

6.3 Naturgewalt Tornado: Eine kurze Übersicht

JOSÉ L. LOZÁN, ANDREAS FRIEDRICH,
PIETER GROENEMEIJER & THOMAS SÄVERT

Naturgewalt Tornado - Eine kurze Übersicht: Tornados als sich heftig drehende Wirbel gehören mit Windgeschwindigkeiten bis zu 500 km/h zu den schlimmsten Naturgewalten. In den USA treten etwa 1.000 Tornados/Jahr auf; in Europa sind sie halb so häufig. Knapp 90% gehören zur Kategorie »schwach«. Sie können entstehen, wenn sich Schauer- oder Gewitterwolken in Anwesenheit warm-feuchter Luftmassen bilden und instabilen Bedingungen herrschen. Die Entstehung eines Tornados kann noch nicht genau vorhergesagt werden. Wetterdienste verbreiten jedoch kurzfristige Warnungen, wenn ein Verdacht auf Entstehung von Tornados vorliegt. Sie sind kleinräumig sowie meist kurzlebig und daher sehr schwer zu registrieren. Durch die Zusammenarbeit zwischen nationalen Wetterdiensten und Skywarn können die Warnungen und der Schutz der Bevölkerung verbessert werden. Eine Zunahme der Tornados infolge des Klimawandels ist bisher nicht nachgewiesen.

Force of nature Tornado - A short overview: Tornadoes as violently rotating columns of air with wind speeds up to 500 km/h belong to the strongest forces of nature. More than 1000 tornadoes per year occur in the USA and in Europa 500-600. Nearly 90% belong to the category »weak«. They can arise when deep convective clouds form. Tornado cannot yet be predicted. Weather services issue short-term warnings when tornado development is probable. Tornadoes have small scales and are short-lived and thus not all are detected. Therefore, the co-operation between National Weather Services and the NGOs Skywarn is very important to improve the short-term warnings for better public protection measures. An increase in tornadoes due to climate change cannot be proven yet.



Abb. 6.3-1: Verwüstung der französischen Gemeinde Hautmont nach dem F4-Tornado vom 3.8.2008.

Tornados, auch Windhosen, Wasserhosen oder Großtromben genannt, sind engeräumige Stürme, die weltweit überall dort auftreten können, wo sich Schauer oder Gewitter bilden. Zusammen mit den tropischen Wirbelstürmen (Hurrikanen und Taifune) gehören sie zu den heftigsten Stürmen auf der Erde.

Besonders häufig entstehen Tornados aufgrund der dort herrschenden meteorologischen Bedingungen in den USA östlich der Rocky Mountains; aber auch in Europa treten Tornados wesentlich häufiger auf als lange Zeit gedacht. Tornados können aus einer Schauer- oder Gewitterzelle innerhalb von Minuten entstehen. Die Bildung eines Tornados kann noch nicht genau vorhergesagt werden. Wetterdienste verbreiten jedoch kurzfristige Warnungen durch die Medien, wenn ein Tornado gesichtet wird oder wenn ein Verdacht auf Entstehung eines Tornados vorliegt, da einige Bedingungen zur Bildung von Tornados bekannt sind. Aufgrund der tödlichen Gefahren und der Reichweite

der Zerstörungen werden Tornados mit großer Aufmerksamkeit verfolgt (Abb. 6.3-1). Eine Zunahme der Anzahl der Tornados im Zusammenhang mit dem Klimawandel kann bis jetzt jedoch nicht nachgewiesen werden. Die häufiger gewordenen Tornadomeldungen haben wahrscheinlich mit den heutigen technischen Möglichkeiten (wie Smartphone und Webcam) sowie mit der großen Anzahl von »Wetter-Spotter« (Tornado-Jäger) des Netzwerks Skywarn und der Verbreitung durch soziale Netzwerke zu tun.

Was sind Tornados ?

Tornados sind heftig drehende Wirbel, die sich von einer Mutterwolke (Cumulonimbus) bis zur Oberfläche ausdehnen (Abb. 6.3-2). Auch die sogenannten Kleintromben (Staubteufel) sind sich heftig drehende Wirbel; sie haben jedoch im Gegensatz zu den Tornados nur eine geringe Höhenausdehnung und keinen Kontakt mit einer Wolke.



Abb. 6.3-2: F5-Tornado, aufgenommen aus südwestlicher Richtung in Manitoba (Kanada) am 22.6.2007. From Wikimedia Commons by Gump Stump. Autor: Justin Hobson.

Die Lebensdauer eines Tornados kann einige Sekunden bis zu mehr als eine Stunde betragen. Der Durchmesser variiert von einigen Metern bis zu einem halben Kilometer – selten über einen Kilometer. Die Zugbahn kann je nach Lebensdauer wenige Meter bis mehrere Dutzend Kilometer lang sein. Sie ist schwer berechenbar, da sie kleinräumig und meist kurzlebig ist. Tornados entstehen nicht nur über Land – und werden hier auch Windhose genannt – sondern auch über großen Wasserflächen (dem Meer oder großen Binnenseen). Die letzteren werden dann auch Wasserhose genannt. Im Gegensatz zu Tornados bilden sich Hurrikane nur über dem Meer, können mehrere Tage lang wüten und

haben einen Durchmesser von mehreren 100 Kilometern. Wegen der Kurzlebigkeit und Unvorhersagbarkeit werden Tornados nicht immer entdeckt und sind auch sehr schwierig zu untersuchen. Während Niederschläge und Lufttemperatur üblicherweise mit fest installierten Instrumenten gemessen werden können, ist das in Tornados nicht möglich.

Entstehung von Tornados

Auch wenn noch vieles über Tornados unbekannt ist, weiß man doch einiges darüber, unter welchen Bedingungen sie sich bilden können. Bei großen Temperaturgegensätzen zwischen feuchtwarmer Luft in der unteren Atmosphäre und kalter Luft in der oberen Troposphäre bilden sich oft Schauer- oder Gewitterwolken mit starken Aufwinden auf engstem Raum im Inneren der Wolken (*Abb. 6.3-3*). Während die feuchtwarme Luft also im Inneren der Wolken rasch aufsteigt, sinkt direkt daneben an den Wolkenrändern die durch Verdunstung kältere und damit schwerere Luft ab. Durch Seitenwinde dreht sich die steigende Warmluft – aufgrund des »Pirouetteneffekts« umso schneller je weiter die Entfernung vom Hauptwirbel im Zentrum ist. Die Drehung ist auf der Nordhemisphäre meist gegen den Uhrzeiger gerichtet. In der aufsteigenden Warmluft kondensiert der Wasserdampf durch den Unterdruck und es bildet sich ein für die Tornados typischer, trichterförmiger Wolkenschlauch, der jedoch meist nicht bis zum Boden wächst (*Abb. 6.3-3*) im Zentrum des Wirbels sinkt der Luftdruck um bis zu 100 hPa unter den Umgebungsluftdruck, wodurch es zu den extrem hohen Windgeschwindigkeiten kommt.

Klassifikation der Tornadostärke

Theodore Fujita (University Chicago, USA) entwickelte Anfang der 1970er Jahre eine Skala, um die Stär-

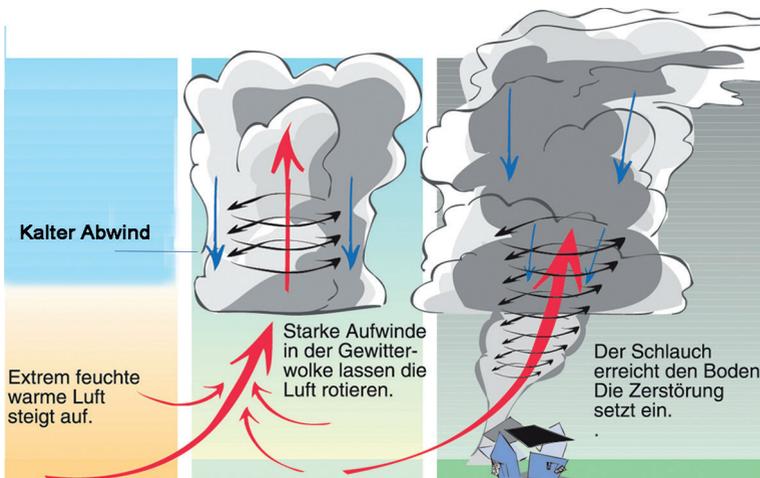


Abb. 6.3-3: Schema über die Entstehung eines Tornados (Quelle: DWD verändert).

ke eines Tornados zu charakterisieren; sie galt ab einer Windgeschwindigkeit von 73 Meilen pro Stunde (117 km/h). 2007 wurde diese Skala durch Meteorologen ausgebaut. Die geänderte Fujita Skala (EF) (*enhanced Fujita Scale*) wird heute in den USA verwendet. Da direkte Messungen der Windgeschwindigkeit nicht möglich sind, sind die angegebenen Werte nur Schätzungen anhand der beobachteten Schäden (*Tab. 6.3-1*).

Bei Stärke F2 sind die Schäden schon beträchtlich. Ab Tornado-Stärke F3 startet die Verwüstung. Bei F4 und F5 wird fast alles nieder gerissen und herum gewirbelt, was im Weg ist; diese Tornados mit Todesopfern werden als »Killer«-Tornados bezeichnet (s. *Tab. 6.3-3*). Bäume werden entwurzelt, Holzhäuser und Fahrzeuge durch die Luft geschleudert. Sogar große Lastkraftwagen werden zerfetzt und durch die Luft geschleudert. Es wird eine Schneise der Verwüstung mit Toten, Verletzten und Schäden in Millionenhöhe hinterlassen. Dabei werden kleine umherfliegende Trümmerstücke zu tödlichen Geschossen (*Abb. 6.3-4*).



Abb. 6.3-4: Ein Beispiel darüber, welche Kräfte sich bei solchen Naturgewalten freisetzen (hier bei einem Hurrikan) (Quelle: Munich Re).

Meteorologen verfolgten am 3. Mai 1999 einen starken Tornado in Oklahoma. Es gelang zum ersten Mal mit Hilfe eines Doppler-Radars im Zentrum des Rüssels die Windgeschwindigkeit zu messen. Abgelesen wurden rund 500 km/h. Damit erreichen verheerende Tornados viel höhere Windgeschwindigkeiten als die stärksten Hurrikane (Stärke 5) mit 250 bis 300 km/h.

Tornados in Europa und Deutschland

Während in den USA in der Regel über 1.000 Tornados jährlich beobachtet werden, treten in Europa schätzungsweise etwa 500-600 auf. Nach dem *European Severe Storms Laboratory e.V.* (ESSL) wurden von 2006 bis 2013 im Mittel 483 Tornados pro Jahr gemeldet (GROENEMEIJER & KÜHNE 2014). Die Autoren gehen allerdings von einer hohen Dunkelziffer vor allem in Osteuropa aus. In Deutschland zählt man jährlich nach Angabe des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zwischen 30 und 60 Tornados mit registrierten Schäden. *Abb. 6.3-5* zeigt die Verteilung aller bis jetzt gemeldeten Tornados in Europa.

Tornados können das ganze Jahr über auftreten. D.h. ein Tornado kann zu jeder Tageszeit und auch im Winter entstehen. Die meisten Tornados sind aber eng mit dem Verlauf der warmen Jahreszeit und mit der Gewitterhäufigkeit gekoppelt, wenn sich feuchtwarme Luftmassen öfter bis nach Mitteleuropa ausbreiten. Gewitter beziehen normalerweise den größten Teil ihrer Energie aus dem hohen Wasserdampfgehalt in aufgeheizter Luft, die beim Aufsteigen viel Wärme durch Kondensation freisetzt. Daher überrascht es nicht, dass die meisten Tornados fast überall am Spätnachmittag auftreten.

In Deutschland kommen nach der langjährigen Statistik die meisten Tornados im Monat Juli vor. Im Gegensatz dazu wird das Maximum über der Nord- und Ostsee im August und über dem Mittelmeer im Oktober beobachtet.

Die meisten Tornados in Deutschland und Europa wie auch in den USA sind eher der Kategorie »schwach« zuzuordnen. Jedoch warnt der DWD davor, Tornados zu unterschätzen. Verheerende Tornados sind zwar selten, aber auch in Deutschland möglich. Beispielsweise wütete ein solcher zerstörerischer Tornado

Tab. 6.3-1: Klassifizierung der Tornado-Stärke nach Fujita (geändert).

Stärke	Kategorie	Wind: km/h	Charakterisierung der Schäden
F0	sehr schwach	63-117	Leichte Schäden: Äste von Bäumen gebrochen, Dachziegel bewegt
F1	schwach	118-180	Mäßige Schäden: Gebrochene Bäume, Dächer teils abgedeckt, Anhänger umgekippt
F2	stark	181-253	Beträchtliche Schäden: Gruppen von Bäumen umgestürzt, Dächer komplett abgedeckt
F3	sehr stark	254-332	Schwere Schäden: Erste Häuser beschädigt, Fahrzeuge umgekippt,
F4	verheerend	333-418	Verheerende Schäden: Totalschaden, Baumentrindung
F5	sehr verheerend	>419	Unglaubliche Schäden: Völlige Zerstörung

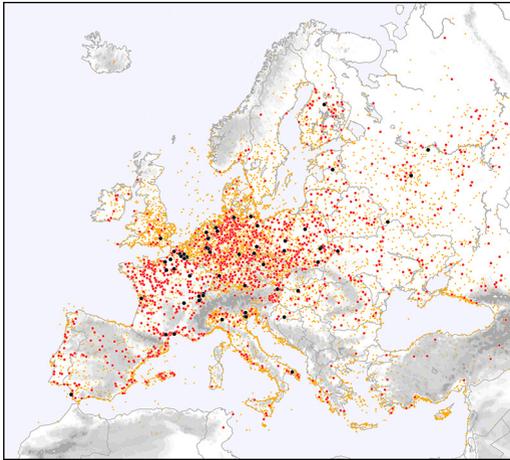


Abb. 6.3-5: Standorte aller angemeldeten Tornado in der europäischen Wetterdatenbank bis 2017. Orange Punkte sind schwach und unbestätigten (F0, F1), rote Punkte starke (F2, F3) und schwarze Punkte verheerende (F4, F5) Tornados (Graphik: ESSL).

Tab. 6.3-2: Tornados in Deutschland ab Stärke F4 (Quelle: Tornadoliste Deutschland).

24.05.1979	F4	Schönborn-Eichwald, b. Doberlug-Kirchhain (BB)*
10.07.1968	F4	Ittersbach, Pforzheim (BW)
15.07.1936	F4	Wiepkenhagen (MV)
10.01.1936	F4	Düsseldorf-Werth, Oberkassel (NRW)
01.06.1927	F4	Lienerloh, Auen-Holthaus, Vrees (NI)
04.06.1910	F4	West-, Ostrhauderfehn b. Leer (NI)
07.08.1898	F4	Köln, Wipperfürth (NRW)
14.07.1894	F4	Forstinning, Forstern-Tading, Isen (BY)
01.07.1891	F4	Lind, Dülken, Süchteln, Anrath, Krefeld (NRW)
23.04.1800	F5	Armsdorf, Dittersdorf, Etzdorf (SN)**
29.06.1764	F5	Woldegk (MV)**
26.06.1756	F4	Groden (NI)
26.02.1718	F4	Geest (SH)
15.07.1582	F4	Rockhausen (TH)

* Der bisher letzte bekannte F4-Tornado wirbelte in Brandenburg sogar mehrere Mähdrescher durch die Luft.

** Es gab schon mindestens zwei F5-Tornados in Deutschland.

Exemplarisch seien hier noch drei im 20. Jahrhundert beobachtete F5-Tornados in anderen europäischen Ländern genannt:

24.07.1930	Treviso-Udine, Italien
24.06.1967	Palluel, Frankreich
09.06.1984	Russland (mindestens 92 Tote)

(Quelle: ESWD, *European Severe Weather Database*)

am 10.7.1968 über Pforzheim (Baden-Württemberg) mit zwei Todesopfern, rund 200 Verletzten und Schäden in zweistelliger Millionenhöhe. Tab. 6.3-2 zeigt die Liste der bisher bekannten Tornados in Deutschland ab Stärke F4.

Seit 2006 verfügt der DWD über eine in Kanada entwickelte Computersoftware, mit der die mögliche Bildung von rotierenden konvektiven Zellen in der Atmosphäre aufgrund der herrschenden Bedingungen be-

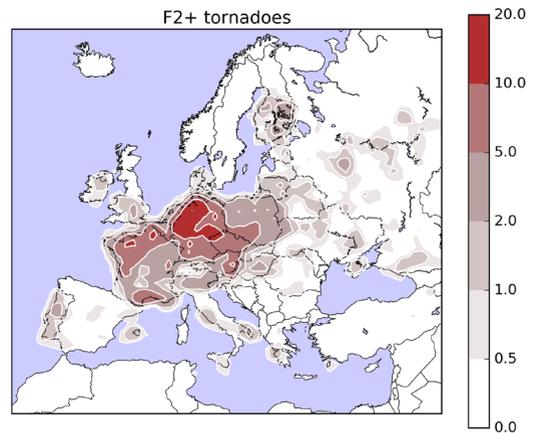
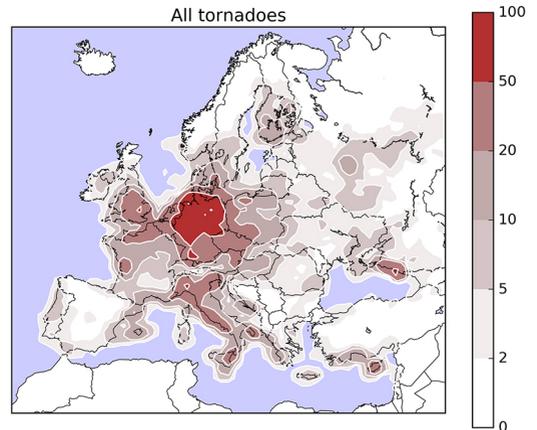


Abb. 6.3-6: Dichte aller (oben) und der starken und verheerenden Tornados (F2-F5) (unten) pro 10.000 km² bis 2017. Bitte die verschiedenen Farbskalen beachten (Graphik: ESSL).

rechnet und potenzielle Tornado-hot-spots identifiziert werden können. Wie bereits erwähnt, sind Tornados von sehr kurzer Dauer und kleinräumig; sie können auch mit Wettersatelliten und Wetterradar nicht sicher beobachtet werden. Viele bleiben daher unentdeckt, obwohl der DWD mit 17 Wetterradaren fast lückenlos das ganze Land abdeckt. Die seit 2006 bestehende Kooperation mit Skywarn Deutschland ist daher von großer Bedeutung. Ein Tornado-Warnsystem – wie in den USA – ist in Deutschland nicht vorhanden. Der DWD liefert die Informationen der identifizierten Hot-Spots sowie Radarbilder mit Hoचाuflösung der in Frage kommenden Gebiete; damit können die ausgebildeten »Wetter-Spotter« von Skywarn, die über Meldekriterien verfügen, gezielt aktiv werden. In diesem Beobachtungsnetz sind auch Polizei und Feuerwehr eingebunden. Durch den Austausch von Informationen kann ermittelt werden, wohin die Tornado-Zelle zieht.

Damit kann der DWD entsprechende Warnungen bis 20 Minuten vor Eintritt des Ereignisses für die betroffenen Landkreise und Gemeinden herausgeben.

Tornados in den USA

Aufgrund anderer meteorologischer Bedingungen entstehen Tornados in den USA häufiger als in vielen anderen Regionen der Welt. Die Hauptursache sind die feuchtwarmen Luftmassen aus der Golfregion, die östlich der Rocky Mountain ungehindert nach Norden strömen und in denen sich dann heftige Gewitter bilden können. Von 2011 bis 2017 wurden in den USA jährlich zwischen 940 und 1690 Tornados registriert (Abb. 6.3-7). Abb. 6.3-8 zeigt die Flächenverteilung der Tornados in den USA. Besonders häufig sind sie in der sogenannten »Tornado-Alley« und in der »Dixie-Alley« (Abb. 6.3-9). Ähnlich wie in Europa sind die meisten Tornados (ca. 88%) in den USA der Kategorie EF0 und EF1, 11% der Kategorie EF2 und EF3 und weniger als 1% der Kategorie EF4 und EF5 zuzuordnen. Für den Zeitraum 1991-2010 gab es in den USA nach dem amerikanischen Wetterdienst NOAA jährlich im Durchschnitt 37,5 Tornados der Stärke EF3-EF5. Es geht dabei um mesozyklonale Tornados. Die Intensität von nicht-mesozyklonalen Tornados geht dagegen kaum über EF2 hinaus.

Nach Angaben des Wetterdienstes treten Tornados in den USA am häufigsten im Mai und Juni auf (Abb. 6.3-10) und während des Tages zwischen 16 und 19 Uhr (Abb. 6.3-11). Im Winter ist besonders der Südosten der USA stark betroffen, von März bis Mai der Mittlere Westen, und im Sommer liegt die größte Bedrohung weiter im Norden. »Killer«-Tornados treten sehr selten auf. Tab. 6.3-3 zeigt die 12 Tornados in den USA mit den meisten Todesopfern.

Jährlich sterben dort rund 50 Personen durch Tornados; in Jahren mit vielen »Killer«-Tornados erhöht sich diese Anzahl signifikant. Beispielweise gab es

2011 über 550 Todesopfer infolge von 59 »Killer«-Tornados. Aufgrund der enormen materiellen Verluste und hohen Anzahl an Todesopfern ist man in den USA seit langem bemüht, ein immer besseres Warnsystem zu entwickeln. Der Einsatz des Doppler-Radars, das bewegte Ziele von Festzielen unterscheidet, war ein großer Fortschritt. Heute werden mobile Doppler-Wetterradar- bzw. polarimetrische Wetterradargeräte überall verwendet, um die potenzielle Tornado-Zelle zu orten und zu verfolgen. Ein wichtiger Bestandteil des Warnsystems ist auch die große Anzahl der Sturmjäger, die eng mit den nationalen Wetterdiensten kooperieren. Dank dieser koordinierten Arbeit konnte dort in den vergangenen Jahren die Zahl der Tornadoopfer erheblich reduziert werden. Das 1964 gegründete *National Severe Storms Laboratory* (NSSL) ist die Unwetterzentrale.

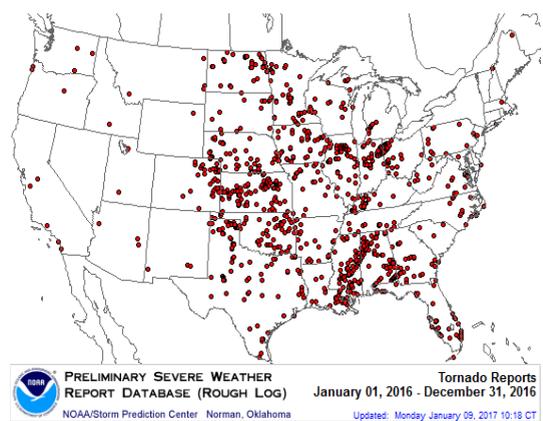


Abb. 6.3-8: Verteilung der Tornados in den USA im Jahr 2016 (Aus NOAA 2017).

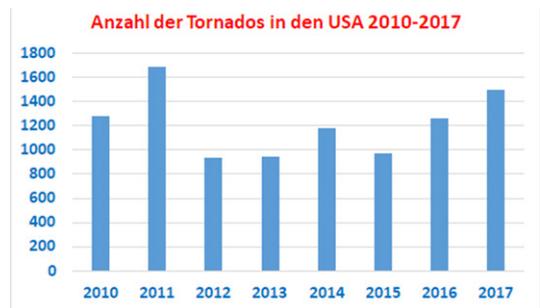
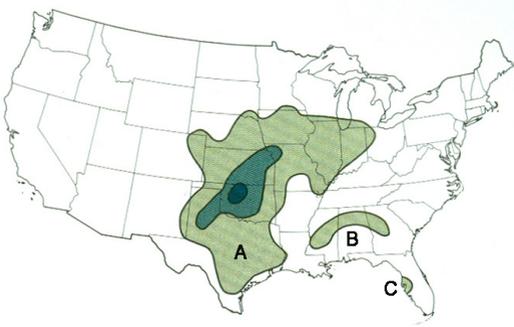


Abb. 6.3-7: Anzahl der Tornados in USA von 2011 bis 2017. (Daten NOAA).

Forschung

Die Tornadoforschung ist weltweit noch recht jung. Erste Forschungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts unter anderem durch Alfred Wegener (1917) kamen während des Zweiten Weltkrieges zum Erliegen. Erst seit den 1950er Jahren wurde die Beobachtung und systematische Erfassung der Tornados Dank der Fortschritte in der Entwicklung des Radars intensiviert. Zur Erfassung von Wetterdaten standen ab 1970 Wetterradare zur Verfügung. Sie erlaubten eine verdächtige Rotation in Gewitterwolken im Frühstadium zu erkennen. Wegen des plötzlichen Auftretens und der kurzen Dauer von Tornados sind direkte Messungen sehr schwer und oft werden die installierten Geräte durch die hohen Windgeschwindigkeiten zerstört. Die meisten Aktivitäten sind auf die frühzeitige Erkennung und Warnung der Öffentlichkeit gerichtet. Direkte Messungen an starken



Average Annual Number of Tornadoes, 1955—1967
 100—200 200—300 300 or more

Abb. 6.3-9: Tornado-Alley (A), Dixie-Alley (B) und Florida-Alley (C) sind Gebiete mit der höchsten mittleren Tornadodichte in den USA. Jahresmittelwerte aus Zeitraum 1955-1967. Quelle: https://southernspaces.org/sites/default/files/images/2008/1a-002-ss-08-eabbot_lg.jpg (ergänzt).

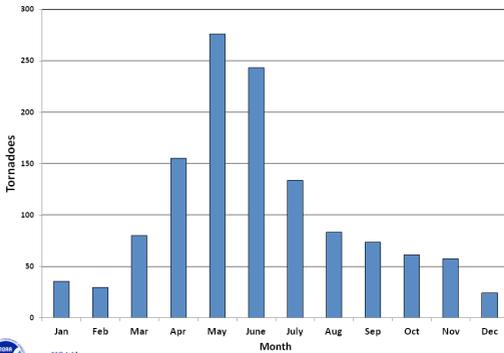


Abb. 6.3-10: Mittlere Häufigkeit der Tornos aus den Jahren 1991-2010 nach Monaten für das gesamte Land (USA) (Quelle: NOAA).

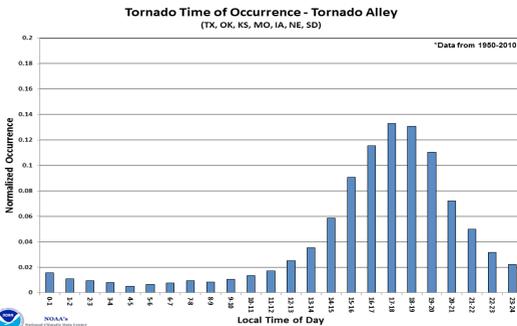


Abb. 6.3-11: Mittlere Häufigkeit der Tornos nach Tagesuhrzeit in den Tornado-Alley (USA) nach Daten aus den Jahren 1950-2010. Das Maximum ändert sich relativ wenig innerhalb der USA. Insgesamt liegen die Maxima spätmittags zwischen 16:00-18:00 (Quelle: NOAA).

Tornados sind selten. Am 31. Mai 2013 gelang es in der Stadt El Reno bei Oklahoma die Windgeschwindigkeit eines F5-Tornados zu messen. Die Auswertung ergab 475 km/h in Bodennähe in einem Sekundärwirbel, der den Hauptwirbel des Tornados umkreiste. Dies war die zweithöchste je gemessene Windgeschwindigkeit. Der Hauptwirbel rotierte mit Windgeschwindigkeiten bis etwa 300 km/h. Der höchste Wert überhaupt wurde am 3. Mai 1999 bei Moore in Oklahoma mit 486 km/h gemessen, jedoch in einer Höhe von 32 m. Die Tornadoforschung konzentriert sich auf die Mechanismen der Tornadogenese. Hierzu werden mathematische Modelle angewandt, um die Entstehung von Tornados besser zu verstehen.

El-Niño/La-Niña haben in den USA einen Einfluss auf die atmosphärische Zirkulation (insbesondere den Jetstream). Es scheint, dass sich Verschiebungen des Jetstreams auch auf die Gewitteraktivität auswirken. El-Niño tendiert dazu, den Jetstream nach Süden zu verlagern, was die feuchte Luft aus dem Golf von Mexiko blockiert und den »Treibstoff« für Gewitter reduziert. Auf der anderen Seite ist La-Niña nach dem derzeitigen Stand der Forschung mit einer Nordwärts-Verschiebung des Jetstreams assoziiert, was zu einer Verstärkung der Unwetteraktivität im Süden und Südosten führen kann. Die historischen Tornado-Ausbrüche in den Jahren 1974, 2008 und 2011 unter den Bedingungen von La-Niña sprechen dafür.

Nehmen die Tornados aufgrund des Klimawandels zu?

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts nehmen die Tornado-meldungen zu; das ist wahrscheinlich auf eine erhöhte Sensibilisierung und größere Aufmerksamkeit der Bevölkerung zurückzuführen. Auch durch die größere Anzahl installierter Doppler-Radare werden Unwetterereignisse besser registriert. Dazu kommt die enge Zusammenarbeit zwischen Wetterdiensten und Skywarn in mehreren Ländern. Zahlreiche Tornados werden zudem über sog. *Social Media* gemeldet.

Tab. 6.3-3: Die »Killer«-Tornados der USA mit den meisten Todesopfern.

18.3.1925	Ort: Missouri / Illinois / Indiana	Tote: 689
06.5.1840	Ort: Natchez / Mississippi	Tote: 317
27.5.1896	Ort: St. Louis / Missouri	Tote: 255
05.4.1936	Ort: Tupelo / Mississippi	Tote: 216
06.4.1936	Ort: Gainesville / Georgia	Tote: 203
09.4.1947	Ort: Woodward / Oklahoma	Tote: 181
22.5.2011	Ort: Joplin / Montana	Tote: 158
24.4.1908	Ort: Amite/Louisiana, Purvis/Mississippi	Tote: 143
12.6.1899	Ort: New Richmond / Wisconsin	Tote: 117
08.6.1953	Ort: Flint / Michigan	Tote: 115
11.5.1953	Ort: Waco / Texas	Tote: 114
18.5.1902	Ort: Goliad / Texas	Tote: 114

Quelle: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/killers.html>

Allerdings beobachten wir als Folge der Erderwärmung im Allgemeinen eine Anhäufung heißer Tage und Nächte. Dadurch wird das Auftreten der Bedingungen für konvektive Unwetter, wie Tornados, je nach Klimaszenario zunehmen (PÚČEK et al. 2017). Die Hauptursache hierfür ist die prognostizierte Zunahme der Luftfeuchtigkeit in Bodennähe und die daraus resultierende Labilität, während sich die Windscherung kaum verändert.

Um das Verständnis der beobachteten Veränderungen bei extremen Klimabedingungen zu verbessern, müssen genauere Analysen durchgeführt werden. In USA beschäftigt sich das *North American Climate Extremes Monitoring* (NACEM) mit dieser Frage.

Die Zukunftsszenarien der Klimaforschung sagen für Deutschland bis 2050 im Sommer zunehmend längere Hitzeperioden voraus. Die Wetterlagen, in denen Tornados in Mitteleuropa am häufigsten vorkommen werden, sind eher durch die Intensität des Vorstoßes feuchtwarmer Luft gekennzeichnet. Ein Beispiel dafür stellt der größte europäische Tornadoausbruch am 24. und 25. Juni 1967 dar (ANTONESCU et al. 2018). Im Gegensatz dazu würden lange Trockenperioden oder schwächerer Höhenwind das Tornadorisiko mindern.

Weiterführende Literatur

- ANTONESCU, B., J. G. FAIRMAN JR.1 & D. M. SCHULTZ (2018): What's the Worst That Could Happen? Re-examining the 24-25 June 1967 Tornado Outbreak Over Western Europe. *Journal Online*. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-17-0076.1>.
- DOTZEK, N. (2000): Tornados in Germany. *Atmos. Res.* 56, 233-251.
- GRAF, M. (2008): Synoptical and mesoscale weather situations associated with tornadoes in Europe. Diplom Thesis. Institute of Geography, University of Zurich (GIUZ). 113 pages.
- GROENEMEIJER, P. (2005): Sounding-derived parameters associated with severe convective storms in the Netherlands. Master's thesis. Institute of Marine and Atmospheric research Utrecht (IMAU).
- GROENEMEIJER, P. & TH. KÜHNE (2014): A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *European Severe Storms Laboratory, Wessling, Germany. Monthly Weather Review. American Meteorological Society.* 142: 4774-4790.
- MEADEN, G. T. (1976): Tornadoes in Britain: their intensities and distribution in space and time. *J. Meteor.* 1, 242-251.
- PÚČEK, T., P. GROENEMEIJER, A. T. RÄDLER, L. TIJSSSEN et al. (2017): Future Changes In European Severe Convection Environments In A Regional Climate Model Ensemble. *J. Climate*, 30, 6771-6794. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0777.1

WEGENER, A. (1917): Wind- und Wasserhosen in Europa. Schriftenreihe: Die Wissenschaft: Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien. Vieweg Verlag, Braunschweig. XI, 301 S., [1] Bl.: Ill.,-graph. Darst.

Wichtige Institutionen

DWD - der Deutsche Wetterdienst verbreitet in seinen regionalen Warnlageberichten Hinweise auf Tornadorisiken. Gewarnt wird maximal 18 Stunden im Voraus. Die Berichte können im Internet unter www.dwd.de/warnungen gelesen werden (Andreas Friedrich, Tornadobeauftragter des DWD).

Skywarn - Es ist ein Netzwerk von ehrenamtlichen Personen, die »Wetter-Spotter« genannt werden; sie führen ortsgenaue Wetterbeobachtungen in Koordination mit Wetterdiensten durch und helfen damit, die betroffene Bevölkerung möglichst zeitnah über Tornados und andere Extremwetterereignisse wie Großhagel, Orkanböen und Sturzfluten zu informieren. Es gibt in Europa Skywarn Schweiz und Skywarn Österreich. Skywarn Deutschland wurde am 16. Oktober 2003 als eingetragener Verein mit Sitz in Osnabrück gegründet

ESSL (European Severe Storms Laboratory e.V.) wurde als gemeinnützige Unwetterforschungseinrichtung im Jahr 2006 mit Sitz in Weßling (Deutschland) gegründet. Das ESSL kooperiert mit etwa 15 Organisationen aus rund 12 Ländern. Es betreut die europäische Unwetterdatenbank (**European Severe Weather Database (ESWD)**).

Tornado-Arbeitsgruppe Deutschland e.V. wurde am 25.4.2015 gegründet (Kontakt: Thomas Sävert) und hat sich zum Ziel gesetzt, die Tornadoforschung in Deutschland voranzubringen. Dazu haben sich Experten aus verschiedenen Fachrichtungen und interessierte Laien zusammengefunden. Die Arbeit erfolgt ehrenamtlich in enger Zusammenarbeit mit dem Skywarn Deutschland, der ESSL und der **Tornadoliste Deutschland**.

Wichtige Links:

- <http://www.dwd.de/warnungen/>
<https://www.skywarn.de/>
<http://www.naturgewalten.de/>
<http://www.scinexx.de/dossier-detail-144-2.html>
<http://www.wetter-center.de/blog?p=1258>
<http://www.tornadoliste.de/>
<http://www.eswd.eu>
<http://www.planet-wissen.de/natur/naturgewalten/tornados/index.html>
<http://www.wettergalerie.de/>
<https://www.wetteronline.de/>
<https://kachelmannwetter.com/de>
<http://wetterkanal.kachelmannwetter.com/>
<http://www.dlr.de/schoollab/>

Kontakt:

Dr. José L. Lozán - Universität Hamburg
Dipl. Meteo. Andreas Friedrich - Deutscher Wetterdienst
Dr. Pieter Groenemeijer - European Severe Storms Laboratory
Thomas Sävert - Tornado Arbeitsgruppe e.V.
Lozan@uni-hamburg.de - saevert@web.de

Lozán, J. L., A. Friedrich, P. Groenemeijer & Th. Sävert (2018): *Naturgewalt Tornado - Eine kurze Übersicht*. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl, D. Kasang & R. Weisse (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Extremereignisse*. pp. 243-249. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.extremereignisse.36.