

Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben

JOHANNES PETER LETZMANN

Internationale Meteorologische Organisation, Klimatologische Kommission,
Protokolle der Tagung in Salzburg, 13.–17. September 1937,
Publ. **38**, Leyde, Anlage XI, 91–110 (1939)

Vorbemerkungen

Die Abb. 1 wurde nach Peterson (1992b) leicht modifiziert und mit einer erweiterten Unterschrift versehen. Die Internationale Meteorologische Organisation (I. M. O. / O. M. I.) war die Vorläuferin der heutigen World Meteorological Organization, WMO. Statt des Begriffs „Åsgardsweg“ sollten heute Worte wie „Schadenschneise“, „Zerstörungsspur“, „Tornadospur“ o. ä. verwendet werden.

Die unter D. I. 5. genannten Begriffe „konvektiver Typus“ bzw. „zyklonaler Typus“ bei Tornados gehen auf Brown (1933) sowie Brown und Roberts (1935) zurück. Beim zyklonalen Typus überlagern sich das kleinräumige Tiefdruckgebiet (die Mesozyklone) des Tornadogewitters mit einer großräumigeren synoptischen Tiefdruckzone. Der konvektive Typ bezeichnet dagegen Tornadogewitter innerhalb einer flachen synoptischen Druckverteilung. Bei den zyklonalen Tornados ist die Ausbildung sehr langer Zugwege des Gewitters und damit auch sehr langer Zerstörungsschneisen begünstigt. Zur Einordnung von Tornados werden heute aber andere als diese zur Entstehungszeit von Letzmanns Richtlinien ganz aktuellen Begriffe verwendet.

Als die unter D. III. erwähnte „Beratungs- und Sammelstelle“ dient heute für den deutschsprachigen Raum das Netzwerk TorDACH, sowie auf europäischer Ebene das ESSL. Bei tordach.org bzw. essl.org sind Adressen, Informationen und ein Vordruck für Tornadomeldungen verfügbar. Zeitschriften, in denen heute öfters Berichte von Tornados und verwandten Phänomenen erscheinen sind z. B.: *Meteorol. Z.*, *Allg. Forstzeitschrift in Deutschland*, *Atmos. Res. in Frankreich*, sowie *Mon. Wea. Rev.*, *Wea. Forecasting*, *J. Atmos. Sci.* und *J. Appl. Meteorol. Climatol.* in den U.S.A.

Alfred Wegener's tornado research and his influence on Johannes Letzmann: Scientific achievements decades ahead of their time

N. Dotzek, A. M. Holzer, R. E. Peterson, and C. Lüdecke
Preprint, 2. Alfred-Wegener-Symposium, AWI, Bremerhaven, Germany, 30 Oct–2 Nov 2005,
www.alfred-wegener-symposium.de

In his service during World War I, Wegener was injured. While recuperating in Berlin, he pursued a comprehensive study of tornado climatology in Europe (Wegener, 1917), a classic of tornado research literature. Only recently, Dotzek (2003) was able to update Wegener's estimate of tornado occurrence in Europe.

After Wegener's recovery, he was assigned as a weather advisor on the Eastern Front. With the collapse of the Russian Empire, the Prussian government seized the opportunity to re-establish a presence in the Baltic States, particularly at universities. So Wegener was dispatched to the University at Dorpat (Tartu), Estonia in 1918. Here Johannes Peter Letzmann (1885-1971) was especially interested in storms and had synthesized a climatology of thunder observations across the area (cf. Peterson, 1995). He soon came under the mentorship of Wegener (Lüdecke et al., 2000). With the end of the war, Wegener however shortly returned to Germany while Letzmann continued his studies of severe storms and tornadoes.

From 1919 to 1924 Wegener headed the Meteorological Dept. of Deutsche Seewarte in Hamburg. Frequent correspondence reveals that Wegener was extremely insistent that Letzmann join him in Hamburg with a suitable research position. However he obtained a teaching position at Dorpat University and remained there until the dawn of World War II. His Ph.D. thesis (Letzmann, 1923) was groundbreaking analytical work on near-surface tornado windfields and damage. Both scientists maintained close collaboration on tornadoes until Wegener's death.

During the 1930s Letzmann had become a major tornado researcher, including theory of vortex dynamics, details of earlier tornadoes, damage swath investigations, case histories, photographic sequence analysis, and laboratory simulations. Along with Harald Koschmieder and on behalf of the International Meteorological Organization, he prepared guidelines to the study of tornadoes in 1937. They appeared in 1939 (Koschmieder and Letzmann, 1939; Letzmann, 1939, 1944). Both Peterson (1992a,b) and Dotzek et al. (2000) show their being well ahead of their time. Only the advent of World War II prevented their widespread application.

In 1940, Letzmann came to the University of Graz on the invitation of Kurt Wegener. Here, he could establish a research facility for atmospheric vortices (*Forschungsstelle für atmosphärische Wirbel*) and received the title of an adjunct professor. However, in late 1945 he lost his position at the university, and his professorship was withdrawn. With an increasingly difficult private situation, he moved to the German island of Langeoog in 1962, where he stayed in a facility for elderly Baltic Germans. He continued studies on tornadoes until his death in 1971, but at this time his work was nearly forgotten both in Germany and the U.S.A.

Alfred Wegener was able to provide fruitful inspiration to the younger Letzmann by his own visionary work on tornadoes. This led to a remarkable list of papers which gain their full value only today with availability of mobile Doppler radars, computer models, and detailed damage surveys as envisioned by Letzmann decades ago.

Literatur

- Brown, C. W., 1933: A study of the time, areal, and type distribution of tornadoes in the United States. *Trans. Amer. Geophys. Union* **14**, 100–106.
- Brown, C. W., und W. O. J. Roberts, 1935: The distribution and frequency of tornadoes in the United States from 1880–1931. *Trans. Amer. Geophys. Union* **16**, 144–146.
- Dotzek, N., 2003: An updated estimate of tornado occurrence in Europe. *Atmos. Res.*, **67–68**, 153–161.
- Dotzek, N., G. Berz, E. Rauch, und R. E. Peterson, 2000: Die Bedeutung von Johannes P. Letzmanns „Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben“ für die heutige Tornadoforschung. *Meteorol. Z.* **9**, 165–174.
- Koschmieder, H., und J. P. Letzmann, 1939: *Erforschung von Tromben*. Int. Meteor. Org., Klimatol. Komm., Protokolle der Tagung in Salzburg, 13.–17. September 1937, Publ. **38**, Leyde, Anlage XI, 85–90. (Mit kommentierenden Briefen von J. B. Kincer, U.S. Weather Bureau, online bei essl.org/pdf/Letzmann1939-Koschmieder-Letzmann1939.pdf)
- Letzmann, J. P., 1923: *Die Peipus-Trombe am 3. August 1922*. Sitzungsber. d. Naturf. Ges. Univ. Dorpat **28**, 8–42.
- Letzmann, J. P., 1925: Fortschreitende Luftwirbel. *Meteorol. Z.* **42**, 41–52.
- Letzmann, J. P., 1928: Zur Methodik der Trombenforschung. *Meteorol. Z.* **45**, 434–439.
- Letzmann, J. P., 1939: *Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben*. Int. Meteor. Org., Klimatol. Komm., Protokolle der Tagung in Salzburg, 13.–17. September 1937, Publ. **38**, Leyde, Anlage XI, 91–110. (Online bei essl.org/pdf/Letzmann1939/Letzmann1939.pdf)
- Letzmann, J. P., 1944: *Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben*. Forschungsstelle f. atmosph. Wirbel, Graz, 32 S.
- Lüdecke, C., E. Tammiksaar, und U. Wutzke, 2000: Alfred Wegener und sein Einfluss auf die Meteorologie an der Universität Dorpat (Tartu). *Meteorol. Z.* **9**, 175–183.
- Peterson, R. E., 1992a: Letzmann’s and Koschmieder’s “Guidelines for Research on Funnels, Tornadoes, Waterspouts and Whirlwinds”. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **73**, 597–611.
- Peterson, R. E., 1992b: Johannes Letzmann: A pioneer in the study of tornadoes. *Wea. Forecasting* **7**, 166–184.
- Peterson, R. E., 1995: Johannes Peter Letzmann: pioneer tornado researcher. In: Tooming und Eelsalu (1995), 9–43.
- Reye, T., 1872: *Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnen-Atmosphäre*. Carl Rümpler, Hannover, 249 S.
- Tooming, H., und H. Eelsalu (Hrsg.), 1995: *Meteorology in Estonia in Johannes Letzmann’s times and today*. Estonian Academy Publ., Tallinn, 192 S.
- Wegener, A. L., 1917: *Wind- und Wasserhosen in Europa*. Vieweg, Braunschweig, 301 S.

Stand dieser Anmerkungen ist der 11. Januar 2007.

Dr. Nikolai Dotzek

Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben

Für die Klimatologische Kommission zusammengestellt
von J. Letzmann

Grundsätzliches.

Bei Beobachtungen von Tromben, Tornados und Wasserhosen ist es sowohl infolge der Zufälligkeit und Flüchtigkeit dieser Wirbel, als auch aus Gründen der persönlichen Sicherheit des Beobachtenden nur ausnahmsweise möglich, systematische Messungen an ihnen auszuführen, die längere Zeit und Vorbereitungen erfordern.

Daher sind wir hauptsächlich auf eine nachträgliche Analyse der Zerstörungsspuren angewiesen, aus denen die kinematischen und dynamischen Verhältnisse der Wirbel erschlossen werden können.

Hinzu kommt noch, dass die zufälligen Augenzeugen der Erscheinung meist fremd gegenüberstehen und infolge fehlender Vorkenntnisse häufig nicht imstande sind, die gesehenen Vorgänge sachgemäss wahrzunehmen und zu beschreiben.

Um hier Abhilfe zu schaffen sind diese von der Subkommission für Trombenforschung ausgearbeiteten Richtlinien von der Klimatologischen Kommission der O. M. I. angenommen und als Anleitung zur Beobachtung und Bearbeitung dieser Wirbel den Instituten und Beobachtern empfohlen worden (Salzburg, 14. Sept. 1937. Res. IV), nachdem diese Kommission schon früher (Danzig, 1935: Publ. Nr. 25, S. 21) den Landes-Netzen empfohlen hatte, dem Auftreten von Tromben erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Es steht aber auch ausser Frage, dass eine einheitliche Vorbereitung der Beobachter verschiedener Länder die Einheitlichkeit des bisher recht zufälligen Beobachtungsmaterials erhöhen muss, ebenso wie gleichförmige Untersuchungen der Spur am Boden sowie systematische Bearbeitungen und Veröffentlichungen der Ergebnisse von Wert sein werden.

Es muss aber noch ein Umstand hervorgehoben werden. Eine absolute Vollständigkeit und Einförmigkeit in den Ergebnissen wird sich nur ausnahmsweise erzielen lassen u. zw. schon deshalb, weil die zu untersuchende Erscheinung *nicht immer in gleicher Weise auftritt*, und weil ihre Wirkung in verschiedenen Gegenden, an verschiedenen Objekten sich verschieden äussern kann.

Daher sind in den vorliegenden Richtlinien möglichst alle wichtigeren Aufgaben zusammengestellt, die *in Betracht kommen können*, und der Beobachter sowie der Untersuchende werden wohl stets nur einen Teil der Fragen beantworten und nur einen Teil der Aufgaben erledigen können. Die Auswahl hängt in erster Linie davon ab, welche Möglichkeiten die äusseren Umstände bieten und welche nicht.

Das Moment der persönlichen Sicherheit spielt hier ebenfalls eine wichtige Rolle, besonders, wenn ein Tornado sich mit grösserer Geschwindigkeit direkt auf den Beobachter zubewegt, wodurch der Umfang der persönlichen Beobachtungen eingeschränkt werden muss. Dass man aber in günstigen Fällen trotzdem nicht nur beobachten, sondern auch Reihenaufnahmen vom aufziehenden Wirbel herstellen kann, zeigt der Fall des Tornados

von Peshawar. (A preliminary study of a Tornado at Peshawar, by Flt.-Lieut. R. G. Ver-
yard, India Meteorol. Depart., Scientif. Notes, 5, Nr. 56, S. 109–116, 1933.)

Übersicht und Gliederung.

A. *Luftbilddaufnahmen* (S. 93).

I. Untersuchungen der Spurbilder im Walde (S. 94).

II. Übersichtsaufnahmen der Spur (S. 94).

B. *Beobachtungen durch zufällige Augenzeugen* (S. 95).

I. Die Wolke.

a. Der Cu. von der Grundfläche aus gesehen (S. 95). Stelle der Trombenbildung. Böenkragen. Regenguss. Bewegungen im Böenkragen. Zugrichtung der Wolke.

b. Der Cu. aus einiger Entfernung gesehen (Seitenansicht) (S. 95). Entwicklung. Turm oder Cumulonimbus. Anfangsstadium oder voll entwickelt?

II. Der Wolkentrichter oder die Wolkensäule (S. 96).

Entstehung, Gestalt, Auflösung, Anzahl der Säulen oder Ansätze, ihre Ordnung und Grössenverhältnisse. Zeichnungen. Lichtbild–Aufnahmen. Die Bestimmung der Lage der Trombe im Cu. Ihre Neigung oder Biegung. Horizontale Tromben. Emporgehobene Gegenstände. Die Rotation und Vertikalbewegung. Veränderungen am Schlauch (Verdickungen, Wülste, Nebelfetzen, Schuppen). Doppelröhren.

III. Der Fuss (S. 98).

Staub- oder Wasserfuss, konzentrische Zylinderschichten, Becherform.

IV. Die Schätzungen der Höhe und des Durchmessers (S. 98).

a. Die Höhe des Fusses (S. 98).

b. Die Höhe und der Durchmesser der Säule (S. 98).

Schätzungen in Monddurchmessern (ca. $1/2^\circ$). — nicht in Metern —, dazu Angabe entweder des Abstandes vom Beobachter oder der Zeit der Schätzung. Sonstige Beobachtungen.

V. Die Elemente der Witterung (S. 100).

Wind. Druck. Temperatur. Feuchte. Dunst. Sicht. Wolken. Hagel. Regen. Gewitter. Menschen im Sturmfelde.

VI. Wasserhosen (S. 100).

Das „Bersten“ der Wasserhosen. Regelmässige Wellenbildung auf dem Wasser. Die „siedende Bewegung“.

VII. Kleintromben (S. 101).

Häufigkeit. Systematische und zufällige Beobachtungen. Gliederung. Unsichtbare Kleintromben. Das obere Ende. Die Höhe und der Durchmesser. Unsymmetrien. Die Rotation. Die Bahn. Gekrümmte Bahnen. Die Windrichtung. Die Geschwindigkeit. Die Vertikalbewegung. Boden. Landschaft. Hindernisse. Bahn und Gelände. Druckkurven. Die Witterung.

*C. Systematische Untersuchungen (S. 103).***I.** Aufnahmen im Felde. Die Gliederung der Aufgabe (S. 103).**II.** Die allgemeine Untersuchung der Spur (S. 104).

Das Befragen von Augenzeugen. Zeitangaben. Der Unterschied zwischen dem Umfang der Zerstörungen und der Grösse der Verluste. Zeichnungen. Lichtbilder. Das Streufeld in der Nähe der Bahn. Das äussere Streufeld. Vereisungen. Einwandfrei gehobene oder verschobene Gegenstände.

III. Die Vermessung des Waldbruches (Åsgardsweges) (S. 105).

Hilfsmittel. Umrisse. Querlinien-Messung. Spurbilder. Spurtypen. Singuläre Linien. Gliederung des Åsgardsweges. „Herausgefallene Gruppen“. Gekreuzte und gedrehte Bäume. Spuren in Kornfeldern. Änderungen des Typus. Ausmessungen grösserer Flächen beim Fehlen von Luftbildaufnahmen. Lichtbildaufnahmen.

*D. Die Zusammenfassung und Bearbeitung der Ergebnisse (S. 109).***I.** Die Bearbeitung durch den Fachmann (S. 109).**II.** Die Veröffentlichung (S. 110).

Gesamtergebnisse. Kürzere Zusammenfassung. Zufällige Beobachtungen. Beobachtung ohne eine nachfolgende Untersuchung.

III. Beratungs- und Sammelstelle (S. 110).**A Luftbildaufnahmen.**

Als ein erst in neuerer Zeit anwendbares und wichtiges Mittel zur Erforschung der Tromben und Tornados soll an erster Stelle die Herstellung von Luftbildaufnahmen der Zerstörungsspur vom Flugzeuge aus genannt werden.

Diese Aufnahmen wären von besonderer Wichtigkeit, wenn Bruchspuren (ein Åsgardsweg) in grösseren und gleichmässigeren Wäldern vorliegen. Es kann sich dabei entweder um anschliessende Reihenaufnahmen des ganzen Åsgardsweges handeln oder um Aufnahmen einzelner charakteristischer Stellen.

Hierzu wäre es nötig, eine Zusammenarbeit der Forschungs-Anstalten und Flugbildstellen der einzelnen Staaten rechtzeitig anzubahnen.

I. Untersuchungen der Spurbilder im Walde.

1. Der Luftaufnahme sollte eine allgemeine orientierende Untersuchung am Boden vorausgehen, die Aufnahme kann aber auch nach einer vollständigen Untersuchung (vgl. Abschn. C. III. 13.) erfolgen, wenn die aufzunehmenden Stellen schon bekannt sind.
2. Erfolgt die Aufnahme vor der Untersuchung am Boden, so ist ein mehrfaches orientierendes Abfliegen der Spur notwendig, bis man die wichtigsten Stellen herausgefunden hat. Besonders in diesem Falle ist die Anwesenheit eines erfahrenen Trombenforschers im Flugzeug notwendig, der mit den zu erwartenden Einzelheiten vertraut ist und sich schnell orientieren kann.
3. Die Flughöhe wäre so zu wählen, dass die einzelnen Stämme noch gut sichtbar sind und dabei möglichst viel Übersicht gewonnen wird. Wenn die Schärfe der Aufnahmen eine Vergrößerung zulässt, kann die Flughöhe grösser gewählt werden.
4. Die Flugbilder sollen sich an den Rändern überlappen und möglichst mit senkrechter optischer Achse aufgenommen werden, um die Fallwinkel der Bäume nicht zu verzerren. Wenn die Achse zwecks Gewinnung von grösserer Übersicht geneigt gewesen ist, sollte dieses vermerkt und der Winkel angegeben werden.
5. Wenn das Gesichtsfeld des Apparates die ganze Spurbreite nicht fasst, was vor Beginn des Fluges berechnet werden kann, sollten mehrere Längsstreifen abgebildet werden, die sich seitlich überlappen.
6. Bei besonders breiten Åsgardswegen empfiehlt es sich mehrere, sich überlappende, zur Spur senkrechte Querstreifen zu fliegen und die Kompassrichtung anzugeben. Dieses sollte an allen wichtigen Stellen wiederholt werden.
7. Wenn die Spur stärker gekrümmt ist, sollte das Flugzeug ihr folgen. Die Kompassrichtungen lassen sich hierbei nötigenfalls nach Übersichtsaufnahmen oder Vermessungen feststellen.

II. Übersichtsaufnahmen der Spur.

1. Die Übersichtsaufnahmen sollten aus grösserer Höhe gemacht werden, die den Verlauf der Spur (Anfang, Ende, Windungen, Änderungen der Breite, Sprünge, Teilungen, Vereinigungen, usw.) wiedergeben. Dies bezieht sich sowohl auf den Bruchstreifen im Walde als auch die allgemeine Zerstörungsspur.
2. Es empfiehlt sich, die Tageszeit nach Möglichkeit so zu wählen, dass die Gegenstände einen deutlichen Schatten werfen und dadurch auch aus grösserer Höhe sichtbar bleiben.
3. Im Walde sollten bei Übersichtsaufnahmen nach Möglichkeit auch die ausserhalb des Åsgardsweges liegenden „Nester“, d. h. kleinere Stellen mit Waldbruch, sowie die Zone der einzeln gebrochenen Bäume mit berücksichtigt werden..

Wenn dies schwierig ist, können die Nester und die Aussenzone auch durch Untersuchungen am Boden festgestellt werden. Diese Aussenzone kommt aber neben dem Åsgardsweg grundsätzlich erst an zweiter Stelle in Betracht, falls ihr Vorhandensein schon vermerkt und beschrieben worden ist.

4. Bei Übersichtsaufnahmen ist eine Neigung der optischen Achse gegen die Senkrechte eher zulässig als bei Aufnahmen des Waldbruches.

B Unmittelbare Beobachtungen durch Augenzeugen.

I. Die Wolke.

a. Der Tromben–Cumulus von der Grundfläche aus (von unten) gesehen.

1. Die Stelle der Trombenbildung: am Rande des Cumulus, in der Nähe des Randes, weitab von ihm. Ob die Basis der Wolke durch Nebel oder tiefere Wolkenschichten verhüllt war.
2. Die Lage des Regengusses (wenn vorhanden). Ob die Trombe zwischen dem Böenkragen und Guss, im Guss, usw. entstand. Ob der Guss zeitlich vor, während oder nach der Trombe entstand und als graue Fallstreifen (Vorhang) sichtbar wurde. Verdeckte er die Trombe?
3. Ob die Wolke an der Grundfläche einförmig grau aussah oder hellere oder dunklere Stellen zeigte. Ob die Trombe in der Nähe einer dieser besonderen Stellen lag.
4. Welche Bewegungen zeigten die Teile des Böenkragens in der Nähe der Trombe?
5. In welcher Richtung zog die ganze Wolke? Verlagerte sich vielleicht die Trombe allmählich innerhalb der Wolke?
6. Waren in der ganzen Wolke und ihren einzelnen Teilen verschiedene (entgegengesetzte) Zugrichtungen zu bemerken? Wie verteilten sich diese in Bezug auf den Ort, wo später oder gleichzeitig die Trombe entstand?
7. War die Wolke in einer langen Linienböen–Wolke entstanden?

b. Der Tromben–Cumulus aus einigem Abstand (von der Seite, im Aufriss) gesehen.

1. Es empfiehlt sich, einen Cu., der als Tromben- oder Tornadowolke erkannt ist, in seiner Entwicklung nach der Uhr zu beobachten, damit später die Möglichkeit vorhanden ist, den Ort der Trombe und die Zerstörungen mit der Entwicklung des Cu. zu verknüpfen.
2. War die Entwicklung eine schnelle mit stark emporquellenden Teilen (blumenkohlarartige Quellformen)? Ob pilz- oder ambossförmige Abplattungen am Cu. vorkamen oder Kappen (mehrfache?), ob ein Cirrenschirm vorhanden war. Wurde der Schirm nach einer bestimmten Richtung vom Cu. abgetrieben? Zeigte er Mammatusformen? Waren vor oder nach der Trombe seitlich abgetriebene Schirme an Cu.–Wolken auffällig sichtbar, welcher Art?

Ob sich der Cu. während der Entstehung der Trombe im Anfangs- oder Endstadium seiner Entwicklung befand.

3. Ob der Cu. eine deutlich isolierte Turmform hatte, oder ob über einem Massen–Cumulonimbus ein gesondert emporquellender Turm sichtbar war, oder ob die Wolke eine grosse Masse ohne deutliche Gliederung bildete. Ob sie seitlich von Nebel oder näherem St. verhüllt war. Waren vor dem Cu. graue Lent.–Streifen sichtbar?

4. Ob vor der Trombe vielleicht Reihen–Cu. auftraten.

5. Falls sonst irgend eine auffallende Form vorhanden oder deutliche Beziehungen zu anderen Wolken (neben, über, unter dem Cu.) festzustellen waren, wäre eine schematische Skizze erwünscht.

II. Der Wolkentrichter oder die Wolkensäule.

1. Die Entstehung, Entwicklung, Gestalt, Auflösung der Trombe. Falls mehrere Schläuche oder Ansätze dazu (Zapfen) vorhanden waren, wäre zu beobachten, aus welchem Teil der Wolke sie entstanden, ob sie eine Ordnung zeigten (z. B. in der Mitte die längsten, seitlich davon die kürzeren, o. a.).

2. Verlor der Wolkenschlauch während oder vor dem Erlöschen seine scharfen Umrisse oder verschwand er als scharf umrissenes Gebilde? Zeigte er vor der Auflösung eine grössere Beweglichkeit (schlängelnde Bewegungen) oder ein Erzittern? Wurde er schmaler oder breiter? Wurde er durchscheinend?

Welcher Teil verschwand zuerst: der Fuss, die Mitte, oder das obere Ende, oder an welchem Teil waren zuerst Anzeichen einer Auflösung zu beobachten?

3. Damit die Entwicklungsstufen des Trichters mit den Zerstörungen später verknüpft werden können, empfiehlt es sich, die Entwicklung nach der Uhr zu verfolgen (ähnlich wie bei der Entwicklung des Cu. bei Seitenansicht, B. I. b. 1.) und Zeichnungen zu machen, entweder gleich oder möglichst bald nach dem Verschwinden des Wolkenschlauches.

Nur unter besonders günstigen Verhältnissen, d. h. bei langsamem Zuge und langsamer Entwicklung wird es möglich sein, die Zeichnungen der charakteristischen Formen schon während der Trombe zu machen. Meist wird bei der Fülle der Beobachtungen dazu keine Zeit übrig bleiben.

Jedenfalls sollte sich der Beobachter zwecks nachfolgender Skizzierung das *Grössenverhältnis* der Teile des Wirbels zu einander und zur Höhe der Wolke (bei Seitenansicht) merken.

4. Erwünscht sind Photoaufnahmen des Wirbels und der Wolke, entweder einzelne oder in einander überlappenden Teilen. Als Anhaltspunkte für die Belichtung¹ sollen zwei äusserste Fälle angegeben werden:

a) hell beleuchteter Cu.: 8–16 h im Sommer, Blende F/32, Gelbscheibe mit 2–3 fachem Belichtungswert, 1/10 Sek. bei 6–8° Din (16–18° Scheiner). 1/30 Sek. bei 13° Din (23° Sch).

b) Wolke von unten, grau, ohne Sonne: Blende F/8, ohne Gelbscheibe, 1/10 bei 6–8° Din, 1/30 Sek. bei 13° Din.

Bei hellerer Basis oder schwach beleuchtetem Cu. ist eine Zwischenstufe der Blende zu wählen.

Sehr erwünscht sind zeitliche Reihenaufnahmen in Abständen von je 1–5 Minuten, je nach Geschwindigkeit der Entwicklung. Dabei sollte der Apparat der Trombe möglichst nur durch eine Drehung folgen und der Standort nur, wenn störende Gegenstände dazwischentreten, geändert werden.

5. Die Lage der Trombe im Cu.; ob an der rechten oder linken Seite (*in der Zugrichtung gesehen*), ob vor oder hinter der Mitte (von der Seite gesehen).

Diese Beobachtung wird nur dann eindeutig, wenn der Beobachter selbst in der Zugrichtung stand oder senkrecht zu ihr blickte. In allen anderen Fällen sind Missverständnisse

¹Beim Entwickeln ist darauf zu achten, dass möglichst alle Einzelheiten der Wolke herauskommen, die Landschaft kann dabei überentwickelt werden.

möglich; daher wäre es nötig ausser der relativen Lage im Cu. stets anzugeben, wo sich der Beobachter und wo sich die Trombe befand.

Der Ort der Trombe wird nur selten vom Beobachter genau angegeben werden können; daher empfiehlt es sich, entweder nach der Uhr die Zeit anzugeben oder die Himmelsrichtung, in welcher die Trombe hierbei gesehen wurde. Es sollte aber die Richtung in Graden gemessen werden, was auch nachträglich nach Gegenständen des Horizontes geschehen kann, welche sich der Beobachter gemerkt hat. Eine Genauigkeit von 1–2° dürfte hierbei genügend sein.

Diese Angaben der Zeit oder des Tromben–Ortes oder des Winkels sind zum Bestimmen der Lage der Trombe im Cu. nicht nötig, wenn der Beobachter sich in der Spur (Zugrichtung) oder in deren Nähe befand; man sollte dabei aber im Auge behalten, dass bei einer Ansicht von vorn die rechte Seite einer *aufziehenden* Trombe zur linken Hand des Beobachters liegt und umgekehrt.

6. Häufig haben Tromben oder Tornados eine bogenförmige Gestalt oder weichen von der Senkrechten ab. Dazwischen bildet ihre Richtung eine Fortsetzung der Wölbung des Böenkragens, manchmal tritt eine *seitliche* Abweichung (in der Zugrichtung gesehen) auf. Es empfiehlt sich, besonders auf die seitliche Abweichung von der Senkrechten (den Bogen) zu achten, was einfach geschehen kann, wenn der Beobachter sich zufällig in der Zugrichtung oder deren Nähe befand; sonst sollte aber, wie im Punkt 5, die Angabe der Zeit oder des Blickwinkels sowie des Beobachtungsortes erfolgen.

7. Wenn eine Trombe nicht bogenförmig zur Erde, sondern ausgesprochen horizontal verläuft, soll der Beobachter stets darauf achten, ob es sich dabei um eine *horizontale Trombe* handelt, die etwa zwei Wolken verbindet, bzw. zu ihnen in Beziehung steht, oder ob wir es nur mit einem schwächer gekrümmten Abschnitt eines bogenförmigen Wirbels zu tun haben, der als „blinde Trombe“ nicht bis zum Boden reicht. Besonders wenn der Wolken Schlauch sich hoch *über* dem Beobachter befindet, kann eine horizontale Lage vorgetäuscht werden.

8. Wenn der Beobachter die Wolke von unten sieht, kann die Lage der Trombe innerhalb der Wolke nur nach deren Mitte geschätzt werden, so wie bei der Seitenansicht eines ungliederten Massen–Cu. Zeigt der Cu. dagegen über der Massenform noch eine Turm- oder Quellform, so sollte die Lage des Schlauches in Bezug auf diesen Turm angegeben werden.

9. Es wäre darauf zu achten, ob im Cu. emporgehobene Gegenstände (Decken, Tücher, u. a.) sichtbar sind und in welchem Teile des Cu. (in der Zugrichtung gesehen). War die Bewegung dieser Gegenstände eine auf- oder absteigende, befanden sie sich z. T. in der Wolke oder ganz ausserhalb von ihr, in einigem Abstände?

Falls die Gegenstände unterhalb der Wolkenbasis sichtbar waren, sollte angegeben werden, ob sie sich innerhalb der Säule, nahe oder weiter weg von ihr (um wieviele Säulendurchmesser?) befanden und ob die Bewegung eine auf- oder absteigende war. Ebenso: ob sie sich zur Säule hin oder von ihr fort bewegten.

10. War eine Rotation innen oder aussen in der Säule zu sehen? Erfolgte sie mit der Sonne oder gegen deren täglichen Lauf? Fand gleichzeitig ein Auf- oder Absteigen statt? (Vgl. hierzu Punkt B. VII. 8.)

Wenn im inneren Teil eine *herabsteigende* Rotation gesehen wird, sollte der Beobachter genau darauf achten, ob dieses Herabsteigen ein absolutes (in Bezug auf feststehende

Vergleichs-Gegenstände, Wolkenteile, den Horizont usw.) oder ob es nur ein scheinbares Herabsteigen im Vergleich zum Aufsteigen in der äusseren Zone war. Die aufsteigende Rotation kommt häufiger vor und wird leichter erkannt.

11. Traten Nebelfetzen in der Nähe des Schlauches auf; wie bewegten sie sich?
12. Waren am Schlauch zeitweilig manschetten- oder wulstförmige Verdickungen sichtbar? Ihre Verschiebung oder Ausbreitung wäre zu beachten.
13. Traten konisch nach oben oder nach unten divergierende Lamellen oder Schuppen am Schlauche auf? Ihre Länge im Vergleich zum Durchmesser der Säule. Kann ihre Gestalt skizziert werden?
14. Konnte das Aufbrechen eines äusseren weiten Rohres beobachtet werden, wobei im Innern ein zweiter, scharf begrenzter Schlauch sichtbar wurde?

III. Der Fuss.

1. Trat der Staub- oder Wasserfuss vor oder nach dem Herabwachsen des Wolkenschlauches auf? Welcher Teil der Trombe erschien zuerst? Wie veränderte sich der Fuss beim Fortschreiten über verschiedenem Untergrund (Wasser, Land, Wald, usw.)?
2. Häufig ist auch unter kürzeren Wolken-Zapfen die Oberfläche des Meeres gekräuselt oder ein Fuss sichtbar. Es sollte festgestellt werden, welcher von beiden zuerst auftrat, der Zapfen oder der Fuss. (Vgl. auch B. VI. 4.)
3. Liessen sich im Fuss konzentrische Zylinder-Schichten unterscheiden, oder waren die Schichten nach oben offene Kegel (Becher)? War der Bau des Fusses durch Staubwolken verhüllt?

Es ist wünschenswert, Zeichnungen des Fusses und der ganzen Trombe zu erhalten, auch wenn sie einem schon bekannten Typus angehörte.

IV. Schätzungen der Höhe und des Durchmessers.

a. Die Höhe des Fusses.

1. Die Höhe des Fusses kann mit Bäumen, Häusern, Fabrikschlotten, usw. verglichen werden, aber ausnahmslos nur dann, wenn er sich *neben* diesen, d. h. in gleichem Abstände vom Beobachter wie diese befindet.
2. Wenn kein Vergleichsgegenstand in der Nähe ist, soll die Höhe des Fusses *nur* in Bruchteilen der Wolkenhöhe oder, was gleichbedeutend ist, mit der Länge des Schlauches verglichen werden ($1/4$ — $1/5$ — $1/10$ — usw.). Dabei gilt stets das im nächsten Punkt von der Wolkensäule Gesagte. Die Breite des Fusses wird vorteilhafterweise mit seiner Höhe verglichen.

b. Die Höhe und der Durchmesser der Wolkensäule.

1. Schätzungen der Höhe und des Durchmessers der Wolkensäule in Metern sind in vielen Fällen (vgl. Punkt 5) nicht nur wertlos, sondern können auch irreführend sein, worauf schon **A. Wegener** hingewiesen hat.
2. Der *Durchmesser* sollte mit Gegenständen nur dann verglichen werden, wenn die Säule sich in ihrer Nähe befand.

Sonst sollte in allen übrigen Fällen der Durchmesser nach Gegenständen am Horizont in Winkelgraden angegeben werden auf Grund nachträglicher Vermessung wie im Punkte B. II. 5., dazu der Abstand vom Beobachter (oder der genaue Ort der Trombe und des Beobachters).

Wenn der Abstand nicht angegeben werden kann, sollte die Zeit der Schätzung in Minuten notiert werden.

Ein Unterschied gegen die Beobachtungen der Verlagerung (Punkt B. II. 5.) besteht aber darin, dass es hier gleichgültig ist, ob der Beobachter sich in der Zugrichtung befindet oder nicht. Das ist leicht verständlich, wenn man bedenkt, dass der Durchmesser bei jeder Blickrichtung sich gleich bleibt, eine Verlagerung der Trombe von der Mitte der Wolke dagegen nicht immer gleich gross erscheint.

Besonders wenn der Durchmesser einer nahe herangekommenen Trombe mit Gegenständen verglichen wird, sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass die Trombe und der Gegenstand vom Beobachter *gleichweit entfernt sind*.

3. In den übrigen Fällen sollte der Durchmesser nur mit dem Durchmesser des Mondes, *wie er uns am Himmel erscheint*, oder der Sonne verglichen werden (ca $1/2^\circ$)¹. Damit der Bearbeitende später eine Umrechnung im Meter ausführen kann, sollte auch hierbei der Abstand der Säule vom Beobachter oder die Zeit der Schätzung angegeben werden.

4. Eine Schätzung der *Länge des Wolkenschlauchs* ist sehr schwer und unsicher.

Seine Länge in Metern kann nur nach der Wolkenhöhe bestimmt werden, und diese können annähernd nur kundige Personen schätzen, die aus der aerologischen oder aeronautischen Praxis die nötige Erfahrung haben, z. B. die Beamten und das Aufstiegspersonal von Drachen- und Ballonstationen, Flieger und Aerologen, erfahrene Bergführer und andere. Die Personen und ihr Beruf sollten bei solchen Schätzungen angegeben werden.

Eine Schätzung in Monddurchmessern ist nur bei herabhängenden kürzeren Schläuchen oder Zapfen genügend genau; daher empfiehlt es sich, Teilabschnitte der Säule oder längerer Zapfen stets mit der augenblicklichen Wolkenhöhe in der Umgebung zu vergleichen ($1/3$ — $1/4$ — $1/5$ — usw.), oder mit der Länge der ganzen Säule.

5. Das Schätzen in Metern ist dann von Nutzen, wenn es sich auf die Ausmasse eines und desselben Gegenstandes bezieht (z. B. die Höhe und Breite des Fusses, die Länge und Breite eines Zapfens, usw.). Dann kann danach das Verhältnis berechnet werden.

Nur wenn Längenschätzungen in Metern von erfahrenen Beobachtern *auf Grund bestimmter Überlegungen* gemacht werden, können sie eine Bedeutung haben. Die betreffende Überlegung sollte angegeben werden.

6. Beim Fehlen der in Punkt 4 genannten Erfahrungen sollte die Grösse der Säule nur mit „(sehr) niedrig“, „normal“, „(sehr) hoch“, bezeichnet werden, ebenso ihre Dicke mit „dünn“, „normal“, „dick“, sofern dem Beobachter auf Grund gesehener Abbildungen das normale Verhältnis des Durchmessers zur Länge bekannt ist.²

7. Ausser den genannten Beobachtungen am Wolkenschlauch und Fuss sind alle anderen Beobachtungen irgendwie auffallender Eigentümlichkeiten erwünscht, da bekannt-

¹Es ist zu berücksichtigen, dass der Mond am Horizont grösser erscheint als in einiger Höhe darüber, wobei sein Durchmesser aber stets gleich $1/2^\circ$ ist.

²Als weiteres Hilfsmittel zum Schätzen von Bogenlängen in allen Höhen kann der Umstand benutzt werden, dass die Breite der Handfläche samt dem Daumen bei ausgestrecktem Arm gegen 10 Bogengrade bedeckt.

lich Tromben und Tornados, trotzdem sie eine allgemeine Grundform aufweisen, doch oft merklich von dieser verschieden sind. Alle Formen und Verhältnisse sollten möglichst durch Zeichnungen erläutert werden; dabei ist es aber von Nutzen, wenn der Zeichner angibt, ob das Bild nur den allgemeinen Eindruck darstellt oder bewusst beobachtete Grössen- und Formverhältnisse ($1/3$ — $1/4$ — usw.) wiedergibt, d. h. verhältnistreu sein soll.

V. Die Elemente der Witterung.

1. Die Windrichtung am Boden vor, während, nach der Trombe kann auch nachträglich nach Bezugsgegenständen am Horizont bestimmt werden. Zu beachten wären die Fragen: Trat die Sturmesstärke allmählich oder plötzlich ein? Konnte in der Nähe der Trombe eine dauernde oder zeitweilige Windstille beobachtet werden? Auf welcher Seite der Zugstrasse befand sich dabei der Beobachter und wie weit von der Trombe? Waren bei Windstille längere, ruhige Rauchfahnen an Fabrikschloten sichtbar? Deren Richtung?

2. Die Temperatur, der Druck, Dunst, Nebel, usw. vor, während, nach der Trombe? Herrschte vor der Trombe eine merkliche Schwüle; wann trat die Abkühlung ein? War die Sicht vor der Trombe durch leichten Dunst getrübt?

Wenn in der Nähe zufällig ein Barograph vorhanden war, sollte den Beobachtungen hinzugefügt werden, ob die Kurve zur Zeit der Trombe einen *plötzlichen* Fall mit sofort folgendem Wiederanstieg zeigte oder nicht. In Gegenden, wo Tornados häufiger sind, empfiehlt es sich, einen Barographen gegen Zerstörungen gesichert aufzustellen.

3. Ist vor, während, oder nach der Trombe Regen oder Hagel gefallen? Lag das Hagelgebiet, besonders aber dasjenige der grossen Schlossen, links oder rechts von der Zerstörungsspur oder innerhalb der Spur selbst? Die Grösse der Schlossen und ihre Wirkung.

4. War mit der Trombe ein Gewitter verbunden? Trat es vor, während oder nach der Trombe auf und war es an dieselbe Wolke gebunden oder bildete es sich in einer anderen Wolke? Konnte vielleicht ein Blitz beobachtet werden, der einwandfrei aus der Wolkensäule hervorging und nicht nur durch die Wirkung der Perspektive aus ihr hervorzugehen schien?

5. Es sind Angaben darüber erwünscht, ob Menschen, die sich im Freien aufhielten, in die Trombe oder in ihre nächste Nähe geraten sind, sowie Angaben über ihre Namen und Aussagen.

VI. Beobachtungen an Wasserhosen.

1. Beobachtungen von Wasserhosen aus grösserem Abstände erfolgen nach denselben Regeln wie diejenigen von Tromben.

2. Wenn Wasserhosen nahe an einem Schiff vorbei oder über ein Schiff hinweggegangen sein sollten, kommen ausser Angaben über die Windrichtung und -wirkung auf das Schiff noch Beobachtungen des Wasserfusses und der Oberfläche des Wassers in Betracht. (Zeichnung.) Falls der Wasserfuss über das Schiff hinweggegangen ist, wären allgemeine Angaben über die ausgefallene Wassermenge erwünscht, verglichen mit einem starken Regenguss. Stammte das Wasser aus dem Fuss oder aus der Wolkensäule selbst, oder stammte es aus einem nahe gelegenen Wolkenbruch?

3. War das Ausfallen des Wassers aus dem Fuss mit einer Auflösung der Wasserhose verbunden — was die Auffassung vom „Bersten“ der Wasserhosen stützen könnte — oder bildete sich der Fuss auf der anderen Seite des Schiffes von neuem?

4. Besonders sollte beachtet werden, ob die Wasseroberfläche in der Umgebung des Fusses eine Art „siedender Bewegung“ zeigte. War diese Bewegung durch das Aufschlagen herabfallender Tropfen hervorgerufen oder durch kleine Windwellen?

War das „Sieden“ in einem Kreisringe um den Wasserfuss am stärksten? Ein Vergleich des Durchmessers dieses Ringes mit demjenigen des Fusses oder der Säule wäre anzustellen.

Hatte das Gebiet der „siedenden Bewegung“ eine emporgewölbte oder schalenförmig eingesunkene Gestalt oder war es ganz eben?¹

5. Sonstige charakteristische Beobachtungen.

VII. Beobachtungen an Kleintromben.

1. Da Kleintromben in mittleren Breiten meist unerwarteterweise auftreten und nur kurze Zeit bestehen, verlangt ihre Beobachtung eine vorhergehende Orientierung über ihre Form und Bewegung.

2. In den subtropischen Trockenzonen oder in Gegenden mit grösseren Flächen dunklen Sandes (Island) kann ihr zahlreicheres Auftreten an Tagen mit starker Sonneneinstrahlung im voraus erwartet werden. Daher könnte man in solchen Gegenden sich auf vorbereitete Beobachtungen einstellen, z. B. die Entwicklung und Bewegung der Kleintromben kinematographisch verfolgen, u. ä.; durch derartige Aufnahmen von einem Turm oder festen Gerüst aus könnte ihre Bahn und Bewegung genauer untersucht werden.

3. Bei unmittelbaren Augenbeobachtungen sollte darauf geachtet werden, ob eine Kleintrombe in ihrem Bau und ihrer Gliederung eine Ähnlichkeit mit Grosstromben und Tornados zeigt, d. h. einen Fuss, eine zylindrische Hohlröhre oder eine trichterförmige Gestalt besitzt, oder ob sie aus unregelmässig kreisenden Staubmassen besteht.

4. Beim Übergang von sandigem Boden auf Grasflächen verlieren diese Wirbel manchmal den mitgeführten Staub und werden unsichtbar. Hierbei wäre darauf zu achten, wie lange sie an ihrer Windwirkung weiter verfolgt werden können, und ob weiter in der Höhe Dunstmassen in der Gestalt einer Röhre vorhanden sind, die vielleicht noch eine Rotation erkennen lassen.

5. Zu beachten ist die Gestalt des oberen freien Endes des Wirbels, d. h. ob es im Zusammenhang mit einer Wolke steht oder nur aus Staubmassen gebildet wird, ob die Säule oben breiter wird, u. a. Anzugeben wäre auch, ob es sich dabei um eine tatsächliche Begrenzung des Wirbels handelte, oder ob er nur infolge abnehmender Staubführung unsichtbar wurde, d. h. ob das Aufhören nur ein scheinbares war. Eine Zeichnung der Gestalt des Wirbels ist stets erwünscht.

6. Die Höhe und der Durchmesser von Kleintromben lassen sich leichter abschätzen sofern diese näher an den Beobachter herankommen; dabei sollte man stets an Vergleichsgegenstände *in gleichem Abstände* (Baum, Turm, Mensch, usw.) denken.

¹Ein allgemeiner Wellengang kann die Beobachtung erschweren. Dazwischen treten aber Wasserhosen auch bei schwachen Winden, bzw. bei Stille auf.

Von Kleintromben in grösserem Abstand lässt sich meist nur die Gestalt und ihre Entwicklung gut übersehen, die übrigen Beobachtungen werden ungenauer ausfallen.


7. Dazwischen zeigen sich an einer Seite der sonst vielleicht scharf umrissenen Säule zusätzliche Staubmassen, die sie unsymmetrisch erscheinen lassen. Hierbei wäre festzustellen:

- a) ob diese Staubmassen ausserhalb der scharf begrenzten Säule liegen, oder ob diese ohne eine scharfe Grenze in die Staubmassen übergeht und dadurch unsymmetrisch wird;
- b) ob der nachfolgende Staub in allen Höhen der Säule sichtbar ist oder ob er nur in der Nähe des Erdbodens als Staubwolke oder „Schleppe“ auftritt;
- c) auf welcher Seite des Wirbels, in der Zugrichtung gesehen, sich diese Staubmassen befanden, ob sie dabei irgendwie schärfer begrenzt waren, oder ob vielleicht die Bahnen einzelner Staubteilchen (Papier, Federn) unterschieden werden konnten.

8. Die Bestimmung der Rotations-Richtung sollte stets im Vergleich zum täglichen Umlauf der Sonne angegeben werden („mit der Sonne“, „gegen die Sonne“). Ein Vergleich mit dem Umlauf des Uhrzeigers ist nicht eindeutig, worauf mit Recht **J. Durward** hingewiesen hat, weil der eine Beobachter bei Vorgängen, die er von oben herab sieht, sich die Uhr auf dem Erdboden liegend vorstellen wird, ein anderer bei Vorgängen in der Höhe sich das sichtbare Zifferblatt nach unten gewandt denken kann.

Ein Vergleich mit dem Umlauf der Sonne ist stets eindeutig.

9. Die Bahn der Kleintromben verläuft meist geschwungen, oft unregelmässig. Wenn ein stetiges — oder geradliniges — Fortschreiten vorhanden ist, sollte dessen Richtung festgestellt, und die Geschwindigkeit geschätzt werden. Von Bedeutung sind dabei Angaben über die Richtung und Geschwindigkeit des Windes, wie er ausserhalb (vor oder nach) der Trombe herrschte. Es soll dadurch festgestellt werden, ob der Wirbel in der Windrichtung oder quer zu ihr zog, ob er sich schneller oder langsamer bewegte als die ihn umgebende Luft. Hierdurch könnte die Frage geklärt werden, ob und wieweit ein Magnus-Effekt in Frage kommt.

10. Wenn die Bewegung periodisch schwankt, besteht die Bahn manchmal aus einer Folge von abwechselnden Bögen und Schleifen in folgender Anordnung: . Dazwischen bildet die Bahn einen einfachen Bogen, der mit dem Winde beginnt, umbiegt, und vor der Auflösung der Kleintrombe eine kurze Strecke gegen ihn verläuft. Die Grösse und Richtung dieser Kurve wäre anzugeben.

11. In Gegenden mit häufig auftretenden Kleintromben kann die Windrichtung in deren näherer Umgebung bzw. die Änderung des Windes beim Vorüberziehen mit Hilfe dazu angefertigter tragbarer Windfahnen aus leichtem Material gemessen werden. Ähnliche Messungen der Windstärke könnten mit Handanemometern ausgeführt werden, sofern diese die Augenblickswerte der Geschwindigkeit anzeigen können.

12. Die Geschwindigkeit der Fortbewegung lässt sich nach der Uhr und der durchlaufenen Strecke in Metersekunden messen oder durch einen Vergleich mit derjenigen eines schreitenden oder laufenden Menschen, eines Reiters, Eisenbahnzuges, usw. schätzen. In Fällen periodischer oder unregelmässiger Änderung der Bewegung lässt sich manchmal deren

Mittelwert angeben. Die Ungenauigkeit der Zeitmessungen soll hier 2–5 Sek. möglichst nicht überschreiten.

13. Auf die Bewegung und Höhe emporgehobener leichter Gegenstände wie Papier, Federn, usw., wie auch auf den Ort ihres Herabfallens (Streufeld) sollte geachtet werden.

14. Da es auf die Beschaffenheit und Farbe des Bodens, die Art der Landschaft (Ebene, Kessel, Längstal, usw.) wie auch auf Hindernisse in der Nähe (Häuser, Hecken, Bäume, Erhöhungen, usw.) ankommt, sollte deren Art und Lage, Höhe und Abstand angegeben werden.

15. Wenn das Gelände nicht einheitlich ist, sollte vermerkt werden, über welche Teile der Wirbel hinwegzog oder ob er einige von ihnen bevorzugte, z. B. Wege, Sand- oder Rasenflächen, Heuschläge, u. a., oder ob er ein Tal entlangzog, es überquerte, usw. Eine Skizze des Geländes und der Bahn des Wirbels ist erwünscht.

16. Wenn ein Kleinwirbel zufällig über einen Barographen hinwegziehen sollte, wäre festzustellen, ob er irgendwelche Schwankungen des Drucks verursacht hat.

17. Besonders bei Kleintromben in mittleren geographischen Breiten, aber auch bei denjenigen in den Subtropen wäre der Verlauf der Witterung, der Zustand des Himmels, die Bewölkung an dem betreffenden Tage anzuführen und zu vermerken, ob vielleicht mehrere derartige Wirbel im Laufe des Tages wahrgenommen wurden.

C Systematische Untersuchungen.

I. Die Aufnahme der Spur im Felde. Gliederung der Aufgabe.

Die Untersuchung und Analyse der Zerstörungsspur dürfte in sechs Abschnitte zerfallen.

1. Sammlung von orientierenden Nachrichten aus der Tagespresse und durch schriftliche Anfragen auf Grund dieser Nachrichten.

2. Vorbereitung von Karten auf Grund der erhaltenen Nachrichten.

3. Es empfiehlt sich, Lichtbildaufnahmen, sowohl der Zerstörungsspur als auch besonders des Wolkenschlauches noch *vor* Beginn der Spuruntersuchung zu sammeln und einer möglichst eingehenden Analyse zu unterziehen, damit sich ergebende Fragen bei der Spuruntersuchung noch berücksichtigt werden können. Anderenfalls können ergänzende Anfragen oder Nachuntersuchungen nötig werden.

4. Eine orientierende Besichtigung der betroffenen Gebiete, verbunden mit einer allgemeinen Untersuchung der Zerstörungen (Gebäude), einer Feststellung des Beginnes und des Endes der Trombe, des Vorhandenseins von Waldbruch–Strassen, usw., d. h. mit einer allgemeinen Spuruntersuchung. Hierbei lässt sich der grösste Teil der mündlichen Aussagen sammeln.

5. Systematische Ausmessungen von Bruchstrassen im Walde (Åsgardswegen).

6. Zusammenfassende Bearbeitung und Veröffentlichung.

Je nach den jedesmaligen Umständen werden die Aufgaben verkürzt, erweitert, vereinigt oder sonst irgendwie geändert werden können. Häufig lässt sich z. B. die Aufgabe 5 mit der Aufgabe 4 vereinigen.

Die Aufgaben 1–5 kann auch jeder Beobachter einer klimatologischen Station in Angriff nehmen, sofern er mit den diesbezüglichen Richtlinien vertraut ist. Das bietet den Vorteil eines Beginnes der Arbeiten, noch bevor Einzelheiten durch Aufräumarbeiten verwischt worden sind.

II. Die allgemeine Untersuchung der Spur.

1. Ausser dem Sammeln von Nachrichten der Tagespresse, die zuweilen etwas zu Übertreibungen neigen und daher nachgeprüft werden sollten, kommt das Aufsuchen und Befragen zufälliger Augenzeugen (Landwirte, Förster, Arbeiter im Freien, u. a.), der von der Zerstörung Betroffenen, zufälliger Flieger auf nahe gelegenen Flugstrecken, u. a. in Betracht. **W. Köppen** hat recht genaue Zeitangaben durch Befragen von Beamten des Eisenbahndienstes, sowohl der verkehrenden Züge als auch der Bahnstationen, erhalten können. Nach **A. Wegener** haben sich im ehem. Österreich Anfragen bei der Gendarmerie als zweckmässig erwiesen. Genauere Zeitangaben liessen sich wohl auch aus den nahe gelegenen oder betroffenen Fernsprechämtern erhalten. Im allgemeinen könnte man hierbei jedoch manchen Hinweis oder Meldung sowie manchen Mitarbeiter durch einen kurzen Aufruf in der Tagespresse gewinnen.

2. Es empfiehlt sich das Sammeln von möglichst zahlreichen Zeitangaben, um aus ihnen nach eingehender Kritik die zuverlässigsten auszuwählen.

3. Schätzungsweise Angaben über die Dauer der zerstörenden Winde sind erwünscht, sei es von seiten der Betroffenen, oder, was günstiger ist, von Personen, welche den Vorgang aus nächster Nähe haben beobachten können (Art der Angabe: „wenige Sekunden“, „Minuten“, „1/4, 1/2 Stunde“, usw.). Eine grössere Genauigkeit ist hierbei meist nicht zu erwarten.

4. Durch das Sammeln von Schätzungen der verursachten Schäden sollte sich der Untersuchende nicht ablenken lassen. Die Schätzungen seitens der Betroffenen sind meist etwas zu hoch, während zuverlässige Angaben später immer noch von den zuständigen amtlichen Stellen eingeholt werden können.

5. Von der Schätzung des verursachten Schadens ist der Umfang der Zerstörungen zu unterscheiden. Dieser kommt für die Beurteilung der Kraftwirkung durchaus in Betracht. Daher wären Angaben statistischen Charakters, z. B. über die Zerstörungen oder Beschädigungen verschiedener Art an Häusern einer Stadt erwünscht, sowie über ihre *örtliche Verteilung* wenn eine solche vorhanden ist.

6. Gelegentlich einer Orientierung an Ort und Stelle sollten ausser mündlichen Aussagen auch Zeichnungen gesammelt werden, wozu der Befragende nach dem Vorbild **Köppens** eine Reihe vorbereiteter Blätter aus dünner Pappe mit sich führen sollte, die im Freien bequem benutzt werden können. Die Zeichnungen der Augenzeugen können aber auch direkt in das Untersuchungsheft eingetragen werden.

7. Beim Befragen zufälliger Beobachter sollte, worauf **A. Wegener** hingewiesen hat, das Unterschätzen der Ausmasse der Trombe durch die Beobachter im Auge behalten werden.

8. Lichtbildaufnahmen der allgemeinen Zerstörungen sind dann von Wert, wenn sie irgendwie zur Bezeichnung der Art der Kraftwirkung dienen. In vielen Fällen muss dem Anfertigen von Skizzen und Zeichnungen der Vorzug gegeben werden, weil dabei das Charakteristische mehr hervorgehoben werden kann. (Vgl. C. III. 14.)

9. Die Versetzung und Verlagerung von Trümmern und anderen Gegenständen lassen sich zweckmässigerweise auch durch Skizzen festhalten. Dabei wäre auf den Ursprungs- und Fundort des Gegenstandes zu achten, sowie darauf, ob dieser in der Zerstörungs- oder umgebenden *Streuzone* gefunden wurde (rechter oder linker Seite), ob das spezifische Gewicht sich in der Art und der Weite der Verlagerung äusserte (z. B. bei Stroh, leichten Holzteilen, Baumkronen, Balken, Steinen, usw.), wenn verschiedene Gegenstände demselben Ursprungsort entstammen.

10. Von Bedeutung sind Angaben über das äussere Streufeld, das gewöhnlich in grösserem Abstände links von der Spur liegt (bis zu mehreren Kilometern). Ursprungs- und Fundort. Ausnahmsweise werden zufällige Augenzeugen auch angeben können, ob die Gegenstände beim *Herabfallen* vereist gewesen sind oder nicht.

11. Es sollte auf solche Einzelzerstörungen geachtet werden, die einen Rückschluss auf die Kraftwirkung zulassen, wie z. B. umgestürzte Mauern (deren Höhe, Breite, Dicke, Art)¹, einwandfrei *gehobene* (nicht gerollte) Gegenstände (deren Gewicht und Grösse), u. a. Diese wären genauer zu vermessen und zu beschreiben. Bäume kommen hierbei nicht in Betracht, weil sie dynamisch nichts Bestimmtes aussagen.

III. Die Untersuchung und Vermessung des Waldbruches (Åsgardsweges).

1. Kleinere Waldbrüche können zusammen mit der übrigen Spur untersucht werden. Grössere beanspruchen mehr Zeit, ihnen müssen gesonderte Tage gewidmet werden, besonders dann, wenn keine Luftbildaufnahme zur Verfügung steht.

2. Als Hilfsmittel eignet sich ein Zeichenbrett (quadriert) auf fester Unterlage mit daran befestigtem Kompass, oder ein Vermessungsbüchlein mit Kompass, Block-Einlage, Tasche, Zirkel, Bleistift (2–3 Farben). Das Blatt wird mit seiner Kante stets einer gegebenen Kompassrichtung parallel gehalten und die Fallrichtung nach der Natur eingezeichnet. Zweckmässig ist die Verwendung von Millimeter-Papier; der Masstab kann dann so gewählt werden, dass 1 mm = 1 m ist. Die Längen können abgescritten werden, sofern die Schrittlänge vorher bestimmt worden ist. Die Blätter können in einer Ecke eine Zusammenstellung des Schritt- und Metermasstabes enthalten, damit danach die Eintragungen gleich in m gemacht werden können. Das Bandmass dient nur zum Feststellen besonders wichtiger Längen, sowie zum vorbereitenden Festlegen einiger Punkte im Åsgardsweg, wenn in schwer zugänglichen Waldbrüchen durch das Abschreiten mehrerer Teilstrecken die Gesamtstrecke ungenau werden kann, weil die Einzelfehler sich hierbei summieren. Diese vermessenen Punkte dienen nötigenfalls zur Orientierung und Kontrolle.

3. Es ist zweckmässig, zuerst die Umrisse und die Grösse der Bruchstreifen festzulegen, sowie bei dieser Gelegenheit annähernd auch die Breite der Zone ausserhalb des Åsgardsweges, in welcher einzelne gebrochene Bäume vorkommen, und *stichprobenweise* auch deren Fallrichtung.

Wenn im Åsgardswege oder an seiner Grenze ein Wechsel des Waldbestandes auftritt (Hochwald, gleichmässiger Bestand, Lichtung, Buschwerk, Mischwald, Felder), sollte dies in der Skizzen- und Reinzeichnung angegeben werden. **Assmann** hat regelmässig

¹Umgestürzte Mauern, Schlote u. a. gestatten manchmal eine Berechnung des Mindestwertes der Windgeschwindigkeit, stehengebliebene Mauern dagegen eine solche des Höchstwertes.

die Art des Waldbestandes (auch des einheitlichen) an den Rändern des Bruchstreifens vermerkt.

4. Um den *Spurtypus* festzustellen, der uns Rückschlüsse auf die dynamischen Verhältnisse innerhalb der Trombe oder des Tornados bieten kann, sollte die *Methode der Querliniennmessung* angewandt werden. Der *Spurtypus* tritt im *Spurbilde* hervor.

An bestimmten charakteristischen Stellen, wie z. B. am Anfang der Spur, an Stellen mit gut ausgeprägtem Typus, an Gabelungs- und Vereinigungsstellen, vor und nach Hindernissen, am Ende der Spur, usw., wird eine bestimmte Richtung *senkrecht* zur Spur ins Auge gefasst und im Weiterschreiten dauernd eingehalten. Dabei wird die Fallrichtung derjenigen Bäume eingezeichnet, deren Wurzelweg in dieser Linie oder in ihrer Nähe (bis 4–5 m Abstand) liegt.

Es empfiehlt sich zwei, und im Falle entstehender Unsicherheit eine dritte Querlinie nahe beieinander durchzumessen (etwa in 10–30 m gegenseitigem Abstand).

Als Anhaltspunkt zum Beurteilen der zu erwartenden Spurbilder sind in Abb. 1 die vom Verfasser nach einem graphischen Verfahren theoretisch abgeleiteten Spurtypen¹ zusammengestellt. (Siehe S. 107)

5. Hinzugefügt werden sollte noch ein Typus, der „unregelmässige“, der häufig vorkommt und nur in geringem Grade eine Anlehnung an den einen oder anderen theoretischen Typus zeigt oder auch ganz unregelmässig ist.

Manchmal ist ein scheinbar unregelmässiges Spurbild durch den *Wechsel des Typus* bedingt, wobei die Regelmässigkeit oft erst bei vorliegender Vermessung eines grösseren Flächengebietes bemerkbar wird. Daher erfordert das Auftreten dieses Typus in grösseren, gleichmässigen Wäldern stets mehr Aufmerksamkeit, besonders wenn sehr verschiedene Fallwinkel vorliegen, und eine umfangreichere Untersuchung, wenn eine Fliegeraufnahme nicht den nötigen Überblick gibt.

Eine Änderung des Typus kann eintreten: beim Übergang vom Wald zum Felde, vor und nach Hindernissen, Hügeln, Tälern, usw., sowie am Anfang und Ende der Spur.

6. Zur Beschreibung und Gliederung des Spurstreifens im Walde sollten die Ausdrücke: „Seite“, „Rand“, „Mitte“, „Aussenzone“ gemäss Abb. 2 gebraucht werden². (Siehe S. 108)

7. Nicht selten findet man, dass am linken Rande mehrere Bäume oder Gruppen aus der Spur *herausfallen* und in die Aussenzone hereinragen. Diese Stellen wären zu vermerken und zu vermessen.

8. Wenn *gekreuzt übereinander* liegende Bäume irgendwie regelmässig verteilt im Äsgardswege vorkommen, etwa in einer singulären Längslinie oder in einer bestimmten Gegend häufiger anzutreffen sind, sollte dies im Spurbilde verzeichnet und angegeben werden, ob in der Reihenfolge der Überlagerung vielleicht eine Regelmässigkeit herrschte.

9. Bei unregelmässig vorkommenden gekreuzten Bäumen, z. B. in der Messlinie, sollte derjenige Baum nicht berücksichtigt werden, dessen Standort (Wurzeln) mehr als 4–5 m von der Messlinie entfernt ist.

¹Die verschiedenen Typen der Spur hängen davon ab, welcher Windgeschwindigkeit innerhalb des Tornados (Trombe) wir die zerstörende Wirkung zuschreiben und davon, wie sich die Geschwindigkeit der Rotation zu derjenigen des Fortschreitens verhält. Dieses Verhältnis ist für jede waagerechte Zeile konstant und nimmt von I–IV zu. Jede dieser Typenreihen zerfällt in eine Anzahl von Formen A–D, je nachdem, wie stark die Windrichtung innerhalb des Tornados vom *Radius* abweicht. Dieser Ablenkungswinkel ist bei A–F entsprechend 0°, 30°, 60°, 90°, 135°, 180°.

²Meteorolog. Zeitschr. 1928, S. 437.


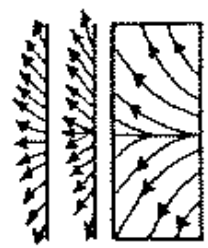
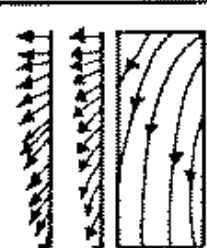
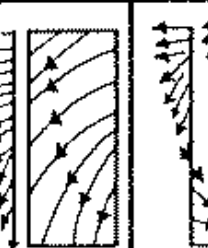
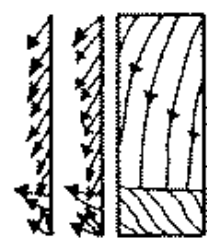



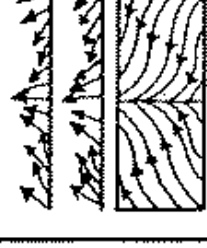

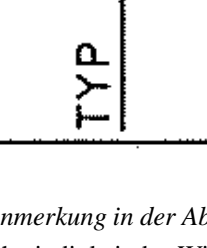
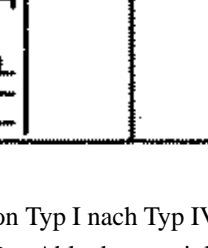
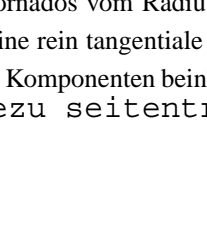
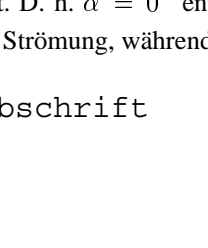
	Form e $\alpha \approx -135^\circ$		Form f $\alpha = 180^\circ$		
	Form d $\alpha = -90^\circ$				
	Form c $\alpha \approx -60^\circ$				
	Form b $\alpha \approx -30^\circ$				
	Form a $\alpha = 0^\circ$				
	TYP I	TYP II	TYP III	TYP IV	

Abbildung 1: Spur-Typen. (Anmerkung in der Abschrift: Von Typ I nach Typ IV nimmt das Verhältnis von Rotations- zu Translationsgeschwindigkeit des Wirbels zu. Der Ablenkungswinkel α gibt an, wie stark die Windrichtung innerhalb des Tornados vom Radius abweicht. D. h. $\alpha = 0^\circ$ entspricht reines radiales Einströmen, $\alpha = -90^\circ$ bedeutet eine rein tangentielle zyklonale Strömung, während $\alpha = -30^\circ$ und -60° sowohl radiale als auch tangentielle Komponenten beinhalten.)

Nahezu seitentreue Abschrift

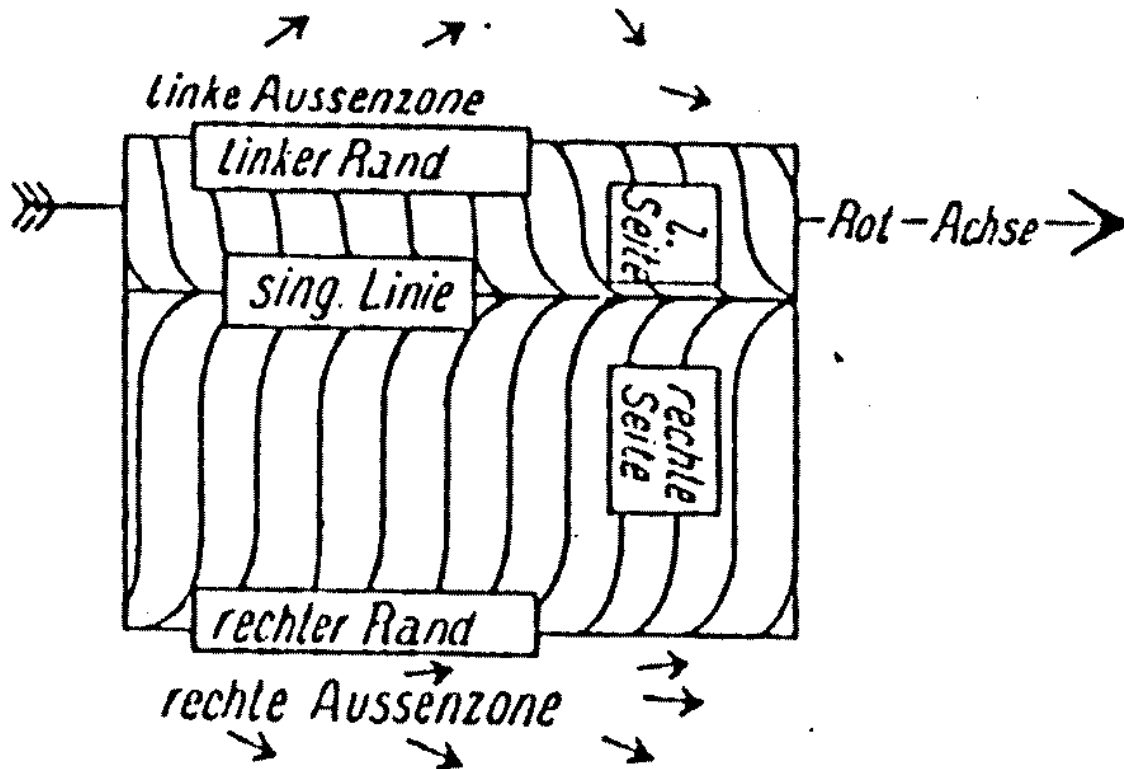


Abbildung 2: Die Gliederung eines Äsgardsweges.

Wenn der Abstand kleiner ist, soll derjenige Baum berücksichtigt werden, dessen Stärke und Art am meisten der Umgebung entspricht; bei einer Gleichheit beider entscheidet die Form und Grösse der Krone, oder es wird die Fallrichtung des unteren vermerkt. Wenn der andere Baum aber besser in das Spurbild passt, sollen beide verzeichnet werden. Die Reihenfolge der Überlagerung wird leicht durch Farbstifte bezeichnet oder durch eine bestimmte Numerierung.

10. Dazwischen erfolgen die Überlagerungen durch eine gegenseitige Beeinflussung zweier Kronen oder durch die zufällige Form einer Wurzelscheibe, durch welche eine Fallrichtung bevorzugt werden kann. Von derartigen *zufällig* gekreuzten Bäumen braucht nur ein einziger gemäss Punkt 9 verzeichnet zu werden.

11. Das Aufsuchen von Bäumen, deren Stämme, insbesondere aber deren stehengebliebene Stümpfe eine Drehwirkung zeigen (in Fasern zerdreht sind), braucht erst an zweiter Stelle zu erfolgen, d. h. falls dazu die Zeit vorhanden ist, weil, wie nachgewiesen, beide Arten der Drehung auf beiden Seiten der Spur vorkommen können, wenn auch nicht mit gleichem Verhältnis.¹

Sollte diese Untersuchung vorgenommen werden, so wäre eine grössere Anzahl derartiger Bäume zu ermitteln, um das Verhältnis berechnen zu können.

12. Auch an Kornfeldern kann man in einigen Fällen deutlich ausgeprägte Spurbilder antreffen und Konvergenz-Linien feststellen. Auch hier empfiehlt es sich — wenn dazu eine Möglichkeit vorhanden ist — eine Vermessung der Winkel vorzunehmen, unter denen die Halme konvergieren oder gebeugt sind.

¹Neuerdings sind vom Verfasser einige deutlich zerdrehte Bäume sogar in einem Waldbruch, der von einer typischen Linienböe verursacht worden war, festgestellt worden.

13. Eine ausführliche Vermessung eines ganzen Gebietes braucht nicht durchgeführt zu werden, sofern Luftbildaufnahmen vorliegen. Aber auch bei vorhandenen Aufnahmen dürfte mitunter zur Entscheidung von Fragen, die bei der Bildanalyse auftreten, eine Kontrollvermessung einer oder einiger Querlinien nötig sein. (Vgl. Abschnitt A)

Selbst dann, wenn eine Vermessung am Boden schon durchgeführt ist und Luftbildaufnahmen später möglich werden, sollten diese gemacht werden, weil ein Luftbild mehr zeigt als eine Vermessung.

14. Gewöhnliche Lichtbildaufnahmen im Waldbruch sollten stets von einem erhöhten Standpunkt aus gemacht werden. Aufnahmen aus Stativhöhe zeigen wenig charakteristische Einzelheiten.

Eine Angabe über die Brennweite des Apparates ist stets erwünscht.

D Die Zusammenfassung und Bearbeitung.

I. Die Bearbeitung.

1. Die zusammenfassende Bearbeitung sollte von einem Fachmann ausgeführt werden, wobei es vorteilhaft ist, wenn der Bearbeitende selbst die Spuraufnahme gemacht hat.

Neben einer kritischen Verarbeitung des gesamten Untersuchungsmaterials sollte eine möglichst vollständige Wetteranalyse gegeben werden. Die Einzelheiten bleiben hierbei dem Fachmann überlassen. Um eine möglichste Gleichförmigkeit anzustreben, sei folgender Umriss empfohlen.

2. Die Grosswetterlage. Das Druck-, Temperatur-, Feuchte- und Bewegungsfeld am Boden und in verschiedenen Höhen vor, während, nach der Trombe (dem Tornado).

Die Luftkörperverteilung und deren Wechsel. Kinematische Grenzlinien und Fronten am Boden und in der Höhe. Fall- und Steiggebiete des Luftdruckes. Stratosphärische und troposphärische Einflüsse. Felder der äquivalent-potentiellen Temperatur, der spezifischen Feuchte oder des Taupunktes.

3. Das Druck-, Temperatur-Feld usw. in der Nähe der Trombe möglichst genau. Ort der Trombe, des Regens bzw. Hagels. Isochronen. Sturmzonen ausserhalb der Trombe. Ausnahmsweise dürfte es vielleicht auch möglich sein, das Bewegungsfeld in der näheren Umgebung der Trombe festzustellen (laminare Rauchfahnen u. a.).

4. Wie gliedern sich die speziellen Felder der Trombenumgebung in die Grosswetterlage ein? Abstand und Zusammenhang mit den Wirkungszentren der Grosswetterlage. Die Trombe und der Luftmassenwechsel. Die Trombe und die „Höhendivergenz“. Inversionen. Windschichtungen.

Bei einer Zusammenfassung wird auch die Zuggeschwindigkeit, Lebensdauer und Weglänge der Trombe endgültig bestimmt.

5. Bei einem Tornado: handelt es sich um einen zyklonalen oder konvektiven Typus?

6. Die Bearbeitung sollte möglichst das ganze zugängliche synoptische als auch das aerologische Material verwerten, ebenso die Beobachtungen des Wolkenzuges, die Pilotbeobachtungen des Windes in der Höhe, wie auch die zufällig angestellten Beobachtungen zuständiger Streckenflieger u. a.

II. Die Veröffentlichung.

1. Wie bei jeder anderen Analyse atmosphärischer Zustände wird auch hier der Wert der Veröffentlichung durch Karten und Abbildungen beträchtlich erhöht.
2. Ausser der Veröffentlichung der Gesamtergebnisse empfiehlt es sich gelegentlich, auch kürzere Zusammenfassungen an geeigneter, den Beobachtern zugänglicher Stelle zu veröffentlichen, um diese auf eine Mitarbeit in künftigen Fällen vorzubereiten.
3. Zufällige Beobachtungen von Tromben kürzerer Dauer oder von solchen, zu deren genauerer Untersuchung keine Möglichkeit vorhanden ist, sollten ebenfalls veröffentlicht werden. Das gilt auch von Kleintromben, d. h. nicht kondensierenden kleineren Wirbeln, sofern sie irgendwie eine charakteristische Form oder Wirkung zeigen. Mitunter bilden auch diese über Wasserflächen eine Art Wasserfuss oder charakteristische Wellenbewegung, heben Gegenstände auf (wie hoch?) und lassen sie herabfallen (wo?). Manchmal lässt sich nach emporgehobenem Staub der Zusammenhang mit einer Wolke feststellen und anderes mehr.

Sofern diese Notizen sachlich abgefasst sind, wird wohl manche zuständige Fachzeitschrift, wie z. B. im Deutschen Reich die Meteorologische Zeitschrift, die Annalen der Hydrographie und Marit. Meteorologie, die Zeitschrift für angewandte Meteorologie, in England The Meteorological Magazine u. a. durch ihren Abdruck zur Sammlung derartiger Fälle beitragen, denn auch die Frage nach der Entstehung von Kleintromben dürfte erst dann ganz geklärt werden können, wenn uns das diesbezügliche mikro-aerologische Material zur Verfügung stehen wird.

III. Eine Beratungs- und Sammelstelle.

Eine Sammelstelle für *Sonderabdrücke* von Tromben- und Tornadoberichten sowie von *Nachrichten* und *Beschreibungen* von Luftwirbeln befindet sich beim Verfasser. Zusendung von Sonderdrucken (auch früherer Jahrgänge) sowie von Nachrichten, Beschreibungen, *Zeichnungen* und *Photokopien* auf *den Namen des Verfassers*, Universität Tartu (Dorpat), Estland sind erwünscht und werden mit Dank entgegengenommen. Die Sammelstelle kann Auskunft und Rat über den Abdruck noch nicht veröffentlichter Beobachtungen sowie in anderen einschlägigen Fragen erteilen.
