

1.6 Atmosphärische Extremereignisse: eine Einführung

Christian-Dietrich SCHÖNWIESE

Einleitung

In der Öffentlichkeit finden Extremereignisse noch mehr Aufmerksamkeit als der allmähliche und somit über längere Zeitspannen wirksame Klimawandel. Das hängt damit zusammen, dass solche Ereignisse oft sehr plötzlich über uns hereinbrechen und immer wieder viele Todesfälle und enorme wirtschaftliche Schäden zur Folge haben. Es liegt daher nahe, sich dem Problem der atmosphärischen Extremereignisse zunächst aus sozioökonomischer Sicht zu nähern. Aber auch die Frage, welche synoptisch-meteorologischen und somit Wetterlagen-Situationen zum Eintreten solcher Ereignisse geführt haben, ist von Interesse. Besonders wichtig aber ist, zu klären, ob atmosphärische Extremereignisse im Laufe der Jahre, Jahrzehnte usw. häufiger bzw. intensiver bzw. beides geworden sind. Diesem Ziel dienen statistisch-klimatologische Analysen.

Mit Blick auf ein einzelnes Extremereignis ist die räumliche Größenordnung selten global, obwohl der neue Wärmerekord des Jahres 2015 (global gemittelte bodennahe Lufttemperatur) oder des letzten Jahrzehnts durchaus Objekt solcher Betrachtungen sein kann (Klima). Häufiger stehen z.B. ein extremer Hitzesommer (Europa, Deutschland; somit Witterung) oder ein räumlich und zeitlich relativ eng begrenzter Starkniederschlag oder Sturm (Wetter) im Blickpunkt. Am kurzen Ende dieser Zeitskala stehen die Tornados (Turbulenzphänomene).

Sozioökonomischer Aspekt

Die Medien berichten immer wieder von atmosphärischen Extremereignissen wie Starkniederschlägen, die zu Überschwemmungen führen, Dürren, die zu Ernteauffällen und Hungersnöten, nicht selten auch zu Waldbränden führen können, Hitzewellen sowie tropischen und außertropischen Stürmen einschließlich Tornados, um die wichtigsten derartigen Phänomene zu nennen. Sogenannte geophysikalische Ereignisse wie Erdbeben, Tsunamis und Vulkanausbrüche sollen hier ausgeklammert sein, obwohl beispielsweise der Tsunami am 26.12.2004 in Südostasien/Indonesien mit rund 170 000 Toten und das Erdbeben am 12.1.2010 in Haiti mit rund 223 000 Toten die in dieser Hinsicht schlimmsten Ereignisse der letzten Jahrzehnte, wenn nicht sogar Jahrhunderte gewesen sind. In der Versicherungswirtschaft, insbesondere bei den Rückversicherern, werden regelmäßig weltweit alle größeren Extremereignisse („große Naturkatastrophen“) erfasst. In Tab. 1 ist eine kleine Auswahl dazu zusammengestellt. Zudem zeigt Abb. 1, dass zwar nicht die Anzahl geophysikalischer, wohl aber atmosphärischer Extremereignisse (einschl. Folgen) seit 1980 deutlich zugenommen hat. In Übereinstimmung damit spricht das UNISDR (2015) von einer Verdoppelung seit 1995.

Tabelle 1: Kleine Auswahl „großer Naturkatastrophen“ seit dem Jahr 2000, volkswirtschaftliche und versicherte Schäden in Mill. US\$; Quelle: MUNICHRE, 2002 ... 2015.

Datum	Land, Region	Ereignis	Tote	Volkswirt. Schäden	Versicherte Schäden
12.-20.8. 2002	Deutschl., Elberegion	Hochwasser	37	13 500	3 100
Juni-Aug. 2003	Europa (insbes. F,D,I)	Hitzewelle	70 000	13 000	1 000
25.-30.8. 2005	USA, Karibik	Hurricane Katrina	1 322	125 000	60 000
18.1. 2007	Deutschland	Orkan Kyrill	49	10 000	5 800
2.-5.5. 2008	Myanmar (Birma)	Zyklon Nargis	85 000	4 000	?
Juli/Aug. 2010	Russland, europ. Teil	Hitze, Waldbrände	56 000	3 600	20
22.-28.11. 2011	USA, Landinneres	Tornados	350	15 000	7 300
Juni 2013	Deutschl., verbreitet	Hochwasser	25	15 200	3 100
7.-11.11. 2013	Philippinen	Taifun Haiyan	6 235	10 500	7 000

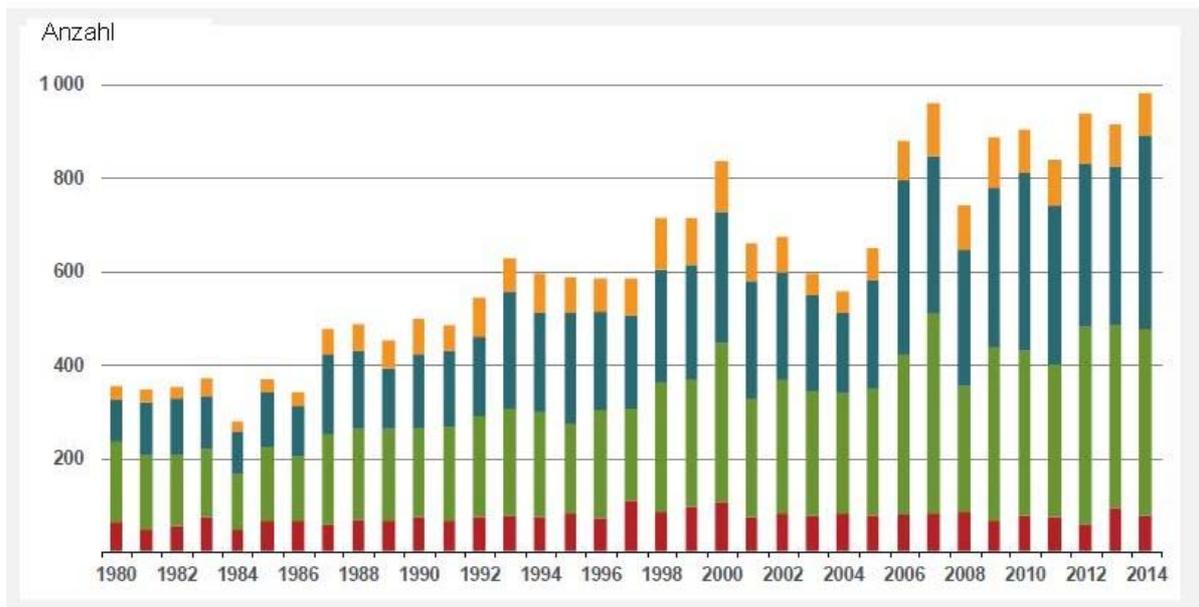


Abb. 1: Anzahl „großer Naturkatastrophen“ weltweit seit 1980, aufgeschlüsselt nach Tsunamis, Erdbeben und Vulkanen („geophysikalisch“, rot), Stürmen (grün), Hochwasser, Murenabgängen u.ä. (blau) sowie Hitzewellen, Dürren und Waldbränden (gelb); Quelle: MUNICHRE, 2015.

Bei den Schäden ergibt sich, von Jahr zu Jahr betrachtet, eher ein fluktuatives Bild, allerdings mit der Neigung zu einem in gewissen Zeitabständen immer höheren Schadensausmaß, so dass dekadisch, von 1950/59 über 1980/89 bis 2000/09, die volkswirtschaftlichen Schäden von 53,8 über 156,1 bis 435,2 Mrd. US\$ angewachsen sind (inflationsbereinigt bzgl. 2009; BERZ, 2010), d.h. um den Faktor 8 (bei den versicherten Schäden liegt dieser Faktor sogar noch viel höher). Nach einem Bericht der WMO (2002) waren allein in der Dekade 1991-2000 weltweit rund 665 600 Tote durch derartige „Disaster“ zu beklagen, davon 91 % atmosphärisch bedingt. Die Zahl der Betroffenen lag in dieser Zeit bei über 2,1 Millionen, davon sogar 99,1 % mit atmosphärischer Verursachung (Rest jeweils geophysikalisch).

Synoptisch - meteorologischer Aspekt

Zu diversen meteorologischen Extremereignissen sind Fallstudien durchgeführt worden, wobei die Entwicklung und Besonderheit der jeweiligen Wetterlage im Blickpunkt steht (somit die Arbeitsweise der synoptischen Meteorologie). So kam es zum Hochwasser in der Elberegion im August 2002 aufgrund einer sog. Vb-Wetterlage, bei der die Tiefdruckgebiete von NNW kommend südlich um die Alpen herumgeführt werden, dort viel Feuchtigkeit auf sammeln und dann den Weg nach Norden nehmen, in diesem Fall in etwa entlang der Elbe (RUDOLF und RAPP, 2003). Das hat in dieser Region zu tagelang anhaltendem Starkniederschlag geführt, wobei u.a. auch orographische Hebung, insbesondere am Erzgebirge, beteiligt war.

Als zweites Beispiel soll hier noch kurz der Hitzesommer 2003 genannt sein, der im Zusammenhang mit einem blockierenden Hochdruckgebiet (sog. Omega-Lage) stand, das sich über Mitteleuropa etabliert hatte (RUDOLF, 2004). Da solche Situationen auch mit Trockenheit verbunden sind, verstärkt der fehlende latente Wärmefluss an der Erdoberfläche (fehlende Verdunstung, die ansonsten dort für Wärmeentzug sorgt) noch den Hitzeeffekt.

Statistisch - klimatologischer Aspekt

Synoptisch-meteorologische Fallstudien, so interessant sie auch sind, können nichts zur klimatologischen Langzeitentwicklung aussagen und sozioökonomische Folgen hängen nicht nur von atmosphärischen Vorgängen, sondern z.B. auch von der Besiedlungsdichte, Art der Bebauung und Wertekonzentrationen ab. Diese Nachteile vermeidet der statistisch-klimatologische Aspekt, bei dem klimatologische und somit langzeitliche Zeitreihen, z.B. der

Temperatur, des Niederschlags und Winds, einer statistischen Analyse unterzogen werden. Dabei stellt sich zunächst die Frage: Was ist eigentlich extrem?

Stellt man sich eine klimatologische Zeitreihe (ähnlich Abb. 1, nun jedoch eines Klimaelements wie z.B. der Sommer-Temperatur) langzeitlich vor, so lassen sich Trend und Standardabweichung σ berechnen (vgl. z.B. SCHÖNWIESE, 2013a, 2013b). Sodann kann man sich weitergehend parallel zur Trendlinie beidseitig weitere Linien im Abstand 1σ , 2σ usw. vorstellen. In dieser Weise ist es üblich, alle Datenwerte als extrem zu bezeichnen, welche die Linie 2σ oder 3σ überschreiten. Allerdings erhält man auf diese Weise meist nur wenige Extremwerte, die einer aussagekräftigen statistischen Analyse kaum zugänglich sind.

Daher ist es meist zielführender, die Zeitreihe in eine Häufigkeitsverteilung umzusetzen, eine theoretische Verteilung (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, engl. Probability Density Function PDF) anzupassen und die Randbereiche als extrem anzusehen. Das können z.B. jeweils 1%, 5% oder 10%, die sog. Perzentile, sein. TRÖMEL (2005) hat daher eine Methode entwickelt, bei der außer dem (linearen oder nicht-linearen) Trend auch die zugehörigen Zeitreihen der weiteren Verteilungsparameter (Streuparameter, ggf. auch Formparameter) errechnet und Zeitschritt für Zeitschritt in die Formel der verwendeten theoretischen Verteilung eingesetzt werden. Dann bewegt sich in der jeweils betrachteten Zeitspanne sozusagen nicht nur die Trendgerade (bzw. im nicht-linearen Fall Trendkurve), sondern die gesamte Verteilung. Führt man dann schließlich noch bestimmte untere und obere Schwellenwerte ein, so lässt sich Zeitschritt für Zeitschritt die Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeit der betreffenden Extremwerte berechnen (TRÖMEL 2005; SCHÖNWIESE 2013a, 2013b). In Abb. 2 sind zwei Beispiele für diese Vorgehensweise dargestellt, wobei im Fall des Temperaturbeispiels eine (Gauß'sche) Normalverteilung und des Niederschlagsbeispiels eine Gumbel-Verteilung verwendet worden ist. Dabei zeigt sich, dass im Fall des Temperaturbeispiels die Eintrittswahrscheinlichkeit von Temperaturen oberhalb der 22 °C-Grenze von 0,1 % auf 16,2 %, im Fall des Niederschlagsbeispiels oberhalb der 300 mm-Grenze von 1,1 % auf 24,6 % angestiegen ist (Unterschreitungswahrscheinlichkeit: 17 °C-Grenze starke Abnahme; 100 mm-Grenze leichter Anstieg, wie in der Abbildung angegeben). Derartige Analysen liegen detailliert und flächendeckend für Deutschland und darüber hinaus vor (vgl. Trömel, 2005; Schönwiese, 2013a, und dort angegebene Literatur).

Natürlich gibt es noch weitere Möglichkeiten statistisch-klimatologischer Extremwertanalyse, beispielweise anhand von Temperatur- oder Niederschlag-basierten Indikatoren, die unter anderem anhand von Wärme- bzw. Kältesummen die Sommer- bzw. Winterwitterung oder Starkniederschlag- bzw. Trockenheit nach verschiedenen Gesichtspunkten charakterisieren, einschließlich der zeitlichen Andauer (vgl. z.B. HÄNSEL, 2013, und ihr Beitrag in diesem Band).

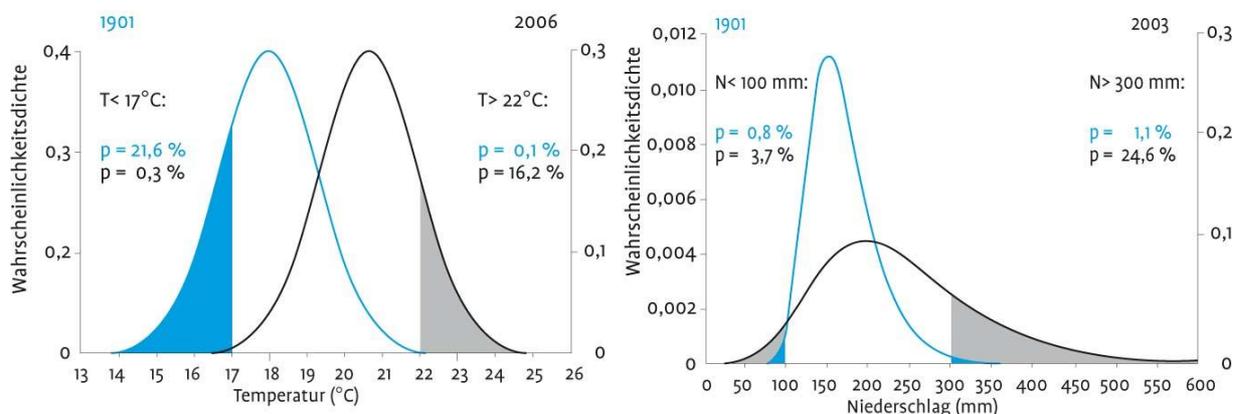


Abb. 2: Zeitliche Änderung der PDF (links Normalverteilung und August-Temperatur in Frankfurt/Main, rechts Gumbel-Verteilung und Winter-Niederschlag in Eppenrod bei Limburg) von 1901 bis 2006 bzw. 2003 und farbliche Markierung der Flächenanteile, die ein Maß für die Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit der verwendeten Schwellenwerte sind (hier nach SCHÖNWIESE, 2013b).

Das Phänomen Sturm kann hier nur erwähnt werden, wobei es weder zu den Winterstürmen in Deutschland noch zu den tropischen Wirbelstürmen statistisch signifikante Trendbefunde gibt. Allerdings zeichnet sich bei den tropischen Wirbelstürmen, zumindest im Nordatlantik, ab, dass die stärkeren auf Kosten der schwächeren zunehmen. Tornados sind aufgrund ihrer Kleinräumigkeit früher seltener als heute beobachtet worden, woraus natürlich nicht auf einen realen Trend geschlossen werden darf. Nicht ganz von der Hand zu weisen ist das Argument, dass die dreidimensionale Struktur der Temperaturänderungen im Kontext des Klimawandels (Zunahme vor allem in den unteren Schichten) die vertikale Schichtungsstabilität und somit die Neigung zu Gewittern, Hagel und eben auch Tornados erhöhen könnte.

Schlussbemerkungen und Ausblick

Das Problem atmosphärischer Extremereignisse ist der empirisch-statistischen Analyse weitaus mehr zugänglich als der Klimamodellierung, insbesondere was Niederschlag und Wind betrifft. Somit gibt es bei der dringenden Frage, was uns in dieser Hinsicht in Zukunft bevorsteht, kontroverse Diskussionen und noch viel Forschungsbedarf. Sehr wahrscheinlich ist das häufigere und intensivere Auftreten sommerlicher Hitzewellen. Beim Niederschlag könnte sich sowohl die Neigung zu Starkniederschlägen als auch zu Dürren regional weiter verstärken (IPCC, 2014). Da tropische Wirbelstürme von bestimmten relativ hohen Schwellenwerten der Oberflächentemperatur der Ozeane abhängen, über denen sie entstehen, wäre im Kontext der globalen Erwärmung ein größeres Verbreitungsgebiet denkbar. Wie auch immer, sicher ist es sinnvoll, sich im Sinn von Anpassung und Vorsorge auf künftig möglicherweise häufigere und intensivere atmosphärische Extremereignisse möglichst adäquat einzustellen.

Literatur

- BERZ, G., 2010: Wie aus heiterem Himmel. Naturkatastrophen und Klimawandel. Deut. Taschenbuchverlag (dtv), München, 232 S.
- HÄNSEL, S., 2013: Dürre und Starkniederschlag – Langzeitvariabilität und Trends in Sachsen. DWD, Ann. Meteor. **46**, S. 103-108 (siehe auch Beitrag in diesem Heft).
- IPCC (Stocker, T.F., et al., eds.), 2014: Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK), 1535 pp.
- MUNICHRE, 2002 ... 2015: Topics Geo (jährliche Berichte). Selbstverlag, München.
- RUDOLF, B., 2004: Hydroklimatologische Einordnung der in Europa extremen Jahre 2002 und 2003. DWD, Klimastatusbericht 2003, S. 133-141.
- RUDOLF, B., RAPP, J., 2003: Das Jahrhunderthochwasser der Elbe: Synoptische Wetterentwicklung und klimatologische Aspekte. DWD, Klimastatusbericht 2002, S. 173-188.
- SCHÖNWIESE, C.-D., 2013a: Statistische Zeitreihenanalyse der Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Temperaturen und Niederschläge in Deutschland (20. Jahrhundert). DWD, Ann. Meteor. **46**, S. 18-22.
- SCHÖNWIESE, C.-D., 2013b: Klimatologie. Ulmer (UTB), 4. Aufl., Stuttgart, 489 S.
- TRÖMEL, S., 2005: Statistische Modellierung von Klimazeitreihen (Dissertation). Inst. f. Atmosphäre u. Umwelt, Bericht Nr. 2, Frankfurt/M., 238 S.
- UNISDR, 2015: The Human Cost of Weather Related Disasters. Geneva, 30 pp.
- WMO, 2002: Reducing Vulnerability to Weather and Climate Extremes. WMO Publ. No. 936, Geneva, 36 pp.