löste sich häufig ein Regen von Luftblasen ab, der tief in die Flüssigkeit drang und hier wild umher geworfen wurde. Senkten sich die Trichter einmal tiefer, als gewöhnlich, so pflegte in ihnen eine funkenähnliche Entladung zu erfolgen. Als ich die Flüssigkeitsschicht verminderte, wurden die Hügel immer höher, blieben jedoch fortgesetzt stumpf; zugleich wählten sie sich festere Plätze aus, welche augenscheinlich mit der Beschaffenheit der Stanniolfläche congruirten. Ich machte letztere an einer Seite etwas eckig. Jetzt trat oberhalb dieser Stelle ein noch grösserer Hügel auf. Ein Gleiches geschah, als ich aus ihren mittleren Theilen ein kleines Scheibchen aushob, nachdem ich sie aussen wieder rund geschnitten hatte. Nun setzte ich auf ihre Mitte eine kleine Spitze. Da erhob sich hier ein strudelnder Flüssigkeitsberg von 30—40^{mm} Höhe. Endlich verlängerte ich jene, bis sie fast aus der Flüssigkeit heraustat. Jetzt wurde der Strudel mehr buschartig, als ob die obere Spitze seinem Aufsteigen hinderlich sei. Dies veranlasste mich die obere Spitze ganz fortzunehmen,

aber ich konnte so doch nur sporadisch ein etwas höheres Aufsteigen bewirken.

Dass in letzterem Falle die Flüssigkeit nicht höher stieg, mochte an der Höhe des Glases liegen, das jene ein gut Theil überragte, aber auch darin, dass die Nähe der Stanniolfläche die untere Spitze nur ungenügend als Spitze wirken liess. Um dies zu prüfen nahm ich zunächst eine Schale mit gleich grosser Stanniolfläche, in deren Mitte eine Spitze befestigt war. Ich konnte so in der That schon ein höheres Aufsteigen bewirken unter sonst gleichen Verhältnissen, als es früher gelungen war. Hierauf entfernte ich den Stanniol und setzte die Schale auf einen Cylinder von Glas, den ich auf die gewöhnliche Unterlage stellte, nachdem ich in der Axe des Cylinders eine Messingröhre befestigt, welche die nöthige Verbindung vermitteln sollte. Diese Anordnung war noch wirksamer, als die erste. Schon, ohne dass ich den zweiten Pol der Maschine ableitete, schoss die Flüssigkeit wohl einen halben Meter auf, und das Doppelte und mehr noch liess sich erreichen, wenn jener Pol abgeleitet und die Maschine in voller Thätigkeit war. So wie von Waha dies erreichte, habe ich es indessen nicht erreichen können, ich meine mit einer Schale, in welche gleichzeitig beide Pole eingeleitet waren. Vielleicht ist der Grund, dass dort eine grössere Schale, oder eine kräftigere Maschine zu Gebote standen. Andreerseits habe ich den Unterschied zwischen positiver und negativer Elektrizität, wie ihn von Waha anführt, im Wesentlichen bestätigt gefunden. Der Aufstieg bei negativer Elektrizität war unter allen Umständen viel erheblicher, doch warf auch die positive zuweilen ziemlich hohe, aber engere und feinere Strahlen auf. Hierbei mag die Nadelspitze freilich der Oberfläche ein Minimum näher gestanden haben, was nicht immer genau nachweisbar war. Die Constatirung jener Thatsache, dass die negative für flüssige Isolatoren eine grössere Triebkraft hat, scheint mir um deswegen interessant, weil wir für luftförmige Isolatoren das Umgekehrte vermuthen dürfen, nach dem wenigstens, wie sich gewöhnliche Luft bei der Ausstrahlung verhält. Letzteres collidirt auch ganz und gar nicht mit der Wiedemann- und Rühlmann'schen Hypothese, nach welcher die positive Elektrizität schwerer in Gase über-

geht, da hieraus vielmehr folgt, dass sie sich stärker anhäufen und somit der Luft auch stärkere Impulse ertheilen kann. Freilich möchte man nach den Hittorf-Crooke'schen Versuchen schliessen, dass sich dies Verhalten bei sehr starker Verdünnung der Gase wieder in das Gegentheil verwandeln kann.

Die Strahlen, welche so bei einseitiger Elektrisirung aufschliessen, haben ganz das Ansehn von Springbrunnen, nur dass die Vieltheilung hier stärker ist und früher beginnt. Die elektrische Abstossung begünstigt natürlich diese Vieltheilung, und sie bewirkt zugleich, dass die partiellen Strahlen stark nach allen Richtungen divergiren. Aber bei positiver Electricität trat, wie schon angedeutet, die Divergenz schwächer auf, und es will mir scheinen, als ob sich hierin ein allgemeiner Grundzug elektrischer Ausstrahlung offenbare. Schon die gewöhnliche Büschelbildung tritt hierfür ein, aber noch entschiedener jene in flüssigen Isolatoren und das Glimmlicht nach dem, was ich in früheren Versuchen fand ¹⁾.

Nun fragte es sich noch, ob auch bei letztgedachter Anordnung eine von oben wirkende entgegengesetzt elektrische Spitze die Steigkraft schwächen würde. Ich versuchte dies und konnte mit einer solchen, selbst wenn ich sie nur einfach mit der Hand hielt, schon die fragliche Schwächung bewirken. Je mehr ich sie senkte, um so tiefer fiel der Strahl, und zuletzt gewann er wieder jene oben erwähnte buschartige Gestalt. Die obere Spitze nahm wohl durch ihre Ausstrahlung den schwebenden Flüssigkeitsmassen nicht bloss ihre Ladung, sondern lud sie gleichzeitig mit entgegengesetzter Electricität. So strebten sie wieder nach unten und stiegen deshalb weniger hoch. Zuletzt mochte der Luftstrom der Spitze die Massen noch mechanisch aus einander treiben.

Ich nahm nun wieder die frühere Form des Versuches auf; ich goss die Flüssigkeit in das cylindrische Glas, wandte aber Kugeln an Stelle der Spitze an. Jetzt verminderten sich die Erhöhungen und Vertiefungen, welche ich früher sah, und in dem Maasse mehr, als die Kugeln grösser wurden. Zu-

1) Wiedem. Ann. Bd. 11. S. 715. — Götting. Akademieber. 1880. S. 608.

gleich stellten sich zwischen diesen und der Flüssigkeit büschel- und funkenartige Entladungen ein, die zeitweise die sonstigen Erscheinungen störten. Endlich nahm ich grosse Kugeln, Ellipsoide und Scheiben. Jetzt verstärkte sich wieder die Unebenheit, wich aber gleichwohl sehr wesentlich von der früheren Gestaltung ab. Dort verliefen die Vertiefungen spitz, während sich die Erhöhungen abwölbten; hier wölbten sich die Vertiefungen ab, während die Erhöhungen spitz verliefen. Dies zeigte sich noch deutlicher, als ich die Stanniolfäche zackig ausschnitt, oder statt ihrer eine mit vielen Spitzen armirte Messingplatte wirken liess. Letzteres gab zugleich den Schlüssel zur Erklärung besagten Unterschiedes, sofern derselbe überhaupt noch einer Erklärung bedürftig war. Die spitzen Gebilde waren in beiden Fällen das Primäre; sie waren diejenige Gestaltung, in welcher sich die Oberfläche der Flüssigkeit zu entladen strebte. Die stumpfen Gebilde waren ihre nothwendige Folge, da dem Ueberfluss an jenen Stellen an anderen ein Mangel entsprechen musste. War oben eine Spitze, so wurde die Oberfläche der Flüssigkeit schneller elektrisch, als diese die Elektrizität weiter nach unten befördern konnte. Deshalb suchte sich jene nach der Stanniolfäche zu entladen und trat in zugespitzten Kegeln in die Flüssigkeitsmasse ein. War eine Scheibe oben, so wurde die Oberfläche durch sie gar nicht elektrisch, wohl aber führte ihr die Flüssigkeitsmasse zumal bei spitziger Bodenleitung die Elektrizität der unteren Elektrode zu. Deshalb drang sie, mit der Scheibe ungleichnamig elektrisch und nach dieser sich zu entladen strebend, zugespitzt in den luftförmigen Zwischenraum ein.

Aber noch in einem andern Punkte differirte die frühere Wirkung von der jetzigen. Die ehemaligen Trichter stiegen lange nicht so tief hinab, als die jetzigen Kegel aufwärts gezogen wurden. Denn aus den Kegeln wurden, als die Maschine kräftiger wirkte, bald Säulen, welche dann bei constanter Wirkung dauernd an der oberen Elektrode haften blieben. Die Ursache dieses Unterschiedes war gleichfalls nicht lange zweifelhaft. Bei früherer Anordnung strömte die Elektrizität der Stanniolfäche wegen des scharfen Randes leicht in die Flüssigkeit hinein, während bei jetziger Anord-

nung die Elektricität der Scheibe wegen der peripherischen Abrundung schwer in die Luft übergang. Dort musste also die Flüssigkeit weit eher die Elektricität der unteren Elektrode gewinnen, als solches hier für die Luft von Seiten der oberen Elektrode zu befürchten war. Dies veranlasste mich die Versuche noch so zu wiederholen, dass ich in die Flüssigkeit eine metallische Hohl Scheibe versenkte, die ich durch Schrotkörner soweit beschwerte, dass sie weder dem Auftrieb jener noch der elektrischen Anziehung wich. Es fand wirklich bei oberer Spitze eine erhebliche Verlängerung der Trichter statt, während die Kegel, wenn oben eine Scheibe war, in demselben Maasse eine Verkürzung erfuhren. Später änderte ich die Versuche auch dahin, dass ich die Elektroden und die ihnen nächste Leitung aus Holz bestehn liess. So wurden die lästigen Entladungen zum grösseren Theile vermieden, aber nicht ganz die sonstige Wirkung erreicht.

Es erübrigte noch den gemeinsamen Effect einer unteren Spitze und einer oberen Scheibe zu untersuchen. Es stand zu erwarten, dass dies die zweckmässigste Anordnung sei, um die Masse hoch und zugleich in dickerem Strahle aufwärts zu treiben. Jene Strahlen bei einseitiger Elektrisirung waren nur sehr dünn, wenn sie auch eine grössere Höhe hatten, und dies war begreiflich, weil die Spitze um zu wirken der Oberfläche ausserordentlich nahe treten musste. Wirkte die Anziehung einer oberen Fläche mit, so musste man jene verhältnissmässig tiefer stellen können, und der Strahl wuchs dann vermuthlich an Dicke, weil die Spitze auf eine dickere Schicht der Flüssigkeit influirte. Es ergab sich denn auch, dass der Auftrieb bei gleichzeitiger Anwendung einer oberen Fläche allgemein wuchs, indem sich bei gleicher Stellung der Spitze eine grössere Höhe und bei gleicher Höhe eine grössere Dicke erreichen liess. Natürlich wuchs der Effect mit Vergrösserung der Scheibe und in dem Maasse, als die Spitze kräftiger als Spitze wirken konnte; deshalb erhielt ich auch hier die grösste Wirkung mit Schalen, besonders wenn ich sie so stellte, wie ich es bei einseitiger Isolirung beschrieben habe. Aber schon mit dem Cylinderglas und bei gewöhnlicher Stellung, wenn die Spitze sich auch nur einige Centimeter über die Bodenfläche erhob, konnte ich Säulen erzeugen, welche bei 90^{mm} Höhe an

ihrer schwächsten Stelle noch dicker wie eine Bleifeder erschienen.

Unter solchen Verhältnissen ändert sich je nach der Wirkung der Maschine die Erscheinung oft in der mannigfaltigsten Weise. Lässt man sie nur schwach wirken, so kann man es erreichen, zumal wenn die Flüssigkeitsschicht über der Spitze eine geringere Dicke hat, dass sich ein Kegel von sehr geringer Höhe bildet, welcher fortgesetzt Tropfen aufwirft, welche parabolisch wieder niederwärts fallen. Letztere Bewegung ist eine merkwürdig langsame; die Tropfen erscheinen zeitweise ganz unbewegt, als ob sie schwebten, wie der bekannte elektrische Fisch. Lässt man die Flüssigkeit durch verstärkte Wirkung weiter aufsteigen, so kann man den Kegel bei sehr constanter Drehung ziemlich in gleicher Höhe erhalten. Hierbei zeigt sich recht deutlich die Drehbewegung; ferner sieht man so am besten die sporadischen Spaltungen der Spitze (Fig. 11). Lässt man die Flüssigkeit endlich bis an die Scheibe steigen, so geschieht dies auch nicht immer in einem compacten Strahle, vielmehr tritt häufig schon vorher eine Zertheilung der Masse ein; dort angekommen wird sie aber allemal nach der Peripherie getrieben, wo sie in zahlreichen kleineren Kegeln oder dünneren Säulen wieder niederwärts fließt (Fig. 12). Bei gewisser hügeliger Form der unteren Scheibenfläche ist letzteres natürlich weniger der Fall; man kann so auch wohl bewirken, dass zwei entgegengerichtete Strahlen nahe bei einander fließen. Nie jedoch ist mir eine völlige Berührung zweier entgegengesetzter Strömungen gelungen, noch habe ich einen einzigen Strahl erzeugen können, in welchem die Flüssigkeit zugleich nach beiden Richtungen floss. Ich behaupte aber nicht, dass etwas Derartiges nicht doch zu erzeugen wäre, falls man es dahin bringen könnte, dass die anprallenden Flüssigkeitstheilchen von der Scheibe sofort die entgegengesetzte Elektrizität empfangen.

Die letzteren Fragen führten mich auf einen Versuch, der kurz erwähnt werden mag, wenn derselbe auch Nichts zur Lösung jener Fragen beigetragen hat. Ich wollte die Flüssigkeit nämlich in einer Glasröhre bis an die Scheibe steigen lassen, um so vielleicht entgegengesetzte Strömungen zu gewinnen, was indessen ziemlich resultatlos verlief. Da

jene aber doch anstieg, so interessirte es mich zu wissen, ob sie, wenn ich die Glasröhre ganz durch die Scheibe hindurchsteckte, wohl bis jenseit der Scheibe steigen würde. Es zeigte sich, dass dies allerdings zu erreichen war, zumal, wenn die Röhre an dem in die Flüssigkeit tauchenden Ende eine Erweiterung erhalten hatte. Die Masse floss dann continuirlich durch die Röhre hindurch (Fig. 13), obwohl sie doch schon in der Röhre selbst von der Scheibe nach unten gezogen werden musste. Zugleich hob sie sich am Fussende zu einem die Röhre umfassenden Kegel, der jedoch stets in gewisser Entfernung von der unteren Fläche der Scheibe blieb.

Ist nur eine Spitze vorhanden und steht sie nahe der Oberfläche, so kann natürlich auch nur ein Strahl steigen und ihm muss gleichzeitig die fortschreitende Bewegung fehlen. Sind mehrere Spitzen vorhanden, welche der Oberfläche nahe stehn, so können sich zwar mehrere Säulen bilden, aber sie können ebenso keine fortschreitende Bewegung haben. Stehn eine oder mehrere Spitzen dagegen tief, oder wirkt der Rand der Stanniolfläche für sich allein, so können sich auch, wenn die Scheibe näher ist, mehrere gleichzeitige Säulen bilden (Fig. 14), und dann gesellt sich zur rotatorischen Bewegung die fortschreitende, weil nun die Hauptstellen elektrischen Zuflusses grösseren Schwankungen unterworfen sind.

Ich habe versucht die Elektrizität dadurch leichter in die Flüssigkeit dringen zu lassen, dass ich dieser durch fremden Zusatz einwenig von ihrem Isolirungsvermögen nahm. Ich wollte die Wirkung der unteren Spitzen dadurch ersetzen. Doch habe ich bisher keine entsprechenden Erfolge erzielt.

Erscheinungen an pulverartigen Stoffen und Dämpfen.

Von pulverartigen Stoffen erwartete ich nur wenig, d. h. ich erwartete kaum, dass sie wesentlich neue Erscheinungen zeigen würden. Ich wünschte jedoch vor allem genau festzustellen, wie es sich mit jener Becket'schen vermeintlichen Drehbewegung verhalte. Ich habe schon mitgetheilt, dass mir solche zu erzeugen früher nicht gelingen wollte; aber ich liess damals sowohl rauhe als besonders schlecht leitende Elektrodenflächen unversucht. Es war nicht unmöglich, dass die aus solcher Beschaffenheit resultirende Ausströmung oder

ungleichmässige Vertheilung der Elektrizität an der Erscheinung mitbetheiligt sei.

Ich benutzte jetzt für gewöhnlich wieder das cylindrische Glas und zwar zunächst so, dass die Stoffe auf die metallische Bodenfläche geschüttet wurden. Später wandte ich als untere Elektrode glatte und rauhe Scheiben endlich auch Spitzen an und änderte ebenmässig die obere Elektrode ab. Versuchsweise verfuhr ich aber auch wie Becket, zwei Scheiben frei einander gegenüber stellend, und wandte hierbei neben metallischen auch hölzerne und solche von Seidenpapier an.

Bei alledem erhielt ich keine andern Erscheinungen, als ich sie früher erhalten hatte und konnte nur constatiren, dass sie von der Beschaffenheit der Elektroden merkwürdig unabhängig waren. Glattere Stoffe, wie Sand, Mohnsamen und reducirtes Eisen stiegen fortgesetzt wie Korkkugeln, nur ungestümer, auf und ab. Rauhere Stoffe, wenn gleichzeitig halbleitend, wie Kleie und Sägespäne, wuchsen allmählig zu stalaktitenartigen Kegel- oder Säulengebilden an. Gewisse Stoffe, wie Bärlappsamen und Mehl, verhielten sich merkwürdig indifferent, als ob sie ganz vorzügliche Ausstrahler wären. Nie jedoch hatte bei jenen Kegel- und Säulengebilden, und dies war für mich die Hauptsache, eine fortschreitende oder drehende Bewegung statt. Nur an Papierschnitzeln, wenn sie grösser und mehr länglich waren, habe ich eine solche wohl sporadisch beobachten können, wo sie sich freilich durch zufällige Anordnung einzelner bevorzugt ausstrahlender Ecken sehr natürlich erklärt.

Aber auch die Kegel und Säulen der pulverartigen Stoffe sind ihrer Entstehung nach kaum mit jenen der Flüssigkeiten zu vergleichen. Dort sind sie augenscheinlich ein Effect der statischen, hier mehr eine Wirkung der dynamischen Elektrizität. Dort erfahren gewisse Theile der Oberfläche eine Anziehung, aber sie können nicht für sich allein steigen, weil die Cohäsion sie mit den Nachbartheilchen verbindet. Alle heben sich also zusammen und in Gestalt eines Kegels, wie eine Tuchfläche sich kegelartig gestaltet, wenn man einen ihrer Punkte aufwärts zieht. Hier setzen sich die umhergeworfenen Theilchen voraussichtlich an bevorzugten Stellen der Ausstrahlung an. Und sie kleben, weil ihre der zweiten

Elektrode zugewandte Enden durch Ausstrahlung mehr Elektrizität abgeben, als sie durch Leitung empfangen. So klebt eine Korkscheibe mit der Spitze einer Nadel armirt, wenn man ihre glatte Seite an eine wirksame elektrische Fläche legt. Und so klebt ein Theilchen voraussichtlich an das andere, wenn der Stoff so beschaffen, dass das Ausstrahlungsvermögen das Leitungsvermögen übertrifft. Dort steigt erst die Spitze, dann folgt die Basis. Hier erhebt sich die Basis zuerst, und die Spitze folgt. Nur dann liesse sich vielleicht auch bei pulverartigen Stoffen die Zuspitzung der Flüssigkeiten nachahmen, wenn man die Theilchen cohärenter machen könnte. Ich versuchte dies mit Hülfe magnetischer Einwirkung bei fein vertheiltem Eisen, wo es indessen nicht gelang.

Gleichwohl hatten meine Versuche mit pulverartigen Stoffen doch einen kleinen Erfolg, sofern sich eine neue Thatsache ergab. Es zeigte sich nämlich bei den rauheren Stoffen ein auffallender Unterschied zwischen positiver und negativer Elektrizität. Es handelt sich um die grössere oder geringere Anhäufung dieser Stoffe an den Elektroden, welche man natürlich nur an der obern bemerken konnte. War sie positiv diese obere, so setzten sich die Stoffe weit dichter an ihre untere Fläche an. War sie negativ so klebte hier nur wenig, aber dafür fand sich weit mehr Stoff auf ihrer oberen Fläche vor. Jene bevorzugte Anhäufung bei positiver Elektrizität zeigte sich gleichzeitig in der Verlängerung der Kegelgebilde. Dieser Unterschied war übrigens nicht bloss an Scheiben, sondern auch an Kugeln und bis zu einem gewissen Grade noch an Spitzen zu erkennen. Ohne Zweifel spricht sich hierin wieder ein allgemeiner Zug elektrischer Entladungsphänomene aus, da auch Funken, Büschel und Glimmlicht, wie wir wissen, die positive Elektrode weniger als die negative umfassen. Dann müssen die Wege des Ausgleichs natürlich um so dichter liegen, je kleiner der Raum, über welchen sie sich verbreiten; und ist die ganze Anhäufung, wie ich meine, wirklich nur elektrodynamisch, so ist hiermit zugleich deren grössere oder geringere Dichtigkeit erklärt.

Von dampf- und rauchförmigen Stoffen erwartete ich mehr; aber hier fiel die Ausbeute grade am geringfügigsten aus.

Die Ursache wurde mir erst später klar, nachdem ich die Versuche bereits abgebrochen hatte.

Um Dämpfe zu prüfen, goss ich heisses Wasser in eine meiner Schalen und stellte sie auf das Tellerstativ, während ich die obere Elektrode — hier konnte ich nur diese variiren — mehrfach abänderte und höher oder tiefer hängen liess. Den Glascylinder konnte ich nicht verwenden, weil sich die Luft in demselben erwärmen musste, und die Dämpfe dann unsichtbar blieben.

Ich konnte so wohl bemerken, dass die Bewegung der Dampfbläschen bei elektrischer Einwirkung eine andere wurde. Eine Scheibe zog sie merklich schneller nach oben, während eine Spitze oder der von ihr ausgehende Luftstrom sie ungestüm niederwärts trieb. Letzteren Falls fand auch eine gewisse Art von Wirbelbewegung statt, sofern sie aus der Mitte der Schale nach aussen getrieben sich hier auf's neue erhoben und, sich der entgegengesetzt elektrischen Strömung annähernd, mit dieser wieder nach unten gerissen wurden. Aber niemals gestaltete sich der Dampf kegel- oder säulenartig, noch liess sich eine um eine senkrechte Axe erfolgende Drehbewegung constatiren, jene unbestimmten Gestaltungen nicht gerechnet, welche Dämpfe auch sonst, wenn sie aufsteigen, wohl sporadisch anzunehmen pflegen. Die Spitze wirkte freilich auch so, dass sie die Dampfbläschen zahlreicher machte, aber dies war nicht wunderbar, da sie fortgesetzt neue und kältere Luft nach der Schale trieb.

Ich zweifle hiernach kaum, dass Peltier irrte, als er die bei Spitzen erfolgende Wirbelbewegung und vermehrte Dampfbildung für specifisch elektrische Wirkungen hielt. Was die letztere betrifft, so will ich zwar garnicht bestreiten, zumal die neuere Gastheorie darauf hinweist, dass die Elektrizität direct die Verdampfung befördern könne, aber dann muss dies eher sein, wenn die Spannung eine grössere ist, also eher, wenn man möglichst glatte Flächen wirken lässt. Deshalb sind auch die neueren Versuche Mascart's ¹⁾ in dieser Richtung nicht beweisend, weil er Schalen unter Drahtgeflechte stellt, und selbst bei ganz glatter Fläche wäre der Versuch

1) Compt. Rend. 1878. p. 575.

noch nicht rein, wenn sich nicht das durch ihre Anziehung begünstigte Aufsteigen der bereits vorhandenen Dämpfe verhüten liesse.

Nachdem ich mit Wasserdampf Nichts erreicht, ging ich zu einer andern Dampfbildung über, weil sie mir eher eine ruhige, glatte Oberfläche zu versprechen schien. Denn war die fragliche Gestaltung überhaupt möglich, so musste sie bei einer solchen am besten zu beobachten sein. Ich goss in die Schale ein wenig Ammoniakwasser und deckte darüber eine siebartig durchlöchernte Pappscheibe, welche ich mit Salzsäure tränkte. Die so erzeugte Wolke war in Wirklichkeit etwas ruhiger; doch liess sich auch an dieser weder eine Kegel- noch eine Säulenbildung constatiren.

Nun ging ich zu Rauch über und ahmte hierbei die sinnreiche Anordnung nach, welche vor einigen Jahren Antolik¹⁾ zur Darstellung seiner Rauchfiguren verwandte. Derselbe liess den Rauch nämlich durch ein längeres Kühlrohr gehn, damit er abgekühlt sich fester an die untere Fläche schmiege. Antolik liess auf eine so vorbereitete Rauchwolke, wenn sie auf dem Tische lag, den Knopf einer Leydener Flasche wirken und sah, dass sie sich in viele kleine Wölkchen theilte, welche sich wirbelnd ein wenig hoben und dann wieder mit einander mischten. Vielleicht mochte nun der Effect ein anderer sein, wenn statt der Kugel eine grössere Metallscheibe reagirte, oder wenn der Rauch auf einer rauheren Fläche lag, oder wenn die Unterlage selbst entgegengesetzt elektrisch war. Es zeigte sich jedoch, dass die von Antolik empfohlenen Verhältnisse im Ganzen die günstigsten waren und dass sich die Erscheinung durch Umgestaltung derselben überhaupt nur wenig verändern liess. Nur sah ich, dass wenn ich eine Scheibe, die ich vorher schwach elektrisch machte, in gewissem Abstände hielt, diese die Wölkchen in Fäden, welche eine entfernte Aehnlichkeit mit Säulen haben mochten, nach oben zog.

Weshalb treten nun bei Theilchen, welche in Gasen schwimmen, und welche, wenn sie auch nicht auf einander wirken, doch durch das Gas in gewisser elastischer Verbindung

1) Wiedem. Ann. Bd. 1. S. 310.

stehn, nicht ähnliche Erscheinungen auf wie bei Theilchen von Flüssigkeiten, wenn man sie scheinbar gleicher elektrischer Einwirkung unterwirft? Der Grund liegt wohl darin, dass jene bei gleichem Isolirungsvermögen doch ungleich beweglicher sind. Die Zuspitzungen der Flüssigkeiten entstehen ja nur dadurch, dass wir die Oberfläche der Flüssigkeit stark elektrisch machen können, und wir können dies trotz ihres Isolirungsvermögens, weil die Elektrizität immer noch eher die Masse durchwandert, als dass diese selbst emporgehoben würde. Nur wenn eine Spitze sehr nahe der Oberfläche steht, überwiegt die letztere Wirkung, die indessen auch nur durch die relative Unbeweglichkeit der übrigen Masse in Erscheinung tritt. Ganz anders bei Gasen. Wir können die Oberfläche einer Gasschicht garnicht elektrisch machen, ohne dass die ganze Schicht bei unterer Einwirkung der Elektrizität sofort aufgehoben würde. Hier erfolgt die Hebung eher, als dass die Elektrizität durch die Masse des Gases wandert, und ihre Oberfläche wird deformirt, bevor sie selbst elektrisch werden kann. Ueberall tritt daher eher eine Abstossung des Ganzen als eine Anziehung der Oberfläche ein; und selbst die abstossende Wirkung einer Spitze ist eine andere als bei Flüssigkeiten, wo die grössere Masse relativ ruhiger bleibt.

So ist es im Experiment, wo wir ein Gas nur durch Mittheilung d. h. bei gleichzeitiger Anwendung einer leitenden Fläche elektrisch machen können. Wir können aus den so beobachteten Erscheinungen freilich kaum Schlüsse auf die Natur ziehn, wo sich die Elektrizität innerhalb der Gase selbst erzeugt.

Schlussbetrachtungen.

Es ist von den Gegnern der elektrischen Theorie die Frage aufgeworfen, weshalb die Wollenelektrizität bald Entladungs-, bald Anziehungserscheinungen erzeugen sollte. Wir wissen indessen längst, dass je nach der Beschaffenheit der wirksamen Flächen und auch nach der Elektrizitätsart

eher das Eine oder noch das Andere erfolgen kann. Am meisten wirkt wohl die respective Grösse der Flächen; deshalb traten bei kleineren Kugeln früher Entladungen ein, als dass die darunter befindliche Flüssigkeit gehoben wurde. Um die Gestalt der Wolken handelt es sich aber nicht bloss, sondern auch um diejenige der Erde; über grösseren ebenen Flächen werden eher Anziehungs- als Entladungsphänomene erfolgen können. Noch ganz andre Factoren indessen dürften wesentlich mit entscheiden; so namentlich die Schnelligkeit, mit welcher die elektrische Anhäufung vor sich geht. Es ist ohne weiteres klar, dass diese so plötzlich anwachsen kann, dass eine Entladung schon früher erfolgt, ehe materielle Massen Bewegungerscheinungen zeigen. Auch dass muss in Betracht kommen, ob die Luft unterhalb der Wolke selber elektrisch und von welcher Art sie elektrisch ist. Bei gleichnamiger Ladung müsste sie z. B. die Anziehung verstärken und daneben ein Hinderniss für den Eintritt einer Ausgleichung sein.

Ein anderer Einwand ist der, dass wenn die Wolkenelectricität so Gewaltiges durch ihre Anziehung leistet, auch stärkere Entladungsacte die Tromben begleiten müssten; während umgekehrt zur Zeit jener Gebilde die gewöhnlichen Gewittererscheinungen gerade sehr geringfügig sind. Dagegen lässt sich indessen anführen, dass es eher unbefreiflich wäre, wenn sie neben einer kräftigen Wirkung gleichzeitig noch eine zweite erzeugen könnte, weil sie, conform aller sonstigen Erfahrung, sich in jener bis zu gewissem Grade erschöpfen muss. Es ist nicht schwer, die Art und Weise dieser Erschöpfung zu begreifen für den Fall, dass die Trombe bereits vollständig ausgebildet ist. Die Anhänger der elektrischen Theorie haben letztere stets so betrachtet, als ob sie eine leitende Brücke zwischen der Wolke und der Erdoberfläche sei. Aber wie kann es geschehn, dass, wenn diese Brücke noch nicht perfect ist, wenn die Ladung der Wolke also noch nicht geschwächt wird, die Gewittererscheinungen gleichwohl geringfügiger sind? Es handelt sich hier um die Frage, wie weit sich gewisse Entladungseffecte mit Annäherung der sich entladenden Flächen ändern. Nun wissen wir aber, dass die akustische und optische Wirkung — und diese

wird vorzugsweise bemerkt — mit der Annäherung eine schwächere wird, während andererseits freilich die calorische — welche jedoch hier weniger maassgebend ist — eine Verstärkung erfährt. Uebrigens könnte die Zuspitzung der Wolke auch wohl als Spitze wirken d. h. eine dem Büschel ähnliche Form der Ausgleichung erzeugen. So wirkten die sich in Petroleum erhebenden Wasserkegel nach dem, was sich im Dunkeln beobachten liess. Und dass Wolkenzipfel sich ähnlich verhalten könnten, darauf weisen gewisse an Tromben gemachte Erfahrungen wenigstens mit Wahrscheinlichkeit hin.

Wenn die Tromben — so lautet ein dritter Einwand — durch Elektrizität allein entständen, so müssten sie, wenn auch nicht immer ausgebildet, so doch in ihren Anfängen, weit häufiger beobachtet werden. Jede Gewitterwolke müsste die Neigung zeigen, sich zuzuspitzen; und es müssten Tromben auch zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Wolken anzutreffen sein. Ich will dem entgegen halten, dass ich aus meinen Versuchen glaube den Schluss ziehen zu dürfen, dass eine Zuspitzung überhaupt nur dann erfolgt, wenn die fragliche Oberfläche vorzugsweise elektrisch ist d. h. wenn sie nicht gleichzeitig unter dem Einflusse anderer eben so stark oder gar stärker elektrischen Schichten steht. So wenig wir aber auch wissen, wie die Elektrizität der Wolken erzeugt wird, so lässt sich doch vermuthen, dass jene Bedingung nur in Ausnahmefällen Gültigkeit haben kann; weit eher wird es geschehn, dass die untere Wolkenschicht durch darüber befindliche Schichten eine starke Abstossung erfährt, und dann liegt der Fall vor, welcher im Experimente vorlag, als ich mit Dampf- und Rauchwolken operirte. Uebrigens gestalten sich die Gewitterwolken bekanntermaassen auch häufig zackig und sind selten so glatt, wie es durchschnittlich gewöhnliche Wolken scheinen. Vielleicht liegt die grössere Seltenheit exacter Zuspitzung auch mit in ihrer Elektrizitätsart; sie führen häufiger die positive; während, nach der Zuspitzung der Flüssigkeiten zu schliessen, die negative dieser Gestaltung günstiger ist.

Wenn ich versuche das, was man der elektrischen Theorie gewöhnlich vorwirft, etwas zu entkräften, so gebe ich doch keineswegs die Tromben für rein elektrische

Gebilde aus. Aber ich meine, dass die Elektricität an ihrer Bildung wesentlich betheiliget sei, weil die Wirkung von Luftströmen für sich allein manche Erscheinung der Tromben nicht genügend erklärt.

Muncke bemerkt schon, dass die eigenthümliche Gestaltung des Fusses, der sprudelnde Aufstiege des Wassers und sein parabolischer Rückfall nicht wohl als alleiniger Effect aufsteigender Luftströme zu betrachten sei. Aber es sind andre Erscheinungen, welche noch weniger so zu erklären sind und welche mit der Annahme aufsteigender Luftströme, wenn diese für sich allein wirken sollten, gradezu im Widerspruche stehn. Zunächst jene Vertiefungen der Wasserfläche unterhalb noch unfertiger schwebender Tromben; dann der Wind, welcher aus der untern Spitze solcher Tromben zu fließen schien; endlich das süsse Wasser, womit jedesmal die Schiffe überschüttet wurden, so oft sie zufällig mit Tromben zusammen kamen. Um dies zu erklären, müsste man absteigende Luftströme substituiren, die indessen wieder aus andern Gründen unzulässig sind. Schon Reye fand, obwohl er absteigende Luftströme als Erzeuger von Tromben nicht ganz verwarf, dass die Sichtbarwendung des Schlauches hier schwieriger zu deuten sei. Er will sie daher nur in seltenen Fällen gelten lassen. Jene Erscheinungen aber wurden nicht ausnahmsweise, sondern stets wahrgenommen, sofern sie überhaupt wahrgenommen werden konnten. Hiernach müssten absteigende Luftströme also die Regel sein. Dies collidirt indessen mit den bei fertigen Tromben regelmässig sich erhebenden Wassermassen und den nach ihrem Fusse gerichteten Winden. In gleicher Weise steht man rathlos vor einer andern Erscheinung, gleichviel ob auf-, oder absteigende Luftströme zur Erklärung genommen werden. Ich meine jene Vertiefungen, welche bei ausgebildeten Tromben wiederholt inmitten des hoch aufspritzenden Wassers beobachtet wurden. Will man hier einen doppelten Luftstrom zur Ursache nehmen, einen äussern, welcher aufwärts, einen innern, welcher niederwärts ginge? Für die Existenz eines solchen sprechen freilich noch andre Gründe. Jemand, der zufällig in eine Trombe gerieth, hatte das Gefühl, als ob er auf- und gleichzeitig abwärts ge-

zogen würde¹⁾. Die wiederholt beobachtete scheinbar entgegengesetzte Bewegung von Wassertropfen in den Schläuchen weist auf ein Gleiches hin. Wie wäre aber ein doppelter Luftstrom möglich, wenn die Luftbewegung, wie die mechanische Theorie annimmt, nur eine Folge von Temperatur-Differenzen ist? Wie könnte endlich eine bloss mechanisch hochgerissene Wassermasse eine so constante geordnete Gliederung zeigen, wie sie insonderheit jene vom Rath'sche Wettersäule bot?

Ich glaube nun, dass sich diese Schwierigkeiten beseitigen lassen, wenn elektrische Kräfte mit in Rechnung gezogen werden. Dann begreift man die Existenz einer doppelten Luftbewegung, welche ihrerseits die wesentlichsten Erscheinungen erklärt.

Der absteigende Luftstrom würde der elektrische, der innere, der aufsteigende der thermische, der äussere sein. Dass sie sich zu begegnen suchen und sich nach und nach umfassen, lässt sich daraus ableiten, dass die aufsteigenden Luftmassen entgegengesetzt elektrisch sind. Tritt der erstere für sich allein auf, so bleibt die Trombe unvollkommen, sie bleibt ein Wolkenzipfel oder ein an der Wolke hängender sonst frei schwebender Schlauch. Tritt der letztere für sich allein auf, so bleibt sie gleichfalls unvollkommen, haftet aber diesmal an der Erdoberfläche, während die Wolkenverbindung fehlt. Letzteres ist augenscheinlich der Bildungsgang der Sandtromben, an welchen, wie das Experiment lehrt, elektrische Kräfte unbetheiligt sind. Wirken beide Ströme vereint, so erzeugen sie die perfecte Trombe, wo der Wolkenzipfel bis zur Erde reicht und von aufspritzenden Staub- und Wassermassen umgeben ist. Dass sie meistens beide vereint wirken, mag darin begründet sein, dass der eine den andern zum Theil anregen und bis zu einem gewissen Grade begünstigen kann. Ich meine damit, dass eine elektrische Wolke sich eher zuspitzen mag, wenn an bevorzugter Stelle der Erdoberfläche ein Luftstrom mit entgegengesetzter Ladung steigt, oder dass eine an der Erdoberfläche befindliche heisse Luftmasse durch gedachte Zuspitzung in ihrem labilen Gleichgewichte eher eine

1) Schweigger's Journ. Th. 56. S. 372.

Störung erfahren mag. Der aufsteigende Strom ist zweifellos der gewaltsamere; er ist es, welcher Bäume entwurzelt, Häuser umstürzt und Staub- und Wassermassen mit sich reisst. In die gehobenen Massen aber bohrt sich der absteigende, sie gewissermaassen aus höhrend, so dass sie am Rande einer Schale aufzuspritzen scheinen. Die schwebenden Wassertropfen werden gleichzeitig durch Berührung mit jenem Strome mit der Wolke gleichnamig elektrisch und streben deshalb wieder der Erdoberfläche zu. So geschieht es, dass sie trotz des aufsteigenden Luftstromes nach aussen und in parabolischer Bögen nach unten getrieben werden. Der absteigende ist ein Gemisch von Luft und Regentropfen. Letztere, als die bessern Leiter werden vorzugsweise den elektrostatischen Gesetzen folgen. Sie werden sich am Rande stärker anhäufen als in der Mitte; und so erscheint der Trombenschlauch peripherisch dunkler, als ob er eine Röhre sei. Der Rand des absteigenden ist aber die Binnenseite des aufsteigenden Stromes. Die sinkenden Regentropfen werden theilweise von letzterem Strome erfasst; und so erklärt es sich, dass sie gleichzeitig auf- und absteigen, und da noch die Drehbewegung hinzutritt, sich in Spiralen bewegen. Es begreift sich auch, da zwei ganz verschiedene Kräfte den Auf- und Abstieg bewirken, dass die in beiden Fällen durch ungleich vertheilte Widerstände erzeugte Drehbewegung gleichzeitig entgegengesetzt verlaufen kann. Die Verwüstungen der Tromben sind gewissermaassen eine Differenzwirkung beider Ströme; sie wachsen in dem Maasse, als der aufsteigende den absteigenden überwiegt. Auf der See sind sie deshalb geringfügiger, weil die Luft wegen schwächerer Erwärmung langsamer steigt, und die Wolke wegen stärkerer Anziehung schneller fällt. Aber nicht dadurch allein, dass die Wolke sinkt, bewirkt sie einen absteigenden Strom, sondern sie kann, wenn überhaupt zugespitzt, einen solchen auch nach Art elektrischer Spitzen schaffen. So begreift sich der Wind, welcher schwebenden Schläuchen scheinbar entströmte, und so begreifen sich die Vertiefungen des Wassers, welche jene Schläuche zu erzeugen schienen. Endlich begreift sich, dass, wenn die Anziehung der Wolke auch im wesentlichen an der Hebung von Wassermassen unbetheiligt ist, sie

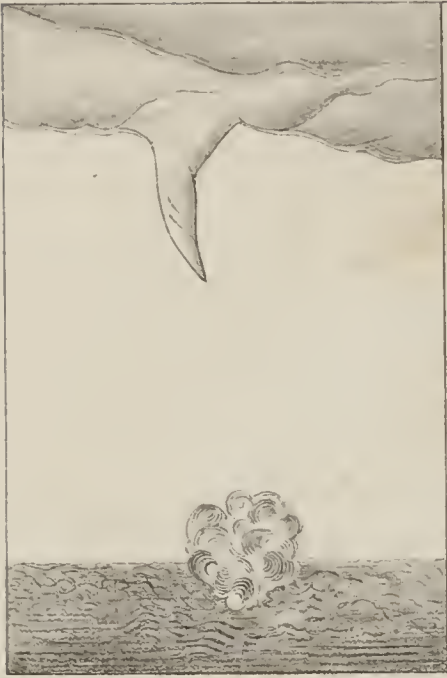
doch dahin wirken kann, dass sich diese eventuell zuspitzen oder sonstige mehr geordnete und constantere Formen gewinnen.

Ich muss einräumen, dass diese Hypothese, wenn sie auch die hervorgehobenen Widersprüche löst, noch auf unsicherer Grundlage ruht. Vielleicht unternimmt ein Anderer es gelegentlich, sie des weiteren zu prüfen und das, was an ihr brauchbar ist, mit besseren Gedanken zu verweben.

Nachweis der Figuren.

- Fig. 1—5, natürliche Tromben, zu Seite 29, 30, 31, 35
 Fig. 9 - 14, künstliche Tromben, zu Seite 58, 60, 66, 67
 Fig. 6—8, experimentelle Anordnung, zu Seite . 48
-

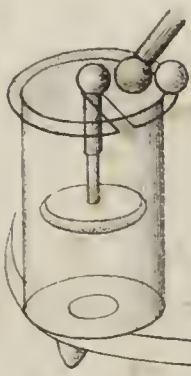
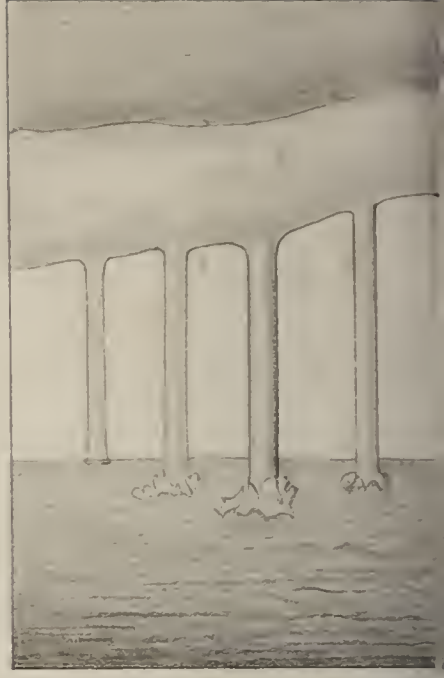
W. Holtz, natürliche und künstliche Tromben.



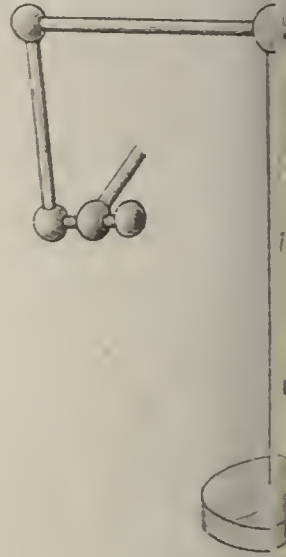
1.



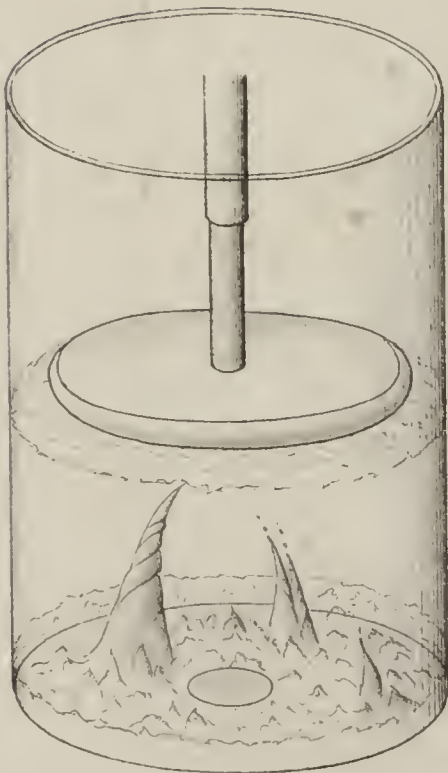
2.



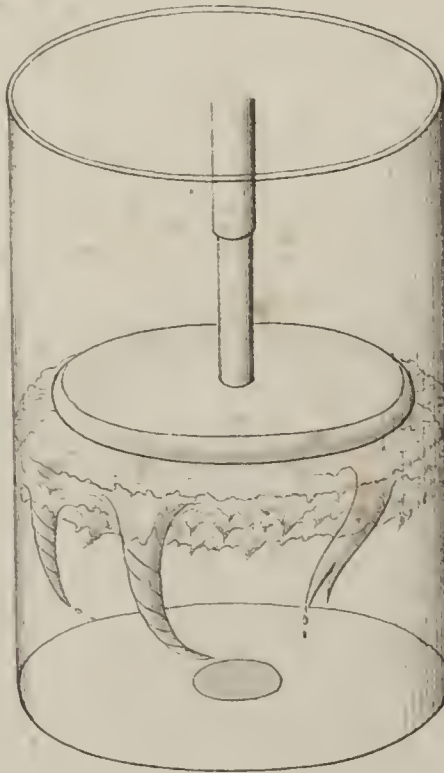
6.



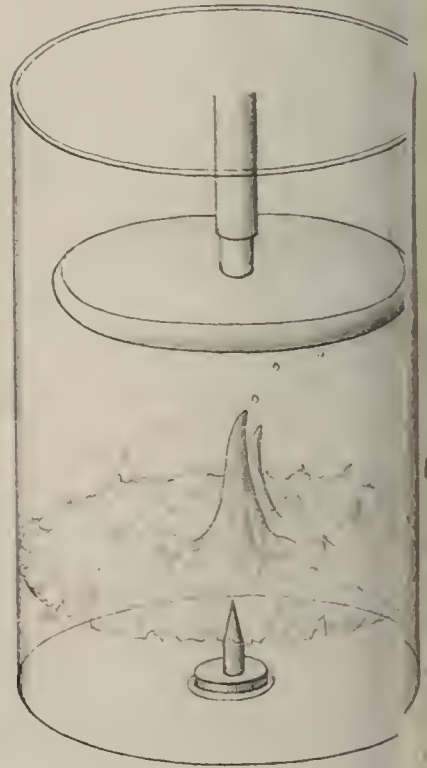
9.

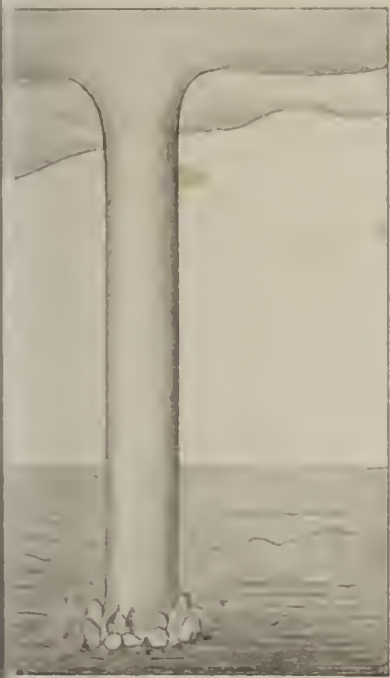


10.



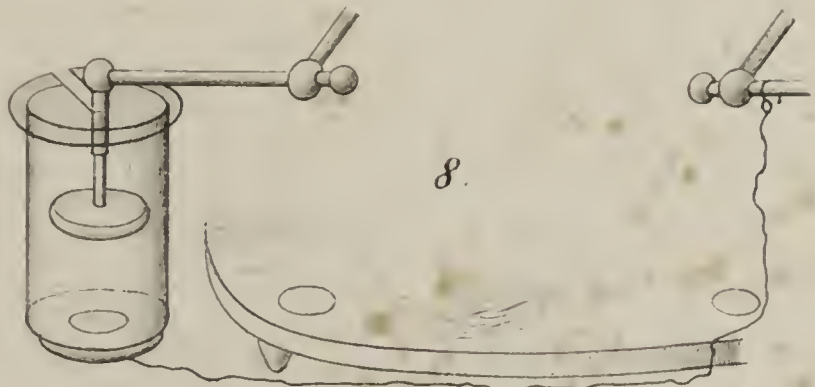
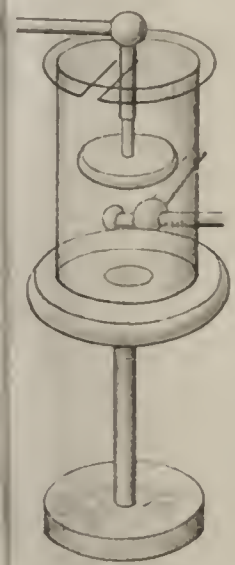
11.





4.

5.

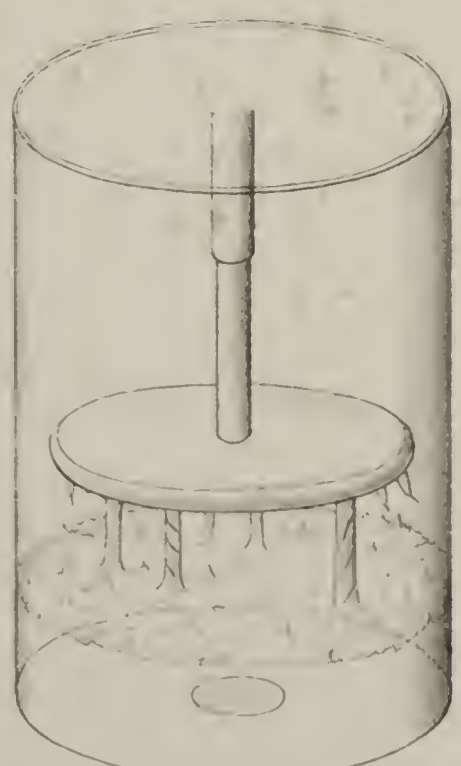


8.

12.

13.

14.



C. F. Schmidt lith

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mittheilungen aus dem naturwissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Holtz W.

Artikel/Article: [Natürliche und künstliche Tromben 26-78](#)