

## WIRD DAS KLIMA EXTREMER? EINE STATISTISCHE PERSPEKTIVE.

Christian-D. Schönwiese, Frankfurt/M.

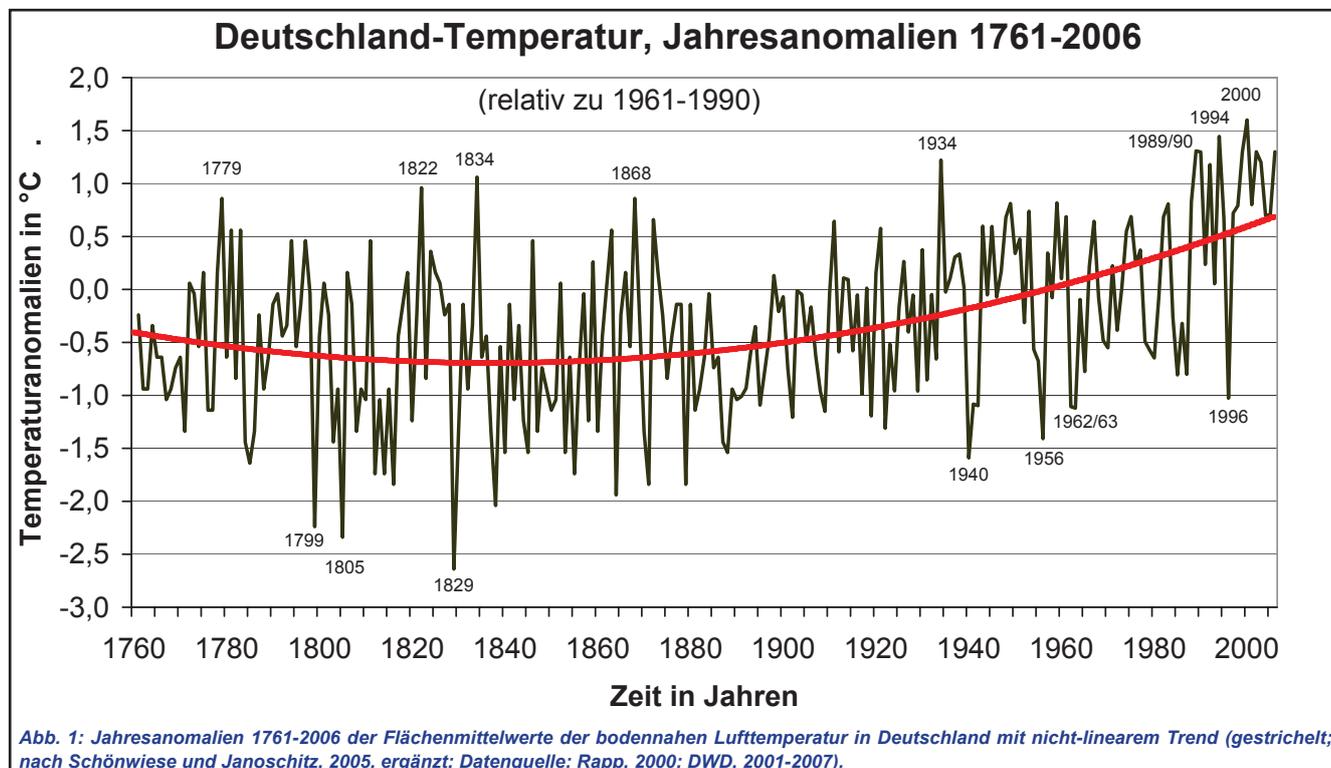
### 1. Klima – die Statistik des Wetters

*Klima* wird meist als die *Statistik des Wetters*, genauer der bei der Wetterbeobachtung erfassten Messgrößen, über eine relativ lange Zeit definiert. Solche Messgrößen sind die Lufttemperatur, die Luftfeuchte, der Niederschlag, die Windrichtung und -geschwindigkeit, der Luftdruck und andere. Dabei stehen bei Klimabetrachtungen im Laufe der Erdgeschichte bzw. in historischer Zeit (vgl. Beiträge Bubenzer/Radtke und Wanner) meist die bodennahe Lufttemperatur und der Niederschlag im Zentrum der Betrachtung. Die genannte „relativ lange Zeit“ ist international mit mindestens 30 Jahren festgelegt, kann aber auch wesentlich darüber hinausgehen (vgl. Kap. 2.1).

Die einfachste statistische Kenngröße ist der *Mittelwert*. So können aus momentanen Messungen Tages-, Monats-, Jahres-, Jahrzehnt- usw. Mittel errechnet werden. Neben dieser zeitlichen Mittelung werden

in der Klimatologie auch räumliche Mittelwerte (im Allgemeinen Flächenmittelwerte) gebildet. Solche Berechnungen können problematisch sein, was aber hier nicht näher diskutiert werden soll. Das in Abb. 1 gezeigte Beispiel beruht nun sowohl auf zeitlichen als auch räumlichen Mittelwerten. Es handelt sich um die Flächenmittelwerte der bodennahen Lufttemperatur in Deutschland (in den heutigen Grenzen) in Form einer *Zeitreihe* (zeitlichen Abfolge) der Jahresmittelwerte. Wie bei Flächenmittelwerten üblich, sind jedoch nicht die Jahresmittelwerte selbst, sondern deren Abweichungen (Anomalien) vom Mittelwert der Jahre 1961-1990, der in diesem Fall 8,3 °C beträgt (in Abb. 1 gleich Null gesetzt) angegeben. Diese Zeitspanne ist ein häufig und international benutztes Referenz-Zeitintervall, um sinnvoll Vergleiche von Station zu Station durchzuführen oder auch des Klimas der neueren Zeit mit jenem früherer Zeiten.

Offenbar weisen die in Abb. 1 gezeigten Daten erhebliche Variationen auf, was im Allgemeinen für alle klimatologischen Zeitreihen gilt. Um auch dies quantitativ zu kennzeichnen, werden *Variationsmaße* wie z.B. die Varianz<sup>1</sup> oder Standardabweichung (Wurzel der Varianz) benutzt. (In Abb. 1, wiederum bezogen auf 1961-1990, beträgt die Standardabweichung 0,79 °C.) Erwähnt sei



1 Die Varianz errechnet sich aus der Summe der quadratischen Abweichungen der Einzeldaten vom Mittelwert dividiert durch deren Anzahl minus 1.

auch der *Trend*, der in Abb. 1 für 1901-2000 linear 1,0 °C Erwärmung ausmacht. Zusätzlich soll noch eine weitere, allerdings etwas kompliziertere Kenngröße eingeführt werden: die *Häufigkeitsverteilung*. Sie macht nur Sinn, wenn statt beliebig genauer Werte (was wegen der begrenzten Messgenauigkeit sowieso nicht möglich ist) Werteintervalle zugrunde gelegt werden, sog. Klassen. Dann gibt die Häufigkeitsverteilung an, wie oft innerhalb einer bestimmten Beobachtungszeit Datenwerte in den vorab definierten Klassen aufgetreten sind.

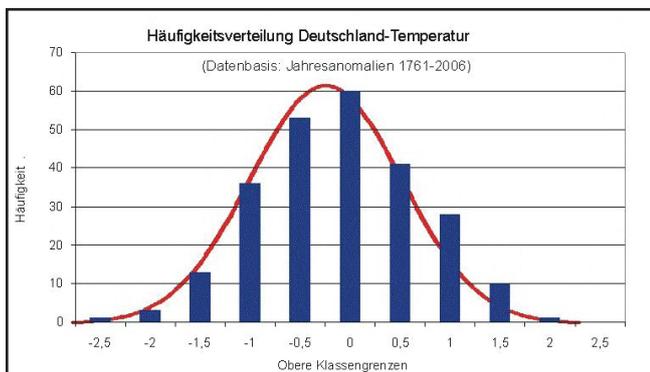


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung (empirisch) zu Abb. 1 (Säulen) und Anpassung einer Normalverteilung.

In Abb. 2 ist die Häufigkeitsverteilung HV zu Abb. 1 wiedergegeben, und zwar für die Klassen (Werteintervalle) -3 bis -2,5 °C, -2,5 bis -2 °C usw., somit in Stufen (Klassenbreiten) von 0,5 °C. Sie weist eine annähernd symmetrische Form auf, so dass Daten

um den Mittelwert am häufigsten auftreten und mit der Entfernung vom Mittelwert die Häufigkeiten abnehmen. An diese empirische HV ist eine theoretische Verteilung angepasst, in diesem Fall eine Normalverteilung (Gauß-Verteilung). Solche Verteilungen sind idealisiert und normiert, und zwar so, dass die Fläche unter der betreffenden Kurve (exakt das bestimmte Integral der betreffenden Funktion, i.a. von  $-\infty$  bis  $+\infty$ ) gleich 1 bzw. 100 % ist. In dieser Form heißen sie *Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen WDF*. Repräsentieren sie nämlich den Prozess, der die beobachteten Daten erzeugt, dann geben sie für beliebige Werteintervalle an, mit welcher Wahrscheinlichkeit dort Daten zu erwarten sind. Auch wenn die WDF nicht in jedem Fall so einfach wie in Abb. 2 aussehen muss, insbesondere auch asymmetrisch sein kann, ist doch damit der Punkt erreicht, bei dem auf die Methodik statistischer Extremwertanalysen übergegangen werden kann.

## 2. Extremwertstatistik

Was ist eigentlich „*extrem*“? Dafür gibt es verschiedene Definitionen: Im Zusammenhang mit dem Wettergeschehen kann es sich um Einzelereignisse handeln, z.B. einen Sturm oder einen Starkniederschlag, die *relativ selten* auftreten und einen *relativ hohen Schaden* anrichten. Dies lässt sich auch auf eine Jahreszeit, z.B. einen besonders heißen und trockenen Sommer, oder eine Anzahl von besonderen Jahren ausdehnen. Die Kopplung an Schäden ist jedoch problematisch, weil diese unter anderem auch von der Bevölkerungsdichte und Wertekonzentrationen

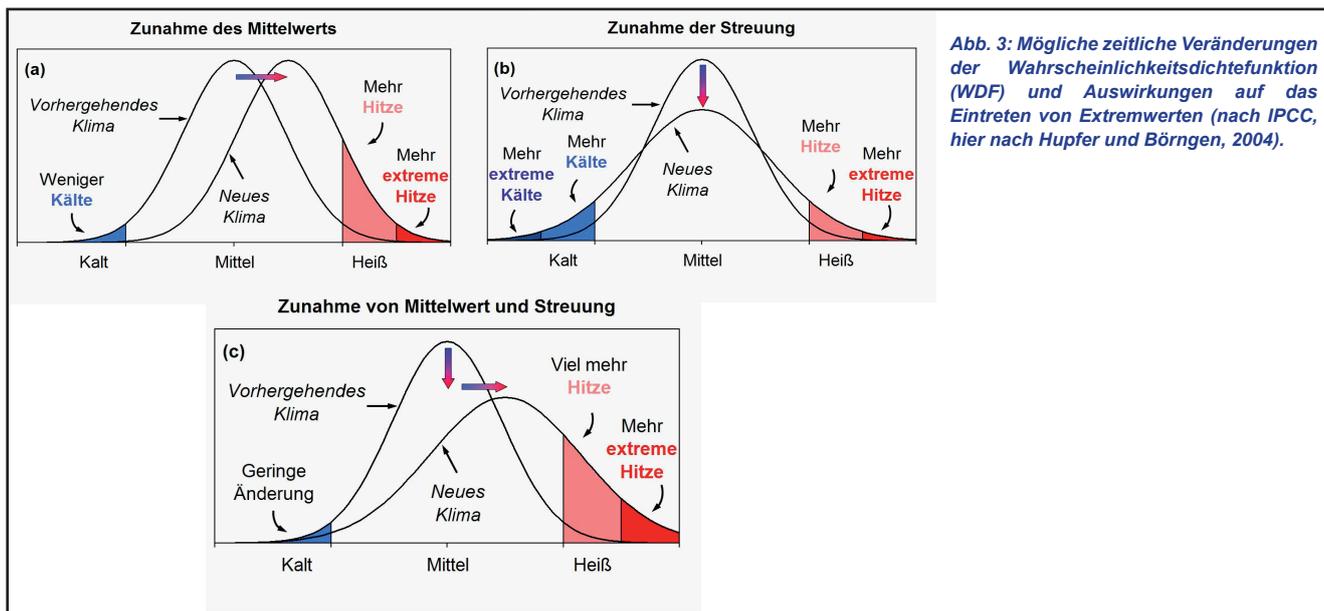


Abb. 3: Mögliche zeitliche Veränderungen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) und Auswirkungen auf das Eintreten von Extremwerten (nach IPCC, hier nach Hupfer und Börngen, 2004).

abhängen; beides unterliegt wie das Klima zeitlichen Änderungen. Daher ist es sinnvoll, rein meteorologisch-statistisch zu definieren, wobei es sich je nach der betrachteten zeitlichen Größenordnung um Wetter-, Witterungs- oder Klimaereignisse handeln kann.

In Fortführung der im Abschnitt 1 eingeführten Definitionen gehen wir von einer WDF (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion) aus und bezeichnen diejenigen Werte als „extrem“, die *relativ weit vom Mittelwert entfernt* liegen. Wie weit, das ist Ansichtssache. Beispielsweise werden *Faktoren der Standardabweichung*  $s$  benützt (1s, 2s, 3s usw. Abstand vom Mittelwert) oder *Perzentile*, d.h. die oberen 10 % oder 5 % eines Datenkollektivs (90%- oder 95%-Perzentil) bzw. entsprechend im unteren Bereich (10%- oder 5%-Perzentil). Abb. 3a veranschaulicht dieses Vorgehen schematisch: Die blaue Fläche unter der linken Kurve ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit von extremer Kälte, die rosa Fläche für extreme Wärme (Hitze). Falls sich nur das Wetter, nicht aber das Klima ändert, einschließlich aller statistischen Kenngrößen, würde es bei diesen Wahrscheinlichkeiten bleiben.

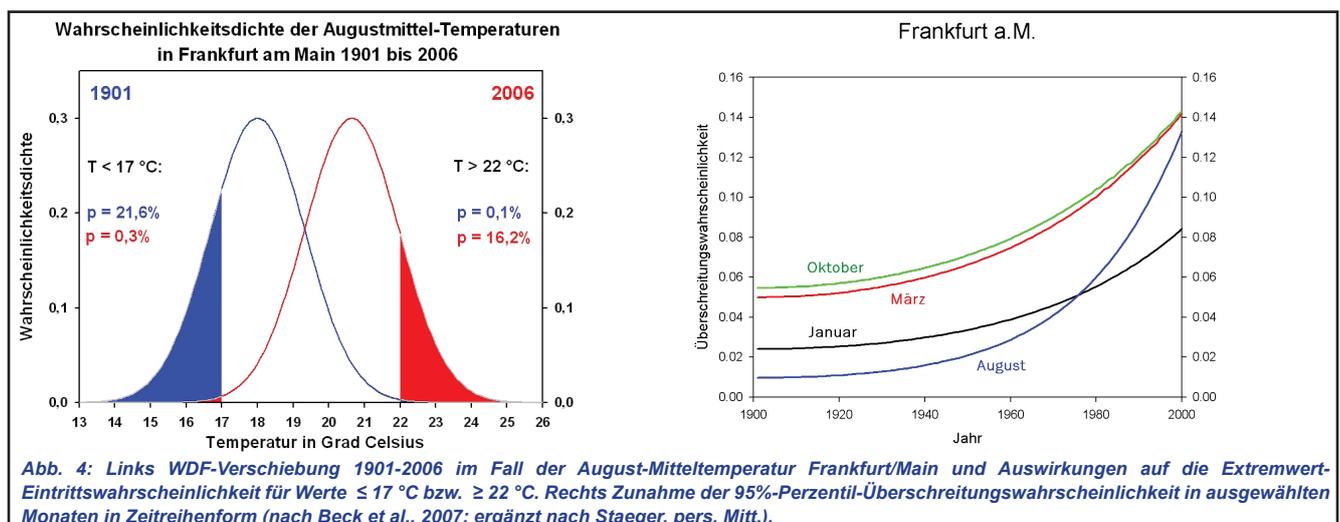
Doch das Klima ändert sich, wofür sich anhand der in Abb. 3 dargestellten WDF drei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten unterscheiden lassen: (a) Der Mittelwert steigt an, es existiert somit ein Trend, und mit dem Mittelwert verschiebt sich auch die WDF, ohne dabei ihre Form (u.a. Varianz) zu ändern. Dann nimmt die Wahrscheinlichkeit für extreme Kälte ab und für extreme Hitze zu; es kommt sogar ein neuer Bereich noch extremerer Hitze hinzu (dunkelrote Fläche in Abb. 3a). Extrem wird das Klima in diesem Fall nur bezüglich der Hitze, nicht bezüglich der Kälte. Es könnte aber

auch sein, dass es gar keinen Klimatrend gibt, jedoch die Varianz zunimmt. Dann wird die WDF „breiter“, siehe Abb. 3b, und sowohl extreme Kälte als auch extreme Hitze nehmen zu. Schließlich, siehe Abb. 3c, ist noch eine Kombination aus beidem möglich, was gegenüber Abb. 3a auf der warmen Seite die zunehmend extreme Hitze verstärkt.

Natürlich können sich diese WDFs prinzipiell auch nach links (zur kalten Seite hin) verschieben bzw. eine andere Form aufweisen. Wie auch immer, die Größe der in Abb. 3 farblich markierten Flächen ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Datenwerte, was sich empirisch in der Häufigkeit niederschlägt. Die Verschiebung in Richtung höherer (oder auch geringerer) Datenwerte gibt Auskunft über die ggf. veränderte Intensität.

### 3. Fallstudie 1: Temperatur in Deutschland

Entsprechende Analysen der Beobachtungsdaten zeigen nun, dass solche theoretischen Betrachtungen Realität sind. Als Beispiel sei die August-Mitteltemperatur in Frankfurt/Main gewählt, siehe Abb. 4 (links), wo offenbar der in Abb. 3a skizzierte Fall eingetreten ist: Die WDF hat sich in Richtung höherer Werte verschoben, ohne dabei ihre Form (signifikant) zu verändern<sup>2</sup>. Was das für das Eintreten extremer Werte bedeutet, lässt sich nun exakt berechnen. Definiert man Datenwerte  $\leq 17^\circ\text{C}$  als extrem kalt und  $\geq 22^\circ\text{C}$  als extrem warm, so hat sich offenbar zwischen 1901 und 2006 die *Überschreitungswahrscheinlichkeit*



<sup>2</sup> Der Berechnung solcher WDFs liegen nach Trömel, 2005 stets alle erfassten Daten zugrunde.

(für extreme Kälte) von 21,6 % auf 0,3 % verringert (vgl. farblich markierte Flächenanteile auf der linken Seite der Graphik) und die *Überschreitungswahrscheinlichkeit* (für extreme Wärme) von 0,1 % auf 16,2 % erhöht. Solche Ergebnisse führen das Faktum des Klimawandels offenbar noch viel drastischer vor Augen als die üblichen Trendberechnungen für den Mittelwert.

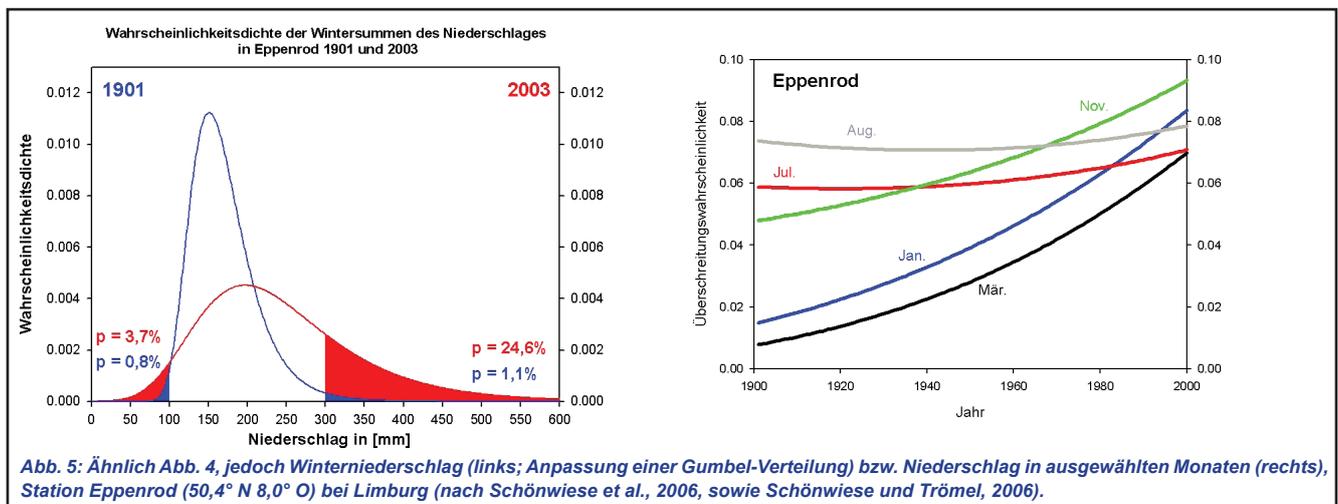
Übrigens ist bei dieser Form der WDF (Normalverteilung, vgl. Abschnitt 1) wegen der Symmetrie der Mittelwert zugleich auch der häufigste Wert (Modus). Es zeigt sich, dass zumindest in Deutschland, vermutlich aber mehr oder weniger allgemein, bei der Analyse von monatlichen, jahreszeitlichen und jährlichen Temperaturdaten ähnliche Gegebenheiten vorherrschen, i.a. lediglich mit graduellen Unterschieden. Bei Tagesdaten, auf die hier nicht eingegangen werden soll, ist der Sachverhalt jedoch meist komplizierter (keine Normalverteilung).

Es fehlt nun aber noch ein weiterer wichtiger Befund:

rund 100 Jahre, im Jahr 2000 aber nur noch 7-8 Jahre. Auch das verdeutlicht noch einmal die Brisanz, mit der sich der Klimawandel in den Extremwerten äußert. Bei den anderen in Abb. 4 erfassten Monaten ist diese Änderung nicht ganz so drastisch, aber immer noch deutlich genug. Eine Analyse für ganz Deutschland erbringt qualitativ weitgehend ähnliche Ergebnisse.

#### 4. Fallstudie 2: Niederschlag in Deutschland

Der Niederschlag verhält sich sehr viel komplizierter, wobei hier wiederum nur die Gegebenheiten in Deutschland betrachtet werden sollen. Abgesehen von der im Vergleich zur Temperatur deutlich größeren Messfehlerbelastung und weitaus geringeren räumlichen Repräsentanz (relativ große Unterschiede von Station zu Station) folgt der Niederschlag asymmetrischen Häufigkeitsverteilungen. Als Beispiel sei die Station Eppenrod (in der Nähe von Limburg) ausgewählt, und dabei die Niederschlagssummen für den



Die WDF-„Verschiebung“ erfolgt nämlich in aller Regel systematisch, d.h. zumindest im letzten Jahrhundert stets in eine Richtung, wenn auch mit variabler „Geschwindigkeit“. Dies und einige monatliche Unterschiede sind aus Abb. 4, rechts, ersichtlich, wiederum für das Beispiel Frankfurt/Main, aber für die Überschreitungswahrscheinlichkeit des 95%-Perzentilwertes. Man erkennt dort, dass die Änderung im August besonders markant ist. Dabei lassen sich die Wahrscheinlichkeiten in sog. Jährlichkeiten umrechnen, die angeben, wie oft – im statistischen Mittel! – die entsprechenden Datenwerte zu erwarten sind. In Abb. 5, August, beträgt diese Jährlichkeit 1901

Januar; siehe Abb. 5. An diese Daten ist eine Gumbel-Verteilung<sup>3</sup> (Abb. 5, links) angepasst, die sich in der Zeit 1901-2000 etwas nach rechts verschoben hat (d.h. Zunahme des Mittelwerts, somit Trend zu mehr Niederschlag), gleichzeitig aber „breiter“ geworden ist (Zunahme der Varianz). Das wirkt sich auf die Extremwertwahrscheinlichkeit wie folgt aus: Definiert man einen Winterniederschlag von  $\leq 100$  mm als extrem niederschlagsarm und von  $\geq 300$  mm als extrem nieder-

<sup>3</sup> Die mathematische Form für die betreffende Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion kann, wie auch im Fall der Normalverteilung usw., statistischen Lehrbüchern entnommen werden; z.B. Schönwiese, 2006.

schlagsreich, so haben beide Wahrscheinlichkeiten 1901-2003 zugenommen, und zwar von 0,8 % auf 3,7 % (Unterschreitungswahrscheinlichkeit für extrem wenig Niederschlag) bzw. von 1,1 % auf 24,6 % (Überschreitungswahrscheinlichkeit für extrem viel Niederschlag).

Auch hierfür soll für einige ausgewählte Monate die Systematik des Klimawandels hinsichtlich Extremereignissen aufgezeigt werden, siehe Abb. 5, rechts: Im Wintermonat Januar wie auch in den Monaten März und November der Übergangsjahreszeiten ist die Neigung zu extrem viel Niederschlag angestiegen, nicht dagegen in den Sommermonaten Juli und August. Bei der gleichen Monatsauswahl zeigen sich bei der Unterschreitungswahrscheinlichkeit (Tendenz der Neigung zu extrem wenig Niederschlag; Abbildung hier nicht gezeigt) Zunahmen wiederum im Januar und März, in den anderen Monaten dagegen wird eine Abnahme verzeichnet.

Eine umfassende Analyse für alle Monate und viele Stationen<sup>4</sup> weist auf sehr unterschiedliche Gegebenheiten hin, so dass im Grunde jeder Monat und jede Station separat zu bewerten sind. Am einheitlichsten ist noch die zunehmende Neigung zu extrem viel Niederschlag in den Wintermonaten, in Süddeutschland

zum Teil aber auch in den Sommermonaten, was hinsichtlich der Überschwemmungsgefahr ein wichtiger Befund ist. Da gleichzeitig eine Tendenz zu häufigeren Hitzesommern besteht und diese aus Gründen der atmosphärischen Zirkulation (Hochdruckeinfluss) zumeist sehr trocken sind, ist auch in sommerlichen Dürreperioden ein beachtliches Risiko zu sehen.

## 5. Globale Aspekte

In globaler Sicht finden Extremereignisse vor allem wegen der damit verbundenen Todesfälle und Schäden Beachtung. Insbesondere die Rückversicherer verfolgen mit Sorge einen zunehmenden Trend sog. großer Naturkatastrophen. Sie sind i. Allg. so definiert, dass sie für das betroffene Gebiet überregionale Hilfe erfordern. Abb. 6 zeigt, dass es in der Anzahl solcher Katastrophen tatsächlich einen ansteigenden Trend gibt, der jedoch – ähnlich wie bei den Klimadaten – von ausgeprägten Fluktuationen überlagert ist. So steht dem Jahr 1993 mit maximaler Anzahl beispielsweise 2006, das jüngste Jahr dieser Statistik, mit sehr wenigen derartigen Ereignissen gegenüber. Dass es dennoch langfristig gesehen einen ansteigenden Trend gibt, ist offenbar auf wetter- bzw. witterungsbe-

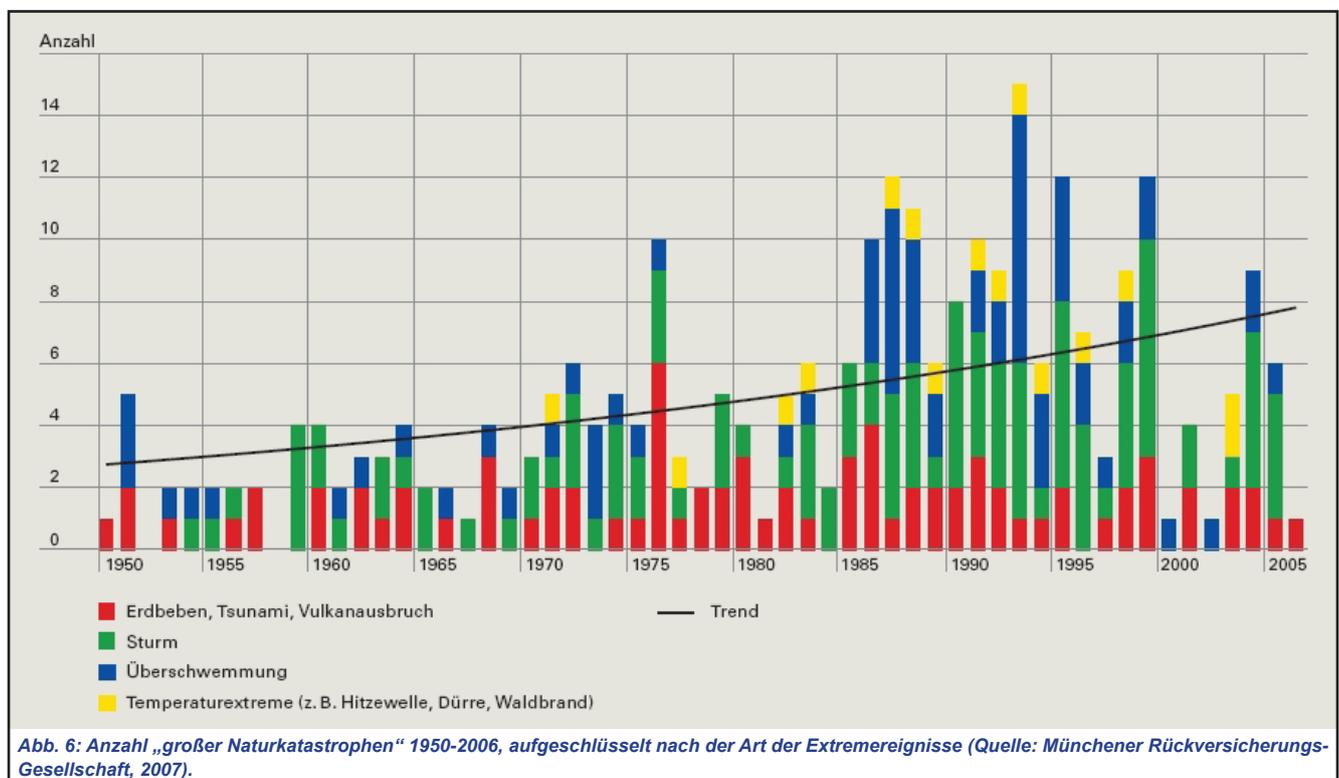


Abb. 6: Anzahl „großer Naturkatastrophen“ 1950-2006, aufgeschlüsselt nach der Art der Extremereignisse (Quelle: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2007).

<sup>4</sup> Hierzu wird verwiesen auf: Trömel, 2005; s. auch Schönwiese und Trömel, 2006; Beck et al., 2007.

Datum	Jahr	Land, Region	Ereignis	Tote	Schäden Mill. US \$	Versich. Mill. US \$
18.4.	1906	USA, San Francisco	Erdbeben	3.000	524	180
1.9.	1923	Japan, Tokio	Erdbeben	142.807	2.800	590
23.10.	1972	Nicaragua, Managua	Erdbeben	11.000	800	100
14.-22.9.	1989	Karibik, USA	Hurrikan (Hugo)	86	9.000	4.500
25.1.-1.3.	1990	Westeuropa	Stürme (Daria u.a.)	230	14.800	10.200
26.-28.9.	1991	Japan, Kiuschu u.a.	Taifun (Mireille)	62	6.000	5.200
23.-27.8.	1992	USA, Florida u.a.	Hurrikan (Andrew)	62	30.000	17.000
17.1.	1994	USA, Kalifornien	Erdbeben	61	44.000	15.300
17.1.	1995	Japan, Kobe	Erdbeben	6.348	100.000	3.000
5.7.-10.8.	1997	Ost- u. Mitteleuropa	Überschwemm.	110	5.900	795
20.-30.9.	1998	Karibik, USA	Hurrikan (Georges)	4.000	10.000	3.400
26.12.	1999	Deutschland u.a.	Stürme (Lothar, Kurt, Martin)	130	11.000	5.000
12.-20.8.	2002	Deutschland u.a.	Überschwemm.	37	13.500	3.100
Juni-Aug.	2003	Mitteleuropa u.a.	Hitzewelle	>35.000	13.000	<1.000
26.12.	2004	Südasien, Indonesien	Tsunami	170.000	>10.000	>1.000
25.-30.8.	2005	USA (New Orleans)	Hurrikan (Katrina)	1.322	125.000	60.000
18.1.	2007	West-/Mitteleuropa	Orkan (Kyrill)	45	~8.000	~6.000

*Tab. 1: Größte Naturkatastrophen der Versicherungsgeschichte seit 1900, Auswahl (Auswahlkriterien: mehr als 1000 Tote oder/und Schäden über 500 Mill. US \$; Quelle: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2006; nach Presseberichten ergänzt, 2007).*

dingte Phänomene wie Stürme, Überschwemmungen, Hitzewellen u.ä. zurückzuführen, nicht auf Erdbeben und Vulkanausbrüche, die gerade in jüngerer Zeit einen relativ kleinen Anteil dazu beisteuern.

Das zeigt auch die in Tab. 1 vorgenommene Zusammenstellung der „größten Naturkatastrophen“ seit 1900. Trotz der eingangs genannten Problematik der Schadensbetrachtung sei doch erwähnt, dass es ein Hurrikan war, der die bisher größten volkswirtschaftlichen und versicherten Schäden verursacht hat (Katrina, USA, 2005). Bei den Todesfällen war es der Tsunami 2004 in Südasien/Indonesien. Für die Dekade 1990/99 gegenüber 1960/69 gibt die Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft einen Anstieg der Anzahl großer Naturkatastrophen um den Faktor 3, der volkswirtschaftlichen Schäden um den Faktor 9 und der versicherten Schäden um den Faktor 19 an.

Natürlich ist dabei im Detail zu differenzieren. Während bei Überschwemmungen und Hitzewellen in vielen Ländern qualitativ ähnliche Entwicklungen bestehen, ist die Situation bei Stürmen sehr unterschiedlich. Bei tropischen Wirbelstürmen ist bisher kein genereller Anstieg nachweisbar – es sei denn, er hat mit dem Rekord des Jahres 2005 im tropischen Westatlantik begonnen, wo 27 tropische Wirbelstürme auftraten, gegenüber einem Mittelwert der Jahre 1970-2004 von 11. Jedoch findet offenbar eine Intensitätsumverteilung statt: Die stärkeren werden auf Kosten der schwächeren häufiger. In Deutschland ist bei Stürmen, wobei hier vor

allem die Winterstürme von Interesse sind, weder eine generelle Zunahme noch eine Intensitätsumverteilung feststellbar. Ähnliches gilt hierzulande wie weltweit für Tornados.

## 6. Schlussbemerkungen

Die Frage, ob das Klima extremer wird, lässt sich nicht generell beantworten. Zudem sollten derartige Trendphänomene ohne Einbezug der damit verbundenen Schäden betrachtet werden, weil dazu auch nicht klimabedingte Faktoren beitragen. Dazu bieten sich statistische Analysen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen klimatologischer Variablen an, insbesondere daran orientierte Berechnungen der Veränderungen der Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeit von Schwellen, oberhalb bzw. unterhalb derer die auftretenden Daten als extrem bezeichnet werden können.

Für Deutschland ergibt sich daraus für die Temperatur recht systematisch eine Zunahme extrem warmer auf Kosten extrem kalter Ereignisse. Beim Niederschlag ist die Situation wegen der regionalen und jahreszeitlichen Besonderheiten weitaus komplizierter. Trotzdem ist ein Trend zu mehr Starkniederschlag im Winter und in den Übergangsjahreszeiten erkennbar, in Süddeutschland auch im Sommer, während ansonsten der Sommer – verbunden mit häufigerer Hitze – eher zu mehr Dürre neigt. Ähnliches gilt auch für viele andere Regionen der Erde. Beim Wind ist in Deutschland kein



eindeutiger Trend nachweisbar, wohl aber bei tropischen Wirbelstürmen eine Häufigkeitsverlagerung in Richtung intensiverer auf Kosten schwächerer derartiger Ereignisse.

## Weiterführende Literatur

- Hupfer, P., Börngen, M. (2004): Gibt es „Klimakatastrophen“? Naturwiss. Rdsch., 57, 233-240.
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.) (2004): Wetterkatastrophen und Klimawandel. Selbstverlag, München.
- Jonas, M., Staeger, T., Schönwiese, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland. Bericht Nr. 1, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Schönwiese, C.-D. (2006): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Borntraeger, Stuttgart, 4. Aufl.
- Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Steiner, H., Brinckmann, S. (2006): Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901 bis 2003. Bericht Nr. 3, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Schönwiese, C.-D., Trömel, S. (2006): Mehr extreme Niederschläge in Deutschland? Naturwiss. Rdsch. 59, 194-199.
- Trömel, S. (2005): Modellierung von Klimazeitreihen. Bericht Nr. 1, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.

## Sonstige zitierte Literatur

- Beck, C., Grieser, J., Rudolf, B., Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S.: Entwicklung einer Beobachtungsdatengrundlage für DEKLIM und statistische Analyse der Klimavariabilität. Bericht Nr. 6, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Deutscher Wetterdienst, 2001 ... 2007: Klimainformationsdienst, Monatliche Beschreibungen. <http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/monitoring/beschreibung.htm>
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2006, 2007: Topics Geo. Naturkatastrophen 2005, 2006 (Jahresberichte). München.
- Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Bericht Nr. 212, Deut. Wetterdienst, Offenbach.
- Schönwiese, C.-D., Janoschitz, R. (2005): Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000. Bericht Nr. 4, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.