

die Bodenwindverhältnisse und Wetterereignisse nahe der Erd- oder Meeresoberfläche geben. Für die Erstellung von Wetterberichten und Warnungen an Schifffahrt und Fischerei bleiben Bodenbeobachtungen und Funkwettermeldungen deshalb nach wie vor die wichtigste Unterlage.

Bei der großen Bedeutung von Wetterbeobachtungen und Wettermeldungen auf See auf die Seewetterdienste und damit für die meteorologische Sicherung der Schifffahrt und Fischerei bitten wir auch weiterhin um Ihre Mitarbeit.

H. Sczepanski

Neue Beobachtungs- und Verschlüsselungsanweisung

Nach Überarbeitung wesentlicher Teile wurde die 4. Auflage der "Anweisung für das Anstellen und Verschlüsseln von Wetterbeobachtungen an Bord deutscher Schiffe" herausgegeben. Sie ist als Lose-Blatt-Sammlung angelegt, so daß Änderungen durch Seitenaustausch vorgenommen werden können.

Die neue Anweisung und die anderen Beobachtungs- und Verschlüsselungshilfsmittel wie Schlüsseltafeln, Taupunkttafel, Wolken tafeln und Seegangsbilder werden in einem blauen Ordner als "Handbuch für den Wetterbeobachtungsdienst an Bord deutscher Schiffe" zusammengefaßt. Es ist zu empfehlen, auch alle Rundschreiben des Seewetteramtes an die Schiffsleitungen als Anhang in diesen Ordner aufzunehmen. Damit sind alle Unterlagen, die den Wetterbeobachtungsdienst auf See betreffen, gesammelt untergebracht und für den Beobachter stets griffbereit.

Diese Kopien sind im Rahmen der technischen Vorschriften zu verwenden und werden

Die bereits angelaufene Verteilung dieses Handbuches erfolgt durch die meteorologischen Hafendienste bei ihren Schiffsbesuchen.

H. Sczepanski

Tornados und Wasserhosen

1. Erscheinungsbild von Tornado und Wasserhose

1.1. Allgemeines

Zu den gefährlichsten Wettererscheinungen unserer Erde gehören die Tornados. Zwar ist ihre Ausdehnung nur gering verglichen mit den tropischen Wirbelstürmen oder den außertropischen Sturmtiefs, dennoch richten sie schreckliche Verwüstungen an, da die in ihnen auftretenden Windgeschwindigkeiten unvorstellbar groß sind. Allein in den USA kamen von 1930 bis 1975 etwa 6767 Menschen durch Tornados ums Leben.

Bei einem Tornado handelt es sich um einen Trichter oder Rüssel, der nach unten aus einer Gewitterwolke herausragt. Dieser Trichter wirbelt sehr schnell, auf der Nordhalbkugel meist entgegen dem Uhrzeigersinn, also im gleichen Sinne wie ein Tiefdruckgebiet (zyklonal). Einige wenige Tornados rotieren aber auch andersherum (antizyklonal).

Der Wirbel entsteht in der Wolke. Man hat mit Hilfe des dualen Doppler-Radars schon 20 Minuten, bevor der sich bildende Tornado die Erde erreicht, einen Wirbel in etwa 3,5 km Höhe in der Wolke entdeckt. Dieser pflanzt sich dann nach unten fort und wächst trichterförmig aus der Wolkenuntergrenze

Kempfeld 1977. Tornados u. Wasserhosen, Wetterlotse 29 Nr. 367/368, S. 101-124

heraus. Wenn er sich dem Erdboden auf wenige 100 m genähert hat, beginnt auch dort die Luft zu rotieren, wenig später erreicht der Wolkentrichter den Grund; der Tornado ist fertig.

Trichter oder Rüssel bestehen übrigens aus Wolkentröpfchen, also aus kondensiertem Wasserdampf. Nicht immer ist ein Trichter oder Rüssel sichtbar und dennoch kann der Tornado sehr heftig sein, wie z.B. der Xenia-Tornado (Xenia ist eine Stadt in Ohio, USA) vom 3. April 1974. (Abb. 30). Er war einer der schwersten, die je beobachtet wurden.

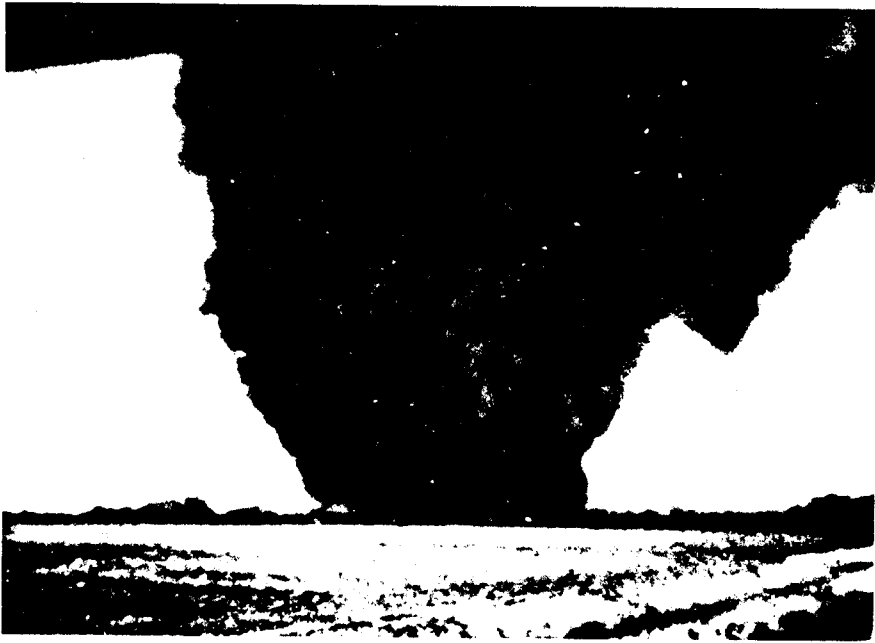


Abb. 29: Tornado vom 30.08.1974 in der Nähe von Great Bend, Kansas, USA



Abb. 30: Xenia-Tornado am 03.04.1974, 16.39 Uhr. Obwohl ein Trichter oder Rüssel fehlt, treten schwerste Verwüstungen auf (Stufe F 5).

Wasserhosen treten über See auf, sie sind meist nicht so intensiv wie die Tornados, da sie oftmals aus nur leichten Gewittern oder Schauern hervorgehen. Sie stellen sonst aber das gleiche Phänomen dar. Am Fußpunkt des Rüssels wird Wasser hoch emporgewirbelt, das ihn ringförmig umgibt (s. Abb. 31).
Tornados und Wasserhosen treten oft in Familien auf, d.h. daß der tornadoerzeugende Teil einer Gewitterwolke manchmal mehrere Tornados hervorbringt.



Abb. 31: Wasserhose vom 28.09.1976 vor der texanischen Küste bei Galveston; Foto: R. Klein

1.2. Auswirkungen

Die Luft am Boden rotiert sehr schnell um den Fußpunkt des Trichters oder Rüssels, so daß sie sich mit Staub und Trümmern anreichert. Ihre Geschwindigkeit läßt sich nicht direkt messen, da kein Gerät diesen Windstärken standhält, man kann sie aber aus dem Grad der Zerstörungen sowie durch indirekte Methoden abschätzen, danach sind Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s (360 km/h) nicht ausgeschlossen.

Schon die horizontalen Druckunterschiede in einem Tornado sind sehr stark und können

zwischen Außenrand und Zentrum bis zu 50 mbar betragen. Zusätzlich zur normalen Druckabnahme mit der Höhe erzeugt der Tornado in den untersten Schichten (etwa 50 Metern) einen Sog nach oben und beschleunigt die Luft im Extremfalle vom Boden bis 40 m Höhe von 0 auf 70 m/s. Daher ist es erklärlich, daß Personen und sogar Autos und Lokomotiven von Tornados angehoben werden können. Dieser starke Sog verursacht weitere Zerstörungen.

Da die Tornados mit der sie erzeugenden Gewitterwolke ziehen, hinterlassen sie Pfade der Verwüstung. Der längste, der in den USA beobachtet wurde, ist 350 km lang, der kürzeste 2-3 m; die Breite des Pfades schwankt zwischen 2 m und 3 km. Ein für die Vereinigten Staaten typischer Tornado erreicht am Boden eine Windgeschwindigkeit von 200 bis 230 km/h, sein Zerstörungspfad ist 8 bis 16 km lang und 75 m breit und verläuft von Südwest nach Nordost.

Die von Fujita und Pearson aufgestellte Stärke-Skala klassifiziert die Tornados nach dem Grad der Zerstörungen, die sie anrichten.

Stufe	Fujita-Pearson-Stärke-Skala
F0	Leichte Zerstörungen
F1	Mäßige "
F2	Beträchtliche "
F3	Schwere "
F4	Schwere Verwüstungen
F5	Unvorstellbare "

1.3. Beobachtungsmethoden

I. Die meisten Tornados und Wasserhosen werden durch Augenbeobachtung festgestellt. Es gibt

dramatische Schilderungen von Menschen, die einen Tornado aus der Nähe erlebten und z.T. auch fotografierten. Kapitän Rudolf Klein, Hapag Lloyd sandte dem Seewetteramt u.a. das Bild (Abb. 31) von einer Wasserhose, die er an Bord seines Schiffes, der HOECHST, vor der texanischen Küste bei Galveston aus einem Abstand von 2 bis 3 sm mit 135 mm Teleobjektiv fotografiert hat. Er schrieb dazu:

"Wir befanden uns zu jener Zeit kurz vor einem energiegeladenen Kaltfrontdurchgang mit enormen Regengüssen. Zur Zeit der Aufnahme zogen 3 Wasserhosen parallel zum Einlaufkurs der HOECHST im Norden vorüber, wobei wir dieser einen am nächsten standen".

Bei dieser Beobachtung handelt es sich also um eine Wasserhosen-Familie.

Manche Tornados werden erst nachträglich auf Grund des Zerstörungspfadcs entdeckt, speziell dann, wenn sie sich bei Dunkelheit und in schwach besiedelten Gebieten ereignen haben.

II. Zwar können einzelne Tornados nicht vom Satelliten aus bemerkt werden, wohl aber lassen sich Gebiete einkreisen, wo schwere Gewitter, die Tornados produzieren können, auftreten.

III. Spherics nennt man das Knacken im Radio, das durch Blitze in der Umgebung hervorgerufen wird. Mittels besonderer Geräte läßt sich die Position des Gewitters orten und man kann sogar Gewitter mit Tornados von solchen ohne Tornados unterscheiden.

IV. Auf dem Schirm des Wetterradargerätes lassen sich Schauer- und Gewitterechos gut ausmachen. Eine Hakenform am Rande besonders intensiver Echos ist ein charakteristisches

Anzeichen für Tornados. Leider gibt es auch Tornados, bei denen kein Hakenecho auf dem Radarschirm aufzufinden ist, so daß diese Methode nicht zufriedenstellen kann.

V. Besser ist da das Doppler-Radar geeignet. Mit ihm kann der Wirbel schon in der Wolke entdeckt werden, aus dem sich der Tornado später entwickeln wird. Die Zeit, bis der Tornado den Boden berührt, reicht aus, um die Bevölkerung zu warnen, die dann Schutzräume aufsuchen kann. Die Reichweite des Doppler-Radars beträgt etwa 75 km.

1.4. Geographisches und zeitliches Auftreten

Die meisten Tornados der Welt gibt es im Mittleren Westen der USA; aber auch in Uruguay, Neuseeland, Australien, Japan, Bangladesch und Westeuropa - dort besonders in Südengland - sind sie nicht unbekannt. Ganz selten treten welche in Deutschland, Rußland, Israel und Südafrika auf. Frei von diesen Wettererscheinungen sind Wüsten- und Urwaldgebiete sowie die Polarregionen.

Wasserhosen gibt es hauptsächlich vor der Golfküste der USA (s. Bericht von Kapitän Klein), in der Karibik, im westlichen Mittelmeer (Straße von Gibraltar und Alborangebiet sowie Seegebiet vor der italienisch-französischen Küste). Auch in den Seegebieten um Japan dürften welche vorkommen. Vereinzelt findet man sie auch im Englischen Kanal, in der südlichen Nordsee und in der Deutschen Bucht. Sogar etwas häufiger sind sie in der westlichen und mittleren Ostsee. In tropischen Wirbelstürmen (Hurrikanen, Taifunen) bilden sich ziemlich oft Wasserhosen. Sie wachsen dort aus den mächtigen Cumulonimben heraus und stellen zusätzlich zu den ohnehin schon starken Winden eine weitere Gefahr dar.

Die Mehrzahl der nordamerikanischen Tornados tritt im Frühling und Frühsommer auf (etwa je 165 im Mai und Juni), aber auch im Herbst und Winter gibt es welche (ungefähr je 20 im Dezember und Januar); pro Jahr sind es 750 bis 1000. In Südengland hingegen ereignen sich die meisten im Spätherbst und Winter; sie entstehen, wie später geschildert werden wird, bei anderen Wetterlagen als die amerikanischen.

Wasserhosen vor der USA-Küste und in der Karibik sind im Sommer am häufigsten, während sie im Mittelmeer meist im Herbst, seltener im Frühling auftreten. Sommer und Spätwinter sind dort fast frei von Wasserhosen.

2. Atmosphärischer Zustand und Zusammenwirkung verschiedener Prozesse

2.1. Wetterlagen

Eine für die Tornadoentstehung in den USA typische Wetterlage ist in der Abbildung 32 dargestellt. Vor der Kaltfront einer kräftigen jungen Zyklone im Gebiet der Großen Seen strömt warme und sehr feuchte aus dem Golf von Mexiko stammende Luft nach Nordosten. Auf der Rückseite der Kaltfront stößt trockene arktische Kaltluft weit nach Süden vor. Durch das rasche Voreilen der Kaltluft wird der Warmsektor eingeengt, die darin befindliche feuchtlabile Warmluft zum Aufsteigen gezwungen. Dies geschieht an den Scherungslinien, den sog. Squall-Lines (als \times gezeichnet), die sich in der zyklonalen Strömung des Warmsektors bilden. Manchmal tritt nur eine, teilweise aber auch mehrere solcher Linien auf (s. Abb. 32). An ihnen konzentriert sich das Wettergeschehen; es bilden sich starke Gewitter, wovon etwa die

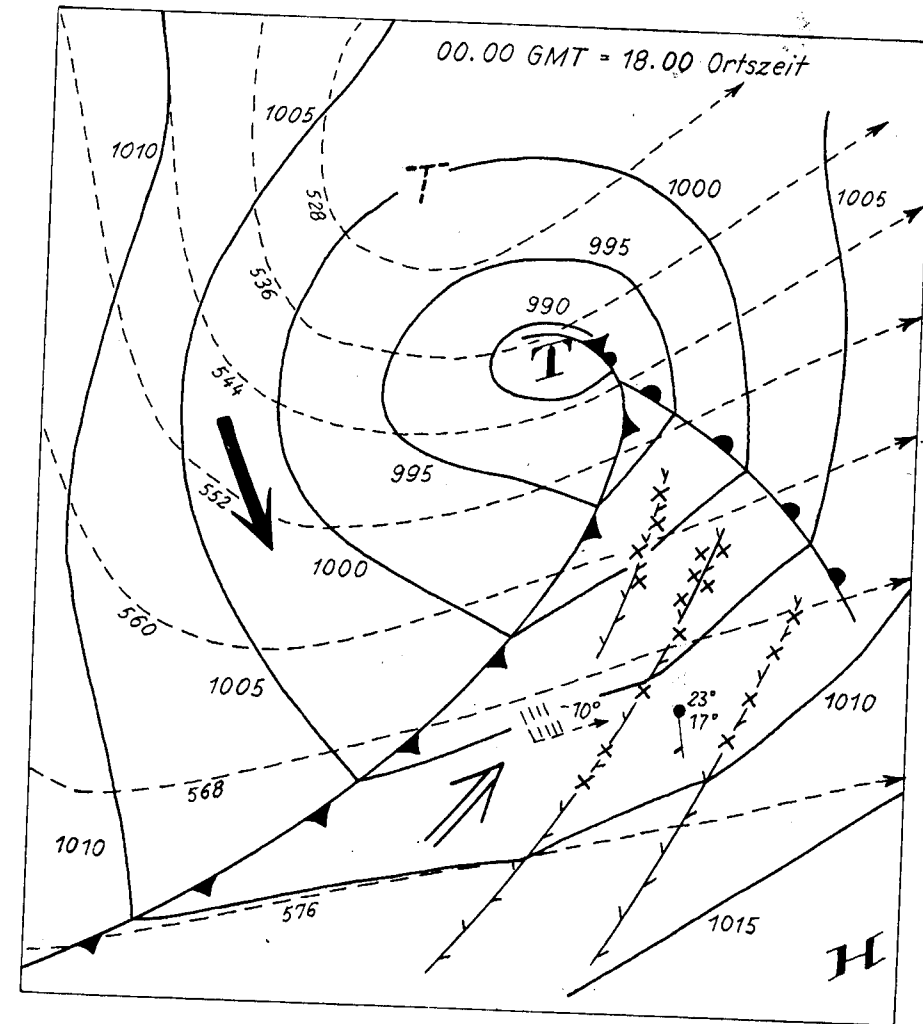


Abb. 32: Typische Tornado-Wetterlage in den USA.
ausgezogen: Bodenwetterlage,
x Tornados, \times Scherungs-Linien;
gestrichelt: Isohypsen im 500 mbar-Niveau

Hälfte Tornados hervorbringt. Diese finden also meist innerhalb einer einheitlichen warmen Luftmasse statt, seltener in Kaltfrontgewittern. Das gleiche gilt für die Wasserhosen vor der amerikanischen Golfküste.

Etwas anders ist die Entstehungsursache bei den Wasserhosen im westlichen Mittelmeer. Sie treten bei den sog. Contrastes (Kontrastwinden) auf, wenn z.B. in der Straße von Gibraltar und dem Alborangebiet an der spanischen Küste ein Ostwind, an der afrikanischen Küste hingegen ein Westwind weht. Das ist dann der Fall, wenn ein von Ostnordost nach Westsüdwest gerichteter Trog oder Kaltfront über dem Meer liegen. An der Grenze zwischen beiden Windsystemen herrschen sehr starke Windscherungen, außerdem muß die im Süden lagernde Luft feuchtwarm und labil sein. Das ist besonders im Herbst der Fall, wenn sie sich über dem noch warmen Mittelmeerwasser erwärmt und mit Feuchtigkeit angereichert hat.

In Südengland und im Englischen Kanal treten Tornados und Wasserhosen im Frühwinter auf, wenn stark ausgeprägte Tröge mit sehr kalter Luft in den oberen Niveaus nach Südosten vorstoßen. Eine starke Windscherung, insbesondere Windzunahme mit der Höhe muß an der Troglinie vorhanden und die in Bodennähe lagernde Luft sehr feucht und labil sein (angewärmte gealterte Polarluft).

2.2. Boden- und Höhenverhältnisse bei der Entstehung von Tornados

Umstritten ist die Bedeutung von Einschüben trockener und kalter Luft in mittleren Schichten (2 bis 5 km Höhe). Tatsache ist,

daß Wolkenluft, die auf eine trockenadiabatische Temperaturabnahme mit der Höhe (1°C pro 100 m) trifft, stark nach oben beschleunigt wird, andererseits können aber Wolkentröpfchen verdampfen, wodurch die Aufwärtsbewegung gehemmt wird. Die meisten Tornadoforscher achten aber den Einschub einer trockenen Luftmasse mit trockenadiabatischem Temperaturgradient als notwendig für die Tornadobildung.

Wesentlich ist, daß die in den Gewittern hochgerissene Luft in der Höhe abtransportiert wird, damit neue Luft nachströmen kann. Diese Voraussetzung ist dann erfüllt, wenn die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, je mehr, desto besser. Das ist in unserem Beispiel (Abb. 32) der Fall. Während der Wind am Boden aus 170° kommt und 7 kn stark ist, dreht er bis 500 mbar auf 240° und nimmt auf 45 kn zu. Die Windänderung mit der Höhe bei typischen Tornado-Lagen ist in Abb. 33 dargestellt. Die Länge des Pfeiles gibt die Windgeschwindigkeit an.

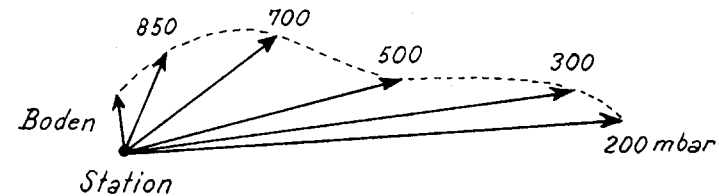


Abb. 33: Höhenwinde bei typischen Tornado-Lagen

Nun seien noch einmal kurz die Voraussetzungen für die Tornadoentstehung in den USA

dargestellt:

- I. Luftdruck am Boden niedriger als normal. (Er liegt meist zwischen 995 mbar und 1010 mbar und ist damit etwa 10 mbar, im Winter sogar 20 mbar, tiefer als im klimatologischen Mittel.)
- II. Feuchtwarme labile, aber nicht heiße Luft am Boden. (Der Taupunkt in Bodennähe ist wesentlich höher als normal, im Winter bis zu 20°C.)
- III. Trockenere Luft in der Höhe, scharfe Grenze zwischen beiden Luftmassen.
- IV. Deutliche Windscherung zwischen Boden- und Höhenwinden (meist Südwind am Boden mit etwa 7 kn, Westsüdwestwind in der Höhe, oft mit 40 kn in 500 mbar, 60 kn in 200 mbar.)

Leider kommen vereinzelt auch Tornados bei ganz uncharakteristischen Verhältnissen vor, also z.B. bei Bodenluftdruckwerten bis 1018 mbar oder bodennahen Temperaturen, die kleiner sind als 13°C oder größer als 32°C, Taupunkten von weniger als 5°C oder nur geringfügiger Windzunahme mit der Höhe. Es handelt sich also um einen weiten Bereich der mit Tornados verknüpften Bedingungen, wobei die Tornados, die bei ungewöhnlichen Lagen entstehen, meistens verhältnismäßig schwach sind.

Ganz ähnlich wie die Bedingungen für die Tornado-Entstehung sind auch die Bedingungen für die Bildung schwerer Gewitter ohne Tornados. Beide Fälle sind etwa gleich häufig. Daher ist es für den amerikanischen Meteorologen kaum möglich, sie in der Vorhersage zu unterscheiden. Ein Unterscheidungsmerkmal scheint zu sein, daß die Windgeschwindigkeit für die Tornadobildung im 500 mbar-Niveau größer als 30 kn ist und die Windrichtung 225° bis 250° beträgt ; bei

schweren Gewittern ohne Tornados liegt sie bei 280°. Leider existieren auch Ausnahmen von diesen Regeln.

Die tornadoerzeugenden Gewitter ziehen nicht mit der allgemeinen sie umgebenden Strömung. Die Abweichung vom Wind der Umgebung heißt Relativwind (s. Abb. 34). Tor-

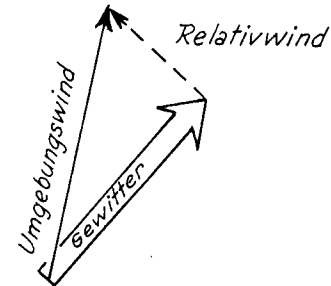


Abb. 34: Erläuterung des "Relativwindes"

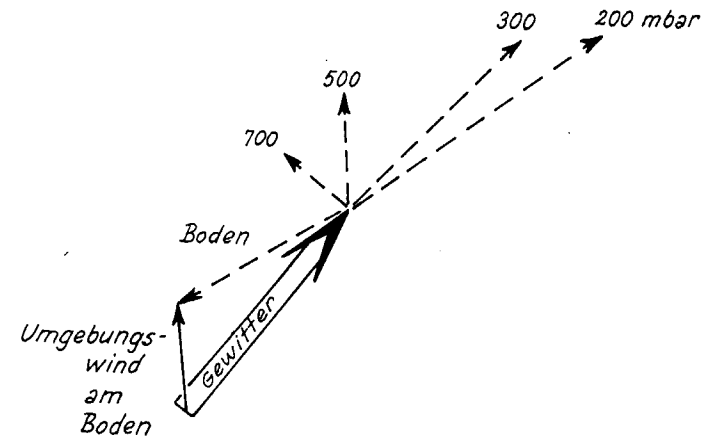


Abb. 35: Relativwinde bei typischen Tornado-Lagen (gestrichelt)

nadonaher Radiosondenaufstiege zeigen starke Relativwinde in unteren Niveaus, schwache in mittleren (700 und 500 mbar) und starke in oberen Niveaus (Abb. 35). Wenn das Gewitter nach rechts aus dem mittleren Umgebungswind ausschert (wie in Abb. 35), kann dies zur Intensivierung und noch weiterem Ausscheren Anlaß geben.

2.3. Die Tornado-Zyklone

Mit dem Begriff "Tornado-Zyklone" ist nicht das großräumige Tiefdruckgebiet gemeint, in dessen Warmsektor die Tornados entstehen, sondern der tornadoerzeugende Teil eines Supergewitters. Er befindet sich meist hinten rechts (auf die Zugrichtung des Gewitters bezogen) in einem schweren Gewitter und wird manchmal durch ein hakenförmiges Echo auf dem Radarschirm sichtbar (s. Abb. 36).

Das Supergewitter hat einen horizontalen Durchmesser von 20 bis 80 km und kann mehrere Tornadozyklonen enthalten. Es reicht bis zur Tropopause hinauf, ja durchstößt sie im Hauptaufwindgebiet noch um mehrere Kilometer (Amboßdom), so daß solche Gewitter bis 20 km Höhe emporragen können.

Die Tornadozyklone hat einen Radius von maximal 10 Kilometern; 3 bis 4 km beträgt der Durchmesser der Wallwolke, 1 bis 3 km der des Tornadowirbels, dargestellt durch die Podestwolke. 30 bis 300 m breit ist meistens der Zerstörungspfad; der "Rüssel" hat einen Durchmesser von etwa 30 m. Diese Maße sind "Daumenwerte"; nur selten wird man all diese Erscheinungen mit dem Auge beobachten können. (Abb. 37).

Aus der linearen Zugbewegung (v_{trans}) des Supergewitters sowie aus der Rotation der Tornadozyklone (v_{rot}) ergibt sich eine

Zykloiddbahn der Tornadowirbel (s. Abb. 36), wobei die Verlagerungsgeschwindigkeit der Tornados gegenüber dem Erdboden in den Punkten P_1 , P_2 am größten ist ($v = v_{\text{trans}} + v_{\text{rot}}$, für $v_{\text{trans}} = 50$ kn und $v_{\text{rot}} = 20$ kn beträgt v in den Punkten P_1 , P_2 70 kn), während sie in den Punkten Q_1 , Q_2 ihr Minimum hat ($v = v_{\text{trans}} - v_{\text{rot}} = 30$ kn). Es gibt natürlich auch Fälle, wo Tornados nicht so schnell ziehen, jedoch sind etwa 35 kn das Mittel, so daß sich Tornados, besonders in den Punkten P_1 , P_2 erstaunlich schnell verlagern. Bei einer Zuggeschwindigkeit von 30 m/s (60 kn) und einem Durchmesser von 300 m ist der Tornado in nur 10s über einen Ort hinweggerast und hat sein Zerstörungswerk vollendet!

So wurde z.B. die Stadt Xenia von dem in Abb. 30 festgehaltenen Tornado - er hatte die Stärke F5- in weniger als 1 Minute verwüstet, 34 Menschen starben und 1150 wurden verletzt.

Die Tornadozyklone benötigt für eine Umdrehung in vielen Fällen knapp 1 Stunde; in der Zeit ist sie etwa 70 km weit gezogen. Die meisten Tornadozyklonen drehen zyklonal (entgegen dem Uhrzeigersinn, s. Abb. 36). Eine Tornadozyklone kann mehrere Tornadowirbel hervorbringen (in Abb. 36 sind es 2). Man nennt sie dann Tornadofamilie. Auch Wasserhosen treten oft in Familien auf.

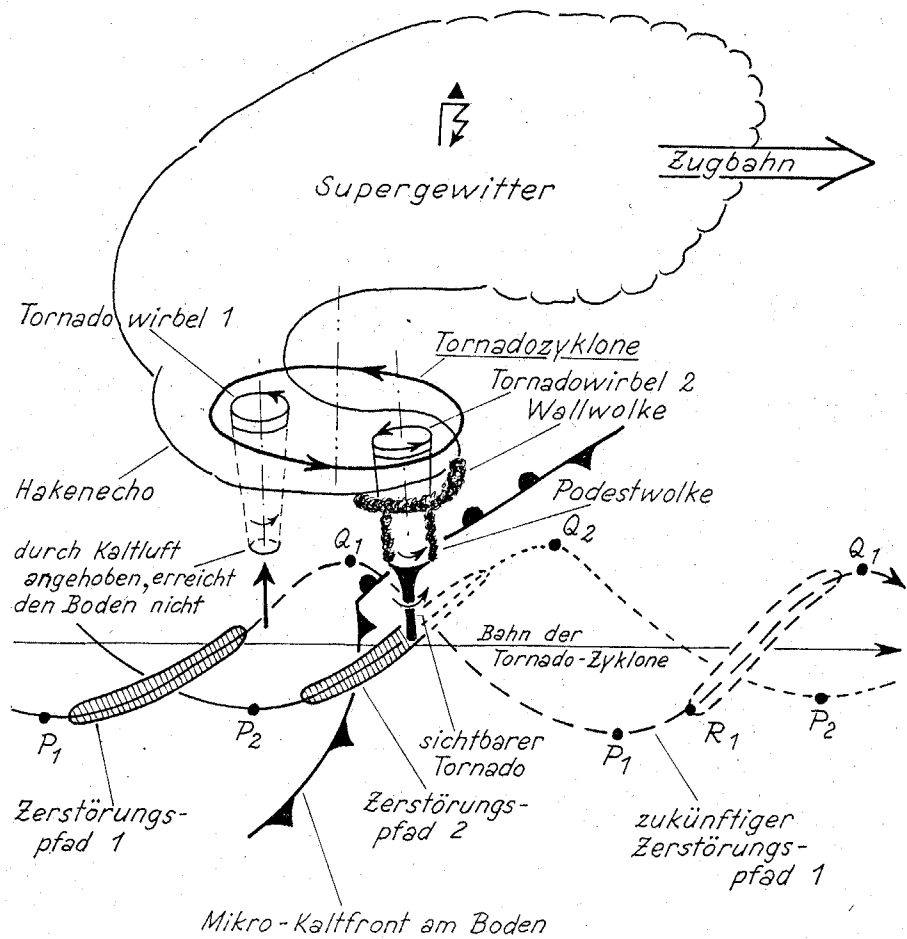


Abb. 36: Schema einer Tornado-Zyklone



Abb. 37: Tornado vom 03.04.1974, 20.45 GMT, in der Nähe von Nabb, Indiana, USA
 Wall Cloud: Wallwolke
 Pedestal: Podestwolke
 Funnel: Trichter

Die aus dem Supergewitter ausströmende Kaltluft schiebt sich keilförmig unter die feuchte Warmluft und bildet am Boden die Mikro-Kaltfront (s. Abb. 36). Gerät ein Tornado über diese bodennahe Kaltluftschicht (wie Tornado wirbel 1 in Abb. 36), so wird er vom Boden abgehoben und richtet keine Zerstörungen mehr an, obwohl der rotierende Wolkentrichter sichtbar bleibt. Wenn dieser dann das Gebiet

der bodennahen Kaltluft verläßt (Punkt R₁ in Abb. 36) erreicht er erneut den Boden und hinterläßt eine Schneise der Zerstörungen.

2.4. Energetik und Dynamik

Oftmals haben die Tornadorüssel eine seltsame gebogene Form. In diesem Falle liegen sie genau an der Grenze zwischen der Warmluft und der gewittererzeugten Kaltluft. Diese Mikro-Kaltfront stellt nämlich eine mesoskalige Scherlinie dar, welche neben der oberen in der Wolke gelegenen Energiequelle eine weitere darstellt. Falls die erste erschöpft ist, vollzieht sich eine vertikale Streckung; der Trichter wird zum Rüssel, dann zu einem dünnen Schlauch, der seltsame Krümmungen annehmen kann und bald darauf abstirbt (s. Abb. 38).

Allgemein bekannt ist, daß sich in einem Tornado Druckgradientkraft und Zentrifugalkraft die Waage halten, wie in einem Badewannen-Wirbel. Unterhalb der Wolkenbasis nimmt die Zentrifugalkraft nach unten hin stark zu, daher muß auch die Druckgradientkraft wachsen, d.h. die Druckunterschiede zwischen außen und innen verstärken sich. Für eine maximale Windgeschwindigkeit von 100 m/s, die einige 100 m über dem Boden erreicht wird, ergibt sich eine Druckdifferenz von 50 mbar (Δp in Abb. 39). Innerhalb der Grenzschicht nehmen die Druckdifferenzen infolge Reibung wieder ab.

Die Energie wird durch das radiale Einströmen geliefert.

In Höhe der Wolkenuntergrenze herrscht nach Edwin F. Danielsen eine sehr starke Abwärtsbewegung im Tornadokern (s. Abb. 39).

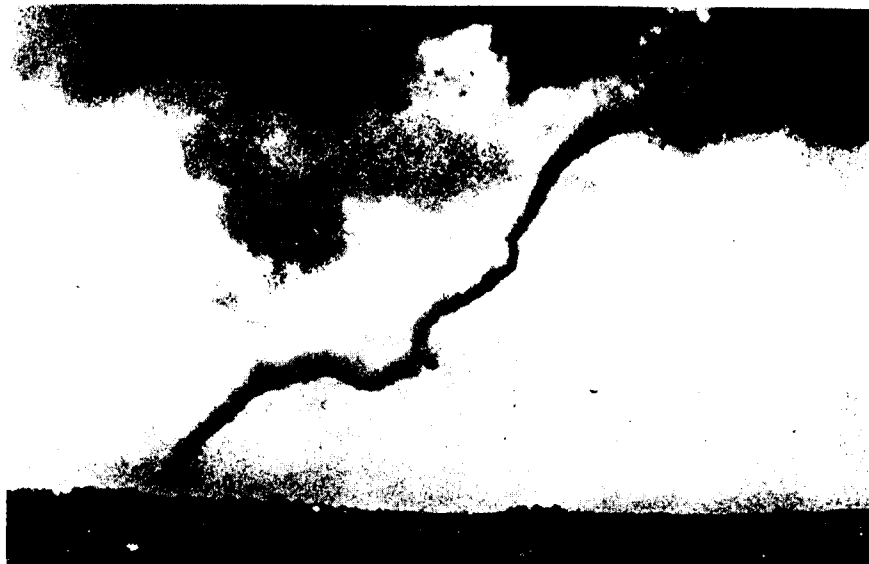
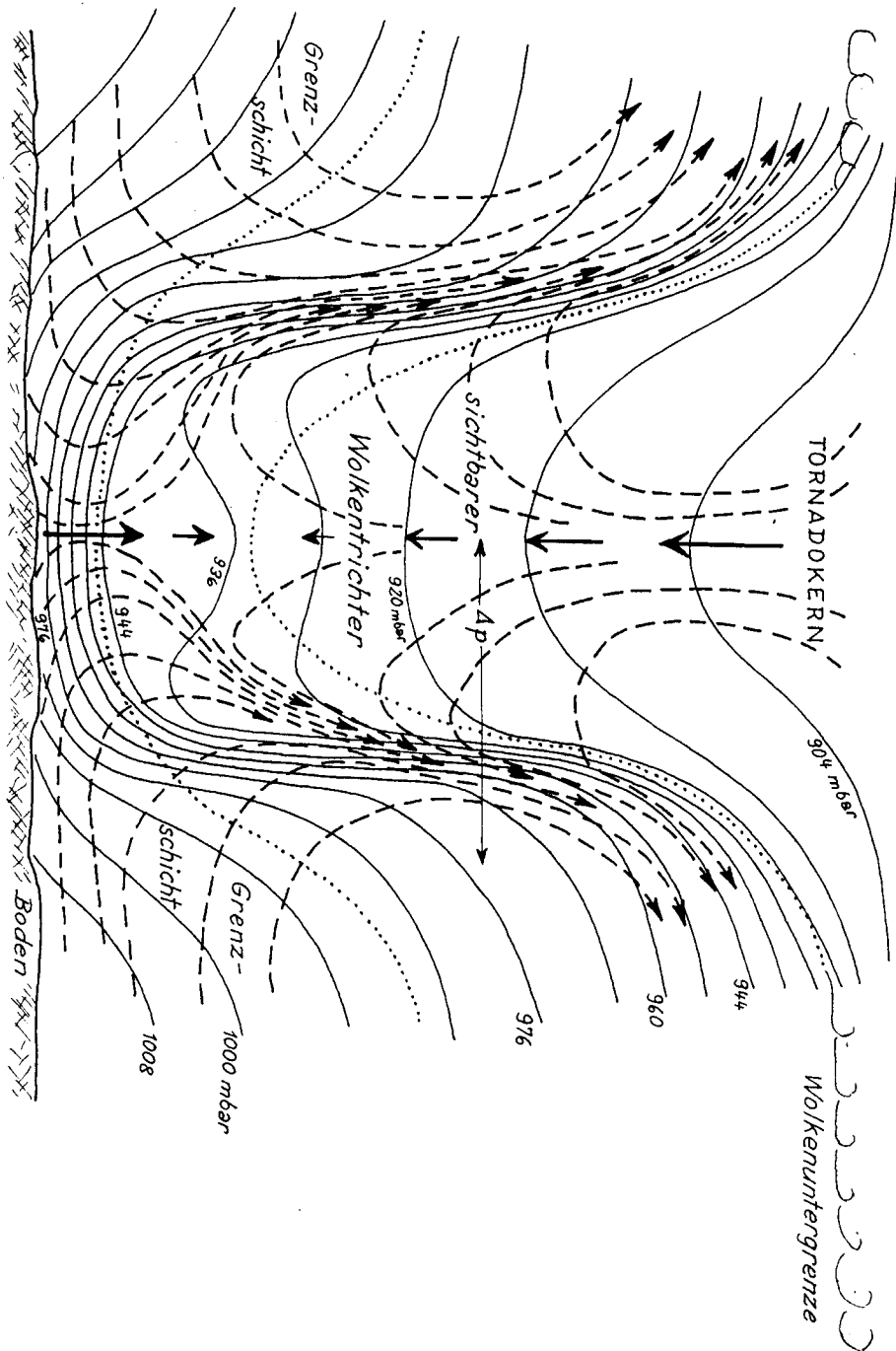


Abb. 38: Saylor-Park Tornado, kurz bevor er abstarb

Diese wird aber gebremst, da ihr an der Grenzschicht eine außerordentlich starke vertikale Druckabnahme entgegensteht (z.B. 30 mbar in den untersten 40 Metern, normal: 5 mbar), die eine extrem starke Aufwärtsbeschleunigung hervorruft (sechsfache Erdbeschleunigung!). Da gleichzeitig eine Druckerniedrigung zum Zentrum hin existiert, werden die bodennahen Luftmassen und andere Materie, wie z.B. Wasser, in den Tornado hineingesaugt, hochgerissen, dabei gleichzeitig in Rotation um den Kern versetzt und oben durch die Zentrifugalkraft wieder herausgeschleudert (s. Stromlinien in Abb. 39).

Abb. 39: Schema des Druckfeldes und der radial-vertikalen Stromlinien in einem Tornado nach E.W. Danielsen
----- = Stromlinien



Dieses Schema ist auf dem Bild von Kapitän Klein (Abb. 31) besonders am rechten Rand der Wasserhose gut sichtbar.

3. Entstehungstheorien

Es hat schon mehrere Theorien über die Entstehung von Tornados und Wasserhosen gegeben; keine von ihnen ist bis jetzt allgemein anerkannt. Es besteht wahrscheinlich ein enger Zusammenhang mit den Gewittertheorien. Die Frage lautet: Wie kommt die Rotation in die Tornado-Zyklone? Dabei scheint das Zusammenwirken von Prozessen verschiedener Größenordnung in der Umgebung des Gewitters mit den Vorgängen innerhalb der Wolke, die auch noch nicht vollständig durchschaut sind, bedeutungsvoll zu sein. Schon besser erklärbar ist die Konzentration der Rotation in einem kleinen Wirbel und das Herauswachsen des Wirbels aus der Wolkenuntergrenze.

Eine Theorie, die die Existenz von Hagel voraussetzt, bietet Edwin F. Danielsen: Die Tornadozyklone wirkt in der Hagelbildungsphase auf Grund verminderten "entrainments" (entrainment ist die Einbeziehung von Luft aus der Umgebung in die Wolke) wie ein Zylinder in einer Strömung; ein solcher gerät in Rotation und schert aus der Strömung aus. Das Hakenecho auf dem Radarschirm soll durch dicke Hagelkörner entstehen, die aus der Wolke herausfallen; der kleinere Hagel verdunstet und kühlt die Luft, wobei der Abtrieb entsteht, der den zukünftigen Tornado bildet.

Andere Autoren (Isaaks, Stork und Wick) machen den Rechtsverkehr der Autos für eine angebliche Vermehrung von Tornados verantwortlich, denn beim Vorbeifahren der Autos wird zyklonaler Drehimpuls erzeugt. Diese These ist heftig umstritten.

Viele Fragen bleiben noch offen, manche Theorien müssen noch durch Beobachtungen untermauert werden. Wichtig ist unter anderem die Beantwortung folgender Fragen: Welche physikalisch möglichen Mechanismen spielen bei der Tornadobildung die Hauptrolle? Welches sind die Energiequellen und -senken, mit anderen Worten: was erhält bzw. verhindert Tornados? Welche Faktoren in der Umgebung des Gewitters entscheiden, ob sich ein Tornado bildet und wie stark er wird? - Zur Beantwortung dieser und anderer Fragen plant die NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) das SESAME-Projekt (Severe Environmental Storms and Mesoscale Experiment), das Beobachtungsdaten sammeln soll (z.B. mittels Doppler-Radar) um Antworten auf die oben gestellten Fragen zu finden und die numerischen mesoskaligen Modelle zu verbessern. Auf die Ergebnisse dürfen wir gespannt sein.

4. Schlußfolgerungen.

Bei den Tornados und Wasserhosen haben wir es mit meteorologischen Erscheinungen zu tun, die uns noch viele Rätsel aufgeben. Erst wenn diese gelöst sind, kann man daran denken, diese Erscheinungen zu beeinflussen oder gar zu verhindern.

Im Moment kann man nichts anderes tun, als die Tornadowirbel so früh wie möglich zu erkennen noch ehe sie den Boden erreichen, die Bevölkerung zu warnen und sie vorher zu informieren, wie man sich in solchem Falle zu verhalten hat.

Auf See sollte man Wasserhosen meiden. Schwächere, die aus Schauern herauswachsen, sind höchstens kleineren Wasserfahrzeugen gefährlich. Wenn sie allerdings aus Gewittern

oder gar aus schweren Gewittern hervorgehen, besteht auch für große Schiffe Gefahr und höchste Vorsicht ist geboten.

L. Kaufeld

Quellen

E.M.Agee, J.T.Snow, P.R.Clare: Multiple Vortex Features in the Tornado Cylone and the Occurance of Tornado Families. Monthly Weather Review, Vol.104, No.5, May 1976, S. 552 - 563

Richard A.Anthes: Numerical Prediction of Severe Storms - Certainty, Possibility or Dream? - Bulletin of the Am.Met.Soc., Vol.57, No.4, April 1976, S. 423 - 430

David Atlas: Overview. The Prediction, Detection and Warning of Severe Storms.- Bulletin ... S. 398 - 401

Stanley Barnes: Severe Local Storms. Concepts and Understanding.- Bulletin S. 412 - 419

Louis J.Battan: Detection of Severe Local Storms.- Bulletin S. 431 - 435

Edwin F.Danielsen: A conceptual Theory of Tornadogenesis based on Macro-, Meso- and Microscale Processes.- NCAR Reprint No. 2352, S. 376 - 383

Clarence L.David: A Study of Upper Air Parameters at the Time of Tornadoes.- Monthly Weather Review, Vol.104, No. 5, May 1976, S. 546 - 551

T.Theodore Fujita: Graphic Examples of Tornadoes.- Bulletin S. 401 - 412

J.H.Golden, R.F.Abbey: Severe Local Storms.- Bulletin S. 436 - 437

Robert A.Maddox: An Evaluation of Tornado Proximity Wind and Stability Data.-Monthly Weather Review, Vol.104, No. 2, Febr. 1976, S. 133 - 142

Frederick P.Ostby,Jr.,Allan Pearson: The Tornado Season of 1975.- Weatherwise, Vol. 29, No. 1, Febr. 1976, S. 17 - 23

Allan Pearson: Operational Forecasting and Warning of Severe Local Storms.- Bulletin... S. 420 - 423

Richard J.Williams: Surface Parameters associated With Tornadoes.- Monthly Weather Review, Vol.104, No. 5, May 1976, S. 540 - 545.

Nachtrag zum Welo Mai/Juni 1977

Der im Wetterlotsen Nr. 365/366 erschienene Artikel "Der Neufundland-Orkan vom 20. bis 21.1.1977" wurde verfaßt von:
H.-J. Heinemann



Nachdruck nur mit Quellenangabe

Beiträge erbeten an:

Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, 2 Hamburg 4, Bernhard-Nacht-Str. 76

Zu beziehen vom Seewetteramt

Das Seewetteramt stellt der Schifffahrt zur Verfügung:

- Vorhersagen und aktuelle Seewetterberichte Tel. 31 12 39 (Tag u. Nacht)
- Routenberatung für die Schifffahrt Tel. 31 12 39
- Auskünfte über vergangenes Wetter auf See Tel. 31 12 31, App. 51
- Angaben über Klima und Witterung in Übersee Tel. 31 12 31, App. 24
- Beratungen in Laderaum-Meteorologie Tel. 31 12 31, App. 59
- den Meteorol. Hafendienst für Bordbeobachter Tel. 31 12 31, App. 62

Über die aktuelle Wetterlage im nordatlantisch-europäischen Raum unterrichtet die "Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes" - Nur Postbezug -

Der Wetterlotse



MARITIM-METEOROLOGISCHE MITTEILUNGEN FÜR UNSERE MITARBEITER
DEUTSCHER WETTERDIENST, SEEWETTERAMT

Nr.369/370Hamburg, September / Oktober 1977

Jahrgang 29

Seewetterbericht für das Mittelmeer

Ab 1. September 1977 strahlt die Deutsche Welle Köln in ihrem Europaprogramm im Rahmen einer neu geschaffenen Sendung zweimal täglich von Montag bis Freitag einen Reise-wetterbericht für Europa aus. Die Berichte werden von 09.48 bis 09.59 Uhr GMT und 13.48 bis 13.59 Uhr GMT über das 31-m-Band, 9545kHz und das 49-m-Band, 6075kHz gesendet. In der Nachmittagssendung wird im Anschluß an den Europa-Reisewetterbericht ein Seewetterbericht für das westliche und mittlere Mittelmeer ausgestrahlt, der vom Seewetteramt aufgestellt wird.

Diese neue Sendung erfolgt auf wiederholte Anregungen, vor allem der deutschen Sport-schifffahrt, die von Jahr zu Jahr einen immer größeren Umfang annimmt, aber auch von der deutschen Berufsschifffahrt. Die Anlieger-staaten des Mittelmeeres versorgen die See-gebiete teilweise mit Seewetterberichten und Sturmwarnungen, überwiegend in ihrer Landes-sprache und nur zum Teil auch in Englisch.