

Die  
**Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen**  
in der Erd-Atmosphäre

mit Berücksichtigung

**der Stürme in der Sonnen-Atmosphäre**

dargestellt und wissenschaftlich erklärt

von

**Dr. Theodor Reye,**

ordentl. Professor an der Universität Strassburg.

Mit vier Sturmkarten zum Gebrauche für Seeleute,  
30 Holzschnitten und Lithographien.



HANNOVER.  
Carl Rümpler.  
1872.



### Vorrede.

Bei der Ausarbeitung dieses Buches habe ich nicht nur die Meteorologen von Fach und die gebildeten Seeleute unserer Kriegs- und Handelsmarine im Auge gehabt, sondern auch den weiteren Leserkreis, der für die Naturwissenschaften und insbesondere für Wind und Wetter Interesse hat. Möchte es mir gelungen sein, durch die zahlreich eingeflochtenen Berichte über verheerende Wettersäulen und Wirbelstürme, durch eine unbefangene Schilderung dieser gewaltigen Natur-Erscheinungen und durch ihre wissenschaftliche Erklärung auch diesem grösseren Kreise fruchtbare Anregung zu bieten! Den Bedürfnissen des Seemanns habe ich durch die besten, bis jetzt vorhandenen Sturmkarten, die ich zum Theil noch vervollständigt habe, sowie durch Aufstellung praktischer Regeln gerecht zu werden gesucht; ebenso den Anforderungen des gelehrten Physikers durch die in den Anhang verwiesene mathematische Begründung meiner theoretischen Erörterungen und durch einen reichhaltigen Literatur-Nachweis. Der wohlwollenden Kritik des Astronomen empfehle ich die Ansichten, welche ich über die oft beobachteten Wirbelstürme der Sonnen - Atmosphäre ausgesprochen habe. Allen meinen Lesern aber, dem Naturfreunde wie dem Seemann und dem Gelehrten, glaube ich eine Erklärung darüber schuldig zu sein, wie ich als Mathematiker dazu komme, sie über eins der wichtigsten, aber von der Mathematik weit entlegenen Capitel der Meteorologie unterhalten zu wollen.

An der Nordsee geboren, fühlte ich schon in früher Jugend mich lebhaft ergriffen von der großartigen Naturerscheinung unserer Küstenstürme. Das Heulen und Brausen des Sturmwindes, der den Knaben nicht selten aus dem tiefsten Schlafe wach rief, seine rasende Wuth, welcher die grössten Bäume zum Opfer fielen, dann das schäumende Meer, das hoch an den Deichen emporschwoh und manchmal seine Wellen weit über sie hinwegspritzte, machten schon früh einen unauslöschlichen Eindruck auf meine Einbildungskraft. Gespannt lauschten wir Knaben, wenn draussen der Sturm tobte, den Erzählungen der Eltern, dass vor Zeiten ein ganzes, reiches Kirchspiel dort gestanden habe, wo jetzt der Elbstrom sich mit dem Meere vereint, dass noch zu Menschengedenken ein gutes Stück unseres eingedeichten Landes den Fluthen preisgegeben werden musste, und dass noch jetzt unsere Heimath bei jedem Sturme grosser Wassergefahr ausgesetzt sei. Sie selbst hatten ja das schreckliche Unglück des Jahres 1825 mit erleben müssen!

Damals durchbrach eine Sturmfluth unsere starken Erddämme und überschwemmte die fruchtbaren Elbmarschen meilenweit; das salzige Wasser, Schutt und Schlamm zurücklassend, verdarb auf Jahre hinaus das Acker- und Weideland, und verheerende Seuchen ergriffen hernach zuerst den Viehstand, dann auch die schwergeschädigten Menschen. Später hörten wir nach jedem grossen Sturme von reichbeladenen Kauffahrern, die draussen auf den Sandbänken mit Mann und Maus zu Grunde gegangen seien; man zeigte uns bisweilen die an den Strand treibenden Balken und Tonnen. Wir sahen arg zugerichtete Haverie - Schiffe mit genauer Noth bei Cuxhafen einlaufen, und fingen an, auf ihre fernen, dumpfen Nothschüsse im Sturme zu achten. Und wenn die sich überstürzenden Wellen den Seedeich durchweichten und bereits hie und da die ihn schlitzende Rasendecke wegrissen, so wurden auch wir der drohenden Gefahr inne, für deren Abwendung allsonntäglich in den Kirchen unserer Küste gebetet wird. Allmählig begriffen wir auch die mühsamen und kostspieligen Uferbauten, mit denen unsere Ingenieure das Land gegen den Anprall der Wogen zu schirmen suchen.

Unvergesslich blieb mir seit jener Knabenzeit das prachtvolle, erhabene Schauspiel der brandenden, schaumgekrönten Wellen, und ferne vom heimathlichen Strande, selbst in der Schweizer Alpenwelt, weckte jeder Sturm aufs Neue in mir die Sehnsucht nach ihrem Anblick. Zugleich aber mahnte mich das Heulen des Windes an einen Bruder und an liebe Schulkameraden, die als Seeleute allen Gefahren der Orkane ausgesetzt waren und von denen einige jetzt längst im kühlen Meere ihr Grab gefunden haben.

Bei solchen Jugendeindrücken konnte mir ein lebendiges Interesse an Wind und Wetter niemals fehlen, und gern liess ich mich zeitweilig von der ehrwürdigen und ernsten Mathematik ablenken durch ihre jüngere, phantasiereichere Schwester Meteorologie. Bald fand ich, dass derselben bei all' ihrem Reichthum an Kenntnissen und geistreichen Ideen doch hie und da ein wenig mathematische Zucht nicht schaden könne; denn nur durch genaue Rechnungen lässt sich die Tragweite gewisser Annahmen, die sie macht, feststellen, auch verirrte sie sich bisweilen in unhaltbare und deshalb schädliche Speculationen. Wir wollen hiefür zwei Belege anführen, die den Gegenstand dieses Buches betreffen. Die meisten Meteorologen erklärten bisher die Wirbelwinde und Wettersäulen theils für electriche Erscheinungen, theils für ein Erzeugniss aufeinander treffender Windstösse; es ist aber bekannt, dass diese Meteore vorzugsweise bei völliger Windstille auftreten, und bei vielen derselben konnte keine Spur von Electricität wahrgenommen werden. Ferner ist bei der Lehre von den Wolken, der Hagelbildung und den Gewittern immer viel von aufsteigenden und niedersinkenden Luftströmen die Rede; die Frage aber, auf die es hiebei ankommt, unter welchen Umständen nämlich solche vertikale Strömungen in unserer Atmosphäre möglich sind, habe ich in meteorologischen Werken sehr selten berührt und in keinem derselben gründlich erledigt gefunden.

Diese nicht unwichtige Frage habe ich vor jetzt acht Jahren mit Hülfe der mechanischen Wärmetheorie gelöst, und beiläufig nachgewiesen, dass die Hagelwetter nicht, wie damals behauptet worden war, durch herabstürzende kalte Luftströme erzeugt werden können. (Vgl. meine Arbeit: „lieber vertikale Luftströme in der Atmosphäre“; in Schlömilch's Zeitschrift für Mathematik und Physik, 1864, Bd. 9, p. 250—276.) Zugleich habe ich die Wettersäulen und Wirbelwinde auf dieselbe Weise wie im zweiten Abschnitte des vorliegenden Buches erklärt, und schon damals die Ueberzeugung gewonnen, dass auch in den Wirbelstürmen ein ausgedehnter und heftiger aufsteigender Luftstrom das Ursprüngliche ist. Die Dove-Redfield'sche Erklärung der Cyclonen Hess meine seemännischen Freunde und mich unbefriedigt; denn sie versucht die Wettersäulen und die Wirbelstürme, welche naturgemäss in eine einzige Klasse von Erscheinungen gehören, von einander zu trennen, sie giebt von den ungeheuren mechanischen Leistungen der Wirbelstürme gar keine, von dem Sinken des Barometers und den begleitenden Regengüssen ganz ungenügende Rechenschaft, und sie beruht noch dazu auf einer Anzahl sehr unwahrscheinlicher Hypothesen. Meine späteren Studien haben mich in diesen Ansichten nur bestärkt, indem sie mich mit einer ganzen Reihe damit übereinstimmender Thatsachen bekannt machten.

Bei der Zusammenstellung dieser Thatsachen, von denen einige der wichtigsten, wie z. B. das Hineinströmen der Luft in das Innere der Wirbelstürme, in Deutschland bisher nicht beachtet worden sind, habe ich mich möglichster Vollständigkeit und zugleich strenger Objectivität befleissigt.

Zu dem Ende habe ich, so oft es ohne Weitschweifigkeit möglich war, die Beobachtungen und allgemeinen Ergebnisse meiner Vorgänger möglichst getreu, mit ihren eigenen Worten oder in sorgfältiger Uebersetzung wiedergegeben. Das so gewonnene Gesamtbild der Wettersäulen, Tornados oder Cyclonen suchte ich sodann durch bemerkenswerthe Beispiele im Einzelnen zu vervollständigen und zu erläutern. Erst zuletzt, wenn das Ganze der verwickelten Naturerscheinung, soweit wir sie bis jetzt kennen, möglichst unbefangen geschildert war, schritt ich zu ihrer Erklärung. Ich hoffe so dem Vorwurfe zu entgehen, welchen früher die Erforscher der Wettersäulen und Wirbelstürme oft gegen einander erhoben haben, dass sie nämlich mit vorgefassten Meinungen an diese Meteore herangetreten seien und dieselben einseitig aufgefasst und geschildert haben.

Bei Abfassung dieses Buches leiteten mich vor Allem der lebhafte Wunsch und die Hoffnung, zur Sicherheit unserer braven Seeleute und der auf dem Meere schwimmenden reichen Erzeugnisse menschlichen Fleisses einen bescheidenen Theil beizutragen; sie regten mich immer von Neuem an zu der langjährigen Forschung und dem vielfachen Nachdenken, deren Ergebniss ich jetzt meinen Lesern darbiere. Wie jede derartige Arbeit, so hat auch diese ihren schönsten Lohn in sich selbst getragen, indem sie mir manche genussreiche Stunde verschafft hat. Gleichwohl hat sie auch einen schmerzlichen Eindruck in mir zurückgelassen, den ich desto peinlicher empfand, je tiefer ich in die reiche Literatur der Wirbelstürme eindrang: das Bedauern nämlich, dass unsere Deutsche Handelsflotte, diese drittgrösste der Welt, so äusserst wenig oder vielmehr gar nichts zu diesen ungemein wichtigen Kenntnissen beigetragen hat. Die grosse Nation der Deutschen, die in allen anderen Wissenschaften sich rühmlichst hervorthut, diese intelligente, unternehmende Nation, deren Schiffe auf allen Meeren schwimmen und deren Handelshäuser sich an allen überseeischen Plätzen zu hohem Ansehen emporgeschwungen haben, sie wird in der praktischen Erforschung der Winde und Meeresströmungen nicht nur von den Engländern und Nordamerikanern, sondern sogar von viel kleineren Nationen, wie von den Holländern und Norwegern, völlig in Schatten gestellt. Es schmerzt mich tief, dieses traurige Bekenntniss ablegen zu müssen; aber anders kann es nur dann werden, wenn alle Betheiligten zu dem Bewusstsein gelangen, dass es unseres Volkes unwürdig ist, von anderen und zumal kleineren Völkern sich beständig mit neuen Entdeckungen auf diesem Gebiete beschenken zu lassen, ohne es ihnen zu vergelten. Auch ist diese Sachlage für unsere Schifffahrt und unseren Handel geradezu gefährlich; denn wenn z. B. die Engländer uns in der Kenntniss der Winde und Strömungen noch weiter überflügeln, so wird es bald keinem Kaufmann mehr in den Sinn kommen, einem Deutschen Schiffe vor Englischen den Vorzug zu geben, wie es bisher namentlich in den Chinesischen Gewässern häufig der Fall war.

Vor Allem trägt wohl die jetzt glücklich beseitigte politische Zersplitterung unseres Vaterlandes die Schuld an diesem traurigen Stande der Dinge. Wie konnten wir gleich den genannten Nationen eine Centralstelle zur Erforschung der herrschenden Winde aller Meere und zur Ermittlung der günstigsten Schiffs-Kurse errichten, so lange wir nicht einmal eine einheitliche Flagge führten! Das ist jetzt anders geworden, und sogleich mit dem geeinigten Norddeutschland entstand bereits eine Norddeutsche Seewarte. Wir dürfen mit Zuversicht erwarten, dass das neuerstandene Deutsche Reich diesem nützlichen Institute die erforderlichen Mittel und Arbeitskräfte nicht versagen wird, damit es die ihm gestellten wissenschaftlichen Aufgaben, die ja zugleich für unseren Seehandel eine eminent praktische Bedeutung haben, erfolgreich bewältigen könne.

Aber Das reicht keineswegs aus; vielmehr müssen auch die Rheder und Schiffs-Capitaine nicht bloss Hamburgs, sondern aller unserer Seeplätze mit dieser Centralstelle in beständigen Verkehr treten, was bis jetzt nur zu wenig geschieht. Sie müssen ihre Wahrnehmungen und namentlich ihre Schiffsjournale derselben mittheilen, sie müssen diese Tagebücher den Rathschlägen der Seewarte entsprechend führen. Glaube doch keiner von unseren Seeleuten, dass es auf seine kurzen Notizen nicht ankommen könne! Nur durch vereinte Arbeit vieler und weit zerstreuter Kräfte kann auf dem Gebiete der Witterungskunde Grosses geleistet werden, und gerade für die Wirbelstürme hat manche anscheinend unbedeutende Bemerkung in Journalen kleiner Schiffe schon die grösste Wichtigkeit erlangt. Denke nur Jeder daran, dass seine Erfahrungen und sein Tagebuch vielleicht dazu beitragen werden, Hunderten wackerer Seeleute in Zukunft das Leben zu erhalten, indem sie das Meer gefahrloser machen helfen.

Wir dürfen vertrauensvoll erwarten, dass unsere junge Kriegsmarine bald mit der Englischen und der Americanischen, welchen wir sehr viele wichtige Beobachtungen gerade über die Wirbelstürme verdanken, auch auf diesem Gebiete wetteifern werde. Hier sind friedliche Siege zu erringen, deren Ruhm selbst von demjenigen eines gewonnenen Seetreffens nicht überstrahlt wird. Der Engländer Piddington hat die sichere Erwartung ausgesprochen, es würden bald zur Erforschung der Stürme ebenso wie zu derjenigen ferner Länder und Meere Expeditionen ausgerüstet werden; ich hoffe es zu erleben, dass dieser kühne Gedanke durch Kaiserlich Deutsche Schiffe verwirklicht, wird.

Aachen, Februar 1872.

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung  
Das Räthselhafte der Wettersäulen und Wirbelstürme  
Wirbelwinde beim Brande eines Rohrgebüsches  
Wirbelnde Feuer- und Rauchsäulen bei Waldbränden  
Wirbelwinde über den Kratern thätiger Vulkane  
Schilf- und Grasbrände, welche Regen erzeugen  
Ursache der Wirbelbewegung von Rauchsäulen

### Erster Abschnitt

ab S. 15 (Teil 1)

Schilderung der Wettersäulen oder Land- und Wasserhosen  
Staub- und Sandhosen über erhitzten Flächen, in Wüsten und Steppen  
Wirbelwinde über heisser Lava und vulkanischer Asche  
Vorläufer der Wettersäulen; Form und Grosse derselbe  
Fortschreitende, rotirende und vertikale Bewegung der Wettersäulen  
Begleitende Erscheinungen  
Die Wettersäule von Haininchen  
Mechanische Wirkungen von Wasserhosen  
Die Trombe von Chatenay  
Die Wettersäule von Königswinter

### Zweiter Abschnitt

ab S. 24 (Teil 1)

Ursachen und Entstehung der Wettersäulen  
Die älteren Erklärungen der Wettersäulen und ihre Mängel  
Das labile Gleichgewicht der Luft  
Wirkung des atmosphärischen Wasserdampfes in aufsteigenden Luftströmen  
Erklärung der Wettersäulen durch vertikale Luftströme  
Folgerungen aus dieser Erklärung der Wettersäulen

### Dritter Abschnitt

ab S. 34 (Teil 2)

Die Nordamericanischen Tornados  
Zusammenstellung von 31 Tornados der Vereinigten Staaten  
Gestalt, Ausdehnung und Bewegungen der Tornados  
Der Tornado von New Haven  
Der Tornado von New Brunswick  
Der Tornado von Stow in Ohio  
Der Tornado von Mayfield  
Der Tornado von Providence

## Inhaltsverzeichnis

Wirkliche Breite der Tornado-Stürme

### **Vierter Abschnitt**

**ab S. 48 (Teil 2)**

Schilderung der Cyclonen oder Wirbelstürme  
Geschichtliches über die Entdeckung ihrer Bewegungsgesetze  
Kreisende und centrale Bewegung des Sturmwindes in Cyclonen  
Durchmesser der Wirbelstürme  
Windstille in der Mitte der Orkane  
Wolken und Regen als ständige Begleiter der Cyclonen  
Fallen des Barometers in Wirbelstürmen  
Sturmbahnen  
Geschwindigkeit des Fortschreitend der Cyclonen  
Aufregung des Meeres durch Wirbelstürme  
Jahreszeiten, in denen die Orkane vorzugsweise eintreten

### **Fünfter Abschnitt**

**ab S. 64 (Teil 3)**

Mechanische Wirkungen der Wirbelstürme  
Barbados-Orkan vom 10. August 1831  
Electrische Erscheinungen in Cyclonen  
St. Thomas- und Antigua-Orkan, 2. August 1837  
Sturm auf Guadaloupe, 25. Juli 1825  
Europäische Stürme  
Wirbelsturm von Teneriffa, 6, und 7. November 1825  
Mauritius-Orkane, insbesondere der vom 1. März 1818  
Chinesische Teifuns  
Teifun der Preussischen Corvette Arkona bei Japan, 2. Septbr. 1860  
Der grosse Orkan von 1780 in Westindien  
Arbeitsverbrauch in Cyclonen bei Aufwühlung des Luftraumes  
Mechanische Arbeiten bei den Regengüssen der Stürme

### **Sechster Abschnitt**

**ab S. 75 (Teil 3)**

Die Ursachen der Wirbelstürme  
Gleichartigkeit der Wettersäulen, See-Tornados und Cyclonen  
Schilderung der See-Tornados von Africa und Central-America  
Der aufsteigende Luftstrom in Wirbelstürmen  
Die Wärme des Wasserdampfes als Triebkraft der Cyclonen.  
Der windstille Centralraum und das „Auge“ des Sturmes  
Erklärung der Böen und plötzlichen Windstösse  
Entstehung der Cyclonen und ihrer Wirbelbewegung  
Höhe der Wirbelstürme  
Mohn's Erklärung des Fortrückens der Cyclonen  
Die Erweiterung der Wirbelstürme in höheren Breiten

### **Siebenter Abschnitt**

**ab S. 87 (Teil 4)**

Die älteren Erklärungen der Wirbelstürme  
Piddington's Electricitäts - Hypothese  
Thom's Erklärung der Cyclonen durch entgegengesetzte Monsune  
Dove's Ansichten über die Entstehung der Wirbelstürme

## Inhaltsverzeichnis

Einwendungen gegen Dove's Erklärung der Cyclonen  
Die Redfield-Dove'schen Erklärungen des Barometerfalles und  
der Wolkenbildung in Cyclonen  
Heisse und kalte Windstösse in Orkanen  
Mechanische Leistungen und Regenmengen der Wirbelstürme

### **Achter Abschnitt.**

**ab S. 95 (Teil 4)**

Wirbelstürme in der Sonnen-Atmosphäre  
Oertliche und geographische Verbreitung der Wettersäulen und  
Wirbelstürme  
Irdische Cyclonen der Vorzeit  
Constitution der Sonnen-Atmosphäre  
Die Sonnen-Protuberanzen und die Chromosphäre  
Wirbelstürme in der Chromosphäre der Sonne  
Die Sonnenflecke und Sonnenfackeln  
Erklärung der Sonnenflecke

### **Neunter Abschnitt.**

**ab S. 111 (Teil 5)**

Praktische Regeln für Seeleute  
Peilung des Cyclonen-Centrums  
Merkzeichen herannahender Wirbelstürme  
Bestimmung der Sturmbahn von einem Schiffe aus  
Verhalten von Schiffen, die sich hinter, seitlich von oder vor dem  
Sturmzentrum befinden  
Reid's Regel über das Beidrehen von Schiffen in Cyclonen  
Heraussegeln aus einem Wirbelsturme  
Untergang Englischer Kriegs- und Priesenschiffe, 17. Septbr. 1782  
Vermeidung von Teifuns seitens des Commodore Rodgers  
Capt. Miller's Benutzung eines Wirbelsturmes zu schneller Fahrt  
Capt. Hall's Bericht über die Vermeidung eines Teifun- Centrum

### **Anhang.**

**ab S. 124 (Teil 5)**

Rechnungen, auf welchen unsere Entwicklungen z. Th. beruhen.

1. Die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei der Wolkenbildung
2. Das Spannungsgesetz feuchter Luft
3. Der labile Gleichgewichtszustand in der Atmosphäre
4. Die Geschwindigkeit im aufsteigenden Luftstrom

Literatur-Nachweis

**ab S. 142 (Teil 5)**



## Einleitung.

Die Wirbelwinde, Wettersäulen, Land - und Wasserhosen, Orkane und Wirbelstürme gehören trotz zahlloser Beobachtungen und einer ausgedehnten Literatur noch immer zu den räthselhaftesten Erscheinungen unserer Atmosphäre. Wahrhaft beängstigend und unheimlich ist deshalb der Eindruck, den selbst die anscheinend harmlosesten unter ihnen, die Wasserhosen, auf den Seefahrer machen. Wer fühlte sich nicht durch die blosse Schilderung derselben lebhaft ergriffen! Unbeweglich liegt das Schiff in der Windstille; glatt ist das Meer und schwül die Luft: da plötzlich senken die Wolken sich gegen das Schiff herab, zugleich erheben sich ganz in der Nähe lang gestreckte Säulen aus dem Wasser, und steigen unter sausendem Geräusch wirbelnd empor, bis sie sich mit den schlauchartigen Wolkenenden vereinigen. Das Meer scheint aufwärts gen Himmel zu strömen, und mit Entsetzen sieht es der Seemann, voll Furcht mitgerissen oder von den näher rückenden, ungeheuren Säulen mit seinem ganzen Schiff in die Tiefe hinabgedrückt zu werden. In seiner Bedrängniss löst er die Kanonen gegen die Ungethüme; da heben, noch ehe sie ganz herangekommen sind, auf einmal die Säulen sich ab vom Meere und verschwinden spurlos in den Wolken. Ein kühlender Regen strömt bald aus diesen hernieder, von Blitz und Donner begleitet, und mit neuem Staunen bemerkt der Schiffer, dass die grossen Tropfen aus reinem, süssem Wasser bestehen. Er dankt seinem Schöpfer, dass endlich ein frischer Wind sich erhebt und ihn unbeschädigt von der unheimlichen Stelle wegführt.

Gefährlicher freilich sind die fürchterlichen Drehstürme der West- und Ostindischen Gewässer, aber zugleich dem Seemann vertrauter. Das Barometer kündigt sie im Voraus an, ein unterrichteter Capitain weiss, in welchem Sinne sie sich zu drehen pflegen und welchen Kurs er steuert) muss, um sich von ihrer gefährlichen Mitte zu entfernen. Auch die Bahn, welche ihr Centrum meistens durchläuft, ist bekannt, und man kann sich frühzeitig auf sie gefasst machen. Neuerdings werden ja tage-lang im Voraus die Schiffe durch den Telegraphen gewarnt, wenn solche Wirbelstürme über den Ocean heranbrausen; man liest sogar Vorschläge, wie sie behufs schneller Fahrten Von den Schiffen nutzbar gemacht werden können. Aber dennoch, wie räthselhaft bleibt immerhin ihr Ursprung! Wie entstehen sie? weshalb dreht sich der Westindische Orkan immer von Süd über Ost nach Mord und West, und weshalb rotiren die Wirbelstürme der südlichen Halbkugel in entgegengesetztem Sinne? Was treibt bei jenem das Centrum zuerst von Africa her gegen Nordwesten nach Westindien hinüber, und weshalb biegt es dort fast regelmässig nach Nordosten um, und durchschreitet in dieser Richtung abermals den Atlantischen Ocean?

Aehnliche, auch praktisch wichtige Fragen nach den Ursachen der Erscheinung drängen sich dem forschenden Geiste auch bei jedem Wirbelwinde des Festlandes auf, seien es jene kleinen, kreiselnden Wirbel, die an sonnigen, stillen Sommertagen den Chaussée-Staub leicht emporheben, seien es die gefürchteten Landhosen der Africanischen Wüsten, die mit Wolken heissen Sandes die Caravanen überschütten, oder die zerstörenden Tornados der Vereinigten Staaten, welche in Wäldern durch umgerissene Bäume ähnlich ihren Weg bezeichnen, wie die Windhosen in unseren Fruchtfeldern manchmal durch niedergestreckte Kornähren. Sie alle haben mit den Wasserhosen und Wirbelstürmen des Meeres nicht nur sehr oft eine starke Drehbewegung gemein, sondern sie beschreiben gleich den letzteren regelmässig eine lang gestreckte, verhältnissmässig schmale Bahn, deren Breite ihrem eigenen Durchmesser gleichkommt.

Wir wollen jenen merkwürdigen und zugleich wichtigen Naturerscheinungen näher treten, indem wir uns zunächst mit den Formen, in denen sie sich zeigen, mit der Art ihrer Bewegung und mit ihren mechanischen und meteorologischen Wirkungen bekannt machen, und uns sodann nach ihren Ursachen umsehen. In Bezug auf die letzteren werden wir zu anderen Ergebnissen als unsere Vorgänger gelangen. Auf die bisherigen Erklärungsweisen der Wettersäulen und Wirbelstürme werden wir wiederholt zurückkommen müssen, um nachzuweisen, wo sie uns unbefriedigt lassen und unzureichend erscheinen, oder gar den Thatsachen widersprechen. Vom Kleinen zum Grossen aufsteigend werden wir zuerst die gewöhnlichen Land- und Wasserhosen, dann die Nordamericanischen Tornados, diese orkanartigen Wettersäulen, und endlich die Dreh- oder Wirbelstürme der grossen Meere unserer Erde besprechen.



Zur Einleitung in das Studium der Wirbelwinde mögen einige zuverlässige Berichte von grossartigen Bränden dienen, bei denen solche Wirbel sich zeigten.

Mit den Hauptformen der Wirbelwinde macht uns Olmsted's lebhaftere Schilderung <sup>2)</sup> vom Brande eines Rohrgebüsches rasch bekannt; sie sind auf unserem Titelblatte, einer sorgfältigen Nachbildung von Olmsted's Tafel, dargestellt. Die Grossartigkeit und Schönheit dieses Rohrbrandes kann freilich, wie Olmsted sich ausdrückt, durch keine Gravirkunst oder Malerei wiedergegeben werden; „denn nicht nur die tiefe Farbe der Flamme und „die weite Ausdehnung der überstrichenen Fläche, sondern „auch die rasche Bewegung und der mannigfaltige Wechsel der „zahlreichen Wirbelwinde trugen viel dazu bei.“ — Das Rohrgebüsch lag am Ufer des Black-Warrior-Flusses bei Tuscalosa in Alabama; es bestand aus einer Art Rohr, welches bei einer Dicke von 1 bis 2 Zoll bis zu 35 oder 40 Fuss, also haushoch aufschiesst. Die Rohre bilden Dickigte, in denen die einzelnen Stämme trotz ihrer Höhe oft nur 1 bis 2 Zoll auseinander stehen; sie finden sich an den Ufern aller Flüsse der äussersten südlichen und südwestlichen Staaten der Union, besonders in Alabama, Mississippi, Louisiana und Texas, und wachsen so wunderbar schnell, dass junge Schösslinge manchmal um zehn Zoll in einer Nacht zunehmen sollen. Ihr Stamm ist rund und hohl, mit Knoten alle 12 oder 14 Zoll und einem pinselförmigen Busch langer schmaler Blätter an der Spitze. Im Rohrgebüsch stehen manchmal grosse Bäume zerstreut, die wahrscheinlich schon aufgeschossen waren, ehe noch das Rohr den Boden bedeckte; sonst ist alle andere Vegetation ausgeschlossen.

Das Rohrland ist wegen seiner Fruchtbarkeit und weil es sehr leicht gesäubert werden kann, sehr gesucht. Beim Abräumen fasst der Arbeiter das Rohr, theilt den Schaft durch einen einzigen Beilhieb, wirft ihn hinter sich, und so ist ein Acker Landes bald gesäubert. Dann lässt man die Rohre 4 bis 6 Wochen trocknen, sammelt sie zu Haufen und zündet sie an verschiedenen Stellen zugleich an. Da die Wurzeln meistens an der Oberfläche liegen, so verbrennen sie mit dem Uebrigen, und das Land ist dann zum sofortigen Feldbau fertig. Gleich bei Beginn des Brandes dehnt sich die Luft in den hohlen, gegliederten Stielen aus und sprengt die Rohre mit lautem Knall auseinander. Diese an vielen Rohren zugleich eintretenden Explosionen erzeugen ein anhaltendes Knattern gleich dem Gewehrfeuer einer Armee, während die Flammen sich mit grosser Geschwindigkeit fortwälzen. — Doch lassen wir jetzt Olmsted selber erzählen.

„Das Rohrgebüsch in welchem dieser Brand Statt fand, bedeckte eine Fläche von 25 Acres. Es wurde an dem entferntesten Ende angezündet, und da der Landstrich etwas gekrümmt und unregelmässig war, so blieb das Feuer zuerst unseren Blicken verborgen. Der Rauch jedoch war von Anfang an sichtbar, und das Krachen von tausend Entladungen kündigte seinen raschen Fortschritt an. Bald kamen Feuer und Rauch hinter dein Wald hervor, welcher sie eine Zeitlang verborgen hatte. Die Hitze wurde gross, wo wir standen, trotz der Entfernung von mehr als 200 Yards (600 Fuss) vom Feuer.

„Die über das trockene Rohr fortschreitende Flamme zeigte Tinten von einer Intensität und einem Reichthum, die unvergleichlich schöner sind, als die durch Verbrennung aller andern Holzarten erzeugten. Keine Farbe oder Farbenzusammenstellung, die der Maler besitzt, kann ihnen gleichkommen; selbst das Roth des Prismenspectrums übertrifft sie nicht. Der Farbenton lässt sich am besten mit dem tiefsten Roth des Spectrums vergleichen. Auch der Rauch war kaum weniger prachtvoll, als er aus dem tiefen Grunde, in welchem das Feuer wüthete, sich emporwälzte, weit höher als die Anhöhe, auf welcher wir standen. Seine dichten schwarzen Massen waren dunkler, als die dunkelste Gewitterwolke ....

„Wirbelwinde von grosser Mannigfaltigkeit der Form begannen jetzt sich in dem heissesten Theile des Feuers zu zeigen; sie wuchsen allmählig an Grösse, Zahl und hinsichtlich des Raumes wo sie herrschten..... Sie waren zuerst von vergleichsweise kleinem Massstab, da ihre Höhe nicht 35 oder 40 Fuss überstieg. Darauf folgten andere in grösserem Massstab, bis sie die Höhe von mehr als 200 Fuss erreichten. Die Flamme und der Rauch, welche ihre Säule bildeten, waren völlig verschieden von der allgemeinen Masse, die vom Feuer aufstieg. Selbst als das Feuer bis zu grosser Ausdehnung niedergebrannt war, bildeten sich viele Wirbelwinde über der Asche, und dieses dauerte fort bis wir weggingen. Während der letzten Zeit waren jedoch die Wirbelwinde ausschliesslich die auf der Tafel mit 2 und 4 bezeichneten.

„Die Arten von Wirbelwinden, welche während des Fortschrittes des Feuers vorkamen, können in vier Gruppen geordnet werden.

„1. Die häufigste Form war stationär über einem Theile des Feuers, welcher heisser war als die benachbarten; sie ist in No. 1 (unseres Titelblattes) dargestellt. Ihr Fuss ruht auf einem Haufen brennenden Rohres, und die Luft in dieser Gegend fliesst von allen Seiten gegen die Mitte heran. Rauch und Flamme nehmen jedoch bald oben in der Säule eine Drehbewegung an, und das Ganze erweitert sich zu der Stundenglas- oder Trichterform der gewöhnlichen Wirbelwinde, die man oft in kleinem Massstabe sieht.

„2. Die zweite Art (No. 2) hat eine fortschreitende Bewegung; ihre Gestalt zeigt beinahe die Art an, wie sie sich bildet. Diese traten gemeinlich über der Asche auf, indem sie oben in der Luft entstehen; sie glichen deshalb dem oberen Theile von No. 1 und den Wirbelwinden, welche durch Begegnung von Luftströmen entstehen. Einige derselben traten aus den Flammen heraus und wurden unsichtbar; eine jedoch kam nahe genug zu uns heran, um durch ihr raschendes Geräusch und die aufgerissenen Blätter bemerklich zu werden. Diese war etwa 15 bis 20 Fuss hoch; sie bewegte sich langsam gegen uns, während wir etwa 300 Yards (900 Fuss) vom Feuer entfernt standen (wir hatten uns nämlich von unserem früheren Standorte zurückgezogen). Gegen das Ende des Brandes zeigten sich einige sehr grosse Wirbelwinde von dieser Form, gleich Kreiseln von einem Theile des Feuers zum andern wirbelnd, indem sie ihren Weg durch Fortblasen der Asche und Kohlen markirten, und nur den kleinen Betrag Asche emportrugten, der gerade unter den Spitzen ihrer Kegel lag.

„3. Eine sehr interessante Erscheinung trat bei einigen der Wirbelwinde ein, welche in No. 3 abgebildet sind. Dieser Wirbelwind bildet sich auf einem Haufen brennenden Rohres. Die Flamme wirbelt empor in eine Säule, wo sie erlischt und wo ihr ein dunkler Zwischenraum von Rauch folgt; oben gegen das Ende bricht die Flamme von Neuem hervor. Der dunkle Zwischenraum bleibt sich nicht gleich, sondern verkürzt sich manchmal bis beinahe zu einer Linie, und dann dehnt er sich wieder nach oben hin aus, bis er alle oberen Theile der Flamme verdeckt und auslöscht. Diese Erscheinung mochte wohl von einem Geschwindigkeitsunterschiede in den verschiedenen Theilen des Wirbelwindes herrühren. Die grösste Geschwindigkeit herrschte in dem dunklen Zwischenräume, und die Flamme erlosch in diesem Theile aus demselben Grunde, weshalb ein Gasstrahl hoch oben und nicht an seiner Mündung brennt, wenn ein starker Gasstrom zugeführt wird .... Die brennbaren Gase des Wirbelwindes fangen wegen ihrer schnellen Bewegung und concentrirten Form im mittleren Theile des Wirbels nicht eher Feuer, als bis sie oben sich ausdehnen und mit der atmosphärischen Luft vollständiger mischen. Die Geschwindigkeit der Wirbelwinde dürfte ohne Zweifel beständig mehr oder weniger sich ändern, und dieses dürfte der Grund sein für die beständige Variation in der Grosse des dunklen Zwischenraumes, welcher manchmal bis zu einer Linie abnahm oder ganz verschwand, wenn sich der Wirbelwind vergleichsweise langsam bewegte, und dann wieder sich ausdehnte mit der wachsenden Rotationsgeschwindigkeit, bis die Flamme des oberen Theiles ganz erloschen war und ein Rauchkegel über der Flammenbasis übrig blieb.

„4. Die Wirbelwinde der vierten Art (No. 4) waren merkwürdig wegen des gänzlichen Mangels der Trichterform, wegen ihres kleinen Durchmessers und ihrer ungemeinen Höhe, welche oft über hundert Fuss betrug, soweit der Rauch sie bezeichnete, und sich wahrscheinlich oben in die durchsichtige Luft hinein ausdehnte. Von grossem Interesse ist die Thatsache, dass selbst in diesen langen cylindrischen Wirbelwinden ihrer ganzen Länge nach die Rotationsbewegung vollkommen deutlich war, indem sie den schwarzen Rauch in Windungen gleich gekrämpelter Wolle gegen den Gipfel der sichtbaren Säule wirbelte und wahrscheinlich noch weiter, wie wir aus ihrer raschen Bewegung schliessen können. Gegen das obere Ende waren diese Wirbelwinde manchmal vom Winde gebogen. Dieser Wechsel der Richtung war plötzlicher, jäher als die Tafel ihn darstellt, und der Wirbelwind dauerte trotz desselben fort. Einige waren in eine nahezu oder ganz horizontale Richtung umgebogen und wirbelten noch rasch; andere waren in einem Niveau mit der allgemeinen Rauchmasse abgeschnitten oder verlängerten sich oben in die durchsichtige Luft hinein.“

Wie Olmsted hinzufügt, herrschte anfangs ein nordöstlicher Wind, der auch in einer Höhe von 200 bis 300 Yards fort dauerte. „Aber kurz nach Beginn des Brandes blies die Luft unten von allen Seiten gegen die Mitte des Feuers. Die Rauchsäulen stiegen mehr als 200 Yards (600 Fuss) fast gerade in die Höhe, bogen sich dann plötzlich, und zeigten hierdurch genau an, wo der herrschende Nordostwind über jene das Feuer umgebenden Strömungen die Oberhand bekam. Der Einfluss des Feuers erstreckte sich demnach auf mehr als 200 oder gar 300 Yards Höhe und über eine Fläche von mehr als 300 Yards in die Runde; denn in dieser Entfernung blies die Luft stark gegen das Feuer.“ Im Uebrigen übte das Feuer weder damals noch später eine Wirkung auf den allgemeinen Zustand der Atmosphäre aus.

„Die ganze Luftmasse zeigte nach ihrem Eintritt in den Raum über dem Feuer eine Tendenz zu einer Drehbewegung, indem sie voll von kleineren und grösseren Wirbelwinden war. Dieselben drehten sich um ihre Axen von rechts nach links und von links nach rechts ohne vorherrschende Tendenz für eine dieser Richtungen. Oft wechselte ein Wirbelwind seinen Drehungssinn, kehrte auch wohl zum anfänglichen zurück, und in einigen wenigen Fällen wiederholte sich dieses mehrmals. In keinem Falle jedoch wurde dieser wiederholte Drehungswechsel bei den Wirbelwinden No. 2 beobachtet, so dass dieser Wechsel augenscheinlich herrührte von einer Aenderung in der Form der Basis beim Niederbrennen des Rohrraufens, auf welchen) der Wirbelwind sich bildete. Die fein balancirten Luftsäulen, welche im Wirbelwinde aufstiegen, fingen an sich nach irgend einer Richtung zu drehen wegen einer geringen Ungleichheit im Feuer an einer Seite der Basis; sie änderten ihre Drehung, wenn sich diese Ungleichheit aus irgend einer Ursache nach einer anderen Stelle verschob.“

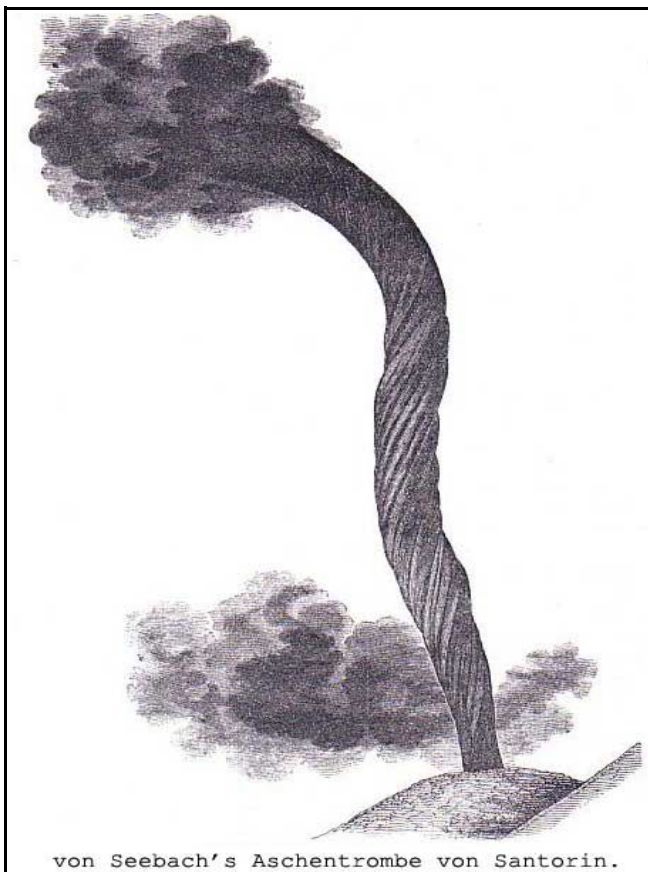
Uebrigens war die Lage des Rohrgebüsches der Bildung von Wirbelwinden sehr günstig: ein Flussufer, weithin umgeben von Wäldern und höherem Boden. Olmsted vergleicht sie mit derjenigen von Feuern, welche behufs Aufsetzens von Radschienen in einem von Gebäuden umgebenen Hofe angezündet werden, und ebenfalls Wirbel hervorrufen. "In einigen Anlagen dieser Art werden manchmal Wirbelwinde von ganz regelmässiger Form und 15 bis 20 Fuss Höhe gesehen. Aber dank dem trockenen Holze, mit welchem diese Feuer gewöhnlich unterhalten werden, und dem sehr geringen Betrage von Rauch, den dieses Holz liefert, ist es welche in Kegelform sich erhob und zu grosser Höhe emporstieg. Ein heftiges, in grosser Entfernung hörbares Brausen oder Brüllen (roar) begleitete sie. Obgleich der Tag völlig ruhig war, so war doch die Wirkung dieses Wirbelwindes so heftig, dass er grosse Stücke Reisig vom Boden aufhob, selbst von solchen Stellen, die vom Feuer nicht berührt wurden, und sie hoch in die Luft emportrug, aus welcher sie hernach außerhalb der Grenzen des brennenden Feldes herabfielen."

In einer Entfernung von 1 ½ Engl. Meilen zog dasselbe Phänomen die Aufmerksamkeit des Dr. Butler auf sich. Er sah eine hohe Säule schwarzen Rauches, welche ein Sausen gleich dem eines heftigen Kaminbrandes begleitete. — Von einem ganz ähnlich entstandenen Wirbelwind in Stockbridge, Massachusetts, erzählt der ehrenwerthe Theod. Dwight: „Im Allgemeinen war die Luft ganz frei von Feuer und Rauch bis auf das, was in der Säule sich sammelte. Die gewundene Rauchsäule über der (150 bis 200 Fuss hohen) Feuersäule drehte sich nicht nur wie diese mit der erstaunlichsten Geschwindigkeit, sondern sie schwankte auch wegen ihrer grossen (bis über den Gesichtskreis hinausreichenden) Höhe anmuthig in der Luft, wodurch die Schönheit und Pracht der Erscheinung sehr erhöht wurde. Die Stärke des Wirbelwindes war so gross, dass junge Bäume von sechs oder acht Zoll Dicke vom Boden aufgerissen und vierzig oder fünfzig Fuss hoch emporgetragen wurden.“ Dwight wohnte eine halbe Englische Meile von der Brandstätte entfernt, und seine Aufmerksamkeit wurde durch ein lautes und anhaltendes, donnergleiches Gebrüll auf die Feuersäule gelenkt. Letztere war am Boden breit, spitzte sich aber plötzlich zu einem viel kleineren Querschnitt zu.

Des lauten Brüllens und einer Art von knatterndem und beinahe beständigem Donnern, welches er ähnlich bei einem heftigen Hagelsturm gehört habe, thut auch William Akin von Greenbush bei Albany sehr nachdrücklich Erwähnung, indem er eine Flammensäule schildert, welche beim Anzünden des Reisigholzes von 25 Acres Waldland an einem warmen und völlig ruhigen Sommertage sich bildete. Dieses merkwürdige Getöse, welches wohl mehrere Meilen weit hörbar war, war von lauten, dem Flintenknall ähnlichen Explosionen begleitet. Die schnelle Wirbelbewegung der Säule übertraf alle Vorstellungen von der Geschwindigkeit des Windes.

Auch hier schien die obere Rauchsäule sich so hoch zu erstrecken wie das Auge reichte; manchmal nahm sie eine Wellenform an. — Redfield selbst macht auf die Analogie dieser säulenförmigen Wirbelwinde mit denjenigen aufmerksam, welche sich so oft über den Kratern thätiger Vulkane bilden, und weist hin auf die offenbare Identität der erzeugenden Ursachen.

Sehr auffallend ist, dass bei diesen Waldbränden Redfield's sich eine einzige rasch wirbelnde Rauch- und Flammensäule bildete, während bei Olmsted's Rohrbrände viele, schnell wechselnde Wirbel von mannigfacher Form gleichzeitig auftraten, und während bei zahlreichen anderen, nicht minder grossen Bränden nichts Derartiges bemerkt ist. Von einem blossen Unterschiede der Temperatur des Feuers dürften diese Abweichungen kaum herrühren; denn Olmsted sagt ausdrücklich, die Hitze des Rohrbrandes habe ihn genöthigt, sich aus seinem anfänglichen Standort, in 200 Yards Abstand, auf einen anderen, 300 Yards (900 Fuss) entfernten zurückziehen, und selbst dort war die Hitze für die meisten Anwesenden noch zu gross. Wir glauben eher, dass die warme und vollkommen ruhige Luft, welche nach ausdrücklicher Angabe bei jedem der Redfield'schen Waldbrände anfangs herrschte, das Entstehen einer einzigen Wirbelsäule begünstigt hat, während bei dem Rohrbrande ein Nordost herrschte, der ganz oben stark genug blieb, um die Rauchsäulen plötzlich umzubiegen und fortzuführen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die von Olmsted beschriebenen rasch wechselnden Wirbelwinde viel häufiger bei Bränden auftreten, als sie beachtet werden. Der Rohrbrand war eben der Beobachtung besonders günstig durch das tiefe, prachtvolle Roth der Flamme und seine dichten, schwarzen Rauchmassen, zu welchen nach Olmsted die lichtrothe Flamme und der weisse Rauch der im Röhricht zerstreut stehenden Bäume einen lebhaften Contrast bildeten.



von Seebach's Aschentrombe von Santorin.

Leider haben wir keine Abbildung von den eben geschilderten grossen Waldbränden; dagegen besitzen wir eine sehr schöne Zeichnung von einem der von Redfield erwähnten Wirbelwinde über thätigen Vulkanen. Wir verdanken dieselbe dem Geologen Prof. von Seebach, und sie stellt eine Aschentrombe dar, welche am 8. April 1866 während der Eruption des Vulkans von Santorin auftrat. Als Augenzeuge schildert v. Seebach<sup>3a)</sup> sie wie folgt: „Plötzlich stieg, begleitet von dem gewöhnlichen Donnern, die Aschen- und Dampfsäule in Form einer gewaltigen Dampfschraube auf... Deutlich konnte ich selbst aus dieser Entfernung (von 3390 Metern) mit einem Marineglas von viermaliger Vergrösserung die einzelnen Rauchfäden erkennen, aus denen sich das gewaltige Tau zusammendrehte. Der Nordwind Hess die Trombe nicht gerade aufsteigen, sondern neigte sie ein wenig nach Süden. Das ganze Phänomen dauerte so lange, dass ich Zeit hatte, meinen Borda'schen Kreis zur Hand zu nehmen und seine Höhe zu messen.“ Letztere betrug bis

an den Punkt, wo die Schraube sich in gewöhnliche Dampfwolken auflöste, nicht weniger als 580,7 Meter.

Solche durch Feuer erzeugte Wirbelwinde erinnern nicht bloß wegen der Uebereinstimmung der Ursachen und wegen ihrer erstaunlichen Drehgeschwindigkeit lebhaft an diejenigen über ausbrechenden Vulkanen, sondern sie sind auch gleich diesen manchmal von heftigen Gewittern begleitet. Der Americanische Meteorologe Espy<sup>4)</sup>, welcher die Stürme durch die Dampfkraft feuchter aufsteigender Luftmassen sich hervorgerufen denkt, hat mehrere höchst interessante Berichte von Regenfällen, die durch grosse Feuer entstanden, gesammelt.

Wegen ihrer grossen Bedeutung für unsere später zu entwickelnde Ansicht von der Entstehung der Wirbelwinde führen wir von denselben denjenigen des Americanischen Officers George Mackay hier im Auszuge an.

Mackay war im Jahre 1845, namentlich auch während der regenlosen Monate April, Mai und Juni, mit Vermessung der Atlantischen Küste von Florida beschäftigt, wobei ihm nicht selten ausgedehnte Schilfgras-Weiher (saw-grass ponds) sehr hinderlich waren. Nun lag unter den fünf bis sechs Fuss hohen frischen Gräsern oft eine zwei bis vier Fuss mächtige Schicht abgestorbener, trockenerer Gewächse, die äusserst leicht entzündlich war. An einem vollkommen windstillen und drückend heissen Apriltage, als es seinen Leuten besonders beschwerlich wurde, durch einen solchen, wohl 500 Acres grossen Weiher die Vermessungslinie hindurchzuschneiden, beschloss Mackay, mit Feuer sich Bahn zu brechen. Damit die zu passirenden Wälder nicht ergriffen würden, zündete man das Gras an zwei Seiten zugleich an. In wenigen Minuten „fegte“ eine Staunen erregende Flamme über die ganze, vorausbezeichnete Fläche hin, worauf die Linie hindurchgelegt wurde. „Noch aber“, schreibt Mackay, „waren wir nicht mehr als vierzig Kettenlängen vorgerückt, so erhob sich eine angenehme Briese und kühlte die Luft; und alsbald glitzerte auch ein erfrischender Regenschauer in den hellen Sonnenstrahlen.“

Alles das veranlasste nur die Bemerkung, dass es lange nicht geregnet habe; ich selbst bemerkte weder Rauch noch die Bildung einer Wolke.“

Nach einigen Tagen, als die Windstille und die intensive Hitze wieder eingetreten waren, stiess Mackay auf einen grösseren Schilfgras-Weiher als je zuvor, der wahrscheinlich noch nie gebrannt hatte. Mackay's Gehülfe, Capitain Alexander Mackay, der Kenntniss hatte von Espy's Theorie der Wolkenbildung durch aufsteigende Luftströme, auch bei einem neulichen Brande die Bildung einer Wolke über dem Rauche beobachtet haben wollte, schlug vor, diese vorzügliche Gelegenheit zur Prüfung jener Theorie zu benutzen. Als Freund eines Scherzes wollte er zugleich die abergläubischen Neger unter ihren Begleitern in Erstaunen setzen und sie glauben machen, er könne Wolken ansammeln und Regen machen. Mackay stimmte zu; doch lassen wir diesen jetzt selbst den Eindruck schildern, den die nun folgende charakteristische Scene auf die Theilnehmer machte.

„Als unsere ganze Gesellschaft am Halteplatze versammelt war, machten Klagen über die ausserordentliche Hitze die Runde, und Alle waren einstimmig, dass ihnen ein so schwüler Tag noch nicht vorgekommen sei. Diesen Klagen folgten Wünsche nach einem „kleinen Lufthauch“ und „wenigen Tropfen Regen“. Da rief der Capitain: „Durchschneidet diesen Weiher, und ich bringe „Euch mehr als nur wenige Tropfen, ich gebe Euch einen reichlichen Regenschauer, und dazu eine Briese, die Euch munter „machen soll. Kommt, Bursche, zugeschnitten! und wenn Ihr „fertig seid, so sollt Ihr Euch den Staub mit einem kalten Bad „vom Himmel abwaschen!“ Sie starrten empor und ringsherum: keine Wolke, so breit wie eines Mannes Hand, war zu sehen. Und sie blickten wieder mit gutmüthigem, ungläubigem Grinsen auf den Capitain. „Hoho! hehe! Capitain Wolken machen, aus „Nichts! hihi! — Bringen Capitain Wasser all' diesen Weg von „der See? Hoho! hihi!“ Worauf der Capitain sehr ungehalten that.

„Um seinen Sieg zu beschleunigen, befahl ich das Gras anzuzünden. Die Flammen erhoben sich sofort bis über die höchsten Bäume, eine dichte Rauchsäule stieg spiralförmig gewunden (spirally) empor, das Gras verschwand und wir passirten. Als die Rauchsäule verging und die Wolke sich zu bilden begann, zog der Capitain einen weiten Kreis rings um sich im Sande und stellte sich in die Mitte, phantastische Figuren machend und aus gebrochenem Französisch kabbalistische Phrasen drehelnd. Noch blieb die Wolke unbemerkt; alle Augen waren auf den Capitain geheftet, welcher dastand auf die Erde starrend und dort Teufelsfratzen zeichnend. Da auf einmal ein Rollen fernen Donners! jeder Blick wandte sich augenblicklich nach oben: eine Wolke breitete sich dort aus. Der Donner nahm zu, die Blitze leuchteten lebhafter, die Kniee der Neger schlugen vor Angst zusammen; schon fiel der liegen, und in Strömen, obgleich nach allen Seiten der reine Himmel unter der Wolke sichtbar war. Der Capitain behauptete mittlerweile seine mystische Haltung und setzte seine wilden, seltsamen Evolutionen fort. Einige der Weissen, eingeweiht in den Schwank, fielen auf die Kniee, und ihnen folgten die Neger, deren Furcht wuchs wie der Sturm heftiger wurde.

Mit gefalteten Händen hefteten sie stiere Blicke der Scheu und der Abbitte auf den Capitain. Kurz, die Scene stellte einen vollständigeren Triumph der Forschung über die Unwissenheit dar, als ich irgendwo im neunzehnten Jahrhundert, zumal in unserer erleuchteten Republik, für möglich gehalten hätte.

„Wir zündeten oft hernach die Schilfgrasfelder an, und jederzeit, wenn kein Wind sich regte, waren wir sicher, einen Regenschauer zu bekommen; und ich erkläre mit vollkommener Zuversicht, dass wir niemals sonst im April oder Mai einen Regenschauer hatten. Manchmal, wenn eine Briese ging, trug sie wohl den Rauch zum Horizont, wo dann Regen zu fallen schien.....“

„Kürzlich wurde mir von A. H. Jones, United States deputy surveyor, mitgetheilt, dass er in Florida sehr viele Versuche ähnlicher Art und mit gleichem Erfolge ausgeführt habe, dass einige Jahre hindurch verschiedene Farmer, die mit diesen Versuchen bekannt wurden, das trockene Gras zur Zeit der Kornsaat anzuzünden pflegten, um Regen hervorzubringen, und dass sie gemeiniglich Erfolg hatten, obgleich (weil jenes die trockene Jahreszeit ist) sonst bekanntlich kein Regen eintreten würde.“ —

Ausser diesem und anderen Berichten über ähnlich erzeugte Regenwolken führt Espy noch folgendes Zeugniß von M. Dobrezhoffer aus dessen uns unzugänglichem „Account of the Abiphanes of Paraguay, vol. 3 p. 180“ an: „Ich selbst habe Wolken und Blitz aus dem Rauche über langem Gras und Binsen entstehen sehen, wenn derselbe gleich einem Wirbelwinde davonfliegt; so dass die Indianer nicht zu tadeln sind, wenn sie die Ebenen anzünden, um Regen zu erzeugen. Sie haben nämlich die Erfahrung gemacht, dass der dickere Rauch sich in Wolken verwandelt, welche Wasser ausströmen.“ —

Auch allen diesen verschiedenen Berichten von Olmsted, Redfield und Espy, sowie aus den Erscheinungen bei Vulkanausbrüchen ergibt sich die Thatsache, dass die von grossen Brandstätten aufsteigenden Luft- und Rauchmassen oft eine heftig wirbelnde Bewegung annehmen, und dass sie, besonders an windstillen, heissen Tagen, sich manchmal zu einer einzigen, erstaunlich schnell rotirenden Säule vereinigen. Auch kommt es vor, dass die im Wirbelwinde mitgerissenen Wasserdämpfe (zu denen bei Mackay's Schilfbränden die mit verbrannten grünen Gräser sicher ihren Theil beigetragen haben) sich über der Rauchsäule verdichten zu Wolken, aus denen es regnet und wohl gar blitzt und donnert. Ganz analoge Erscheinungen werden wir bei den Wettersäulen und Wasserhosen keimen lernen, so dass jedem Unbefangenen die Frage sich aufdrängen muss, ob diese letzteren nicht ebenfalls aufsteigende Luft- und Dampfmassen sind, die gleich jenen Feuer- und Rauchsäulen um ihre Axe sich drehen.

Woher rührt aber die Kraft, welche bei den geschilderten Bränden die Flammen und den Rauch so heftig wirbelnd in der Säule umtreibt? Denn von selbst entsteht bekanntlich keine Bewegung. — Es ist dieselbe Kraft der Wärme, welche durch Ausdehnung die Luft und den Rauch zum Aufsteigen zwingt, welche so das atmosphärische Gleichgewicht stört, und veranlasst, dass die benachbarte Luft von allen Seiten zur Brandstätte heranströmt. Selbst bei vollkommen ruhiger Atmosphäre wird dieses Hinzuströmen nie ganz gleichmässig geschehen; die ungleich-mässige Vertheilung des Brennstoffes, die ungleichen Temperaturen auf der Brandstätte selbst, auch wohl die wechselnde Höhe des Bodens und der ihn bedeckenden oder umgebenden Bäume und anderen Pflanzen sind daran schuld. Deshalb tritt leicht von Anfang an ein excentrischer Zufluss und damit eine schwache spiralförmige Bewegung in der aufsteigenden Luft ein. Die immer rascher nachströmende Luft folgt diesen ersten Spiralwindungen, weil sie in deren Richtungen den kleinsten Widerstand findet, und durch die wachsende Geschwindigkeit wird die Centrifugalkraft der Luftmassen, und damit zugleich die Anzahl der beschriebenen Windungen vergrössert. Gerade diese Fliehkraft wiederum ist es, welche dem Zuströmen von Luft in einer zu den Windungen senkrechten Richtung entgegenwirkt. Aber ganz verhindern kann sie einen solchen, nicht in die Windungen einlaufenden Luftzufluss schwerlich, wenn die Terrain- oder die Temperaturverhältnisse auf der Brandstätte rasch andere werden. Solche Aenderungen mögen dann eine Verminderung und unter Umständen sogar solche Umkehrungen der Drehbewegung hervorrufen, wie Olmsted sie beobachtet hat. —

Wie leicht übrigens derartige Drehbewegungen aus unmerklichen Ursachen entstehen, zeigt sich recht deutlich an den Wirbeln von Wasser, welches man aus einer Bodenöffnung eines flachen Gefässes ausfliessen lässt.

Jene heftige Rotationsbewegung wird demnach den Rauch- und Feuersäulen mittelbar durch die ausdehnende Kraft der Wärme ertheilt, welche die Luft emportreibt; sie entsteht unmittelbar auf Kosten der aufwärts gerichteten Bewegung, insofern dieser nicht mehr die ganze Verbrennungswärme zu Gute kommt. Gleichwohl muss die Drehbewegung indirekt die vertikale Geschwindigkeit des wirbelnden Luftstromes wesentlich vergrössern, weil durch die Centrifugalkraft das Hineintreten der kälteren, oberen Luftschichten in den Strom ganz oder theilweise verhindert und so die Masse der aufwärts getriebenen Luft verkleinert wird. Wir wissen ja, dass durch rasch strömende Wasser-, Dampf- oder Luftstrahlen seitlich eine starke Saugwirkung ausgeübt wird, welche bei den pneumatischen Gebläsen und namentlich bei den, anstatt der Pumpen eingeführten Dampf-Injectoren sogar in ausgedehnter Weise nutzbar gemacht wird. Diese Saugwirkung tritt auch bei allen, gar nicht oder langsam rotirenden Rauchsäulen ein, und führt ihnen gewöhnlich so rasch und massenhaft kältere Luft zu, dass ihre aufsteigende Bewegung in kurzer Zeit, selbst bei ganz ruhiger Atmosphäre, zu erlahmen pflegt. Die geheimnissvolle Bohrkraft, mit welcher, wie Redfield meint, die rotirenden Rauch- und Feuersäulen die Luftschichten durchsetzen, findet so eine natürliche und einfache Erklärung. Und zum Beleg erinnern wir noch einmal an die Erscheinung, welche Olmsted bei seiner dritten Art von Wirbelwinden beobachtete. Rotirten dieselben schnell, so dehnte sich der dunkle, aus Rauch bestehende Zwischenraum nach oben hin aus, und erstickte dort wohl gar völlig die Flammen; bei langsamerer Bewegung (wenn also die atmosphärische Luft leichteren Zutritt hatte) verkürzte er sich bis auf eine Linie oder verschwand gänzlich.

## Erster Abschnitt

### Schilderung der Wettersäulen oder Land- und Wasserhosen.

Eine sehr bedeutende Literatur über die Wettersäulen oder Tromben, Wind- und Wasserhosen, Land- und Staubsäulen, Wirbelwinde, und wie diese Naturerscheinungen sonst noch genannt werden mögen, hat sich in unserem Jahrhundert angehäuft; und doch gehören sie nach E. E. Schmidt, dem Verfasser unseres besten, erst 1860 erschienenen Lehrbuches der Meteorologie, noch immer zu den räthselhaftesten Erscheinungen. Entstehen sie, wie z. B. de Maistre, Redfield und Oersted behaupten, durch Zusammentreffen entgegengesetzter Windstösse, sodass die Drehbewegung das Ursprüngliche, ihre oft beobachtete Saugwirkung dagegen eine secundäre Erscheinung ist? Oder sollen wir sie mit Brisson, Peltier, Becquerel und Tiare für Wirkungen der statischen Electricität halten, welche zwischen ihren Trägern, den Wolken und der Erdoberfläche, zunächst einen vertikalen Luftstrom erzeugt, der sich dann dreht? Oder hat vielleicht Espy Recht, welcher sie schlechthin für aufsteigende Luftströme erklärt, die ihre Energie der Dampfkraft mitgerissener und sich verdichtender Wasserdünste verdanken? Oder folgen wir dem wenig beachteten Belt, nach welchem die untersten Luftschichten vom sonnigen Boden aus erhitzt werden, bis sie leichter sind als die oberen, und plötzlich im heftigen Strudel sich aufwärts einen Weg bahnen?

Nur eine sorgfältige Prüfung der Umstände, unter denen die Wettersäulen aufzutreten pflegen, und der sie begleitenden Erscheinungen kann uns lehren, ob diese verschiedenen Ansichten das Entstehen der Tromben befriedigend erklären, oder ob wir gezwungen sind, uns nach einer anderen Erklärung umzusehen. An diese Prüfung können wir mit dem angenehmen Bewusstsein gehen, dass uns über die Wettersäulen ein grösseres Beobachtungs-Material sowohl, als auch eine grössere Anzahl von scharfsinnigen Ideen bedeutender Gelehrter vorliegen, als jedem der vorhin genannten Autoren. Ausser einer Anzahl, z. Th. gelegentlich anzuführender Schilderungen einzelner Land- oder Wasserhosen haben u. A. die grösseren Arbeiten von Oersted <sup>5)</sup>, Becquerel und Peltier <sup>6)</sup>, Arago <sup>7)</sup>, Martins <sup>8)</sup> und Muncke <sup>9)</sup> uns vorgelegen.



Unter diesen ist die reichhaltigste und wohl auch unbefangenste die von Muncke, welche zugleich dem Deutschen Leser zugänglicher sein dürfte als alle übrigen. Auf diese umfangreiche Literatur gestützt, wollen wir jetzt die sehr mannigfaltigen Formen und ausserordentlichen Wirkungen der Wettersäulen schildern. Die fürchterlichsten unter ihnen, die Nordamericanischen Tornados, denken wir in einem späteren Abschnitt noch besonders zu besprechen.

Zu den häufigsten und einfachsten Erscheinungen dieser Art gehören in unseren Breiten die zierlichen Wirbelwinde, welche manchmal an stillen, sonnigen Tagen den Staub unserer Landstrassen und grossen Plätze plötzlich emporschleudern. Ich selbst habe solche aus einer Entfernung von 20 bis 30 Schritt gesehen, wie sie auf einmal in conischer Form sich zur Höhe von zwei oder drei Fuss erhoben und gleich Kreisel rasch sich drehend über die Strasse liefen. Ihre Gestalt könnte ich nicht besser als durch No. 2 unseres Titelblattes darstellen. Der in ihnen aufgewirbelte Staub wurde, wenn sie plötzlich wieder vergingen, vom Luftzuge langsam fortgetragen. Von einander begegnenden Windstössen, durch welche diese Wirbel hätten erzeugt werden können, habe ich nicht das Geringste bemerkt, obwohl Büsche und Bäume ganz in der Nähe standen.

Die langgestreckte, schlauchartige Form von No. 4 unseres Titelblattes hatte eine Staubsäule, die ich im Sommer 1863 vor dem Casinogebäude in Zürich beobachtete. Die Luft war sehr ruhig und die Sonne strahlte heiss, als ganz unerwartet, ohne merkliches Geräusch etwa 50 Schritt vor mir der Staub sich von der chaussirten Strasse erhob, und in einer deutlich umgrenzten, vier bis fünf Fuss weiten Säule rasch wohl zwei- bis dreihundert Fuss hoch aufwirbelte. Diese senkrechte Säule bewegte sich sehr langsam und nur wenige Schritt weit von der Stelle, und lösete sich schon nach etwa 30 Secunden vom Boden ab; den Staub habe ich noch mehrere Minuten lang beobachtet, wie er schnell immer weiter zum blauen Himmel emporstieg, bis er meinen Blicken entschwand. Auch oben war die Luft augenscheinlich sehr ruhig.

Als Knabe habe ich in meiner Heimath an der Elbmündung mehrmals derartige Erscheinungen wahrgenommen, und vielen Lesern ist gewiss schon Aehnliches aufgefallen. Derartige Wirbelwinde kommen in allen Erdtheilen vor: Clarke beobachtete sie in den Russischen Steppen; Bruce sah in den Wüsten Africa's „erstaunlich hohe Säulen von Sand, die sich bald sehr hurtig bewegten, bald mit majestätischer Langsamkeit fortrückten“, und Stephenson beobachtete wiederholt ähnliche, schnell rotirende Sandsäulen am Ganges, die sich in einem Falle bei 12 Fuss Durchmesser sogar bis in die Wolken erhoben. Den langsam fortschreitenden Staubsäulen, welche Lyons in Mexico wahrnahm, schreibt derselbe eine Höhe von 200 bis 300 Fuss zu; in Indien sah Lieutenant Fyers Sandsäulen von etwa 18 Fuss Durchmesser und mehreren hundert Fuss Höhe.<sup>10)</sup> Humboldt<sup>11)</sup> endlich beschreibt die analogen Wirbelwinde der Südamerikanischen Steppen und Sandwüsten wie folgt: „Als trichterförmige Wolken, deren Spitzen an der Erde hingeleiten, steigt der Sand dampfartig durch die luftdünne, electricisch geladene Mitte des Wirbels empor, gleich den rauschenden Wasserhosen, die der erfahrene Schiffer fürchtet“; er hält sie für erzeugt durch entgegengesetzte Luftströme, trotzdem er selbst als bemerkenswerth hervorhebt, dass diese partiellen, entgegengestrebenden Luftströme nur bei allgemeiner Windstille eintreten.“

Ueber die rotirenden Staubsäulen Australiens, die in der heissen Jahreszeit den Goldsuchern häufig ihre leichten Gezelte niederwerfen, berichtet uns Belt<sup>12)</sup>: „Der Staub und die mitgerissenen Blätter lassen ihre schraubenförmige Bewegung nach oben deutlich hervortreten. Bisweilen stehen die Säulen still; gewöhnlich aber haben sie eine regelmässige horizontale Bewegung. Staubwolken umhüllen ihren Fuss, aus denen sie zu beträchtlicher Höhe emporsteigen, oft durch obere Luftströmungen aus ihrer lothrechten Lage abgelenkt. Besonders häufig sind sie in den Ebenen, wo bei mangelndem Baumwuchs die Sonnenstrahlen grosse Wirkung ausüben . . . .“

„Werden solche Luftwirbel aufmerksam beobachtet, so bemerkt man, dass Luftströme von allen Seiten nach dem unteren Säulenende sich hinbewegen. Die Temperatur an der Erdoberfläche wird durch sie merklich erniedrigt. Wenn ich durch die ausgedörrten Ebenen reiste, sah ich häufig die Luft zittern über dem heissen Boden wie über einem Feuerherde. Plötzlich erhob sich, vielleicht wenige Schritte von mir, ein Sturm im Kleinen; und wenn sein Ungestüm nach wenigen Minuten ebenso plötzlich sich legte, war das Zittern der Luft nicht länger bemerklich, und die Atmosphäre war weniger drückend.“

Immer von Neuem wiederholte sich derselbe Vorgang, bis der Schluss unvermeidlich wurde, dass jene Wirbelwinde die Canäle seien, welche die erhitzte Luft von der Erdoberfläche zu den höheren Regionen führen .... Ist einmal die Oeffnung erzwungen, so strömt die ganze erhitzte Luftschicht zu ihr hin und wird fortgerissen; die schwereren Schichten sinken nieder und pressen jene heraus."

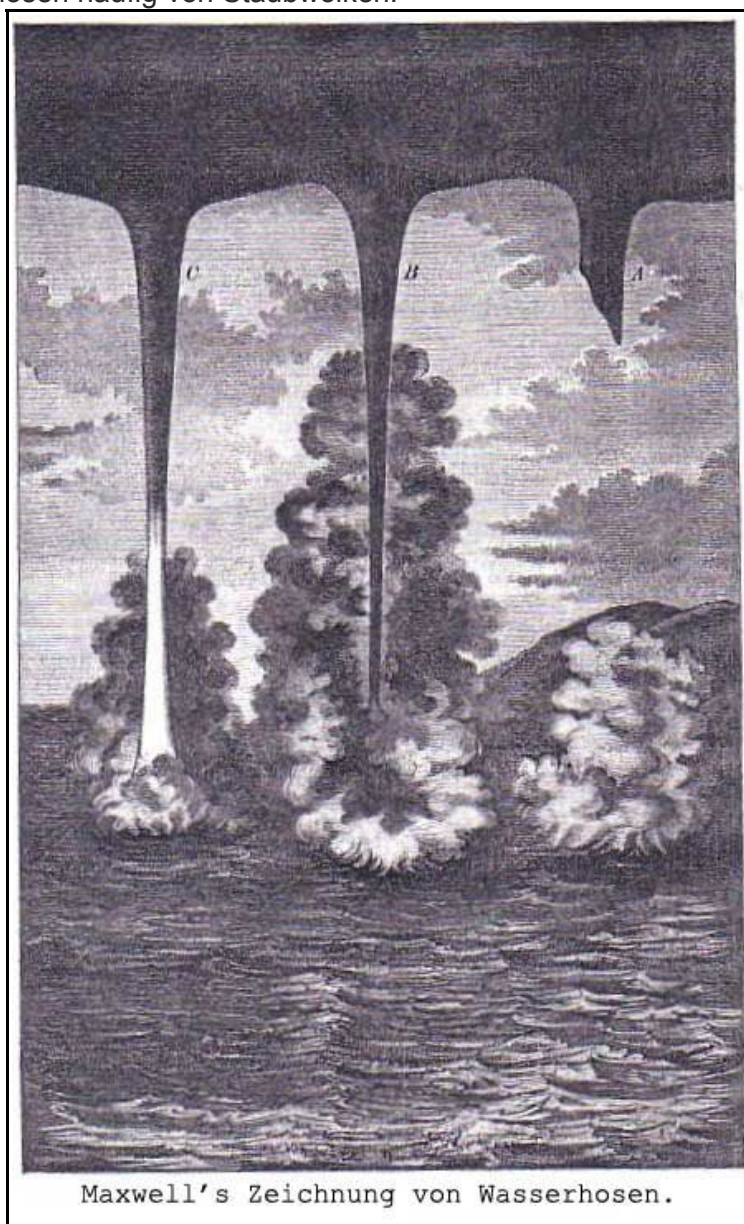
Für diese Erklärung Belt's spricht sehr das bisher wenig beachtete Auftreten von Wirbelwinden über heisser Lava. Bei einer Besteigung des Vesuvs am 23. December 1832 sah Pilla<sup>13)</sup> auf dem Ende des nach Torre del Greco fliessenden Lavastromes eine gerade, rotirende, etwa 100 Fuss hohe und fünf Fuss breite Rauchsäule sich erheben, die nach viertelstündiger Dauer langsam sich auflöste und verschwand, und die er sich nicht zu erklären vermochte. Und der Französische Marine-Capitain Bailleul<sup>14)</sup> beobachtete im Juni 1850 auf der noch brennend heissen Lavafläche des Vesuvs fünf Wochen nach dem Ausbruch „kleine Tromben", die mächtig genug waren, um Bimsteinstücke fortzurücken; beim Ueberschreiten der Lavagrenzen rissen sie sogar manchmal von benachbarten Bäumen Laub ab. Hierher gehört auch eine Beobachtung, welche Hamilton am 30. Juni 1794 auf dem Vesuv, und zwar während des Ausbruches machte. Derselbe erzählt <sup>15)</sup>: „Während ich auf dem Berge war, zeigten sich zwei Wirbelwinde, denjenigen vollkommen ähnlich, welche auf dem Meere Wasserhosen erzeugen. Der eine, der uns sehr nahe war, machte ein sonderbares Getöse, hob eine Menge der feinsten Asche in die Höhe, und bildete daraus eine hohe, spiralförmig gewundene Säule, die wirbelnd mit grosser Geschwindigkeit gegen den Berg Somma getrieben wurde, wo sie brach und sich zerstreute." Wer wird bei solchen Berichten nicht an die oben geschilderten, auf Brandstätten sich bildenden Wirbelwinde erinnert?

Wir sind bei den Staub- und Sandwirbeln so lange verweilt, weil sie von allen Land- und Wasserhosen wohl am häufigsten vorkommen, weil sie sich durch grosse Einfachheit der Erscheinung auszeichnen, und weil dennoch gerade sie den am meisten verbreiteten Erklärungsarten sich nicht fügen wollen. Selbst ein Humboldt (der übrigens gerade auf diesem Gebiete wohl kaum eine Autorität beanspruchen würde) kann mich nicht überreden, dass die von mir gesehenen zwei bis drei Fuss hohen Staubwirbel oder die mehrere hundert Fuss hohe Staubsäule durch entgegengesetzte Luftströme erzeugt worden seien, da von letzteren durchaus Nichts zu bemerken war. Und für die Annahme, dass electricische Kräfte in solchen Staubwirbeln wirksam seien oder dieselben gar hervorrufen, fehlt uns jeglicher Anhalt. Bei den Wirbelwinden über glühender Lava oder kürzlich ausgeworfener Asche wird man gewiss nicht an eine Erzeugung durch Electricität denken; wie aber unterscheiden sich diese von den Wirbelwinden der erhitzten Steppen und Sandwüsten? Diese Einwürfe gegen die sogenannte electricische und die Wirbel-Hypothese, welche bei kleinen Staubwirbeln ungehoben bleiben, behalten so durch alle Zwischenstufen hindurch auch für die grössten Sandsäulen ihre Geltung.

Doch schildern wir jetzt die complicirteren Erscheinungen der Land- und Wasserhosen, Tromben oder, wie wir sie gewöhnlich nennen wollen, „Wettersäulen". Nicht selten wird als Vorläufer derselben, ähnlich wie bei den Gewittern, eine drückende, schwüle Luft erwähnt; leider aber wird in den meisten Fällen gar Nichts über die Temperaturverhältnisse der Luft angegeben. Gleich den Gewittern kommen übrigens die Wettersäulen viel seltener in den kalten als in den wärmeren Monaten vor. Auffallend häufig geht ihnen Windstille voran. In dem Peltier'schen Verzeichnis <sup>6)</sup> von 116 Land- und Wasserhosen ist bei 83 freilich Nichts über den Wind bemerkt; aber von den übrigen 33 haben nicht weniger als 20 die Notiz „Windstille" (meistens „calme parfait, complet" oder „calme autour"), bei fünf anderen ist der Wind nur „leicht oder schwach", bei einer „regelmässig" gewesen; endlich bei den übrigen sieben bewegte die Trombe sich selbst oder umgerissene Bäume, Mauern, Gebälk gegen den Wind, dessen Stärke jedoch nicht angedeutet ist. Von den Wasserhosen behauptet der vielerfahrene Homer <sup>16)</sup> ausdrücklich, dass sie nie Wirkung eines allgemeinen Windes seien, vielmehr um sie her meistens Windstille herrsche.

Die äussere Form der Wettersäulen ist sehr mannigfaltig. Die Landhosen werden oft als ungeheure Trichter geschildert, deren Spitze nach unten gekehrt ist wie bei den conischen Staubwirbeln, noch häufiger wohl als langgestreckte Schläuche oder Säulen, die meistens etwas geneigt oder gekrümmt zum Himmel emporsteigen.

Bei den Wasserhosen, deren Form sehr oft genau beobachtet werden konnte, wird gewöhnlich ein aus dem Meere sich erhebender Fuss, ein gerader oder gekrümmter Schlauch und die Wolke unterschieden, in welche der Schlauch oben übergeht; das Ganze pflegt sich durch seinen wässerigen oder wolkenartigen Inhalt scharf gegen die umgebende Luft abzugrenzen. Die Abbildungen gleichen bald den Nos. 4 unseres Titelblattes, bald der No. 1, wenn deren mittlerer, schlauchförmiger Theil lang gedehnt wird. Manchmal fehlt der mittlere Theil des Schlauches, oder vielmehr er wird nicht wahrgenommen, weil er durchsichtig ist; die Wasserhose erscheint dann als zwei, einander mit ihren spitzen Enden entgegengerichtete Schläuche oder Kegel. Zuweilen fehlt der Fuss gänzlich, und dann wird die Erscheinung wohl mit einem aus der Wolke herabhängenden, spitz zulaufenden Horne verglichen; Baussard <sup>17)</sup> endlich hat oft bei fast wolkenfreiem Himmel wahrgenommen, dass Wasserhosen sich zuerst aus dem Meere erhoben und die zugehörigen Wolken, aus denen es hernach manchmal heftig regnete und blitzte, erst erzeugten oder doch vergrösserten. Die auf unserer Tafel nach einer Zeichnung des Schiffscapitains Maxwell <sup>18)</sup>, abgebildeten Wasserhosen sollen dieselben bei ihrem Entstehen (A), in ihrer vollen Wirksamkeit (B) und beim Verschwinden (C) darstellen. Bald sieht man übrigens den Fuss zuerst sich bilden, bald das obere Ende des Schlauches, bald wieder beide zugleich. Der Fuss der Wasserhosen ist meistens von Dünsten und aufspritzendem Wasser umgeben, das untere Ende der Landhosen häufig von Staubwolken.



Horner schreibt den Wasserhosen einen Durchmesser zu von zwei bis zu 200 Fuss und eine Höhe von 30 bis 1500 Fuss. Wir werden sogleich Landhosen kennen lernen, deren unteres Ende einen Durchmesser von 150, ja sogar von mehr als 1000 Fuss gehabt hat, und unter den Americanischen Tornados kommen sogar solche vor, die Landstriche von 5000 und mehr Fuss Breite verwüsten. Uebrigens ist dieser untere Durchmesser oft sehr veränderlich. Nach Oersted wird den meisten Wettersäulen eine Höhe von 1500 bis 2000 Fuss beigelegt, einige jedoch konnten wegen der Entfernung, aus der sie gesehen wurden, nicht unter 5000 bis 6000 Fuss hoch gewesen sein, und wenn sie manchmal nur zu 30 Fuss geschätzt wurden, so muss der Fuss für die ganze Säule angesehen sein.

Verschiedenartige Bewegungen wurden bei allen gut beobachteten Wettersäulen wahrgenommen, vor Allem eine fortschreitende. Die Geschwindigkeit derselben ist sehr verschieden: von derjenigen eines Fussgängers an bis zu der ungeheuren von 3000 Fuss in der Minute. Ganz stillstehende Tromben sind äusserst selten; wir kennen von einer solchen nur ein Beispiel, die Wettersäule von Blanquefort bei Bordeaux vom Jahre 1787. Die Geschwindigkeit ist veränderlich und häufig unten eine andere als oben, so dass auch die Neigung der Axe sich ändert; die vom Fusse durchlaufene Bahn ist bald geradlinig, bald gekrümmt, selten zickzackförmig. Manchmal überspringen die Wettersäulen in ihrem zerstörenden Laufe ganze Strecken Landes, indem sie oben in der Luft ihren Weg fortsetzen und sich weiterhin wieder bis auf den Boden herabsenken; so die Trombe von Assonval (26. Juli 1822) und die von Monville-Malaunay bei Ilouen (19. August 1845).

Eine Drehbewegung, oft eine ungemein heftige, ist in vielen Wettersäulen beobachtet worden; so bei 29 Tromben des Peltier'schen Verzeichnisses, welches dagegen 22 nicht rotirende enthält. Nicht selten kann diese Drehung aus den Richtungen, in welchen die umgerissenen Bäume niedergestürzt sind, nachträglich festgestellt werden; sie scheint bald gegen die Sonne, bald mit ihr zu gehen. Dazu kommt eine starke vertikale Bewegung der Luft in der Säule, so dass die Drehbewegung vielfach als eine schraubenförmige bezeichnet wird. In 15 Tromben von Peltier sah man das Wasser aufwärts, in dreien (Peltier schreibt 8 statt 3; er muss sich aber verzählt oder verdrückt haben) abwärts steigen; bei drei anderen sah man unter der Trombe die Fläche des Wassers vertieft, bei vierzehn hingegen wurden Dünste, Sand oder schwere Gegenstände, sogar mehrmals Menschen emporgehoben. Im Ganzen liess sich also bei 29 dieser Tromben eine aufsteigende, bei höchstens sechs eine abwärts gerichtete Bewegung constatiren. Die aufsteigende ist überhaupt viel häufiger. Vielfach hat man ein von allen Seiten gegen den Fuss der Trombe gerichtetes Heranströmen der Luft wahrgenommen, oder dasselbe nachher aus der Lage der niedergedrückten Saaten oder umgeworfenen Bäume deutlich erkannt. So waren nach Pouillet<sup>19)</sup> auf der geradlinigen Bahn, welche die vorhin erwähnte Trombe von Monville-Malaunay durchlaufen hatte, drei von Süd nach Nord laufende Striche zu unterscheiden: in dem mittleren, etwa 100 Meter breiten waren viele grosse Apfelbäume von 1 Meter Umfang mit furchtbarer Gewalt 50 Meter weit nach Norden fortgeschleudert, in den seitlichen, etwa 250 Meter breiten Strichen dagegen waren die Bäume nur umgeworfen, und zwar auf beiden Seiten gegen die Bahnmitte hin, also nach entgegengesetzten Richtungen. Eine Drehbewegung der Trombe war aus diesen Verwüstungen nicht zu erkennen.

Electrische Erscheinungen begleiten vielfach die Wettersäulen; so waren 41 von Peltier's 116 Tromben von Blitz, Donner oder Lichterscheinungen begleitet, bei 14 derselben fiel Schnee oder Hagel. (Peltier selbst zählt irrthümlich 16 statt 14.) Heftige Regengüsse findet man oft bei Wettersäulen erwähnt, und es ist sehr bemerkenswerth, dass selbst dann, wenn man geglaubt hatte, das Seewasser deutlich zu den Wolken aufsteigen zu sehen, der nachfolgende Regen ganz süß war. — Wiederholt sind mehrere Tromben zugleich gesehen worden; so führt Peltier drei Beobachtungen von je sieben und eine von sechs gleichzeitigen Wasserhosen an. Auch folgen nicht selten mehrere auf einander.

Ueber die Aenderungen des Luftdruckes während des Auftretens der Wettersäulen liegen uns leider nur sehr wenige direkte Beobachtungen vor. In Rouen stand am 19. August 1845 das Barometer Mittags auf 757,25 mm, gegen ein Uhr auf 740,91 mm, sodass es um 16  $\frac{1}{3}$  Millimeter gefallen war, und um ein Uhr 15 Minuten warf am Houlme, 8000 Meter von Rouen, eine Windhose in wenigen Secunden 180 grosse Bäume nieder.<sup>19)</sup>

Nach anderen Berichten hat dieselbe Trombe schon um 12 Uhr 35 Min. in Monville (15000 Meter von Rouen) drei Spinnereien verwüstet und in einer derselben 200 Arbeiter verschüttet. Die Trümmer dieser Gebäude fielen gegen ein Uhr in der Gegend von Dieppe massenhaft nieder, hatten also in weniger als 30 Minuten die ungeheure Entfernung von 32000 Meter (4  $\frac{1}{4}$  Deutsche Meilen) zurückgelegt. Ein anderes Beispiel vom Fallen des Barometers überliefert uns Oersted.<sup>20)</sup> Bei der Stadt Eu hatte drei Tage lang das Barometer auf 28 Zoll 5 Linien gestanden, als es am 16. Juni 1775 Morgens sieben Uhr um 2  $\frac{1}{2}$  Linien fiel, worauf um 8 Uhr eine Trombe folgte; Mittags war der Barometerstand wieder der ursprüngliche. Hierher gehört auch wohl der plötzliche „Sturm“, welcher, wie Reid<sup>10)</sup> erzählt, am 21. Mai 1836 das Dampfschiff Tigris auf dem Euphrat zum Sinken brachte. Durch die Wüste näherte sich aus WSW., der leichten Briesse gerade entgegen, eine dichte, schwarze Wolke. Sie bestand aus rothgefärbten Staubmassen, die zu einer niederhängenden Wolke emporstiegen und aus dieser mit grosser Gewalt unter heftigem liegen wieder herabstürzten. Während des Sturmes fiel das Barometer um  $\frac{2}{10}$  Zoll, was für jenes Clima sehr viel ist; gleich nachher folgte wieder ruhiges Wetter. — Eine Art Saugwirkung, die auf eine Luftverdünnung in der Wettersäule hinweist, ist wiederholt constatirt worden; so liest man von Fenstern und selbst Hausmauern, die nach aussen herausgeworfen wurden, von Bett- und Sacktüchern, die der Wirbel in enge Mauerspalt hineingezwängt hatte, von aufwärts gerissenen Dächern und Zimmerdecken und sogar von aufgebrochenen Fussböden.<sup>20)</sup>

Als häufiger Begleiter der Wettersäulen wird ein manchmal betäubender Lärm angegeben, ein Rollen, wie von Lastfuhrwerken, ein Donnern, ein Rasseln wie bei heftigen Hagelstürmen, oder (besonders bei den Wasserhosen) ein Sausen und Pfeifen. Dieses Getöse ist jedoch nicht immer bemerkt worden; es soll abnehmen, wenn die Trombe vom Lande auf das Wasser übergeht. Ferner wollen Manche einen Schwefel- (Ozon-?) Geruch in der Säule wahrgenommen haben; auch ein seltsames Leuchten der Trombe oder ihres herabhängenden Endes wird uns wohl berichtet, und wie man Feuerkugeln oder Blitze in ihr gesehen habe.

Vor Allem aber machen die mechanischen Wirkungen der Wettersäulen einen überwältigenden Eindruck auf die meisten Beobachter, und daher rührt es gewiss, dass wir über so vieles meteorologisch Wichtigere so wenig Auskunft besitzen. Diese Wirkungen beschränken sich auf die verhältnissmässig schmale Fläche, welche der Fuss der Säule überstreicht. Leichte Gegenstände werden hoch in die Lüfte gehoben, Briefe und selbst Baumäste und Bretter sind wiederholt in meilenweiter Entfernung wiedergefunden worden, ja man hat grüne Blätter und Zweige mit einer Eiskruste bedeckt wieder zur Erde fallen sehen.<sup>21)</sup> Häufig sind Häuser zu Dutzenden zerstört, Bäume zu Hunderten abgebrochen oder entwurzelt worden; ja man liest von ganzen Dächern, Schiffsmasten, starken Bäumen, die hoch durch die Lüfte entführt, von Menschen, ja sogar von Pferden und belasteten Böten, die emporgehoben, und von schweren Kanonen und Mörsern, die von der Stelle gerückt wurden. Beispielsweise möge die von Muncke angeführte Erzählung des Lampadius<sup>22)</sup> über die Wettersäule von Hainichen im Sächsischen Erzgebirge hier Platz finden.

„Am 23. April 1800 wechselte der Wind häufig seine Richtung; mehrere Gewitterwolken waren schon vorübergezogen, als um etwa vier Uhr Nachmittags, ungefähr eine halbe Meile vom genannten Orte, aus einer dicken Wolke ein langer nebelartiger Schlauch herabhing, der sich bald bis zur Erde herabliess, bald wieder zur Wolke hinaufgezogen wurde. Dabei bewegte sich die Wolke, der Schlauch senkte sich wieder bis zur Erde und strich mit unglaublicher Schnelligkeit, von Staub und Verwüstung begleitet, in einer Breite von etwa, 60 Schritt binnen 7 bis 8 Minuten über eine Strecke von ungefähr einer Deutschen Meile fort. Alles was der Wirbel auf seiner Bahn traf, ward zerstört, während an seiner Grenze vollkommene Windstille herrschte; denn unter Anderem sah eine Bäuerin zu Dittersdorf aus ihrem Fenster eine benachbarte Scheune mit Geprassel einstürzen, ohne etwas vom Winde zu empfinden. In Arensdorf, auf dessen Fehlern die Zerstörung durch Niedersinken des Schlauches den Anfang nahm, wurden die Häuser oder deren Dächer weggerissen, gewaltsamer aber wirkte das Meteor zu Dittersdorf, zerstörte das vor sechs Jahren neu erbaute Philipp'sche Gut, streute die Scheune in Stücken umher, verrückte die Stallungen und zertrümmerte selbst das massive Wohnhaus, mit Ausnahme des linken Flügels, den es jedoch um drei Ellen weit fortschob.

Das Dach und die Fruchtböden mit Getreide wurden in einen nahen Teich geschleudert, das Mauerwerk zerrissen, und selbst die Gewölbe widerstanden der Gewalt nicht, mit Ausnahme der Küche, wo die Bewohner einen Zufluchtsort der Rettung fanden. Das Federvieh wurde in der Luft umhergeworfen und dadurch getötet, doch fand man an den Federn keine Spur von Versengung. Auf dem nächstfolgenden Gute riss der Wirbel drei Seitengebäude und zwei einzelne Häuser nieder, und brach sich dann gewaltsam eine Bahn durch den wenig entfernten Wald. In einer Breite von 60 Schritt blieb kein Baum, kein Strauch verschont, sie wurden ausgerissen oder abgebrochen, und in einem Augenblicke war eine Allee durch den Wald hergestellt, Mehrere Bäume fanden sich bis an die Spitze abgeschält, einige etliche hundert Schritt über den Stigrisfluss fortgeschleudert. Auch über Etdorf unweit des Städtchens Rosswein erstreckte sich die Verheerung, indem einige Häuser niedergerissen, andere allgedeckt und mehrere in der Strecke stehende Bäume, unter andern starke Ulmen und Linden, ausgerissen und zerbrochen wurden. Die wirbelnde Bewegung liess endlich nach und die Wolkensäule zerstreute sich, nachdem sie unter andern einen Knecht nebst seinen zwei Pferden aufgehoben und ersteren in einen Hohlweg, letztere in ein nahes Gebüsch geschleudert hatte."

Man muss nicht glauben, dass alle oder auch nur viele Wettersäulen solche Verwüstungen anrichten. Wir besitzen freilich eine Anzahl von ganz ähnlichen Schilderungen wie die des Lampadius; aber die meisten bekannt gewordenen Tromben begnügten sich damit, Staub oder Wasserdunst emporzuwirbeln, Heu, Wäsche, Kornähren weit fortzuschleudern, schwache Bäume zu knicken und die Menschen plötzlich zu erschrecken. Dabei ist nicht zu vergessen, dass kleine, unschuldigere Wirbelwinde selten in weiteren Kreisen bekannt gemacht werden.

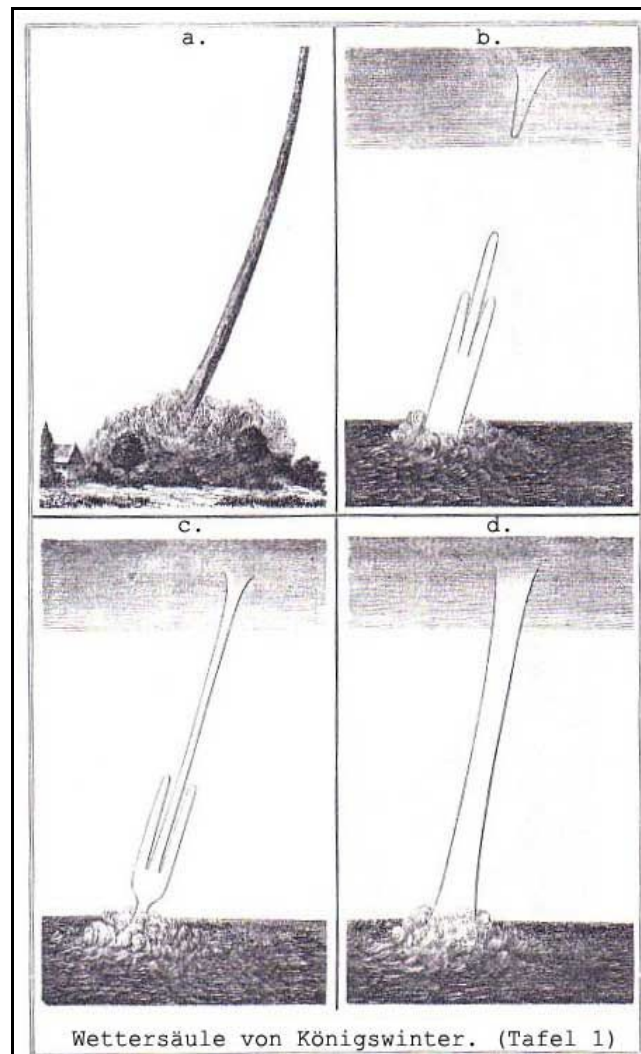
Am unschädlichsten scheinen die Wasserhosen zu sein; wahrscheinlich werden durch Dunst und mitgerissenen Wasserstaub selbst kleinere leicht auffallend, und der Seemann, ohnehin auf Wind und Wetter aufmerksam, verfehlt nicht leicht die bedrohliche Erscheinung im Tagebuch zu notiren. Aus ziemlich allen Meeren ausser den Eismeeren haben wir Schilderungen von Wasserhosen, selbst in der Ostsee, auf mehreren Alpenseen und auf grösseren Flüssen, wie Elbe, Rhein und Mosel, sind sie beobachtet worden, doch kamen die Schiffe regelmässig mit dem blossen Schrecken davon. Wir müssen bis auf das Jahr 1674 zurückgehen, um eine Wasserhose zu finden, welche einem Schiffe ernstlichen Schaden zufügte; dieselbe ergiff an der Küste von Guinea während der Windstille ein Schiff von 300 Tonnen und 16 Kanonen am Steuerbord, zerbrach ihm Bugspriet und Fockmast und hätte es fast umgeworfen, wenn nicht der Wirbelwind es gleich darauf wieder auf die andere Seite geworfen hätte. <sup>23)</sup> Wenn uns dagegen berichtet wird, 1794 habe auf der Ostsee ein kleiner Einmaster durch eine Wasserhose einen Stoss erhalten, welcher fünf Menschen und den schweren Cajütentisch über den Haufen warf <sup>24)</sup>, so will das nicht viel sagen; eine tüchtige, plötzlich anprallende Woge kann dieselben Wirkungen hervorrufen. Für die grosse mechanische Kraft mancher Wasserhosen scheint uns mehr der Umstand zu zeugen, dass man ringsherum das Wasser 12 bis 16 Fuss hoch hat aufspritzen, ja sogar zu noch bedeutenderer Höhe hat aufsteigen sehen. Und wenn auch, wie wir mit Horner, Redfield und anderen bedeutenden Meteorologen anzunehmen geneigt sind, nicht ein eigentlicher Wasserstrom, sondern Dunst, Schaum und Wasserstaub zu der Wolke emporsteigt, so muss doch das Wasser erst zu Schaum und Staub gepeitscht werden, ehe es hinaufgerissen wird.

Wir dürfen die allerdings sehr seltenen electricischen Wirkungen nicht übergehen, welche nach Peltier's Berichte <sup>25)</sup> die Trombe von Chatenay am 18. Juni 1839 begleitet haben. Gegen Mittag waren zwei Gewitter nach einander von Süden her über der Ebene von Fontenay aufgestiegen. Das zweite höhere donnerte noch, als plötzlich eine der unteren Wolken sich zur Erde herabsenkte und jede Explosion aufzuhören schien. Eine ungeheuere Anziehung trat ein; alle leichten Körper, aller Staub am Boden erhob sich zur Spitze der Wolke, ein anhaltendes Rollen ertönte, kleine Wolken tanzten kreiselnd um den umgekehrten Kegel und hoben und senkten sich rasch. Die Trombe zerbrach und entwurzelte eine Menge Bäume, durchschritt zerstörend ein Thal und blieb dann, unter dem ersten Gewitter angelangt, einige Minuten stehen. Darauf zurückkehrend verwüstete sie völlig den Park des Schlosses Chatenay, riss von diesem die Dächer und Kamine fort, und schleuderte Pfannen und Ziegel 500 Meter, ja sogar Bäume mehrere hundert Meter weit fort. Sie stieg dann gegen Norden den Hügel herab, warf an einem Teiche die



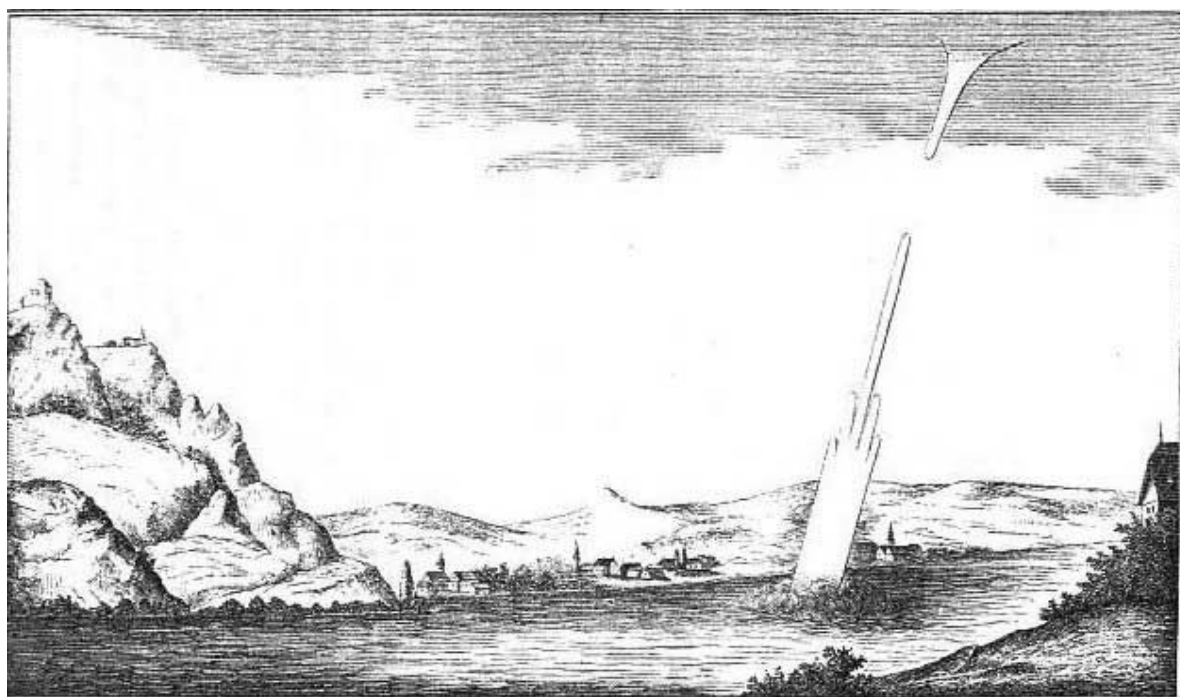
Hälfte aller Bäume um und trocknete sie aus, tödtete alle Fische und zertheilte sich endlich in der Ebene, indem der obere Theil zu den Wolken sich erhob, der untere zerging. Die Bäume lagen meistens von Süden gegen Norden hingestreckt, gemäss der allgemeinen Richtung des Meteors; doch zeigten die Wipfel der seitlich liegenden Bäume nach der von der Trombe durchlaufenen Linie, also nach innen hin: rechts waren sie nach Westen, links nach Osten geneigt. Alle getroffenen Bäume waren ausgetrocknet, als wären sie 48 Stunden in einem 150 Grad warmen Ofen gelegen; ihr Saft war verdampft und ein Theil des Stammes in Latten zerspalten. Peltier erklärt diese auffallende Erscheinung durch die Annahme, dass die Bäume „als Leiter für Massen von Electricität, für continuirliche, unaufhörliche Blitze“ gedient haben, dass durch diese electrischen Ströme Wärme entwickelt sei, welche augenblicklich alle Feuchtigkeit verdampft habe, und dass diese pflanzenförmigen Leiter durch die Dämpfe der Länge nach gespällt sein, worauf der Wirbel sie zerbrach. Er hält diese Trombe für eine Umwandlung eines gewöhnlichen Gewitters und stützt besonders auf sie seine Behauptung, dass alle Wettersäulen durch gegenseitige Anziehung der statischen Electricität einer Wolke und des Erdbodens entstehen.

Wenn eine Landhose eine Wasserfläche trifft, so wird sie zu einer Wasserhose, und umgekehrt. Dieses ist sehr oft und namentlich auch durch die auffallend zahlreichen Wettersäulen nachgewiesen worden, welche man im Rheinthale von Coblenz bis Bonn beobachtet hat. Wir besitzen von Nöggerath, Mohr und G. vom Rath ausführliche Schilderungen von vier verschiedenen Tromben jener Gegend, von denen drei den Rhein und eine die Mosel überschritten. Als ein besonders interessantes Beispiel möge die Wettersäule von Königswinter dienen, welche G. vom Rath <sup>26)</sup> mit grosser Sorgfalt beschrieben hat.





In Bonn hatte man acht Tage lang vergebens sich nach Regen gesehnt, als endlich am 10. Juni 1858 um die Mittagszeit im Süden schwere Gewitterwolken aufstiegen, die sich in der Ferne unter Blitz und Donner entluden. Dort im Süden, bei Honnef oberhalb Königswinter, bemerkte man um dieselbe Zeit (1 Uhr 20 Minuten etwa) zuerst eine 2000 Fuss hohe Staubsäule, unten von aufgewirbelten Staub- und Erdmassen umgeben, die bald den Rheinspiegel erreichte (s. Taf. 1 a), Da erhob sich auf einer wohl 20 Schritt weiten Kreislinie schäumend das Wasser, in Kämmen und Strahlen emporspringend gleich einer Krone, deren weisse Schaumstrahlen 20 bis 30 Fuss hoch aufschossen. Die innere Kreisfläche war zu einem Schilde aufgewölbt und mit Schaum bedeckt, einer flachen Insel vergleichbar. Beim Fortschreiten stieg das Wasser höher empor, und in der Nähe des linken Ufers war die Krone schon in eine 40 bis 50 Fuss hohe Wassersäule verwandelt. Bald zeigte sich auch vor graublauen Wetterwolken eine kegelförmige Wolken Spitze wie ein glänzender Degen am Himmel, und verlängerte sich sichtbar nach unten. Sie war gegen die Spitze der rasch aufsteigenden Staubsäule gerichtet, in welche sich mittlerweile auf dem linken Rheinufer (bei Mehlem) die Wasserhose wieder verwandelt hatte. Diese Sandsäule überragte den Drachenfels weit an Höhe, maass also über 850 Fuss. Die Gewalt der Trombe wuchs, sie nahm eine erschreckende Gestalt an, so dass die Schiffe ihre Anker fallen Hessen und selbst in Nieder-Dollendorf, 25 bis 30 Minuten entfernt, einzelne Bewohner aus ihren Wohnungen in's Freie eilten. In starkem Bogen schritt sie wieder dem Rheine zu, und mit vergösserter Gewalt sprang der Wirbel abermals auf das Wasser. Dieses schien weiss schäumend hoch aufzusieden, und plötzlich erhob sich aus dem wogenden Schaume eine Masse von Wasser und Dunst fast senkrecht in drei bis fünf Strahlen, deren mittlerer sich der weissen, degenförmigen Wolke näherte (Tafel 2 und Tafel 1, b). Beide Spitzen trafen zusammen, „und so wurde das Wasser aus dem Strome in die Wolke gezogen“ (Tafel 1, c). Auf einer Untiefe des Rheines vereinigten sich die seitlichen Strahlen mit der Hauptsäule, die nun wie ein Riesen-Obelisk auf dem Rheine schwebte (Tafel 1, d). Als sie bei Rhöndorf wieder das rechte Ufer erreichte, fielen die schwereren Wassertheile wie Fetzen herunter von der aufsteigenden Schaummasse, welcher dunkler Staub und Sand folgte, durch eine horizontale Linie scharf von ihr geschieden. Indess die Schaummasse gänzlich in den Wolken verschwand, näherte sich die Wettersäule dem Drachenfels. Ihre Gewalt nahm ab und ein wolkenbruchartig herabstürzender, mit Hagel gemischter Regen entzog sie endlich den Blicken des Beobachters. Vom Drachenfels aus jedoch sah man, wie die Säule vom Boden sich abhob, und die aufgewirbelten Stoffe in den oberen, trichterförmig gestalteten Theil der Trombe aufgezogen wurden. Die ganze Erscheinung dauerte etwa 35 Minuten; die durchlaufene Bahn war 1300 Ruthen lang und demnach mit einer Geschwindigkeit von etwa 450 Fuss (140 Meter) per Minute durchlaufen worden.



Wettersäule von Königswinter. (Tafel 2)

Mehrere unbefangene Beobachter der Wasserkrone haben an derselben eine Drehung mit der Sonne wahrgenommen. An beiden Ufern war die Bahn des Fusses meistens durch niedergedrückte Saaten bezeichnet. Ihre Breite mochte fünfzig Schritt betragen, wuchs aber auf das Doppelte und Dreifache, wo vor Mehlem die Curve beschrieben wurde. Nur in der Mitte lagen die Halme genau mit dem Zuge, an den Seiten mehr der Mitte zugewandt. Hieraus und aus der schildförmigen Erhebung im Innern der Wasserkrone glaubt vom Rath auf eine Luftverdünnung im Innern des Zuges schliessen zu dürfen. Ausserhalb des grossen Bogens am linken Ufer lagen die Saaten in mehreren hundert Schritt Entfernung (also ausserhalb der eigentlichen Bahn) gerade gegen den Mittelpunkt des Halbkreises gerichtet. Es musste sich die Luft von allen Seiten senkrecht gegen den umkehrenden Strom bewegt haben. Kornblumen und Halme wurden, ohne Zweifel in grosser Höhe, bis über den Rhein getragen und fielen hernach mit dem Regen auf ein Schiff herab.

Wir könnten noch viele interessante Schilderungen von Wettersäulen anführen, wenn wir nicht fürchteten, die Geduld des Lesers zu ermüden. Für unsere Zwecke reichen die obigen aus und wir verweisen deshalb auf die früher genannten Gelehrten. <sup>5-9)</sup>

## Zweiter Abschnitt

### Ursachen und Entstehung der Wettersäulen.

Die Erklärung der mannigfaltigen und wechselnden Erscheinungen, welche die Wettersäulen begleiten, ist keine leichte Aufgabe. Das plötzliche Erscheinen der Trombe inmitten der Windstille und ihr ebenso unerwartetes Verschwinden, ihre verschiedenen, rasch veränderlichen Formen, ihr bald pfeilschnelles bald langsames Fortschreiten, die in ihr auf- oder niedersteigenden Luftströmungen, ihre bald heftige, bald ganz unmerkliche Drehbewegung; dann die Aenderungen des Luftdruckes, die begleitenden Gewittererscheinungen, die oft folgenden Regengüsse und Hagelwetter, das unheimliche Rollen, Heulen oder Rasseln; endlich ihre bald unbedeutenden, bald wahrhaft furchtbaren mechanischen Wirkungen, denen sich in einzelnen Fällen electriche angereicht zu haben scheinen: Alle diese Erscheinungen sind für uns ebenso viele, erst zu lösende Räthsel. Sehen wir zunächst, ob und wie weit sie durch die älteren Hypothesen erklärt werden können.

Peltier <sup>6)</sup> hat eine Liste von 19 Autoren zusammengestellt, welche sich die Tromben auf verschiedene Art aus Wirbelwinden entstanden denken. Die gewöhnliche Vorstellung ist die, dass zwei entgegengesetzte Luftströme, die sich treffen oder an einander hinfließen, einen derartigen, heftigen Wirbelwind erzeugen, dass in demselben alsbald durch die Fliehkraft eine Luftverdünnung eintritt und dass diese von unten und oben einen Luftstrom ansaugt, der dann ebenfalls leicht die Drehbewegung des anfänglichen Wirbelwindes annimmt. Schon Peltier macht auf den Widerspruch aufmerksam, dass zwei entgegengesetzte Luftströme an der Stelle, wo sie aufeinander wirken, statt sich gegenseitig zu stauen und eine Luftverdichtung zu bewirken, indirekt eine Luftverdünnung hervorrufen sollen. Ferner liebt Muncke mit Recht hervor, dass entgegengesetzte Winde viel häufiger übereinander hin- als nebeneinander vorbeifliessen, dass demnach die von ihnen etwa erzeugten Wirbelwinde viel häufiger eine horizontale als eine vertikale Drehungsaxe haben müssten, während doch alle Wettersäulen genau oder nahezu vertikal seien und kein Beispiel einer horizontalen Wettersäule existire. Ein dritter gewichtiger Einwand scheint mir der zu sein, dass solche in höheren Luftschichten entstehenden Wirbelwinde gewiss nicht an der Erdoberfläche einen nach abwärts gerichteten Luftstrom erzeugen können; und doch wollen glaubwürdige Augenzeugen in einigen Wasserhosen eine nach unten gerichtete Bewegung und sogar unter ihnen eine Vertiefung in der Oberfläche des Wassers wahrgenommen haben.

Ferner ist mir sehr zweifelhaft, ob zwei einander begegnende Luftströme wirklich einen 10 bis 15 Minuten oder gar Stunden lang anhaltenden Wirbelwind erzeugen können. Wenn wir durch einen Windstrom hinter Hausecken oder auf mehrseitig umschlossenen Höfen Wirbel entstellen sehen, welche dürre Blätter, Staub oder Schnee hoch emportreiben, so werden diese Wirbel sicherlich nicht durch eine Art Reibung zwischen der vorbeistreifenden und der ruhigeren Luft erzeugt. Vielmehr saugt der an der Hausecke vorübereilende Luftstrom nach bekannten hydraulischen Gesetzen die unmittelbar dahinter befindliche, ruhigere; Luft an, wird aber zugleich theilweise abgelenkt nach dem nunmehr etwas luftverdünnten Raume hin; und so bildet sich ein stehender Wirbelwind hinter der Ecke, besonders wenn die Gebäude eine Art Hof bilden, so dass die Luft nicht seitlich zuströmen kann. Ganz ähnliche Erscheinungen beobachten wir im Wasser, namentlich beim Rudern. Dass zwei verschiedene Luftströmungen ebenfalls kurz andauernde Wirbelwinde erzeugen können, mag wohl sein; doch können dieselben nicht gleich schweren Kreiseln lange Zeit und meilenweit fortwirbeln, weil beim Aufhören der erzeugenden Ursache die rotirenden Luftmassen sich sofort in die umgebende, relativ ruhige Luft zerstreuen müssen. Nur durch eine unrichtige Erklärung jener anders entstandenen Wirbel an Hausecken dürften so viele ältere Meteorologen zur Annahme dieser sogenannten Wirbeltheorie der Wettersäulen und namentlich auch zu der Vorstellung veranlasst sein, dass so entstandene Wirbelwinde vorzugsweise um vertikale Axen sich drehen.

Noch entschiedener dürfte gegen diese Wirbeltheorie der Umstand sprechen, dass die Wettersäulen vorzugsweise, wenn nicht ausschliesslich, bei Windstille oder bei schwachen, wechselnden Winden auftreten. Diese Thatsache, welche doch auch einer Aufklärung bedürfte, steht mit der Wirbeltheorie geradezu im Widerspruch. Um einen Wirbelwind zu erzeugen, der die stärksten Bäume wie Strohhalme zerbricht, müssten, so sollte man meinen, sturmartige Winde aufeinander prallen; aber nein, wie vielen Gewittern so geht auch der Wettersäule Windstille voraus. Und wenn man auch annehmen wollte, dass ganz oben in der Luft heftige Winde sich begegnen: wie können dieselben ganz unten in der vollkommen ruhigen Luftschicht einer Landstrasse jene so häufigen, nur zwei oder drei Fuss hohen, trichterförmigen Staubwinkel erzeugen? Und kann man denn im Ernste glauben, dass ein in Wolkenhöhe entstehender Wirbelwind einen schlauchartig gestalteten Luftstrom tausend Fuss hoch senkrecht emporzuziehen vermöge mit einer Kraft, die unten noch Wasserstrahlen haushoch aufwirbelt oder grosse Gebäude zerstört und ihre Trümmer meilenweit mitreisst? Müsste nicht der aufgesogene Luftstrom nach unten hin sofort und stark sich erweitern, statt wie bei den Wettersäulen nach oben oder auch gar nicht?

Im vorigen Jahrhundert war die Ansicht weit verbreitet, dass alle meteorologischen Phänomene in der Electricität ihre letzte Ursache hätten, insbesondere auch die Wettersäulen. Diese Ansicht hat jetzt nur wenige Anhänger mehr, und wir brauchen nicht lange bei ihr zu verweilen. Ihr Hauptvertreter, Peltier, nennt freilich acht Gelehrte, welche der Electricität bei den Wettersäulen eine Rolle zuschreiben; aber unter diesen dürften höchstens drei die Electricität für die Ursache der Tromben erklären, und der berühmteste unter den übrigen, Humboldt, spricht nur ganz gelegentlich einmal von der „luftdünnen, electricisch geladenen Mitte“ der Südamericanischen Sandhosen. Die ganze Richtung, welche die heutige Meteorologie eingeschlagen hat, lässt es im höchsten Grade unglaublich erscheinen, dass eine Wolke durch electricische Anziehung den Staub, Dunst und die Luft in einem viele hundert Fuss hohen Schlauche aufwärts reissen und so einen Sturm erzeugen könne, welcher in einem Augenblicke eine 60 Schritt, breite Allee durch den Wald bricht. Warum, wenn die electricische Spannung so gross wird, gleicht sie sich nicht wie bei allen Gewittern durch Blitzschläge aus? Wie finden bei Peltier's Hypothese diejenigen oft beobachteten Land- und selbst Wasserhosen ihre Erklärung, welche bei wolkenfreiem Himmel sich bilden? etwa durch die neue Hypothese, dass über ihnen eine mit Electricität geladene unsichtbare Wolke schwebt? Und wie entstehen, fragen wir auch hier, die ganz niedrigen Staubwirbel, oder gar die trichterförmigen Tromben, welche zeitweilig den Boden gar nicht berühren, sondern sich nur hie und da aus der Höhe verwüstend auf den Wald herabsenken? Die Electricität macht sich freilich sehr oft aber doch lange nicht immer in den Wettersäulen bemerkbar, und schon Oersted erklärt sie deshalb für eine blosser Folge der Verdichtung von Wasserdampf, für ein Produkt nicht für die Ursache der Wettersäulen.

Und was die Peltier'sche Erklärung der electricischen Wirkungen jener vereinzelt dastehenden Trombe von Chatenay betrifft, so können wir sie vollständig annehmen, wenn wir uns auch den in der Trombe aufsteigenden Luftstrom auf ganz andere Weise als durch electricische Anziehung entstanden denken.

Wenn uns sonach die Wirbel- und die electricische Hypothese gleich unbefriedigt lassen, ja wenn sie im Widerspruch stehen mit vielfachen Beobachtungen, so müssen wir wohl auf diejenige Erklärung der Wettersäulen zurückgreifen, welche uns durch die Wirbelwinde über grossen Brandstätten und thätigen Vulkanen so nahe gelegt wird. Wir halten mit Muncke, Belt und Espy die Wettersäulen für vertikale Luftströme, welche die warme und feuchte Luft von der Erdoberfläche strudelnd emporführen, oder auch kalte Luft von oben zu ihr herabbringen. Dagegen theilen wir nicht völlig die Ansichten der genannten Gelehrten über die Art und Weise, wie jene Luftstrudel erzeugt werden.

Für diese Erklärung der Wettersäulen spricht zunächst deren Analogie mit den heftig wirbelnden Rauch- und Feuersäulen von Redfield, Olmsted und Espy, dann auch ihr plötzliches Auftreten bei Windstille, in schwüler Luft und über erhitzten Flächen, wie z. B. auf sonnigen Plätzen, dünnen Steppen und öden Wüsten oder über dem glatten, die Sonne heiss zurückstrahlenden Meeresspiegel. Die über glühender Lava beobachteten Wirbelwinde können gewiss nur durch aufsteigende Luftströme befriedigend erklärt werden, denn z. B. von statischer Electricität kann bei der Glühhitze der Lava sicher keine Rede sein; wer aber die Möglichkeit solcher durch Wärme entstandener Luftstrudel über heissen Lavamassen zugiebt, wird sie für Sand- und ausgedörrte Graswüsten nicht wohl leugnen können.

Die Plötzlichkeit, mit der sich die Wettersäulen wie von selbst in ruhiger Atmosphäre bilden, und die Heftigkeit ihres Auftretens legen den Gedanken nahe, dass ihnen ein labiles Gleichgewicht der Luft vorhergehe, und dass durch sie die gewaltsame Umwälzung der Luftschichten geschehe, mit welcher das stabile Gleichgewicht sich wieder herstellt. Wirklich müsste bei stabilem Gleichgewichte der Atmosphäre die Bewegung eines immerhin nicht breiten Luftstromes rasch an dem passiven Widerstande der durchbrochenen ruhenden Luftschichten erlahmen, ähnlich wie wir es bei den Rauchsäulen unserer Kamine wahrnehmen. Die Entstehung jenes labilen Gleichgewichtes in ruhiger Atmosphäre ist nun aber unschwer zu erklären. Vom erwärmten Boden aus wird nämlich an windstillen, sonnigen Tagen den unteren Luftschichten ganz allmählig eine höhere Temperatur ertheilt, so dass sie sich langsam ausdehnen. Bei unruhiger Luft oder auf ungünstigem Terrain würde sehr bald diese erwärmte Luft sich ähnlich, wie die Dampfblasen in kochendem Wasser, in kleineren oder grösseren Massen vom Boden ablösen und aufsteigen, während an anderen Stellen die kältere Luft herabsinkt und sich über den Boden ausbreitet; und durch derartige Bewegungen erklärt man ja das Zittern der Luft über Oefen, erhitzten Kieswegen u. dgl. Aber unter günstigen Verhältnissen können die untersten Luftschichten örtlich so stark erwärmt werden, dass sie trotz des auf ihnen lastenden grösseren Luftdruckes sogar specifisch leichter werden als die über ihnen befindlichen Luftschichten. Beweis hiefür sind die trügerischen Luftspiegelungen in den Sandwüsten, welche den ermatteten, durstigen Caravanen das Gaukelbild eines Landsees vorzaubern, nicht selten wenige Minuten bevor der gefürchtete Wüstensturm sich erhebt und Alles in Wolken heissen Sandes einhüllt; denn die Erklärung dieser Luftspiegelung setzt einen derartigen Zustand des labilen Gleichgewichtes in den untersten Luftschichten geradezu voraus, Bei einer zufälligen, vielleicht durch einen Reiter oder den Schatten einer Wolke hervorgerufenen Störung des Gleichgewichtes setzt sich dann die allmählig angesammelte Wärmemenge plötzlich in Bewegung um, und die Luft reisst in heftigem Auftriebe wirbelnde Säulen von Rand hoch mit sich empor.

Wollen wir uns über das Entstehen der Wettersäulen befriedigend Rechenschaft geben, so müssen wir vor Allem die Frage lösen: „Bei welchen Temperaturverhältnissen ist ruhende Luft im labilen Gleichgewicht?“ , Hierauf folgt gewöhnlich die Antwort, welche auch Belt giebt: „Wenn die unteren Luftschichten so stark erwärmt wurden, dass sie specifisch leichter sind als irgend welche über ihnen befindlichen Schichten.“

Meine im Anhang No. 3 ausgeführten Rechnungen <sup>27)</sup> zeigen nun aber, dass Letzteres erst dann eintritt, wenn von den unteren Luftschichten gegen die oberen hin die atmosphärische Temperatur abnimmt um mehr als  $3^{42/100}$  Grad Celsius für je hundert Meter senkrechter Erhebung. Die bei Luftfahrten und Bergersteigungen wirklich beobachteten Temperatur-Abnahmen betragen dagegen selten mehr als den vierten Theil dieser Zahl, und nie, ausser auf der sehr merkwürdigen Luftfahrt von Barral und Bixio, ist wohl die genannte Temperatur-Abnahme von  $3^{,42}$  Cels. pr. 100m direkt beobachtet worden. Wir halten deshalb die Annahme für unzulässig, dass bei jeder Wettersäule die unteren Luftschichten leichter seien als die oberen, wenn dieses auch bei einzelnen, besonders heftigen wirklich der Fall sein mag.

Aber das labile Gleichgewicht tritt in der That schon bei einer viel geringeren Erwärmung der untersten Luftschichten ein. Zur Erläuterung denke man sich zunächst einen kleinen ausdehnensamen Luftballon, der durch zweckmässige Belastung im Wasser schwebend erhalten wird. Drückt man denselben um ein Weniges unter seine Gleichgewichtslage hinab, so sinkt er sofort zu Grunde, weil er durch den grösseren Wasserdruck zusammengepresst, sein Auftrieb also verringert wird. Ebenso steigt er sofort zur Oberfläche empor, wenn er über seine Gleichgewichtslage gehoben wird, weil bei verminderter Druckhöhe der Ballon sich ausdehnen muss, also sein Auftrieb grösser wird. Das Gleichgewicht des Ballons ist also ein labiles oder schwankendes, ähnlich wie dasjenige eines langen Stabes, den man auf der Fingerspitze balanciren lässt. Ganz ähnliche Erscheinungen können in der Atmosphäre eintreten, wenn eine beliebige Luftmenge Ortsveränderungen erleidet; nur ist hier das Gleichgewicht nicht nothwendig ein labiles, sondern es kann je nach den Temperatur-Verhältnissen auch indifferent oder stabil werden.

Versetzen wir nämlich eine beliebige Luftmasse ohne äusserliche Zuführung von Wärme in eine höhere Schicht der Atmosphäre, so dehnt sie sich aus wegen Verminderung des äusseren Druckes, und ihre Temperatur sinkt gleichzeitig. Ist diese, dem Poisson'schen Spannungsgesetze entsprechende Temperaturabnahme grösser als die atmosphärische, welche der durchlaufenen Höhe entspricht, ist also unser Luftquantum bis unter die Temperatur seiner neuen Umgebung erkaltet, so muss dasselbe, wenn es sich selbst überlassen wird, wieder zu seiner früheren Lage hinabsinken. Das Gleichgewicht der Luft ist dann ein stabiles oder beständiges. Dagegen wird die Luftmasse noch höher steigen, wenn ihre Temperatur-Abnahme kleiner ist als die atmosphärische, und wenn sie deshalb wärmer bleibt als die umgebende Luftschicht; das Gleichgewicht ist in diesem Falle ein labiles oder schwankendes. Meine Rechnung zeigt, dass die Luftmasse in ihrer neuen Lage bleibt, und dass folglich die Atmosphäre im indifferenten Gleichgewicht sich befindet, wenn die Temperatur-Abnahme für einen Höhenunterschied von 100 Metern einen Grad Celsius (genauer  $0^{,993}$ ) beträgt. Nimmt also die atmosphärische Temperatur für eine lothrechte Erhebung von 100 Metern um mehr ab als einen Grad, so ist das Gleichgewicht der Atmosphäre ein labiles; zugleich aber ist jede Luftschicht specifisch schwerer als alle darüber befindlichen, wenn nur die Temperatur-Abnahme nicht ganz  $3^{,42}$  Grad pr. 100m beträgt. Beispielsweise war bei Glaisher's acht Luftschifffahrten <sup>28)</sup> vom Sommer 1862 die Luft bis zu 1000 Fuss Engl. über der Erdoberfläche im labilen Gleichgewichte; denn die Temperatur-Abnahme betrug im Mittel  $5 \frac{1}{2}$  Grad Fahrenheit für die ersten 1000 Fuss, oder  $1^{,002}$  Cels. für je 100 Meter. Für die ersten 100 Fuss betrug die Temperatur-Abnahme sogar einen Grad Fahr. <sup>28a)</sup>, also per 100 Meter nicht weniger als  $1^{,8}$  Cels. Sicherlich haben deshalb zur Zeit dieser Luftfahrten auf- oder niedersteigende Luftströmungen geherrscht, wenn auch vielleicht keine continuirliche, wirbelnde. Denn man vergesse nicht, dass meinen Rechnungen keinerlei zweifelhafte Annahmen zu Grunde liegen, dass vielmehr ihre Ergebnisse ebenso zuverlässig feststehen, wie die allbekannten Spannungsgesetze der Luft, aus welchen sie abgeleitet sind.

Barral und Bixio<sup>29)</sup> fanden, um noch ein Beispiel anzuführen, auf ihrer berühmten Luftfahrt vom 27. Juli 1850 in der Höhe von 6330 Metern eine Temperatur von  $10 \frac{1}{2}$  Grad Cels., dagegen schon in der Höhe von 7039 Metern eine solche von  $39 \frac{2}{3}$  Grad unter Null. Die Temperaturabnahme betrug also  $29 \frac{1}{6}$  Grad für 705 Meter oder 4,1 Grad für je 100 Meter Erhebung.

Die Luft war demnach in jener unteren Schicht wirklich leichter als in der oberen, und daraus erklärt sich wohl auch die merkwürdige Spiegelung der Sonne, welche die beiden Forscher unterhalb des Ballons wahrnahmen, ganz ebenso wie die Luftspiegelungen der Sandwüsten. [Die Annahme Arago's und der beiden Luftfahrer, dass die Sonne sich in den horizontalen (warum nicht auch in beliebig geneigten?) Grenzflächen der in der Luft schwebenden Eisnadeln gespiegelt habe, ist mir höchst unwahrscheinlich.] Das labile Gleichgewicht der Luft war aber auch schon durch einen mächtigen, niedersinkenden Luftstrom unterbrochen, wie nicht bloss aus der raschen Bildung der mehr als 3300 Meter (11000 Fuss) dicken Wolke sich ergibt, deren obere Grenze die Luftfahrer nicht einmal ganz erreichten, sondern namentlich auch aus dem Umstande, dass trotz der kurzen Dauer der Fahrt von kaum 1 ½ Stunden die Temperatur der unteren Luftschichten beim Sinken des Ballons weit niedriger war als beim Aufsteigen.

Ein solcher labiler Gleichgewichtszustand der Atmosphäre kann nun aber ebenso leicht zu abwärts wie zu aufwärts gerichteten Luftströmen führen. Wenn gleichwohl die aufsteigenden Tromben viel zahlreicher sind als diejenigen mit niedersinkendem Luftstrom, so muss das seine besondere Ursache haben. Ich finde dieselbe in der Anwesenheit des atmosphärischen Wasserdampfes, welchen ich soeben ganz unberücksichtigt gelassen habe. In niedersinkenden Luftströmen behält dieser Dampf seine Gasform bei; in aufsteigenden dagegen verdichtet er sich wegen rascher Erkaltung der Luft zu Nebel, und seine bedeutende, hierbei frei werdende latente Wärme dehnt die Luft aus und treibt sie noch schneller empor.

Sowohl eine genaue Rechnung als auch zahlreiche Versuche mit Luftpumpen zeigen, dass bei der Expansion feuchter Luft sich ihr Wasserdampf verdichtet, während derselbe bei der Compression sich wegen der rasch wachsenden Temperatur nicht niederschlägt. Beim Zusammendrücken folgt deshalb feuchte Luft fast genau den Spannungsgesetzen trockener Luft, und bei niedersinkenden Luftströmen hat deren Wasserdampfgehalt keinen merklichen Einfluss. Bei gegebener Ausdehnung dagegen sinken Temperatur und Spannung feuchter Luft lange nicht so schnell wie diejenigen der trockenen Luft, und der Auftrieb emporsteigender Luft wird also grösser, wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt als wenn sie trocken ist. Meine im Anhang No. 2 ausgeführten Rechnungen beweisen, dass diese Wirkung des atmosphärischen Wasserdampfes um so stärker sich äussert, je grösser das Gewicht des Dampfes ist im Vergleich zum Gewichte der ihn enthaltenden Luft. So z.B. macht gesättigter Wasserdampf bei 20 Grad sich viel stärker in der Luft geltend als bei Null Grad, und mehr bei geringem Luftdrucke als bei hohem; denn die Dampfmenge, welche irgend ein Raum aufnehmen kann, wächst sehr rasch mit der Temperatur und ist unabhängig vom Luftdruck, das Gewicht der in demselben Raume enthaltenen Luft dagegen nimmt bei wachsender Temperatur oder vermindertem Druck durch Expansion ab.

Aus diesen Ergebnissen folgt weiter (Anhang No. 3), dass feuchte Luft viel leichter in der Atmosphäre aufsteigt als trockene. Letztere steigt erst auf, wenn die atmosphärische Temperatur-Abnahme für 100 Meter Erhebung mindestens einen Grad beträgt, feuchte Luft dagegen kann unter Umständen schon aufsteigen, wenn jene Abnahme nur  $\frac{1}{3}$  Grad Cels. beträgt. Und zwar ist die erforderliche Grösse dieser Abnahme wesentlich abhängig von derjenigen Temperatur und Spannung, welche die aufsteigende Luft bei ihrem Sättigungspunkte hat, oder mit anderen Worten von dem Gewichtsverhältnisse des Dampfes und der Luft, die gleichzeitig in demselben Raume enthalten sind. Bei der Spannung von einer Atmosphäre z. B. wird gesättigte Luft von Null Grad erst dann mit Beschleunigung sich erheben können, wenn die genannte Temperatur-Abnahme etwas über  $\frac{3}{4}$  Grad beträgt, hingegen solche von 20 Grad schon bei einer Temperatur-Abnahme von nicht viel über  $\frac{1}{2}$  Grad Cels. pr. 100 Meter Erhebung. Fast dieselbe Abnahme von reichlich  $\frac{1}{2}$  Grad ist erforderlich zum beschleunigten Aufsteigen feuchter Luft von Null Grad bei  $\frac{1}{2}$  Atmosphäre Spannung, während hiezu bei gleicher Spannung und bei 20 bis 30 Grad nur eine Temperatur-Abnahme von reichlich  $\frac{1}{3}$  Grad nöthig ist. Auch diese Ergebnisse meiner Rechnungen stützen sich auf nichts Hypothetisches, sondern sie sind ebenso zuverlässig wie die durch zahlreiche Messungen festgestellten Spannungs- und Wärmegesetze des gesättigten Wasserdampfes.

Feuchte aufsteigende Luftströme treten, wie sich beiläufig ergibt, weit leichter in höheren Schichten der Atmosphäre auf als in tieferen, weil oben der Luftdruck geringer ist als unten.

Wirklich sehen wir an warmen, ruhigen Sommertagen sehr oft prächtige Haufenwolken sich aufthürmen, die in mächtigen Säulen nach oben hin sich ausdehnen, und deren abgerundete Gipfel die dünnen Federwolken der oberen Atmosphäre sichtlich schnell durchbrechen; bisweilen entwickeln sie sich zu Gewittern, und Abends sieht man sie nicht selten Wetterleuchten. Dagegen gehören grössere aufsteigende Luftströme an der Erdoberfläche, also die Wettersäulen oder Tromben, immerhin zu den Seltenheiten. Dabei ist freilich wohl zu berücksichtigen, dass die Luft unten weit seltener ihren Sättigungspunkt erreicht, als in der Wolkenregion; und wenn es durch Abkühlung und nächtliche Strahlung dennoch geschieht (wie z. B. Nachts beim Thaufall, oder in Hochgebirgsthälern, wenn das prachtvolle Nebelmeer unter den Berggipfeln sich ausbreitet), so ist gewöhnlich die für aufsteigende Luftströme nothwendige Bedingung nicht erfüllt, dass nämlich die untere Schicht wärmer sei als die zunächst darüber befindlichen.

Bei der Bildung von Wettersäulen wird daher in der Regel diejenige Temperaturabnahme in der Atmosphäre vorhanden sein müssen, welche für den labilen Gleichgewichtszustand trockener Luft erforderlich ist, und erst in einiger Entfernung von der Erdoberfläche verdichtet sich der mitgerissene Wasserdampf und tritt dessen Verdampfungswärme, das Aufsteigen beschleunigend, in Wirksamkeit. So erklärt sich ganz einfach der kegelförmige, schlauch- oder rüsselartige Ansatz, der bei vielen Tromben aus den Wolken herabhängt. Bei der Wettersäule von Königswinter wurde die degenförmige Wolken spitze erst wahrgenommen, als die Staubsäule sich über dem Rheinstrome in eine Wasserhose verwandelt hatte; dann aber verlängerte sie sich ungeachtet des starken nach aufwärts gerichteten Luftstromes und ohne Zweifel durch Nebelbildung der aufsteigenden Wasserdünste sichtbar nach unten hin. Der verdichtete Dampf muss bei dieser Wettersäule, welcher sehr deutlich der Character eines aufwärts gerichteten Luftstromes aufgeprägt ist, zum Theil bis in eisige Luftregionen emporgerissen worden sein, denn dem nachfolgenden, wolkenbruchartigen Regen waren Hagelkörner beigemischt.

Haben die Wasserdämpfe der Luft ihren Sättigungspunkt noch nicht erreicht, so ist bei einer Temperatur-Abnahme von weniger als ein Grad Cels. per 100 Meter Erhebung die Luft im stabilen Gleichgewichte, aber die Grenzen der Stabilität sind um so enger, je näher der Dampf seinem Sättigungspunkte ist. Wird nämlich ein Luftquantum aus einer unteren Schicht in eine obere versetzt, so nähert sich wegen der zugleich eintretenden Abkühlung der Dampf rasch seinem Sättigungspunkte; aber so lange sich nicht wirklich Dampf niederschlägt, bleibt die Luftmasse kälter als ihre neue Umgebung, und hat das Bestreben, zu ihrem früheren Standorte zurückzusinken. Ist jedoch der Sättigungspunkt überschritten und hat sich hinreichend viel Dampf niedergeschlagen, so kann die Temperatur der gehobenen Luftmasse über diejenige ihrer neuen Umgebung steigen, und es entsteht alsdann ein immer wachsender Auftrieb nach oben hin. Meine Rechnungen lassen genau ersehen, unter welchen Bedingungen dieser Fall eintreten wird; eine Abnahme der atmosphärischen Temperatur nach oben hin ist allemal erforderlich. Zur Bildung von aufsteigenden Luftströmen ist also das Vorhergehen eines labilen Gleichgewichts - Zustandes nicht unbedingt nothwendig, falls diese Strömungen durch eine kräftige Störung, z. B. durch einen Sturm, eingeleitet worden; doch glaube ich, dass jener Zustand den eigentlichen Wettersäulen immer vorausgeht. Niedergehende Luftströme dagegen können nur beim labilen Gleichgewichte der Atmosphäre eintreten, ohne sofort zu erlahmen.

Meine Rechnungen zeigen nicht nur, dass Belt sich irrt, wenn er die aufwirbelnden unteren Luftschichten allemal für specifisch leichter erklärt als die über ihnen befindlichen, sondern sie beschränken zugleich Espy's Ansichten über die Entstehung der Stürme ganz wesentlich. Espy zufolge werden alle Stürme durch Dampfkraft erzeugt; er nimmt, an, dass überall, wo sich Wasserdampf in zufällig emporgerissenen Luftmassen verdichtet, die frei werdende Verdampfungswärme gross genug sei, um die Luftmasse zum heftigen, immer rascheren Aufsteigen zu zwingen, bis sie die Grenzen der Atmosphäre erreicht und seitlich abfließt. Hiernach würden also auch dann, wenn die atmosphärische Temperatur sich nach oben hin gar nicht ändert, feuchte aufsteigende Luftströme sich bilden können; was meinen Rechnungen zufolge absolut unmöglich ist, wenn nicht etwa äussere Kräfte wie z. B. electricische Anziehungen mitwirken. Denn trotz der latenten Wärme des verdichteten Wasserdampfes ist für die Bildung aufsteigender Luftströme eine Abnahme der Lufttemperatur nach oben hin durchaus nöthig und geradezu Vorbedingung. Belt und Espy haben also beide nur theilweise Recht; gleich uns halten



beide im Grunde die Wärme für die treibende Kraft in den Wettersäulen, aber weil Belt die Wirkungssphäre dieser Kraft zu eng, Espy sie zu weit und beide dieselbe zu einseitig begrenzten, so verfielen sie in Irrthümer, welche den Meteorologen ihre Theorien als unannehmbar erscheinen lassen, und welche nur durch genaue Rechnungen völlig beseitigt werden konnten. Was endlich Muncke betrifft, so lässt sich dieser auf eine Auseinandersetzung darüber, weshalb die vertikalen Luftströme, die auch er für das Ursprüngliche in der Wettersäule hält, sich auf- oder abwärts bewegen, nicht weiter ein.

Die Luftspiegelungen in Steppen und Sandwüsten und die auf Luftfahrten beobachteten Temperatur-Abnahmen in der Atmosphäre haben uns bewiesen, dass der labile Gleichgewichtszustand von Luftschichten thatsächlich vorkommt. Versuchen wir nun, auf Grund unserer Rechnungsergebnisse und unserer Kenntniss der auf Brandstätten vorkommenden Wirbelwinde, uns eine Vorstellung zu bilden von den Erscheinungen, welche bei einer Störung jenes labilen Gleichgewichtes voraussichtlich eintreten müssen. Wenn diese Vorstellung derjenigen, welche der Leser sich bereits von den Wettersäulen gebildet hat, sehr ähnlich wird, so liegt der Grund hiervon einzig in den vorhandenen Thatsachen.

Ueber einer grösseren Fläche, etwa über einem weiten Flussthale, werde also die windstille oder auch ruhig dahinfließende Luft vom Boden aus stark erwärmt, bis allmählig ein stark gespannter Zustand des labilen Gleichgewichtes eingetreten ist. An irgend einer Stelle bewirke eine geringe Störung, etwa der Flug eines Vogels oder der Rauch eines Kamines, ein Aufsteigen der Luft. Während diese sich aufwärts bewegt, wächst ihr Auftrieb und damit zugleich ihre Geschwindigkeit; unter ihr bildet sich ein luftverdünnter Raum, nach welchem von allen Seiten die angrenzenden Luftmassen heranströmen, um ihr dann aufwärts zu folgen. Die Luftverdünnung dehnt sich, weil auch von unten die Luft hinzufliessen, bis auf den Boden hin aus, dessen Unebenheiten die immer rascher anströmenden untersten Schichten theilweise aufhalten und wohl auch von ihrer centralen Bewegung ablenken. Die Verdünnungsstelle ändert deshalb ihren Ort und nimmt eine fortschreitende Bewegung an; zugleich erhält der aufsteigende Luftstrom eine kleinere oder grössere Drehgeschwindigkeit, die durch die schraubenförmigen Bahnen mitgerissener Staubmassen und Blätter sichtbar wird. Heulend wie bei Kaminbränden wirbelt die Luft empor in einer einzigen Säule, die schnell weiterschreitet zu anderen, noch stillstehenden Theilen der überhitzten untersten Schichten. Sie trifft auf einen See oder Fluss, und sofort peitschen die ringsum herandringenden Luftmassen das Wasser zu Schaum oder Dunst, der dem dunkleren Staube zu den Wolken folgt. Während die schwereren Tropfen zurückfallen, um dann von Neuem aufzuspritzen, geht der mitgerissene Schaum allmählig in unsichtbaren Dampf über, zugleich durch Abkühlung die Geschwindigkeit des Aufsteigens vermindern, und die Säule erscheint wie ein langer, oben zugespitzter Schlauch, dessen Fuss, von Spritzwasser und Dünsten umgeben, über die glatte Wasserfläche dahinschreitet. Weiter oben aber verdichtet sich wieder der Dampf zu Nebel, einen zweiten Schlauch bildend, der wie ein Trichter oben gegen die rasch zunehmende Wolke hin sich erweitert. Je schneller die Luft unten zuströmt, desto mehr nähern sich die beiden spitzen Schlauchenden, bis sie sich vereinigen zu einer einzigen, an die Wolken reichenden Säule. Am anderen Ufer wird sodann der leichte Flusssand aufgewirbelt, werden vom seitlich heranbrausenden Luftstrom die alten Uferweiden geknickt und die durchschrittenen Saaten gegen den Fuss des Wirbelwindes hin zu Boden gedrückt, sogar eine Hütte wird auseinandergerissen und ihr Dach in Stücken umhergestreut. Endlich sind die überhitzten unteren Luftschichten erschöpft, vielleicht auch durch niederströmenden liegen abgekühlt; die Staubsäule löst sich vom Boden und verschwindet bald in den Gewitterwolken.

So erklärt sich, wenn einmal der vertikale Luftstrom in den Wettersäulen als das Erste und Ursprüngliche erkannt ist, ganz naturgemäss die Saugwirkung so vieler aufsteigender Tromben, das Italien des Barometers, das wuchtige Heranströmen der Luft zum Fusse, die fortschreitende und die häufig beobachtete Wirbelbewegung der Säule. Wir haben oben (p. 25 u. 26) zwei Wettersäulen angeführt, bei denen ein schneller Fall des Barometers um  $16 \frac{1}{3}$  Millimeter und um  $2 \frac{1}{2}$  Linien beobachtet wurde.

Der Luftdruckdifferenz von  $2 \frac{1}{2}$  Linien entspricht aber eine orkan-artige Windgeschwindigkeit von  $34 \frac{1}{2}$  Metern per Secunde nach der Verdünnungsstelle hin, und der Druckdifferenz von  $16 \frac{1}{3}$  Millimetern sogar die ungeheure Windgeschwindigkeit von 59 Metern per Secunde. Da darf uns freilich das plötzliche Niederwerfen von 180 grossen Bäumen und die Zerstörung von drei Spinnereien, von denen die eine an 200 Arbeiter verschüttete, nicht in Erstaunen setzen. Trifft eine solche Wettersäule, in welcher der Luftdruck um  $16 \frac{1}{3}$  mm Quecksilber vermindert ist, auf eine Wasserfläche, so muss unter ihr das Wasser um  $8 \frac{1}{4}$  Zoll sich schildförmig heben; wahrscheinlich aber springt es wegen der plötzlichen, stossartigen Wirkung noch weit höher empor, und mag dann theilweise vom Windstrudel mit emporgerissen werden.

Auch das Rasseln, Sausen und Donnern im Luftcanale, welches bei umgebender Windstille weithin vernehmbar ist, wird Keinem unbegreiflich scheinen, der die weniger heftigen Sturmwinde unserer Meeresküsten je hat heulen und brausen hören; bei den heftigeren Landhosen wird dasselbe durch das Krachen fallender Baumstämme, durch aneinanderschlagende Dachziegel und Sparren noch verstärkt, bei Wasserhosen dagegen zugleich mit der Gewalt des Luftstromes durch Verdunstung mitgerissener Wassertheilchen geschwächt. Und die oft bedeutende Anhäufung von Electricität: sehen wir sie nicht wie bei den Tromben so auch bei rasch sich bildenden Gewitterwolken eintreten? und ist es nicht eine ausgemachte Sache, dass viele Gewitter, zumal an stillen Sommertagen und in engen Hochgebirgstälern, durch aufsteigende Luftströme erzeugt werden?

Sehr wenig Aufmerksamkeit ist in den älteren Theorien der Wettersäulen dem häufigen Nachfolgen von Hagel und Schnee geschenkt worden. Eine einfachere Erklärung dieser Hagelbildung als die, dass die mitgerissenen, zu Nebel und kleinen Tropfen verdichteten Wasserdämpfe durch den aufsteigenden Luftstrom bis zu eiskalten Luftschichten emporgehoben werden, wo sie gefrieren, um in fester Form wieder herabzustürzen, dürfte nicht möglich sein. Für dieselbe spricht auch das Vorkommen von Sandkörnern und Erdtheilchen im Innern solcher Hagelkörner; auch ist ja bekannt, dass die schlimmsten Hagelwetter gleich den Tromben einen nur schmalen, aber lang gestreckten Strich Landes verwüstend durchstürmen, oft von ähnlichem Getöse begleitet sind wie jene, und an den einzelnen Orten nur sehr kurze Zeit dauern, so dass sie vielleicht nichts Anderes sind als Wettersäulen, die in den höheren Luftschichten sich bilden.

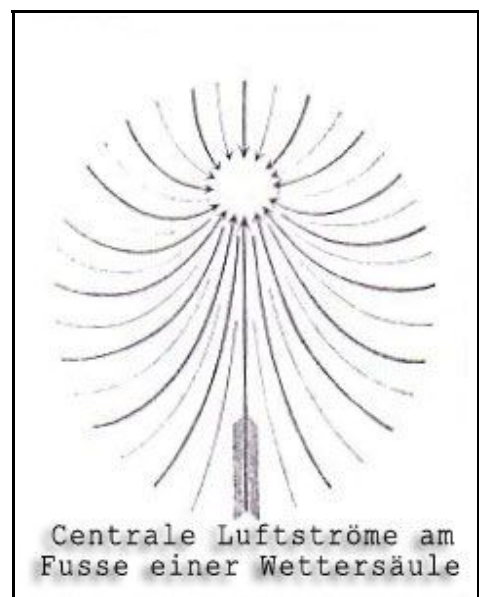
Genug, die Gesammtheit aller Erscheinungen und jede einzelne derselben legt in ihrem mannigfaltigen Wechsel Zeugnis ab für unsere Erklärung der Wettersäulen: dieselben sind durch Wärme erzeugte vertikale Luftströme. Selbst über ihre verschiedenen Formen können wir uns jetzt Rechenschaft geben. Wenn nämlich nur in den untersten Luftschichten das Gleichgewicht labil, weiter oben dagegen sehr stabil ist, so wird der Auftrieb der emporsteigenden Luft oben rasch abnehmen; die Geschwindigkeit wird kleiner und der Luftkanal muss sich nach aufwärts trichterförmig erweitern, weil durch jeden Querschnitt gleich viel Luft hindurchgehen muss. So ist wahrscheinlich bei den conischen Staubwirbeln unserer Landstrassen nur eine sehr dünne Luftschicht unmittelbar am Boden überhitzt; der aufsteigende Luftstrom erweitert sich deshalb sofort, kommt aber auch schon in geringer Höhe zur Ruhe, indem er sich mit der oberen Luft vermischt. Anders dürfte es sein, wenn die Temperatur auch in grösseren Höhen noch sehr rasch nach oben hin abnimmt, und wenn der sich verdichtende Wasserdampf den Auftrieb vergrössert. Dann kann nämlich die Luft trotz ihrer Expansion in einem langen, nahezu cylindrischen Canale fortströmen, weil ihre Geschwindigkeit zugleich mit ihrem Volumen nach oben hin zunimmt; und erst dort, wo sie in Wolkenhöhe zur Ruhe kommt, erweitert der Schlauch sich trichterförmig.

Trifft eine aufwärts wirbelnde Wettersäule bei ihrem Fortschreiten auf einen mit kalter, schwerer Luft gefüllten Thalgrund, so kann es vorkommen, dass sie denselben ohne merkliche Wirkungen gleichsam überspringt. Trotz der localen Luftverdünnung wird nämlich die kalte Luft nicht so leicht aufwärts strömen, wie die warme lockere; und selbst wenn sie theilweise mitgerissen wird, muss sie die Geschwindigkeit und Gewalt des Strudels sofort vermindern.

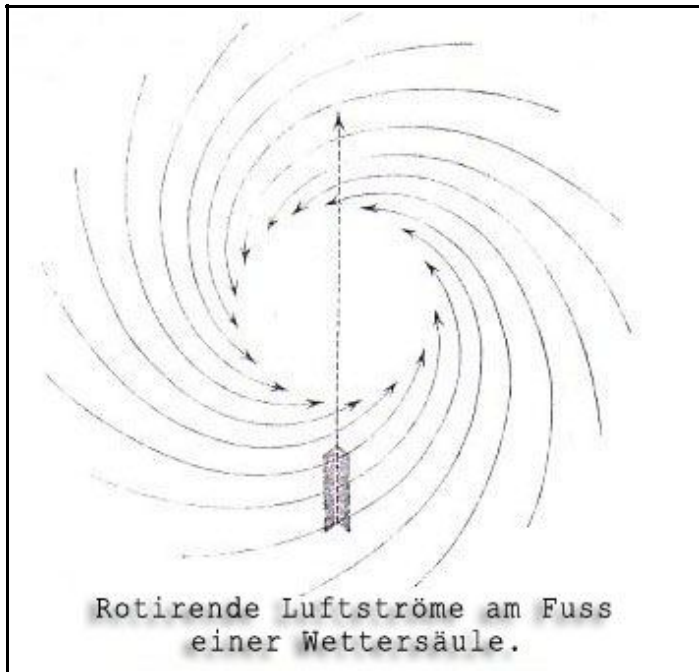
Wenn in der Atmosphäre ein starker, niedersinkender Luftstrom sich bildet, so muss derselbe ebenfalls oben weit und unten eng sein, weil unten die herabstrudelnde Luft nicht bloss zusammengedrückt wird, sondern auch schneller strömt als oben. Aber kann denn auch bei diesen nach abwärts gerichteten Tromben die Trichterform durch verdichtete Dämpfe sichtbar werden? Muss nicht vielmehr durch die Compression eine Erwärmung der Luft eintreten, durch welche die Nebelbläschen verdampft und unsichtbar werden? Gewiss muss eine solche Verdampfung eintreten, und es mögen deshalb manche abwärts gerichtete Tromben unsichtbar und gänzlich unbemerkt bleiben. Doch kann wohl in gewissem Grade die Luftverdünnung, welche auch innerhalb eines niederstürzenden Luftstromes eintreten muss und welche durch die Centrifugalkraft der Drehbewegung noch vergrössert wird, der atmosphärischen Compression und damit zugleich der Verdampfung des Wolkennebels entgegenwirken. Freilich kann bei einer Schraubenbewegung halb durchsichtiger Wasserhosen leicht die bekannte optische Täuschung entstehen, dass man ein Niedersteigen des Dunstes zu sehen glaubt, während er in Wirklichkeit aufsteigt; aber dennoch können wir uns über die mehrfachen Zeugnisse von niedersinkenden Tromben wohl nicht mit der Behauptung hinwegsetzen, dass sie alle auf Täuschung beruhen. Auch wissen wir ja, dass abwärts gerichtete Luftströme vorkommen können, wenn sie auch wegen der mangelnden Dampfkraft weit seltener sein müssen als aufsteigende.

Die Naturforscher pflegen an die Theorien, durch welche sie die Erscheinungen der Natur zu erklären suchen, die Anforderung zu stellen, dass sie nicht bloss die beobachteten Thatsachen in einem befriedigenden Zusammenhange zeigen, sondern dass sie auch auf die nicht beobachteten Nebenumstände ein helles Licht werfen und weitere Schlüsse über dieselben gestatten. Gerade die Uebereinstimmung dieser Folgerungen mit weiteren, neuen Beobachtungen gilt dann als Prüfstein für die Richtigkeit der Theorie. Wir wollen diesen Prüfstein auch an unsere Erklärung der Wettersäulen legen. Wenn zum Fusse einer Trombe die Luft ringsum heranströmt, um dann emporzusteigen, so muss an der Erdoberfläche dieser centrale Wind um so stärker werden, je näher er dem Fusse kommt; dicht vor dem eigentlichen Centrum aber muss der Luftstrom sich allseitig nach oben hin umbiegen, so dass in der Mitte ein, wenn auch nur kleiner, windstiller Raum entsteht. An dieser Folgerung unserer Theorie wird Nichts geändert, wenn auch die Wettersäule rotirt, und die Luft in mehr oder weniger steilen Spiralwindungen seitlich heranströmt. Meistens bewegt sich die Wettersäule und mit ihr der windstille Raum sehr schnell vorwärts; und da dieser letztere bei gewöhnlichen Tromben nicht gross sein kann, auch die wenigen betroffenen Menschen häufig ihrer Sinne nicht mächtig blieben und jedenfalls nicht ihre Aufmerksamkeit auf solche Dinge richteten, so ist dieses windstille Centrum bisher nie ausdrücklich bemerkt worden.

Wir erwähnen gleichwohl diese Consequenz unserer Theorie, weil bei den Wirbelstürmen oder Orkanen ein ausgedehnter windstiller Raum im Centrum wirklich beobachtet ist. Die Verdünnungsstelle und mit ihr der Fuss der Wettersäule müssen nach der Seite hin vorrücken, von welcher die Luft mit der geringsten Geschwindigkeit heranströmt. Je schneller dieses Fortrücken geschieht, desto schwächer ist das Entgegenströmen derjenigen Luftschichten, welchen der Fuss der Säule zueilt, und desto schneller folgen der Trombe die hinten nachströmenden Luftmassen, welche viel länger als jene der Saugwirkung ausgesetzt bleiben; und auf diese Weise allein kann das Fortschreiten andauern, da die Luftsäule selbst keinesfalls in demselben Sinne, wie etwa ein solider Kreisel, mit Trägheit begabt ist. Es folgt also aus unserer Theorie, dass bei raschem Fortschreiten der Säule die Luft vorne nicht so schnell zum Fusse heranströmt wie an den Seiten, und viel langsamer als hinten. Und die seitlich andringende Luft muss, weil das luftverdünnte Centrum selbst fortschreitet, krumme Bahnen beschreiben, deren hohle Seite nach derselben Richtung gekehrt ist, wohin die Wettersäule sich bewegt. (Vergl. die Figur, deren Pfeile die Richtung und zugleich die Geschwindigkeit der heranströmenden Luft andeuten sollen.)



Daher liegen die umgerissenen Bäume in der Mitte mit dem Zuge, an den Seiten aber nach innen gekehrt. Wir werden übrigens Beispiele von Tornados kennen lernen, bei welchen durch den vorderen Gegenstrom schwächere Bäume in einer dem Zuge entgegengesetzten Richtung umgeworfen wurden, während die stärkeren Bäume gleich nachher mit dem Zuge fielen; und Pouillet <sup>19)</sup> hat bei der Trombe von Monville bemerkt, dass Baumwolle aus einer der zerstörten Spinnereien in benachbarte Hecken nach der Seite hingeflogen war, von wo die Trombe kam, während Bäume und andere schwere Gegenstände nach der entgegengesetzten Richtung fortgerissen waren.



Rotirt eine aufsteigende Wettersäule schnell, etwa gegen die Sonne, während sie langsam vorwärts schreitet, so strömt die Luft in Spiralwindungen ihrem Fusse zu (vgl. die Figur); die leichteren Gegenstände vor ihr werden dann mehr oder weniger nach links fortgerissen, die schwereren hinter ihr nach rechts, und zugleich werden die rechts neben der Bahn des Centrums befindlichen Objecte nach vorne, dagegen die links befindlichen nach hinten aus ihrer centralen Sturzrichtung abgelenkt. Diese Ablenkung muss rechts stärker hervortreten als links, weil auf der rechten Seite die fortschreitende Bewegung der Luftmassen durch die Drehbewegung vergrößert, auf der linken Seite verkleinert wird. Bei schwacher Drehbewegung sind die Spiralwindungen steil, bei sehr starker dagegen können sie ein- oder mehrmals das Centrum

umkreisen, zumal wenn die Wettersäule sehr breit ist. Schreitet zugleich die Säule sehr schnell vorwärts, so erhält die rotirende Luft rechts von der Axe des Wirbels eine viel grössere Geschwindigkeit als links, und auch die Verwüstungen in Feld und Wald müssen sich rechts viel weiter erstrecken als links. Für die Richtigkeit dieser einfachen Folgerungen aus unserer Erklärung der Wettersäulen werden wir, wenn auch nicht bei den kleineren Europäischen Tromben, so doch bei den Tornados von Nordamerica mehrfache Belege finden.

Eine gewichtige Frage ist noch die, ob nicht durch die Wettersäulen, wenn in denselben die erhitzten untersten Luftschichten fortgeleitet oder aber kältere Luftmassen zu uns herabgeführt werden, die Lufttemperatur an der Erdoberfläche wesentlich erniedrigt werden muss. Gewiss muss sie sinken, aber wie wir glauben nicht so sehr, wie man von vornherein vielleicht anzunehmen geneigt ist. Denn setzen wir z. B. den Fall, im Rheinthale sei eine Luftschicht von 33 Meter oder 110 Fuss Höhe vom Boden aus so stark erwärmt, dass ihre Temperatur-Abnahme nach oben hin drei Grad Cels. per 100 Meter beträgt, und diese ganze Schicht strudele plötzlich in Form einer Wettersäule nach oben. Dann sinkt die auf ihr lastende Luftschicht, die an ihrer Sohle um einen Grad kälter ist als die emporwirbelnde Schicht an der ihrigen, gleichzeitig herab, wird aber, sobald beim Aufhören der Wettersäule der ursprüngliche Luftdruck sich wieder herstellt, comprimirt und dadurch um  $\frac{1}{3}$  Grad erwärmt. Die ganze Abkühlung beträgt also nach Entfernung jener sehr hohen und stark überhitzten Luftschicht nur  $\frac{2}{3}$  Grad, und wird entweder kaum bemerkt oder, wenn ein Regenfall die Wettersäule begleitet, diesem zugeschrieben werden. Bei kleineren Wirbelwinden mag bisweilen durch mitgerissenen heissen Staub oder Sand die allgemeine Lufttemperatur sogar vergrößert werden, zumal wenn die überhitzte Luftschicht sehr niedrig ist. — Dagegen glauben wir, dass abwärts gerichtete Windhosen, welche die Luft aus grosser Höhe zur Erdoberfläche herabbringen, allerdings eine bedeutende Abkühlung der untersten Luftschicht bewirken können.

Wenn ein labiler Gleichgewichtszustand der Atmosphäre, hervorgerufen durch allmähliche Erwärmung der unteren Luftschichten, nach unserer Ansicht jeder Wettersäule vorausgeht, so brauchen wir deshalb doch keinesweges anzunehmen, dass vor dem Ausbruche jeder Trombe die Sonne stundenlang den Erdboden bestrahlt und dadurch indirekt auch die untersten Luftschichten erhitzt habe. Bei bedecktem Himmel oder auch lange nach Sonnenuntergang kann das labile Gleichgewicht z. B. auch dadurch herbeigeführt werden, dass etwa in Wolkenhöhe sich sehr kalte Luft über die wärmere untere seitlich hinüberschiebt. Gewöhnlich zeigen sieh bei solchem Einbrechen des kalten Polarstromes heftige Gewitter; aber ebensogut könnten dabei unter günstigen Verhältnissen Wettersäulen sich bilden, die ja ohnehin sehr häufig von Gewittern begleitet sind.