

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Wind- und Wasserhosen in Europa**

**Wegener, Alfred**

**Braunschweig, 1917**

Fünftes Kapitel. Witterung in der Umgebung der Trombe

Prohaska bei Ableitung der Breite der Hagelspuren nur solche Fälle benutzt, wo die Spur länger als 20 km ist, so ist wohl anzunehmen, daß dies die Mehrzahl der Fälle umfaßt. Hiernach scheint es, daß nicht einmal der Hagelfall, geschweige denn das Gewitter auf seinem ganzen Wege von der Trombe begleitet wird. Und zu demselben Resultat führen die Angaben über die Lebensdauer der Tromben. Denn Gewitter von einer Lebensdauer von nur 5 bis 30<sup>m</sup> dürften selten sein.

Alles dies deutet darauf hin, daß die Tromben — wenigstens die weitaus häufigsten kurzlebigen — nur einer vorübergehenden Wachstumsphase des Cumulo-Nimbus entsprechen, eine Vorstellung, welche wir schon zur Erklärung der täglichen Periode verwendet haben, und auf die wir auch später noch zurückkommen werden. Andererseits freilich zeigen die in Europa selteneren langlebigen Tromben, daß der Vorgang unter besonderen Umständen auch lange Zeit stationär bleiben kann.

## Fünftes Kapitel.

### Witterung in der Umgebung der Trombe.

**Der erzeugende Cumulo-Nimbus.** Daß die Tromben meist im Gefolge von Gewittern auftreten, ist eine so alte und allgemein bekannte Tatsache, daß es hieße Eulen nach Athen tragen, wollte man Belege dafür erbringen. Interesse beansprucht aber die umgekehrte Frage: Gibt es auch Tromben ohne Gewitter? Beschränkt man die letztere Bezeichnung, wie üblich, auf die Fälle, in denen elektrische Entladungen auftreten, so ist die Frage zu bejahen; es kommt, wenn auch selten, vor, daß in der Umgebung der Trombe keinerlei elektrische Erscheinungen auftreten. Da die Sicherstellung dieser Fälle für die Erklärung der Tromben nicht ohne Bedeutung ist, müssen wir sie etwas näher ins Auge fassen.

Von 153 Beschreibungen, die Angaben über die Witterung enthalten <sup>1)</sup>, berichten 92 von Gewittern, darunter 33 von Hagel.

<sup>1)</sup> Die im Anhang des Verzeichnisses angeführten Beschreibungen sind hier wie in den folgenden Auszählungen nicht mitgerechnet.

Letzterer wird aber auch noch in weiteren 15 Beschreibungen erwähnt; auch bei diesen müssen also wohl elektrische Entladungen vorhanden gewesen sein, obwohl sie nicht notiert wurden, so daß für 107 Fälle Gewitter als nachgewiesen gelten darf. Von dem Rest bleiben 39 Fälle unentschieden, und bei 7 Fällen wird die Anwesenheit elektrischer Erscheinungen ausdrücklich verneint<sup>1)</sup>. Für die letzteren seien die Stichworte hier angeführt:

17. Starker Platzregen, aber ohne Blitz und Donner.

87. Nach Auflösung der Trombe scharfer, ausgiebiger Regen ohne Blitz.

112. Wolkenbruchartiger Regen ohne Blitz. Völlig bedeckt, grau bis schwarz.

205. Vier Stunden vorher Gewitter, aber während der Trombe wurden Blitz und Donner nicht beobachtet. Nach derselben schwacher, kurzer Regen.

61. Luft gewitterhaft, aber in der Nähe des Beobachters zur Zeit der Trombe kein Gewitter.

91. Luft drückend und gewitterig, aber ohne Blitz und Donner. Isolierte Wolken von kleinen Dimensionen und leicht pyramidalen Form; aus der größten entwickelte sich die Trombe.

182. Dunkle Wolkenmassen. Keine elektrischen Erscheinungen.

Die Beurteilung dieser Angaben ist aus verschiedenen Gründen nicht ganz leicht. Viele Tromben befinden sich, wie später gezeigt werden wird, erheblich seitwärts vom Gewitter, so daß ein Beobachter, der durch das Schauspiel der Trombe gefesselt wird, das Gewitter übersehen kann. Es gibt Fälle, in denen die Trombe, eben weil sie am Rande des cu-ni auftritt, von der Sonne hell beschienen wird, und in ihrer Spur das gute Wetter keine Unterbrechung erfährt. Dazu kommt, daß manche Tromben nur aus meilenweiter Entfernung beobachtet wurden. Da Blitze zur Mittagszeit leicht übersehen, und Donner selten weiter als 10 km gehört wird, ist es natürlich möglich, daß in einigen dieser sieben Fälle in Wirklichkeit doch elektrische Entladungen stattgefunden haben und nur unbemerkt geblieben sind. Aber z. B. bei Nr. 17 und 112, wo doch der Platzregen über den Beobachter fortzog, hätten solche

---

<sup>1)</sup> Auch im Anhang finden sich noch zwei solche Fälle, nämlich A 4 und A 5.

Entladungen kaum unbemerkt bleiben können. Es scheint daher festzustehen, daß Tromben auch ohne solche auftreten, wenn auch selten; auf 1 Trombe ohne kommen 15 mit Gewitter <sup>1)</sup>. Hieraus scheint hervorzugehen, daß die elektrischen Entladungen unmittelbar nichts mit der Trombe zu tun haben; beide sind nur Begleiterscheinungen desselben Vorgangs, nämlich der Cumulo-Nimbus-Bildung.

Auch in denjenigen Fällen, in welchen Gewitter oder Hagel nicht ausdrücklich vermerkt wird, sprechen die Beschreibungen fast immer von schweren Wolken, welche offenbar als cu-ni anzusprechen sind. Eine vollständige Angabe der Wolkenbeschreibungen würde auch hier zu weit führen. Dagegen ist es notwendig, die bei älteren Autoren häufig auftretende Behauptung zu prüfen, es gebe auch Tromben ohne Wolken. Ein großer Teil der hierfür meist angeführten Argumente scheidet allerdings sofort aus, weil es sich in diesen Fällen offenbar um Kleintromben handelt, welche man früher nicht von den Großtromben unterschied, und welche ja in der Tat gerade bei starker Sonnenstrahlung und schönem Wetter auftreten. Allein auch unter den Beschreibungen echter Großtromben mit zerstörenden Wirkungen gibt es einige, welche als Beleg für die genannte Ansicht angeführt werden. Es ist kein Zufall, daß die fünf in Betracht kommenden Fälle sämtlich von Peltier herrühren, dessen elektrischer Theorie alles Wunderbare willkommen war (Nr. 72, 90, 5, 20, 64). Die Deutung dieser Fälle bedarf, wie im folgenden gezeigt werden wird, dringend der Richtigstellung.

72. Peltiers Überschrift lautet: „Ciel pur qui se couvre à mesure que la trombe s'avance“, wodurch die genannte mißverständliche Auffassung sehr nahe gelegt wird; es genügt aber, auf den Satz in der Beschreibung hinzuweisen: „Kurze Zeit nach ihrem Verschwinden fiel ein starker Regenguß.“

90. Nach Peltier eine „trombe sans nuages.“ Es handelt sich um eine blinde (nicht kondensierende) Trombe, von welcher nur der 20 bis 30 m hohe Wasserturm auf dem See gesehen wurde, während der zugehörige Wolkenzapfen der Beobachtung entging. Früh gibt an:

---

<sup>1)</sup> Finley (a. a. O., S. 145) findet für Tornados:  
287 Fälle mit Blitzen vor Erscheinen des Tornados,  
113 „ „ „ gleichzeitig mit demselben,  
57 „ „ „ nach Verschwinden des Tornados,  
8 Fälle, in denen das Fehlen elektrischer Entladungen notiert wurde.

„Nachdem sie sich gesenkt und aufgelöst, trat SW-Wind mit Regen ein.“ Peltier dagegen läßt, wohl durch Mißverständnis, die Wassersäule selbst „se répandre en pluie“ und schreibt weiter: „Le ciel était uniformément voilé par des vapeurs brumeuses qui occupaient les régions élevées, et il n'y avait plus de nuages proprement dits sur l'horizon“, wonach doch wohl anzunehmen ist, daß Bewölkung 10 geherrscht hat.

5. Peltier gibt in der Überschrift an: „Die Trombe bildete sich, als es nur wenige kleine Wolken gab, die in großer Höhe lagen (élevés) und durchscheinend waren (transparents)“. Nach der Beschreibung selber war der Sachverhalt aber ein anderer; der Beobachter stand am Fenster seines hochgelegenen Hauses mit mehr als 60 km weiter Aussicht; „le ciel n'était chargé que de petits nuages rares, assez élevés, et qui n'otaient rien à l'éclat des rayons du soleil.“ Die Trombe erschien dann in 5 km Entfernung, und wurde von der Sonne beschienen, was darauf hindeuten scheint, daß die erzeugende Wolke noch jenseits von ihr lag. Ob „élevé“ nicht sinngemäßer mit hochragend zu übersetzen wäre, sei dahingestellt. Aber „transparent“ ist jedenfalls ein Mißverständnis; der unbehinderte Sonnenschein dürfte beim Beobachter geherrscht haben.

20. Von Peltier überschrieben: „Ciel sans nuages.“ In der Beschreibung heißt es: „Das Wetter war heute schön und es gab kein Anzeichen von Gewitter oder Sturm.“ Versteht man unter Anzeichen soviel wie Vorzeichen, so bezieht sich die ganze Angabe auf die Zeit vor dem Gewitter; Peltiers Tendenz zeigt sich auch darin, daß er aus „schönem Wetter“ ohne weiteres „wolkenlosen Himmel“ macht, was doch nicht dasselbe ist.

64. „Au milieu d'un ciel serein.“ Leider ist dies die einzige, auf das Wetter bezügliche Bemerkung in der sehr unvollkommenen, nur zwölf Zeilen umfassenden Beschreibung, die sich fast nur mit der von der Trombe aufgehobenen und entführten Wäsche beschäftigt. Eine Kritik ist deshalb unmöglich.

Berücksichtigt man, daß dies die einzigen Großtromben unseres Verzeichnisses sind, welche sich als Argument für die genannte Meinung anführen lassen, und daß nach Peltiers Zeit ähnliche Fälle nicht mehr vorkommen, so kann kein Zweifel herrschen, daß die „Tromben ohne Wolken“ — sofern nicht Kleintromben gemeint sind — völlig in das Reich der Fabel zu verweisen sind. Die Trombe steht immer mit einem Cumulo-Nimbus oder jedenfalls einem großen Cumulus in unmittelbarem Zusammenhang; bei der weit überwiegenden Mehrzahl der Beobachtungen ist dies klar ausgesprochen, und der Rest gestattet wenigstens die gleiche Annahme. Eine Aufzählung der Stichworte würde, wie gesagt, zu weit führen. Wird Regen erwähnt, so ist es fast immer Platzregen, und auch wo gar kein Niederschlag und kein Gewitter notiert wird, ist fast stets von schweren dunklen Wolken, hoch-

getürmten Cumulusmassen, gewaltigen Wolkenmassen und ähnlichem die Rede; auch in den wenigen Fällen, wo von einer gleichmäßigen Stratusdecke berichtet wird, nötigen die sonstigen Angaben zu der Annahme oder lassen sie wenigstens zu, daß ein cu-ni vorhanden war, aber sich durch eine untere Schichtwolke den Blicken des Beobachters entzog.

Es sprechen also alle Anzeichen dafür, daß die Wolkenform des cu-ni oder wenigstens eines großen cu eine notwendige Bedingung für die Trombenbildung darstellt. Aus der Seltenheit der Tromben im Gegensatz zur Häufigkeit der Gewitter folgt allerdings, daß noch bestimmte andere, nicht häufig vorhandene Bedingungen hinzutreten müssen, damit ein solcher Wirbel entsteht. Daß diese Bedingungen nicht etwa nur in einer ungewöhnlichen Heftigkeit des Gewitters oder des Aufsteigens der Luft bestehen, geht aus den Fällen ohne elektrische Entladungen hervor. Auch an die Hagelbildung ist die Trombe offenbar nicht gebunden, da Hagel nur 48 mal unter den 153 Fällen mit Witterungsangaben notiert ist.

Die Trombenbildung bleibt offenbar ohne Einfluß auf die sonstigen Äußerungen des Gewitters; denn die Gewitter, bei denen Tromben auftreten, unterscheiden sich in keiner Weise von solchen ohne Tromben.

Es sei gleich hier zur Orientierung vorweggenommen, daß die entscheidenden Bedingungen für die Trombenbildung höchstwahrscheinlich in den Windverhältnissen, speziell in der Vertikalen, zu suchen sind. Die Gründe für diese Annahme können allerdings erst später erörtert werden.

**Tromben im Jugendstadium des Cumulo-Nimbus.** Die überraschend kleinen Zahlen, welche wir für die Lebensdauer der meisten Tromben fanden, legen die Frage nahe, in welches Entwicklungsstadium des Cumulo-Nimbus die Trombenbildung fällt. Prüfen wir die Beobachtungen daraufhin, so ergibt sich das wichtige Resultat, daß zwar in den meisten Fällen die Trombe gleichzeitig mit dem Regensturz sichtbar ist, also zu einer Zeit, wo der Niederschlag des cu-ni bereits die Erde erreicht — schon zahlreiche Abbildungen zeigen dies —, daß aber doch auch Fälle nicht selten sind, in denen die Trombe sich bildet, bevor Niederschlag aus der Wolke fällt, und sie sich auflöst, sobald die Wolke zu regnen beginnt. Es sind folgende Fälle:

218. „Aus der cu-ni-Wolke fiel während der Wasserhose kein Regen. Dieser setzte nach übereinstimmenden Mitteilungen gleich nach dem Zusammensturz derselben ein.“

63. „Das Meteor war eine halbe Stunde lang sichtbar, als ein beträchtlicher Platzregen aus der Wolke fiel, mit der sie in Verbindung stand.“

85. „Gleich nach Auflösung der Trombe entlud sich über dem nordwestlich davon gelegenen Walde ein Gewitter mit außerordentlich dicken Hagelkörnern.“

230. Die Tromben bildeten sich, als das Gewitter sich noch „zusammenbraute“ und hatten sich wieder aufgelöst, als es zum Ausbruch kam.

So gering die Zahl dieser Beobachtungen ist, gewinnt sie doch etwas an Bedeutung, wenn man berücksichtigt, daß als Gegenprobe nur 13 Fälle zur Verfügung stehen, in denen die Gleichzeitigkeit von Trombe und Niederschlag ausdrücklich ausgesprochen ist.

Aber allerdings müßten auf dieser Seite auch noch die Fälle gebucht werden, in denen der Niederschlag zeitlich der Trombe voranging. Wenngleich also für die überwiegende Mehrzahl Gleichzeitigkeit anzunehmen ist, so kommt den angeführten Fällen meines Erachtens doch ein besonderes Interesse zu. Denn sie lassen den Schluß zu, daß der Trombenwirbel nicht durch den fallenden Niederschlag erzeugt wird — er scheint im Gegenteil durch ihn bisweilen zerstört zu werden —, sondern durch das dem Niederschlag schon etwas vorausgehende Aufsteigen der Luftmassen. Mit diesem Ergebnis stimmt das frühere überein, daß Vormittagsgewitter trombenreicher sind als Nachmittagsgewitter, und damit stimmt beispielsweise auch die in Fig. 77 (elftes Kapitel) mitgeteilte Gewitterspur, welche zeigt, daß die Trombe aufhörte, als der Hagel begann.

Natürlich darf nicht übersehen werden, daß manche Tromben stundenlang das Gewitter begleiten können, und dabei eine allen Änderungen des Gewitters spottende Beständigkeit zeigen. Allein diese Art ist in Europa viel seltener als die kurzlebige; und letztere bevorzugt offenbar das Jugendstadium des cu-ni.

Von großer Bedeutung wäre es, wenn es gelänge, den Ort der Trombe relativ zum Regenguß näher zu bestimmen; als erste Frage ergibt sich dabei: Steht sie **innerhalb oder außerhalb des Regensturzes?** Für ersteres habe ich keine eindeutige Beobachtung finden können. Dagegen befand sich die Trombe mehrmals gerade im Rande des Regen- oder Hagelsturzes. So erreichte die

Trombe Nr. 189 den Beobachter zugleich mit großen Hagelkörnern, auf welche dann Schnee folgte.

Bei Nr. 185 ist die Schilderung besonders eingehend; hier wurde in der späteren Spur der Tromben zwar schon vor ihrer Ankunft langsamer Regen beobachtet; gleichzeitig mit ihrer Ankunft aber setzte schwerer Hagelschlag ein, dessen Schloßen bis 8 cm Länge bei 2 bis 3 cm Dicke aufwiesen.

Indessen sind dies Ausnahmen. In der Mehrzahl der Fälle befindet sich die Trombe in einer Entfernung vom Regenguß, die zwischen einigen Hundert Metern und etwa 10 km variiert, wie die folgenden Beispiele erläutern mögen.

Bei Nr. 34 heißt es: Während des Einherziehens des Meteors gingen Blitze und Hagel aus einer der Säule im Süden benachbarten Wolke hervor. Bei Nr. 39 fiel der Niederschlag nicht in der Bahn der Trombe, sondern erst in erheblichem seitlichen Abstände, nämlich beim Beobachter. Bei Nr. 95 zog die Trombe vor dem Hagelsturz von W nach E über das Deutsche Eck bei Coblenz nach Ehrenbreitenstein; der Hagel erreichte Coblenz erst einige Minuten, nachdem die Trombe sich bei Ehrenbreitenstein aufgelöst hatte, so daß 1 bis 2 km Zwischenraum zwischen der Trombe und dem Rand des Hagelsturzes gewesen sein müssen. Bei Nr. 115 — gleichfalls am Rhein — wurde der Beobachter von dem aus S heraufziehenden Hagelsturz erreicht, als sich die Trombe etwa 2 km nordöstlich von ihm befand; auch hier muß also der kleinste Abstand 1 bis 2 km betragen haben. Bei Nr. 181 heißt es geradezu: Etwa 5 km hinter der Säule konnte man Regen beobachten. Vielleicht noch größer war der Abstand bei Nr. 106. Hier spielte sich die Trombe in Escalquens ab, während gleichzeitig das 10 km westlich davon gelegene Toulouse „und Umgegend“ Hagel und Wolkenbruch hatte; der kürzeste Abstand läßt sich hier allerdings nicht ermitteln. In den zeichnerischen und photographischen Abbildungen, die gleichzeitig Trombe und Regenguß zeigen, läßt sich der Abstand meist auf etwa 1 bis 5 km schätzen. Übrigens spricht auch die Zeitdifferenz, die nach fast allen Beschreibungen zwischen Regenguß und Trombe liegt, trotz ihrer Vieldeutigkeit dafür, daß die Tromben gut außerhalb des Platzregens stehen.

Befindet sich nun die Trombe **vor oder hinter dem Regensturz**? Zwei unzweifelhafte Belege für die Stellung vor demselben bilden die schon soeben genannten Beschreibungen Nr. 95 und 115, bei

denen der Hagel auf die Spur der Trombe fiel. Ebenso klare Belege bilden die vorher erwähnten Nummern 185 und 189, bei denen der Hagel den Tromben auf dem Fuße folgte. Ferner müssen die beiden Tromben Nr. 231 auf der Vorderseite des Hagelsturzes gewesen sein, denn die Beschreibung sagt: „An mindestens zwei Orten, die in dem Hagelgebiet gelegen sind, hat man Tromben beobachten können, welche zur selben Zeit auftraten, zu welcher die Isochronen, die den Beginn des Hagels bezeichnen, diese Gegenden passierten.“ Bei Nr. 159 heißt es: „Während von Westen her ein mächtiges Hagelwetter über das Erzgebirge hinzog, entstand aus den vorgelagerten, ungefähr in Höhe des Gebirges schwebenden Wolken ein hornartiges Gebilde [die Trombe].“ Bei Nr. 107, wo der Beobachter sich der Trombe bis auf 5 m näherte, begann bei ihm, oder was in diesem Falle dasselbe ist, in der Spur der Trombe, der Platzregen fünf Minuten nach Vorübergang derselben. Auch die oben genannte Trombe von Toulouse (Nr. 106) befand sich vor dem Hagel, denn sie zog aus W, und der Hagelfall fand gleichzeitig 10 km westlich von ihr statt.

Diesen, wie ich glaube, einwandfreien acht Beobachtungen für die Stellung der Trombe auf der Vorderseite des Regensturzes lassen sich gleich klare Belege für die umgekehrte Stellung nicht gegenüberstellen; zwar gibt es eine Reihe von Beschreibungen (wie z. B. Nr. 206), bei denen schon vor der Trombe auf ihrer späteren Spur Hagel gefallen zu sein scheint, allein die Darstellung läßt stets an Klarheit zu wünschen übrig und ist nicht eindeutig. Wenngleich daher die letztere Anordnung keineswegs abgeleugnet werden kann, so muß die erstere doch offenbar die häufigere sein.

Zu dem gleichen Resultat, daß die Tromben sich vorwiegend auf der Vorderseite des Regensturzes befinden, kommen wir auch auf einem ganz anderen, freilich auch nicht ganz einwandfreien Wege, nämlich indem wir auszählen, wie oft die Trombe zeitlich vor und wie oft sie nach dem Niederschlag notiert wurde. Für ersteres finden sich 31, für letzteres nur 13 Fälle. Wie gesagt, ist das Resultat vieldeutig, da die Trombe oft aus meilenweiter Entfernung beobachtet wird, der Niederschlag aber sich fast immer auf den Ort des Beobachters bezieht; aber immerhin deutet auch dies Zahlenverhältnis in die gleiche Richtung wie unser früheres Ergebnis.

Es darf also wohl angenommen werden, daß die Mehrzahl der Tromben sich auf der Vorderseite des Regensturzes befindet, daß aber ein Vorkommen auf der Rückseite keineswegs ausgeschlossen ist<sup>1)</sup>.

Die nächste Frage muß lauten: Befinden sich die Tromben **rechts oder links der Mittellinie** der Niederschlagsspur? In sieben Fällen (Nr. 95, 115, 185, 189, 206, 107, 105) überlagern sich die Spuren der Trombe und die des Hagels oder Regens. Wenn es auch unwahrscheinlich ist, daß dabei die Trombenspur gerade die Mitte der Niederschlagsspur gehalten habe, so läßt sich doch nicht entscheiden, ob sie sich rechts oder links davon befand. Bei Nr. 185 wird zwar berichtet, daß die Tromben am SE-Ende eines großen, aus SW kommenden Gewitterzuges auftraten, doch ist damit ihre relative Stellung zu dem einzelnen Hagelturm immer noch unbestimmt. Es gibt aber mehrere Fälle, in denen die Trombe sicher linksseitig, und auch mehrere solche, in denen sie rechtsseitig war. Eine Sicherstellung dieser beiden Tatsachen scheint mir für eine Erklärung der Tromben so wichtig zu sein, daß im folgenden diese Fälle ausführlicher besprochen werden sollen. Beispiele für linksseitige Tromben sind folgende:

39. Der Beobachter befindet sich bei Nizza am Lande, die Trombe zieht südlich von ihm auf dem Meere aus E. Der Niederschlag fällt auf dem Lande und nicht mehr in der Bahn der Trombe, welche also links vom Niederschlage einherzieht.

47. Ort und Verhältnisse wie bei 39. Die erste Trombe befindet sich noch ausgesprochen am Vorderrande des großen cu-ni, doch am linken Ende; die zweite, kurz darauf entstandene, am linken Seitenrand. Der Vorderrand hatte zu dieser Zeit nicht nur das Zenit überschritten, sondern es war bereits der ganze westliche Himmel bedeckt, nur im Süden war noch ein unbewölkttes Segment; während sich hier die zweite Trombe abspielte, hatte der Beobachter am Lande Hagel.

85. Gleich nach Auflösung der Trombe entlud sich über dem nordnordwestlich davon gelegenen Walde ein Gewitter mit außerordent-

---

<sup>1)</sup> Bei Tornados scheinen beide Fälle vorzukommen. Finley gibt folgende Zahlen (Tornadoes, New York 1886, S. 146):

377	Fälle mit Regen vor dem Tornado,
437	" " " nach dem Tornado,
176	" " " während des Tornados,
317	" " Hagel vor dem Tornado,
124	" " " nach dem Tornado,
163	" " " während des Tornados.

lich dicken Hagelkörnern. Da die Trombe aus ENE zog, war sie links vom Niederschlag.

181. Der Beobachter befand sich etwa 500 m westlich der aus S ziehenden Trombe und konnte etwa 5 km hinter derselben Regen beobachten; die Trombe befand sich also 5 km links des Regengusses.

Diesen kaum anzuzweifelnden linksseitigen Tromben stehen folgende rechtsseitige gegenüber:

113. „Um 6 a. m. bilden sich schwere, böenartige Wolken im SE und NW; eine Wasserhose bildet sich am E-Ende der SE-Böe, eine andere am W-Ende der NW-Böe; beide Böen ziehen gegen das Schiff auf.“ Unter Berücksichtigung der entgegengesetzten Marschrichtung waren beide Tromben offenbar rechtsseitig.

128. An einem Orte, der wenig links von der Trombenbahn lag, begann im Augenblick des Vorbeiziehens der Trombe ein Hagelsturz. In Tranås,  $\frac{1}{2}$  km links von der Trombenspur, war schon vor dem Vorbeigang der Trombe etwas Hagel gefallen, und fiel wieder beträchtlicher Hagel, nachdem sie ein Stück vorbeigezogen war. In der Bahn der Trombe selber scheint nur vor ihr etwas Regen gefallen zu sein. Die Trombe befand sich also anscheinend rechts vom Hagelsturz.

137. Der in der Trombenbahn befindliche Beobachter sah das Gewitter am westlichen Horizont sich langsam nach Norden schieben, befand sich also rechts davon.

230. „Aus dem allen schließe ich, daß die Tromben sich bei Fortschreiten des Gewitters nach Osten rechts seitwärts von dem Regenguß befanden.“ Vorher wird allerdings die Unsicherheit dieses Schlusses betont.

A 3. Aus Fig. 77 (11. Kap.) geht unmittelbar hervor, daß die Trombe von St. Claude sich dicht am rechten Rande des Hagelturms befand; freilich hört die Trombenspur da auf, wo die Hagelspur beginnt. Durch die Lage des Streufeldes, welches später noch eingehender besprochen werden wird, wird die Annahme bestätigt, daß der obere Teil der Trombe und folglich auch der erzeugende Cumuluskopf sich links vom Fuße der Trombe befunden hat. Zu beachten ist allerdings, daß die Trombe in diesem Falle am Seitenrande nicht des ganzen cu-ni, sondern nur des Hagelturmes einhergezogen ist; denn rechts und links der Trombenspur hat es geregnet, rechts bis etwa 10 km, links bis etwa 50 km Abstand.

A 14. In derselben Weise geht unmittelbar aus der Betrachtung der Fig. 78 (11. Kap.) hervor, daß sich die Trombe von Woldegk gleichfalls am rechten Seitenrande des Hagelturmes befand. Auch bei ihr zeigt das Streufeld, daß ihr oberer Teil sich links vom Fuße befand. Aus dem Umstand, daß das Gewitter schon eine Stunde vor der Trombe an den in der Spur der letzteren gelegenen Orten vorbeizog, geht ferner hervor, daß sie rechts hinter dem Gewitter zog.

Man wird zugeben müssen, daß auch diese Beobachtungen rechtsseitiger Tromben nicht gut angezweifelt werden können,

und somit darf als nachgewiesen gelten, daß sowohl linksseitige wie rechtsseitige Tromben vorkommen. Ein Überwiegen der einen Art gegenüber der anderen ist nicht erkennbar.

Es gibt endlich eine Reihe von Fällen, in denen die Trombe gerade **an der Berührungsstelle zweier neben einander vorrückender Gewitter** entsteht, so daß es unsicher bleibt, zu welchem von ihnen sie gehört. Auch diese Fälle mögen kurz angeführt werden:

102. Zwei Gewitter, die zusammenwachsen; an ihrer Berührungsstelle wird ein Kampf der Wolken beobachtet, aus welchem die Trombe hervorgeht.

194. Ein Gewitter, das aus E und NE heraufzieht, teilt sich, und zwischen beiden Teilen erscheint die Trombe; nach Vorübergang schließen sich beide Teile wieder zusammen.

59. Es treffen sich zwei Gewitter, die aus SW und NW heraufziehen. „Hier standen sie ungefähr  $\frac{1}{4}$  Stunde lang unerschütterlich fest, während welcher Zeit unter beständigem Blitzen und Donnern sich von dem ersteren eine schwarzgraue Wolke absonderte, die sich nach der Erde herabsenkte, und gleich darauf auch von dem zweiten eine hellrötlich gemischte Wolke, die sich gleichfalls nach der Erde senkte. Diese beiden Wolken nahmen ihren Lauf gegen einander, vereinigten sich und senkten sich immer tiefer.“ Nach dem Vorübergang „nahmen die beiden Gewitter denselben Weg, den diese schrecklichen vereinigten Wolken genommen hatten.“

161. Nach dieser Beschreibung „zogen schwere Gewitterwolken von Osten und Westen gegen einander... Es bildete sich ungefähr an der Stelle, an welcher die Gewitterwolken einander trafen, eine schwarze Säule...“

144. ... „zogen sich am südwestlichen und südöstlichen Horizont zwei, wie es schien, getrennte Gewitterherde beiderseits vom Stoppelberge zusammen. Beim Näherrücken derselben verschmolzen sie in eine einzelne sehr dunkle und schwere Wolke... Unter der Gewitterwolke bemerkte man starke Staubwolken [zwei Tromben].“

241. „Im Winkel von Pertisau stand ein mächtiges, sehr drohend aussehendes Gewitter, während ein zweites vom Inntal gegen Seespitz heraufzog und sich mit jenem über Pertisau vereinigte usw.“

Es ist immerhin auffällig, daß sich sechs so gleichartig lautende Beschreibungen finden, von denen z. B. Nr. 59 kaum anders zu deuten ist, als daß beide Gewitter an der Erzeugung der Trombe mechanisch beteiligt waren. Es wird jedenfalls gut sein, bei künftigen experimentellen wie theoretischen Untersuchungen über die Entstehung der Tromben auch diese Fälle im Auge zu behalten. Freilich wäre nichts verkehrter als anzunehmen, daß zwei sich berührende Cumulo-Nimbus-Wolken eine notwendige Bedingung

für die Trombenbildung seien; denn die Fälle, in denen die Trombe am Rande eines einzelnen Gewitters steht, sind unter allen Umständen häufiger. Es könnte sich also nur darum handeln, ob etwa an einer solchen Berührungsstelle besonders günstige Bedingungen herrschen.

In ihrer Gesamtheit zeigen diese Beobachtungen über die relative Stellung der Trombe soviel, daß dieselbe nicht zentral, sondern peripher ist. Die Trombe ist ein Randgebilde des Cumulonimbus, und zwar ein ziemlich seltenes. Auch ohne den später zu besprechenden Unterschied der Spurbreite von Trombe und Hagel heranzuziehen, müssen wir schon nach dem vorangehenden die früher von Ferrel, Sprung u. a. vertretene und noch in der Gegenwart hier und da geäußerte Ansicht zurückweisen, als stellten die Tromben die Achse des aufsteigenden Luftstroms der Gewitterwolke dar. Ferrels Annahme, der Mangel an Niederschlag in der Umgebung der Trombe selber erkläre sich aus dem heftigen Aufsteigen der Luft in dieser Region, ist zwar folgerichtig, aber mit den Beobachtungen unvereinbar, denn niemals ist eine Anordnung beobachtet worden, bei welcher die Stellung der Trombe als zentral aufgefaßt werden könnte. Es ist unerläßlich, davon auszugehen, daß die Tromben bloße Randwirbel sind, durch deren Zustandekommen oder Ausbleiben das Wachstum der Gewitterwolke und die Bildung der Niederschläge überhaupt nicht erkennbar beeinflußt wird. Daß sie eine so überraschende Kraft entfalten können, steht hiermit keineswegs im Widerspruch.

Auch die Angaben über die Windverhältnisse, die in der Nähe der Trombe herrschen, lassen wichtige Schlüsse hinsichtlich ihrer Entstehung zu. Zunächst gilt es dabei, die Behauptung zu prüfen, welche von den älteren Vertretern der mechanischen Trombentheorie trotz Widerspruchs von anderer Seite immer wieder aufgestellt und auch noch in neuester Zeit von Defant in der Beschreibung der Trombe vom Achensee vertreten worden ist, nämlich daß sich die Tromben **an der vertikalen Grenzfläche zweier entgegengesetzt fließender Luftströme** befänden. Wir können zwei Beobachtungen hierfür anführen:

241. [Achensee.] „An der Stelle, wo die Wasserhosen sich ausbildeten . . ., waren deutlich an dem schäumenden Wellenschlage zwei entgegengesetzte Windrichtungen zu beobachten; sehr schön war zu sehen, wie die Wellenberge sich kreuzten und das Wasser dadurch auf

weite Strecken in kochenden Zustand geriet. [Es folgt die Bildung zweier blinder Tromben, die sich vereinigen]... Stets deutlich zu beobachten waren an der Entwicklungsstelle des Wirbels die entgegengesetzten Luftströmungen, die wohl an der Grenze der zwei fast gegen einander ziehenden Gewitter geherrscht haben mögen.“

187. [Nizza.] „Plötzlich drehte sich der Wind von Ost gegen West und wurde sehr heftig, Da sah man... [Entstehung der ersten Trombe in 1 km Entfernung]. Vier solche Tromben wanderten so gemeinsam in 1, 2 und 3 km Entfernung von einander über das Meer. Sie wanderten auf derselben Linie, und diese Linie war augenscheinlich die Kontaktlinie zwischen zwei entgegengesetzten Winden.“

Bei dem zweiten dieser Fälle kann man vielleicht Zweifel hegen, ob der Beobachter imstande war, das was er behauptet, mit Sicherheit und für unsere Zwecke hinreichender Genauigkeit zu erkennen<sup>1)</sup>. Immerhin muß man hiernach wohl zugeben, daß derartige Fälle vorkommen, die der genannten Vorstellung entsprechen. Dagegen muß die Frage, ob diese Windverhältnisse eine notwendige Bedingung für die Trombenbildung darstellen, bestimmt verneint werden. Denn bei Nr. 77 z. B. wird ausdrücklich angegeben, daß die Meeresoberfläche, abgesehen von der Spur der Wasserhose, spiegelglatt war, und ähnliche Verhältnisse haben auch bei Nr. 25 und 73 geherrscht. Überhaupt sprechen alle Fälle mit Windstille in der Umgebung der Trombe dagegen, wenn diese Angaben auch meist nicht dieselbe Gewähr für völlige Luftruhe geben, wie der genannte Fall mit der spiegelglatten Meeresoberfläche.

Es muß ferner hervorgehoben werden, daß die in Rede stehenden entgegengesetzten Luftströme auch nicht den Anspruch haben, als ausreichende Bedingung für die Trombenbildung gelten zu dürfen. Namentlich durch das neuere Studium der Böen sind solche scharfen Grenzlinien zwischen zwei verschiedenen Luftströmungen genauer bekannt geworden, aber Tromben sind bei solchen Gelegenheiten nicht zur Beobachtung gelangt. Man müßte folgerichtig auch noch weitergehen und verlangen, wenn eine vertikale Grenzfläche vertikale Tromben erzeugen soll, so müßte eine horizontale Grenzfläche auch Anlaß zu horizontalen Wirbeln geben. Diesen Einwand machte Muncke 1842 der Windgrenzen-

---

<sup>1)</sup> Die Abstände wurden vielleicht noch unterschätzt, da auch die Wolkenhöhe nur auf einige Hundert Meter, also wahrscheinlich zu klein geschätzt wurde, und überhaupt bei Tromben starke Unterschätzungen sehr gewöhnlich sind.

theorie. Freilich kennen wir heute auch horizontale Tromben, ja es spricht, wie wir sehen werden, manches dafür, daß die meisten, vielleicht alle Tromben in ihrem oberen Teil horizontal sind, dies berührt aber nicht die Tatsache, daß horizontale Schichtgrenzen mit Windsprung, aber ohne Tromben eine alltägliche Erscheinung sind.

Wenn es aber Tromben gibt, bei denen eine Windgrenze nicht vorhanden ist, und andererseits Windgrenzen, bei denen keine Tromben auftreten, und also die Windgrenze weder eine notwendige noch eine ausreichende Bedingung, geschweige denn beides, für die Trombenbildung darstellt, so kann dieser Erklärungsversuch nicht zum Ziel führen. Die Windgrenze hat mit der Trombe keinen unmittelbaren mechanischen Zusammenhang.

Wir wollen weiter die Frage prüfen, wie weit die oft ausgesprochene, aber gerade in neuerer Zeit auch vielfach widersprochene Behauptung zutrifft, daß die Tromben sich mit Vorliebe **bei Windstille** bilden. Einige Fälle, in denen dies zutrifft, wurden bereits im vorhergehenden genannt. Im ganzen finden wir 23 Fälle — bei der Seltenheit von Witterungsangaben eine große Zahl —, wo in der näheren Umgebung der Trombe Windstille herrschte.

Wir wollen nur 3 davon herausgreifen, in denen die Stille besonders auffällig war. So heißt es bei Nr. 81: „Außerhalb des Bereiches des Phänomens war aber durchaus völlige Windstille, und im oberen Teil des Dorfes hatte man von jenen Verheerungen [im unteren] selbst nicht die entfernteste Ahnung“. — Oder bei Nr. 54: „... indeß, was äußerst merkwürdig ist, außerhalb dieser Breite [von 60 Schritten] eine Windstille herrschte. Man denke sich das Erstaunen einer Bauersfrau in Dittersdorf, welche durch das Fenster in der Wohnstube ihres Hauses die Scheune neben demselben mit dem größten Geprassel einstürzen sieht, indem sie sich an ihrem Beobachtungsposten ganz ruhig und ohne Erschütterung befindet.“ Bei Nr. 107 ließ der Beobachter die Trombe, deren Spur nur 6 m Durchmesser hatte, bis auf 5 m herankommen; „aber als er den Wind zu merken begann, der sich in ihrer Umgebung bemerkbar machte“, entfloher.

Die unbestreitbar große Häufigkeit der Tromben bei Windstille entspricht unserem früheren Ergebnis, daß die Tromben-Wetterkarte oft nur sehr geringe Druckunterschiede aufweist. Da aber manche dieser Wetterkarten auch kräftige Luftdruckgradienten zeigen, ist schon hiernach zu erwarten, daß es auch Tromben gibt, die **bei kräftigem, und zwar nicht nur lokalem Winde** entstehen. Dies ist in der Tat der Fall.

So heißt es in der Beschreibung der Wasserhose Nr. 52 (Ostsee zwischen Reval und Flensburg): „Der Wind war meistens Westwind und also ganz conträr, mitunter auch Sturm... Ein paar Tage darauf ward der conträre Wind noch heftiger, so daß mein Schiffer für rathsam hielt, in einem Hafen vor Anker zu legen, wo wir wegen des immerfort so ungünstigen Windes, der auch von vielen Gewittern begleitet war, 7½ Tage liegen mußten. Der andere Schiffer [der gleichzeitig von Reval abfuhr], wollte aber schlechterdings etwas früher ankommen als der meinige. Dieses bestimmte ihn, keinen Hafen zu suchen, sondern mit vieler Beschwerde, auch für die Reisenden, immer See zu halten. Während eines Gewitters trifft eine Wasserhose, die sie wegen des Regens und der trüben Witterung nicht eher gesehen hatten, als bis sie ganz nahe und kein Ausweichen mehr möglich war, von der Seite gegen das Hinterteil des Schiffes“. — Ein Beispiel von heftigem Ostwind ist die zu Nizza im Januar beobachtete Trombe Nr. 47; am 4., 5. und 6. Januar herrschte hier strenge Kälte mit Schneedecke, am 6. heftiger Ostwind, der schwere cu-ni-Wolken und mehrere Tromben mitführte. Der heftige Wind dauerte noch die ganze folgende Nacht und verursachte viel Schiffbruch an den benachbarten Küsten; bei Nizza selbst kam nur ein kleineres Fahrzeug ins Treiben. — Auch die drei Warnemünder Tromben Nr. 140, 141 und 142 entstanden bei westlichen und nordwestlichen Winden von der Stärke 4—7.

Wir dürfen hiernach schließen: Ebenso wie die Gewitter nicht nur an Wetterlagen mit schwachen Winden gebunden sind, sondern bisweilen auch im Bereich von tiefen Depressionen mit starken Winden auftreten („Wirbelgewitter“), ebenso tun dies auch die Tromben, und die größere Häufigkeit der „Wärmegewitter“ gegenüber den „Wirbelgewittern“ entspricht vollkommen der größeren Häufigkeit der Windstille oder schwachen Windes bei der Trombe gegenüber den Fällen mit starkem Wind.

Eine andere Frage von prinzipieller Bedeutung ist die, ob der gewöhnliche Gewittersturm in den Fällen, wo das Gewitter mit einer Trombe verbunden ist, fehlt. Man könnte nämlich meinen, daß die Trombe nur eine andere Erscheinungsform der mechanischen Energie des Gewittersturms darstellt und ihn ersetzt; um so näher liegt dieser Gedanke, als einerseits der Gewittersturm nicht selten in Gestalt eines Wirbels mit horizontaler Achse aufzutreten scheint, — wengleich dies neuerdings auf Grund der Versuche von Wilhelm Schmidt bezweifelt worden ist, — und andererseits auch die Trombe in ihrem oberen Teil, wie wir später sehen werden, oft oder stets horizontal wird. Man könnte deshalb versucht sein, anzunehmen, daß Trombe und Gewitterböe nicht gleichzeitig auf-

treten könnten, und diese Annahme würde durch die zahlreichen Fälle mit Windstille in der Umgebung der Trombe gestützt.

Aber es gibt auch Beschreibungen, nach denen die **Gewitterböe gleichzeitig mit der Trombe** vorkommt. Die Darstellungen lassen im Einzelfall meist an Klarheit zu wünschen übrig, aber in ihrer Gesamtheit scheinen mir die folgenden sechs Beobachtungen zu zeigen, daß an dem gleichzeitigen Vorkommen beider Erscheinungen kaum zu zweifeln ist:

11. [Tromben weit entfernt.] „Nach ihrem Verschwinden bekamen wir für eine halbe Stunde starken NE mit einem kleinen Regen.“

24. „Um 4 Uhr nachmittags gab es einen Sturm, auf den ein starker Donnerschlag folgte. In diesem Augenblick sah man am Horizont eine Art große Pyramide [Trombe].“

27. „ . . . als ein schrecklicher Orkan, begleitet von Blitz und Donner, das verheerende Meteor ankündigte, welches ihm bald folgen sollte.“ Nach Vorübergang „vollkommene Ruhe“.

234. 700 Schritt von dem durch die Trombe verursachten Windbruch Gewittersturm.

129. „Ein klarer Streifen im Wasser kennzeichnete die Bahn der Trombe über den im übrigen vom [Gewitter-]Sturm erregten See.“

144. „Stürmische Windstöße wurden auch in weiterer Umgebung verspürt.“

Da also die Tromben bei Gewittern mit und ohne Böen auftreten, so kommen wir zu dem merkwürdigen Resultat, daß die Ausbildung der Böe und die Trombenbildung sich anscheinend nicht beeinflussen. Natürlich soll aber damit nicht behauptet werden, daß nicht Stromlinien und Wirbellinien beide Gebilde miteinander verknüpfen; es ist fast unmöglich, anzunehmen, daß zwei so markante Stromgebilde passiv neben einander existieren oder sich durchdringen; sie müssen vielmehr in irgend einer Weise ineinandergreifen und einander ergänzen.

Neuerdings ist auch wiederholt, insbesondere seit C. H. Seemann (1886), darauf hingewiesen worden, daß in der Umgebung der Trombe oft **umlaufende und böige Winde** herrschen. Schiffe, die in die Nähe von Wasserhosen kommen, beobachten ein plötzliches Umschlagen des Windes. Wie man sieht, kommt man hier auf die Windgrenzentheorie zurück, aber nicht in dem Sinne, daß die Trombe sich gerade an dieser Windgrenze befindet und unmittelbar durch sie erzeugt wird, sondern die Windgrenze befindet sich nur in der Umgebung der Trombe. Ich habe 11 Beobachtungen

— also eine immerhin erhebliche Anzahl — gefunden, welche als Beispiele dienen können:

53. Erst NW-Wind, dann Stille; kurz vor Zusammenstoß von Trombe und Schiff wieder etwas Wind, der auch nach Passieren anhält.

89. ENE-Wind, der kurz vor Entstehen der Trombe mehrmals schnell die Richtung wechselt.

167. „Während der Regen in Strömen goß, ging der Wind schnell von Nord nach Nordost um. Bald darauf ... [Trombe].“

181. Vorher still, nachher Windstärke 3.

197. „Der Wind war entweder eine Totenstille, oder blies zuerst aus der einen Himmelsrichtung und dann aus einer anderen.“

230. „Der Ostwind der vorhergehenden Tage machte Anstalt, in Westwind überzugehen.“

28. Vorher schwacher südlicher Wind; Trombe zwischen 5 und 6P; um 8P Gewitterregen mit stellenweise zerstörenden Windstößen, dann frische Brise aus NE.

38. Ostwind, während die Trombe (um 6 $\frac{1}{2}$ P) schnell aus SW zieht. Zwischen 8 und 9P schlägt der Wind gleichfalls in SW um.

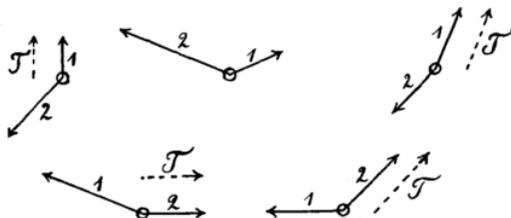


Fig. 22. Wind (nach Stärke und Richtung) vor (1) und nach (2) der Trombe, sowie deren Zugrichtung ( $T$ ) für fünf Einzelfälle [oben 28, 113, 229, unten 106, 38].

113. Leichter, gleichmäßiger WSW bis zum Zusammenstoß von Schiff und Trombe. „Einige Augenblicke später trat Windstille ein, dann schwere Böen mit schwerem Gewölk und starkem Regen aus ESE.“

229. Um 2P SSW; um 4P Trombe, gleichfalls aus SSW; der Wind geht gleichzeitig nach NE um. Um 9P wieder S.

106. Vorher starker ESE. Mit der aus W ziehenden Trombe kommt Westwind auf.

Es ist nicht ganz leicht, aus diesen Beschreibungen außer dem Wechsel von Windrichtung und Stärke etwas Gemeinsames herauszulesen. Besonders in den ersten sechs Fällen waren die Verhältnisse anscheinend sehr wechselnd, auch läßt die Beschreibung mitunter an Deutlichkeit zu wünschen übrig. Aber die letzten fünf Fälle (28, 38, 113, 229, 106) zeigen recht gleichartige Verhältnisse, was besonders in der graphischen Darstellung, Fig. 22,

hervortritt. Der Winkel zwischen der Windrichtung vor und nach dem in der Nähe der Trombe beobachteten Umschlag ist fast überall der gleiche, nämlich etwa  $150^{\circ}$ . Die drei oberen Fälle der Figur zeigen ferner die gemeinsame Eigentümlichkeit, daß die nach dem Umschlag beobachtete Richtung um den genannten Winkel links der anfänglichen liegt, während die unteren beiden Fälle eine gleich große Drehung nach rechts geben. Dabei folgt die Trombe in den oberen Darstellungen dem ersten, in den unteren dem zweiten Winde, so daß der von der Zugrichtung der Trombe abweichende Wind in allen Fällen um  $150^{\circ}$  von dieser nach links gedreht erscheint. Ob hierin wirklich eine strenge Gesetzmäßigkeit zum Ausdruck kommt, läßt sich allerdings nach den vorliegenden Beobachtungen wohl nicht entscheiden; vielleicht darf eine solche überhaupt nicht erwartet werden.

Nach diesen Beobachtungen kommt jedenfalls recht häufig eine scharfe Windgrenze in der Umgebung der Trombe vor. Aber dieser Windsprung liegt, wie z. B. die Beobachtungen Nr. 28 und besonders 38 zeigen, oft in erheblicher Entfernung von der Trombe, jedenfalls so weit entfernt, daß an einen unmittelbaren mechanischen Zusammenhang nicht gedacht werden kann. Interessanterweise verhalten sich die Böen ganz ebenso: wie Köppen bei der Böe vom 9. September 1913 nachwies<sup>1)</sup>, lag dort die scharf ausgeprägte Windgrenze 20 km vor der Linie, an welcher die Windgeschwindigkeit plötzlich auf Sturmesstärke anwuchs. Der Wilhelmshavener Anemograph, über den die Böe fortzog, registrierte den Windumschlag (von SSW auf NNW) bereits kurz vor 7<sup>p</sup>, während die Böe erst um 9<sup>p</sup> ohne weitere Richtungsänderung einsetzte, und auch in Hamburg lagen noch 17 Minuten zwischen dem „Ausschießen“ des Windes und der plötzlichen Zunahme der Stärke. Köppen hebt hervor, daß eine so auffällige Trennung der beiden Erscheinungen selten ist; in der Regel fallen sie ganz oder doch nahezu zusammen.

Wie man sieht, verhält sich die Windgrenze zur Böe ähnlich wie zur Trombe: mit beiden kann sie zusammenfallen, aber sie kann auch mehr oder weniger weit von ihnen entfernt sein. Vielleicht darf man daraus schließen, daß Böe und Trombe beide

---

<sup>1)</sup> Köppen, Über Böen, insbesondere die Böe vom 9. September 1913. Ann. d. Hydrogr. 1914, **42**, Heft VII.

mit der Windgrenze nur in mittelbarem Zusammenhange stehen, während ihr gegenseitiger Zusammenhang möglicherweise unmittelbar mechanisch bedingt ist. Zu einer Klärung dieser Verhältnisse sind aber weitere Beobachtungen, sei es in der Natur oder im Experiment, erforderlich.

Im vorangehenden ist schon mehrmals die Vermutung geäußert worden, daß **starke Windänderungen in der Vertikalen** eine notwendige Vorbedingung für die Trombenbildung seien. Nach dieser Vorstellung, die meines Wissens von früheren Autoren noch nicht geäußert worden ist, würde der Trombenwirbel dadurch entstehen, daß die aufquellende Luftmasse des Cumulo-Nimbus in eine anders bewegte Schicht hineinstößt. Daß auf solche Weise experimentell Wirbel erzeugt werden können, scheint aus den am Schlusse dieses Buches zu besprechenden Versuchen von Vettin hervorzugehen. Hier sei nur die Frage untersucht, ob die Beobachtungen einen Anhalt für die Annahme solcher Windschichtungen geben. In der Tat scheint dies der Fall zu sein. Wir geben zuerst die Beobachtungen wieder:

12. „Es herrschte wenig Wind am Erdboden, aber er [der Beobachter] glaubte, daß solcher in den höheren Schichten herrschte, weil er die Wolken sich stark bewegen und herumlegen [se placer en rond] sah.“

36. Die untersten Windfahnen zeigten ESE-Wind, die höchstgelegenen WNW; das Gewitter zog aus NW, und die Wolken „kreuzten sich“.

58. Unten sehr windstill. „Ich muß gestehen, daß ich aus der Richtung der Wolken in den verschiedenen Höhen zu bemerken glaubte, daß es mindestens drei oder vier Winde oberhalb der Wolkenregion gab, und daß sie ziemlich entgegengesetzte Richtung hatten.“

123. „An jenem Morgen war der See vollständig ruhig, nur in der Höhe begann sich eine W-E-Strömung der Luft einzustellen, wie man an dem dunklen zipfelartig herabhängenden Gewölk deutlich bemerken konnte.“

137. „Während das Gewitter in nicht sehr schneller Bewegung sich am westlichen Horizont nach Norden hin schob, wehte die untere Luftströmung aus Osten, die niedrigste Wolkenschicht kam sehr schnell aus Süden, eine obere aus Osten.“

142. „Die Wolke zeigte eine Bewegung, die jedoch nicht mit der allgemeinen Windrichtung übereinstimmte. Während der Wind mäßig aus W-WNW wehte, schritt die Wolke in der Richtung von NE nach SW fort.“

230. „Das Gewitter zog, trotzdem wir Ostwind hatten, offenbar mit Westwind über die See.“

238. Bei dieser Trombe, die am 19. Juli um 8 $\frac{1}{4}$  P am Südufer des Bodensees stattfand, können wir die aerologischen Beobachtungen von

Friedrichshafen verwenden. Die Trombe liegt zeitlich zwischen den beiden folgenden Beobachtungen:

19. Juli 5P 30 (Pilotballon)				20. Juli 6 $\frac{1}{2}$ —7 <sup>a</sup> (Fesselballon)			
Bis	560 m	S 80° W	1,5 m p. s.	In	395 m	ENE	3 m p. s.
"	620 "	S 65 W	6,5 "	"	500 "	E	3 "
"	1040 "	S 60 W	8,0 "	"	1000 "	C	"
"	1520 "	S 60 W	12,5 "	"	1500 "	C	"
"	2150 "	S 55 W	16,0 "	"	2000 "	WSW	4 "
"	2300 "	S 50 W	16,0 "	"	2500 "	SW	10—11 "
				"	3000 "	SW	11—12 "
				"	3310 "	SW	11—12 "

Wie man sieht, ist zwischen beiden Aufstiegen eine erhebliche Änderung eingetreten, indem die untere, zwischen den Bergen liegende Schicht zu stagnieren begann; ganz unten macht sich sogar ein leichter Gegenzug bemerkbar. In 2000 m Höhe herrschte nach dieser Änderung ein starker Windsprung. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Zustand bereits abends vor Erscheinen der Trombe eingesetzt hatte, da bei letzterer gesagt wird: „Um den Bodensee herum wehten Winde der verschiedensten Richtungen, aber alle nur von geringem Stärkegrad“.

38. Weiter ist hier auch noch die oben angeführte Beobachtung Nr. 38 zu nennen, bei der die Trombe aus SW zog, während unten noch Ostwind herrschte. Ich halte es aber für wahrscheinlich, daß auch die anderen oben genannten Beobachtungen über Windgrenzen als Beispiele für vertikale Windrichtungen betrachtet werden können, da diese Windgrenzen wohl kaum etwas anderes als die auskeilenden Enden einer unteren Schicht darstellen dürften.

Berücksichtigen wir einerseits die relativ große Zahl dieser Beobachtungen mit vertikaler Windschichtung, und andererseits die Schwierigkeiten für den Beobachter, eine solche festzustellen, so läßt sich die Vermutung nicht von der Hand weisen, daß solche Windschichtungen sogar in allen Fällen vorkommen und eine notwendige Bedingung für die Trombenbildung darstellen. Beweisen läßt sich dies allerdings aus den Beobachtungen nicht, aber die Seltenheit der Tromben würde mit dem Umstande stimmen, daß auch solche markanten Windsprünge in der Vertikalen nach den neueren aerologischen Erfahrungen nicht sehr häufig sind. Die sonst noch für diese Annahme sprechenden Gründe, von denen einige schon in den vorangehenden Abschnitten erwähnt wurden, werden im letzten Kapitel dieses Buches zusammengefaßt werden.

Nur kurz sei die Frage gestreift, ob die **Turbulenz** der Luftbewegung einen störenden Einfluß auf die Trombenbildung hat. Da man erst neuerdings auf den großen Gegensatz zwischen gerad-

liniger und turbulenter Luftströmung aufmerksam geworden ist, kann man nicht erwarten, in den Beobachtungen direkt hierauf bezügliche Angaben zu finden. Nur Nr. 47 sagt etwas darüber aus. Wie schon oben erwähnt, entstanden diese Tromben bei heftigem Ostwind, der in der Umgegend Schiffbruch verursachte; der Beobachter gibt dabei an, daß dieser Wind „nicht schräg von oben herab, sondern parallel mit der Oberfläche der See wehte“, worauf er die starke Wirkung auf ein abtreibendes Schiff bei nur mäßigem Seegange zurückführt. Diese Beschreibung legt die Auffassung nahe, daß trotz der großen Windstärke wenig Turbulenz herrschte.

Auch die Bevorzugung der Alpenseen mit ihrer stagnierenden unteren Luftschicht, ferner die häufige Entstehung der Trombe an der einen Seite des Rheintales und Auflösung an der anderen, und schließlich überhaupt ihre Häufigkeit bei Windstille sprechen dafür, daß Mangel an Turbulenz die Trombenbildung begünstigt.

**Trombenschießen.** Von diesem Gesichtspunkte aus hat der alte Seemannsbrauch, eine Wasserhose mit Kanonen zu beschießen, um sie zur Auflösung zu bringen, einiges Interesse. Während es beim Hagelschießen gänzlich aussichtslos erscheint, mit dem kleinen, dem Geschütz enteilenden Rauchringe das Riesengebilde eines Hagelturms auch nur im geringsten mechanisch zu beeinflussen, hat ein solches Unternehmen bei den Wasserhosen offenbar ungleich günstigere Aussichten, womit natürlich nicht behauptet werden soll, daß es hier wirkt. Wie alt der Brauch ist, habe ich nicht feststellen können; Dampier, der 1687 Wasserhosen beobachtete, kannte ihn, hatte aber, wie er in seiner Reise um die Welt versichert, niemals gehört, daß dies Mittel wirklichen Nutzen gebracht hätte. Auch Pater Tachard erwähnt den Brauch in seiner 1686 in Paris erschienenen *Voyage de Siam*. Von erfolgreicher Beschießung einer Wasserhose bei Cuba berichtet Bassard <sup>1)</sup>: „Als beide [Wolke und Trombe] sich einigen Schiffen der Flotte bis auf Kanonenschußweite genähert hatten, wurden mehrere Kanonenkugeln gegen sie abgefeuert. Diese taten die beste Wirkung, indem sie das Zuströmen des Meereswassers, welches schnell in die Höhe kreiselte, unterbrachen. Die Wasserhose wurde nun

---

<sup>1)</sup> Gilberts Ann. d. Phys. 7, 73, 1801.

unten schwächer und trennte sich bald darauf ganz von ihrem Fuße, worauf das Kochen und Aufbrausen aufhörte.“ Auch Napier hatte Erfolg<sup>1)</sup> bei einer in denselben Gewässern beobachteten Wasserhose, welche durch „das in solchen Fällen übliche Mittel“, nämlich einen Kanonenschuß, auf  $\frac{1}{3}$  Seemeile Entfernung „geteilt“ wurde, sich aber bald wieder herstellte. Bonnafont<sup>2)</sup> meint, das Schießen bezwecke hauptsächlich, den Wasserturm im Innern der Trombe — der freilich, wie später gezeigt werden wird, keineswegs immer vorhanden ist — zum Zusammensturz zu bringen und auf diese Weise zu verhindern, daß sein Zusammensturz erst beim Überschreiten des Schiffes erfolgt, was jedenfalls viel Wasser auf Deck gibt. Da in der Tat recht geringe Änderungen des Rotationssystems zu genügen scheinen, um diese Veränderung herbeizuführen, so erscheint hiernach ein gewisser Erfolg des Schießens nicht ganz ausgeschlossen<sup>3)</sup>.

---

## Sechstes Kapitel.

### Bildung und Auflösung der Trombe.

#### 1. Bildung der Trombe.

Im folgenden seien zunächst die **anschaulichsten Beschreibungen** angeführt, welche sich auf die Entstehung der Tromben beziehen.

43. Gewitterwolken nordöstlich des Schiffes. „Die Unterfläche der Wolken berührte die Berge von Istrien, und schien daher nach Augenmaß nicht mehr als eine Meile [1855 m] hoch zu sein. Sie war durchaus einförmig, mit Ausnahme eines Wulstes, der auf der einen Seite vorhanden war; und dort erschien die Wolke in Folge ihrer größeren

---

<sup>1)</sup> Gilberts Ann. d. Phys. **73**, 95, 1823.

<sup>2)</sup> Sur les trombes de mer et sur une nouvelle théorie de ce phénomène, Publ. de l'Union Médicale (nouv. Série), des 17 et 20 Mai 1859.

<sup>3)</sup> Röding, Allg. Wörterbuch der Marine, Bd. II, S. 879, Hamburg 1796, sagt nach Erwähnung dieses Brauches: „Man glaubt auch, daß sie sich zerstreuen, wenn man scharfe Messer- und Degenklingen daran bringt und deswegen stellen Seeleute solche bey dieser Gelegenheit auf den Bord“.