

Wird das Klima extremer? Definitionen und Befunde von der globalen bis zur regionalen Ebene

Christian-D. Schönwiese

Zusammenfassung

Ökonomisch gesehen sind atmosphärische Extremereignisse seltene Phänomene, die einen relativ hohen Schaden verursachen. In der statistisch-klimatologischen Sichtweise stehen Häufigkeitsverteilungen der Messwerte von Temperatur, Niederschlag, Wind usw. im Blickpunkt, wobei solche Werte als extrem bezeichnet werden, die oberhalb bzw. unterhalb bestimmter Schwellen liegen. Gelingt es, die zeitliche Änderung solcher Verteilungen zu erfassen, sind Aussagen darüber möglich, ob Extremwerte häufiger bzw. intensiver werden.

In den Statistiken der Versicherungswirtschaft ist die Zunahme witterungsbedingter Schäden sehr auffällig, jedoch zu einem nicht unerheblichen Teil auf Wertekonzentrationen zurückzuführen, die sich insbesondere in den Ballungsräumen erhöht haben. Aber auch schadensunabhängige Analysen von z.B. tropischen Wirbelstürmen weisen auf eine Intensitätsverlagerung in Richtung stärkerer Stürme hin, während bei Tornados keine eindeutigen Trends erkennbar sind. Am deutlichsten ist die Neigung zu extremen Wärmeperioden, die in den letzten Jahrzehnten sowohl häufiger als auch intensiver geworden sind, mit besonders eklatanten Folgen im Sommer (z.B. Hitzesommer 2003 in Europa). Wesentlich unübersichtlicher ist die Situation beim Niederschlag. Doch sind in Deutschland durchaus Tendenzen für extremere Winterniederschläge und trockene Sommer erkennbar.

Einführung: Was ist ein atmosphärisches Extremereignis?

Atmosphärische Extremereignisse wie beispielsweise Stürme, Hagelunwetter oder Starkniederschläge, die zu großflächigen Überschwemmungen führen, finden vor allem wegen der damit verbundenen Schäden besondere Aufmerksamkeit. Aus dieser meteorologisch-ökonomischen Sicht kann man sie daher als seltene Phänomene bezeichnen, die aufgrund einer bestimmten Wetterlage eintreten und einen relativ hohen Schaden verursachen. Manchmal handelt es sich auch um eine Sequenz solcher Ereignisse, wie z.B. von Winterstürmen, oder um relativ lange andauernde Ereignisse wie Hitzewellen im Sommer, die in Klimazonen wie Europa typischerweise mit Dürren verbunden sind.

Diesen ökonomischen Aspekt bekommen außer den Leidtragenden vor allem die Versicherer zu spüren. So weisen die Rückversicherer auf die weltweit zu beobachtende Zunahme von „großen Naturkatastrophen“ hin, die i.a. so definiert werden, dass die betroffene Region überregionale Hilfe benötigt. In der Tab. 1 ist eine Auswahl solcher Katastrophen zusammengestellt, und zwar nach den Kriterien mehr als 1000 Tote oder/und mehr als 500 Mill. US \$ volkswirtschaftliche Schäden. Die meisten Todesfälle hat demnach das Erdbeben

gefordert, das am 1.9.1923 Tokio heimsuchte. Aber schon auf Rangplatz 2 steht ein atmosphärisches Ereignis, nämlich der europäische Hitzesommer mit 35000-55000 zusätzlichen Todesfällen (Schär und Jendritzky 2004, aktualisiert durch Jendritzky 2006). Das Ereignis mit dem größten volkswirtschaftlichen Schaden war der Hurrikan Katrina, der in der Zeit 25.-30.8.2005 mit voller Wucht die Küste bei New Orleans traf. Mit etwa 125000 US \$ übertrifft dieser Schaden noch deutlich das Erdbeben von Kobe (Japan, 17.1.1995; vgl. wiederum Tab. 1).

Tab. 1: Größte Naturkatastrophen der Versicherungsgeschichte seit 1900, Auswahl nach den Kriterien mehr als 1000 Tote bzw. Schäden über 500 Mill. US \$. Witterungsbedingte Ereignisse sind kursiv hervorgehoben (Quelle: MÜRück 1999-2006).

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	<i>Karibik, USA</i>	<i>Hurrikan (Hugo)</i>	86	9.000	4.500
25.1.-1.3.	1990	<i>Westeuropa</i>	<i>Winterstürme</i>	230	14.800	10.200
26.-28.9.	1991	<i>Japan, Kiuschu u.a.</i>	<i>Taifun (Mireille)</i>	62	6.000	5.200
23.-27.8.	1992	<i>USA, Florida u.a.</i>	<i>Hurrikan(Andrew)</i>	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	<i>Ost- u. Mitteleuropa</i>	<i>Überschwemm.</i>	110	5.900	795
20.-30.9.	1998	<i>Karibik, USA</i>	<i>Hurrikan (Georges)</i>	4.000	10.000	3.400
12.-20.8.	2002	<i>Deutschland u.a.</i>	<i>Überschwemm.</i>	37	13.500	3.100
Juni-Aug.	2003	<i>Mitteleuropa u.a.</i>	<i>Hitzewelle</i>	>35.000	13.000	<1.000
25.-30.8.	2005	<i>USA (New Orleans)</i>	<i>Hurrikan (Katrina)</i>	1.322	125.000	60.000

Von der Dekade 1960/69 bis 1990/99 ist nach den Statistiken der Münchener Rückversicherung (MÜRück 2006) der volkswirtschaftliche Schaden durch solche „großen Naturkatastrophen“ um den Faktor 9 auf 575 Mrd. US \$ angestiegen, der versicherte sogar um den Faktor 19 auf 176 Mrd. US \$ (bis zur Dekade 1996/2005 um den Faktor 7 bzw. 25; jeweils inflationsbereinigt berechnet). Bei der Bewertung dieser Phänomene besteht jedoch das Problem, dass die Schadenshöhen ganz wesentlich auch von nicht-atmosphärischen Gegebenheiten beeinflusst werden, nämlich den Zunahmen der Bevölkerungsdichte, insbesondere in (Mega-) Städten, und der Wertekonzentrationen. Deswegen ist es sinnvoll, der Frage nach einem extremer werdenden Klima auch ohne Orientierung an solche ökonomischen Schäden nachzugehen.

Dann rückt die meteorologisch-statistische Definition von Extremereignissen in den Blickpunkt: Ereignisse, die bei Temperatur, Niederschlag, Wind usw. zum Auftreten von Datenwerten führen, die relativ stark vom Mittelwert abweichen. Weitergehend kann klimatologisch und somit langfristig nach den Häufigkeitsverteilungen solcher Daten gefragt werden, wobei sie dann als extrem gelten, wenn sie oberhalb bzw. unterhalb bestimmter Schwellenwerte liegen. Im folgenden soll diesen Fragen nachgegangen werden.

Gibt es Tendenzen in der Häufigkeit und Intensität von Stürmen?

Stürme organisieren sich in Wirbelstrukturen. Tab. 2 bringt dazu eine Übersicht, wozu noch die Winterstürme der mittleren geographischen Breiten treten. Sie erscheinen in der Wetterkarte als Tiefdruckgebiete mit besonders ausgeprägter Drängung der Isobaren. Da Kleintromben harmlos sind, kommt den Tornados und tropischen Wirbelstürmen wegen ihrer häufig katastrophalen Folgen besondere Beachtung zu. Tornados sind als schlauchartige Gebilde erkennbar, die aus Gewitterwolken nach unten wachsen. In der höchsten Kategorie (Fujita-Skala F5) können sie Windgeschwindigkeiten von über 450 kmh^{-1} entwickeln, was in Bodennähe das Maximum des Möglichen darstellt. Während in den USA im statistischen Mittel 1100 Tornados auftreten, sind es in Deutschland lediglich 10-20, wobei in beiden Fällen 75 % schwach und nur 0,1 % die höchste Intensitätsstufe erreichen. Zeitliche Trends sind dabei (bisher) nicht erkennbar (Dotzek 2003).

Tab. 2: Übersicht rotierender Windsysteme (Schönwiese 2003).

Bezeichnung	Durchmesser	Vertikalerstreckung	Lebensdauer	Region
Kleintrombe (Staubteufel)	5 - 20 m, sichtbar 1 - 5 m	2 - 50 m	Minuten	Wüsten bzw. Sandböden, insbes. Subtropen
Tornado (Windhose, Wasserhose)	100 - 300 m, Tubus 2 - 50 m	Cumulonimbus(Cb) (10 - 17 km), Tubus 100 m - 1 km	Stunden	Kontinentale Bereiche der subtropischen und gemäßigten Zone
Trop. Wirbelsturm (Hurrikan, Taifun, Zyklon usw.)	500 - 1000 km, „Auge“ 15 - 30 km	um 17 km, einzelne Cb ggf. höher	Tage	Tropische Ozeane und angrenzende Küsten

Anders ist die Situation bei den wesentlich großräumigeren tropischen Wirbelstürmen (vgl. wiederum Tab. 2), die im Bereich des tropischen Nordatlantiks (USA, Karibik usw.) ab einer gewissen Mindeststärke Hurrikan heißen (im Pazifik Taifun, im Indik Zyklon usw.). Sie bestehen aus dem sog. Auge im Zentrum, einer weitgehend wolkenfreien Zone, um die sich spiralartig Wolken-systeme gruppieren, in die auch diverse Tornados eingebettet sein können. Bei der höchsten Kategorie (Saffir-Simpson-Skala S5) treten Windgeschwindigkeiten von über 250 kmh^{-1} und an Küsten Flutwellen von mehr als 5 m Höhe auf, bei der schwächsten Kategorie (S1) sind es immer noch mehr als 120 kmh^{-1} und Flutwellen $> 1 \text{ m}$. Das Jahr 2005 hat im Bereich des tropischen Nordatlantiks hinsichtlich dieser Extremereignisse alle Rekorde gebrochen, vgl. Tab. 3: Es traten 27 tropische Wirbelstürme auf, von denen 14 die Hurrikan-Stufe ($\geq S1$) erreichten; im Mittel 1970-2004 waren es nur 11 bzw. 6 (NOAA 2005; Webster et al. 2005). Darunter war der bereits erwähnte Hurrikan Katrina (vgl. Tab. 1.)

Tab. 3: Einige Zahlen zum Hurrikan-Rekordjahr 2005 (nach NOAA 2005; Webster et al. 2005).

	2005	Bisheriger Rekord	Mittel 1970-2004
Tropische Wirbelstürme *)	27	21 (1933)	11
Hurrikane **)	14	12 (1969)	6

Eingehende Analysen weisen zwar, von deutlichen Fluktuationen abgesehen, bisher (vor 2005) insgesamt auf keine Trends hin, wohl aber auf Häufigkeitsänderungen in den Intensitätsklassen. So hat sich 1970-2004 (also sogar ohne das Rekordjahr 2005) die Häufigkeit der Intensitätsklasse S1 in etwa von 45% auf 30% verringert und der Intensitätsklassen S4 und S5 von rund 15% ca. 45 % erhöht (Webster et al. 2005). In dieses Bild passt auch, dass 2005 beim Hurrikan Wilma ein Rekordminimum des Luftdrucks im Kern gemessen wurde, wobei der Kernluftdruck mit der maximalen Windgeschwindigkeit korreliert ist (allerdings traf Wilma keine Großstadt). Ebenfalls 2005 nahm erstmals ein tropischer Wirbelsturm (Delta) Kurs auf Europa und erreichte somit eine Region außerhalb der Tropen. Bevor er sich abschwächte, richtete er auf den Kanarischen Inseln erhebliche Schäden an. Da eine wesentliche Vorbedingung für das Entstehen tropischer Wirbelstürme eine Ozeanoberflächentemperatur von \geq ca. 27 °C ist und als Folge der anthropogenen Klimabeeinflussung (IPCC, 2001) mit der bodennahen Luftschicht, vgl. Abb. 1, auch die Ozeane wärmer werden, wird das Risiko durch solche Extremereignisse sehr wahrscheinlich weiter ansteigen.

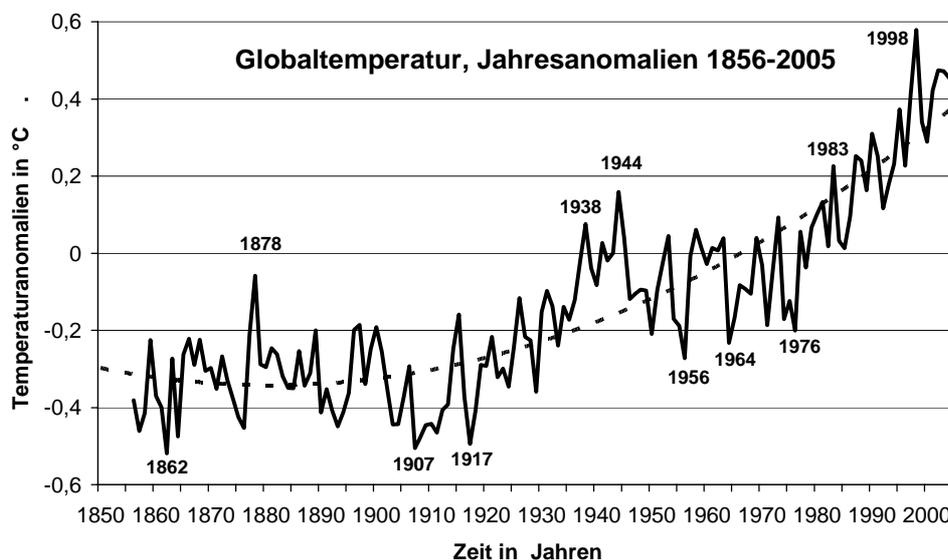


Abb. 1: Jährliche Anomalien 1856-2005 (relativ zu 1961-1990) der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur und ploynomialer Trend (gestrichelt), der die langfristige Erwärmung zum Ausdruck bringt (Datenquelle: Jones 2006).

Hitzewellen in Deutschland

Tropische Wirbelstürme werden Deutschland in absehbarer Zeit sicherlich nicht erreichen und bei Tornados – übrigens auch bei Winterstürmen – sind keine

systematischen Trends erkennbar. Ganz anders ist das bei der Erwärmung unseres Planeten, siehe wiederum Abb. 1, die zwar regional und jahreszeitlich sehr unterschiedlich in Erscheinung tritt, aber in Deutschland überproportional ausgeprägt ist: Während der lineare Trend 1901-2000 im globalen Mittel $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt (IPCC 2001, Schönwiese 2003), liegt er in Deutschland bei $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Daran sind, ebenfalls in Deutschland, die Jahreszeiten ungefähr im gleichen Ausmaß beteiligt (Schönwiese und Janoschitz, 2005).

In den letzten Jahrzehnten hat sich zwar vor allem die winterliche Erwärmung verstärkt; im Sommer ist sie aber auffälliger, weil sich dann Rekorde einstellen und die Hitzebelastung eklatant werden kann. Ein Beispiel dafür ist der Hitzesommer 2003, der im Mittel der Monate Juni-August und im Flächenmittel Deutschland $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ über dem Referenzwert 1961-1990 lag, seit 1761 (Beobachtungsbeginn) einsamer Rekord, siehe Abb. 2 (zu den Folgen vgl. auch Tab. 1).

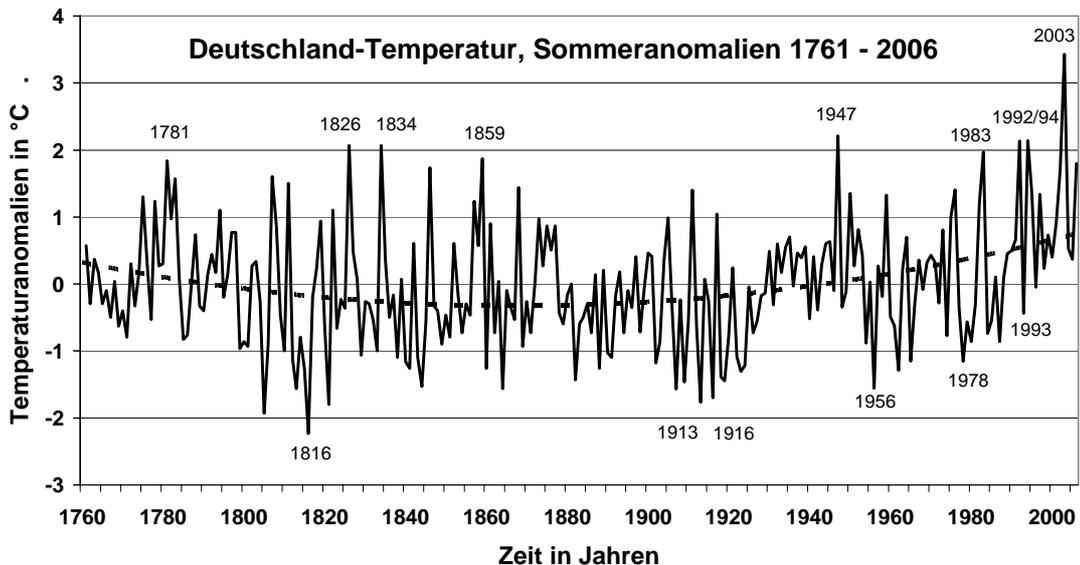


Abb. 2: Anomalien 1761-2006 des Flächenmittels der Sommertemperatur (Juni, Juli, August) in Deutschland mit polynomialem Trend (gestrichelt), der bis ca. 1860/80 eine Abkühlung und danach eine Erwärmung anzeigt (Datenquelle: Rapp 2000; ergänzt nach Deutscher Wetterdienst)

Um die Wahrscheinlichkeit zu erfassen, mit der extrem tiefe bzw. extrem hohe Datenwerte eintreten, ist die Betrachtung von Häufigkeitsverteilungen erforderlich. Daran wird jeweils eine geeignete theoretische Verteilung angepasst, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (engl. probability density function) PDF heißt (zu statistischen Details siehe z.B. Schönwiese 2006). Ein Beispiel zeigt Abb. 3. Es handelt sich dabei um die August-Mitteltemperatur in Frankfurt/Main, die sich recht gut durch eine Normalverteilung (symmetrische Glockenkurve) repräsentieren lässt. Es kommt nun eine innovative Methode zur Anwendung (Trömel 2005; Trömel und Schönwiese 2005), die es gestattet, ähnlich der Trendanalyse die zeitliche Veränderung der betreffenden PDF zu errechnen.

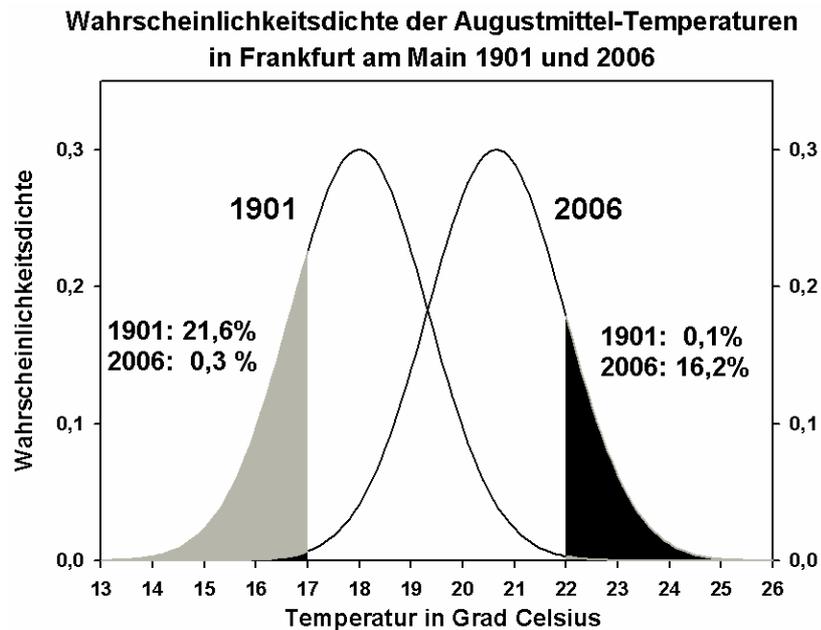


Abb. 3: Änderung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF, Normalverteilung) der August-Mitteltemperatur in Frankfurt/Main von 1901 bis 2006 (vgl. Text). Es hat sich ein systematische Verschiebung zu höheren Temperaturen ergeben, so dass die Eintrittswahrscheinlichkeit (graue bzw. schwarze Flächen) von Werten unter 17 °C abgesunken und die Eintrittswahrscheinlichkeit von Werten über 22 °C angestiegen ist, beides in enormem Ausmaß (Staeger 2006, vgl. auch Schönwiese et al., 2006).

Definiert man nun, zunächst willkürlich, Werte von < 17 °C als extrem kalt und Werte > 22 °C als extrem warm, so gibt die entsprechende Fläche unter der PDF-Kurve (in Abb. 3 grau bzw. schwarz markiert) an, mit welcher Wahrscheinlichkeit solche Werte zu erwarten sind. Man erkennt in diesem Fall eine „Wanderung“ der PDF in Richtung höherer Werte, so dass die Wahrscheinlichkeit für extreme Kälte von 21,6 % im Jahr 1901 auf 0,3 % im Jahr 2006 abgenommen hat; gleichzeitig hat die Wahrscheinlichkeit für extreme Wärme von 0,1 % auf 16,2 % zugenommen (Staeger 2006; siehe auch Schönwiese et al. 2006). Qualitativ ist dies typisch für klimatologische Temperatureffekte und im Ausmaß deutlich dramatischer als die Trends der Mittelwerte.

Eine Anwendung auf das Problem des Hitzesommers 2003 (Abbildungen hier nicht gezeigt; vgl. dazu Schönwiese et al. 2004a, 2004b) führt zu dem Ergebnis, dass die Wahrscheinlichkeit dafür lange Zeit fast identisch Null war, dann aber ab ungefähr 1970 drastisch angestiegen ist (in etwa um den Faktor 20). Zur Zeit des Eintretens war die Eintrittswahrscheinlichkeit immer noch gering, nämlich 0,22 %, was einer Jährlichkeit von rund 455 Jahren entspricht (somit derzeit *im statistischen Mittel* einmal pro 455 Jahre zu erwarten). Es muss aber davon ausgegangen werden, dass diese Wahrscheinlichkeit weiter rasch ansteigen wird. Dementsprechend kommen Schweizer Klimatologen (Schär et al. 2004) aufgrund von Szenarien-gestützten Klimamodellrechnungen zu der Projektion, dass derartige Hitzesommer in der Zeit 2071-2100 nicht nur sehr viel häufiger zu erwarten sind (aus diesen Rechnungen lässt sich in etwa ein 5-Jahre-Ereignis abschätzen), sondern auch noch deutlich heißere in den Bereich des Möglichen rücken.

Niederschlagsextrema in Deutschland

Wesentlich komplizierter als die Temperatur verhält sich der Niederschlag, was man grob als „Umverteilung“ kennzeichnen kann. Dabei ist beides wichtig: extrem wenig Niederschlag, der zu Dürreproblemen und somit landwirtschaftlichen Einbußen, Waldschäden, Engpässen bei der Wasserversorgung der Menschen und auch eingeschränkter Kühlwassernutzung in Kraftwerken führen kann; extrem viel Niederschlag, der Überschwemmungen und dadurch bedingte Schäden nach sich zieht, verstärkt durch Bodenversiegelungseffekte und bauliche Eingriffe in die Fließgewässer (Begradigungen, Kanalisierungen). Beispiele für ersteres sind die meisten Hitzesommer (z.B. 2003, 1947 usw.; vgl. Abb. 2), die im allgemeinen auch niederschlagsarm sind, für letzteres die Winterhochwässer im Dezember 1993 sowie Januar 1995 in der Rheinregion und die Sommerhochwässer im Juli 1997 in der Oder- sowie August 2002 in der Elberegion (vgl. dazu wiederum Tab. 1, Zeilen 3 und 5 von unten).

Gibt es hier nun auch Tendenzen wie bei der Temperaturentwicklung? Als einführendes Beispiel in diesen Problemkreis sei die Station Eppenrod (bei Limburg, somit im Lahn-/Rheineinzugsbereich) betrachtet. Dabei zeigt sich zunächst, dass der Niederschlag nicht normalverteilt ist, so dass in Abb. 4 die Gumbel-Verteilung zur Anwendung kam (näheres zur Verteilungstheorie und sonstigen statistischen Analysemethoden siehe z.B. Schönwiese 2006). Bei der Analyse der zeitlichen PDF-Veränderung, ähnlich Abb. 3, tritt bei den Winterwerten (Abb. 4) zwar auch eine Verschiebung zu höheren Werten hin auf, was eine Niederschlagszunahme widerspiegelt; zugleich ist die Verteilung aber auch „breiter“ geworden; d.h. die Varianz hat zugenommen.

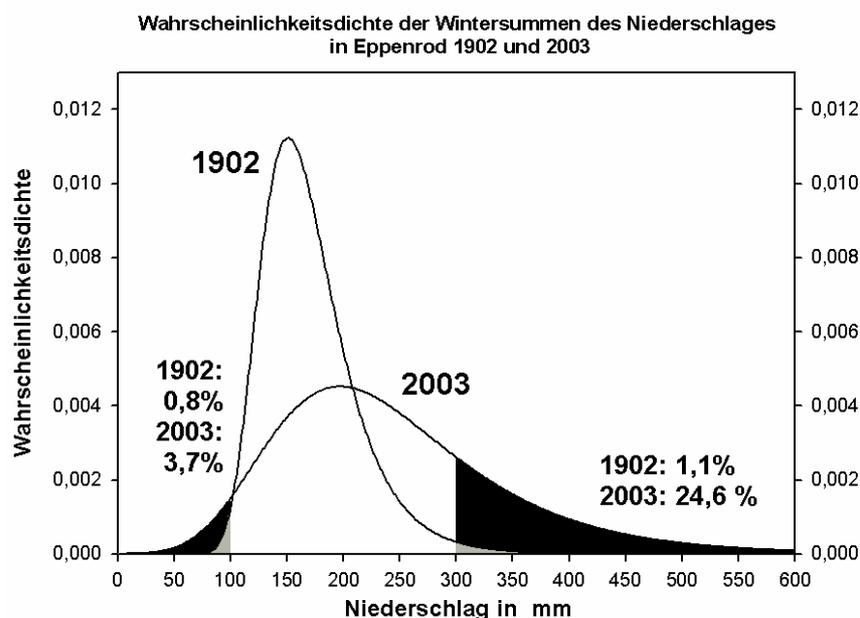


Abb. 4: Ähnlich Abb. 3, jedoch Niederschlag-Wintersummen in Eppenrod (50,4° N 8,0° O) bei Limburg (Gumbel-Verteilung), wobei sich nicht nur eine Verschiebung in Richtung höherer Werte, sondern auch eine Verbreiterung ergeben hat. Folglich ist sowohl die Wahrscheinlichkeit für Werte unter 100 mm als auch für Werte über 300 mm angestiegen, letzteres allerdings in deutlich stärkerem Ausmaß als ersteres (Schönwiese et al. 2006).

Das wirkt sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit der Extremwerte wie folgt aus: Wählt man 100 mm als untere und 300 mm als obere Schwelle für Extremniederschläge (jeweils als jahreszeitliche Niederschlagssumme), so hat die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten extrem niederschlagarmer Winter von 0,8 % auf 3,7 % zugenommen, zugleich aber auch die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten extrem niederschlagsreicher Wintermonate, und zwar von 1,1 % auf 24,6 %. Der letztere Effekt ist somit deutlich stärker ausgeprägt als der erstere, die Gefahr winterlicher Hochwässer somit größer als die winterlicher Trockenheit. Im Sommer ist dagegen eine Niederschlagsabnahme unter „Verengung“ der PDF feststellbar (Abnahme der Varianz; Bild hier nicht gezeigt, siehe z.B. Schönwiese und Trömel 2006).

Diese Art der niederschlagsorientierten Extremwertanalyse lässt sich natürlich auch auf die einzelnen Monate ausdehnen, die sich offenbar alle unterschiedlich verhalten. Wiederum für das Beispiel der Station Eppenrod und die Auswahl Januar, März, Juli, August und November ist dies in Abb. 5 für die Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen gezeigt, wobei hier (auf der Grundlage aller Monate) als Schwelle der 95%-Perzentilwert gewählt ist, was in diesem Fall der Überschreitung einer Monatssumme von 130 mm entspricht. (Perzentile geben an, wie viel Prozent der Daten unter dem entsprechenden Schwellenwert liegen. Im hier betrachteten Beispiel bedeutet das, dass bei Erfassung sämtlicher Monatsdaten 95 % der Daten Werte von weniger oder gleich 130 mm aufweisen und 5 % mehr. Letztere gelten dann als extrem hohe Niederschlagswerte.) Man erkennt im Januar die starke Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit von ca. 0,01 auf ca. 0,09 bzw. 1% auf 9%, was die immense Zunahme der Jährlichkeit von 100 (1/0,01) auf 11 (1/0,09) Jahre bedeutet. Die Monate März (auf tieferem Ausgangsniveau) und November (auf deutlich höherem Ausgangsniveau) verhalten sich ähnlich, während in den Sommermonaten Juli und August kaum Tendenzen erkennbar sind.

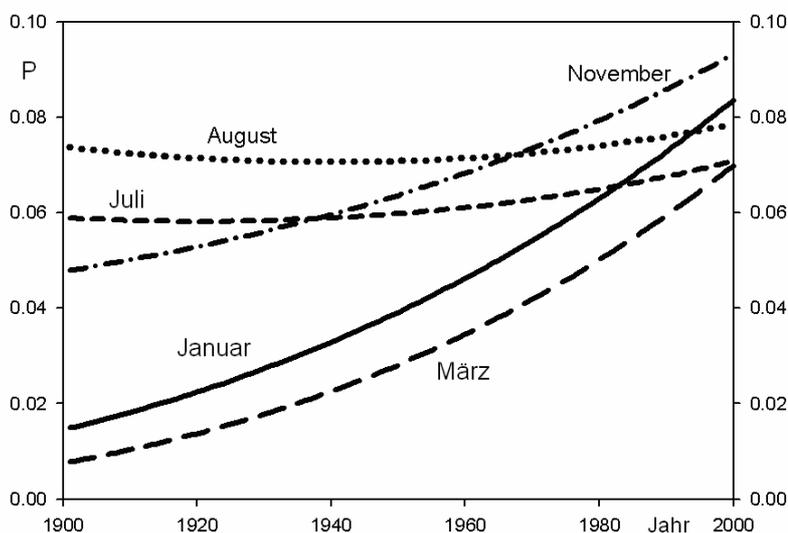


Abb. 5: Änderung der Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten des 95%-Perzentils (extrem hoher Niederschlag) in ausgewählten Monaten an der Station Eppenrod (vgl. Abb. 4). Man erkennt einen deutlichen Anstieg in den Monaten Januar, März und November, nicht jedoch im Juli und August (Schönwiese und Trömel 2006).

Schließlich sollen diese Tendenzen der Eintrittswahrscheinlichkeiten für ganz Deutschland

vorgestellt werden, und zwar hinsichtlich der Unterschreitung des 5%-Perzentils (Tendenz zu extrem wenig Niederschlag) und der Überschreitung des 95%-Perzentils (Tendenz zu extrem viel Niederschlag). Ausgewählt sind die Monate Januar und August. Zunächst zum Januar: Man erkennt fast flächendeckend eine Zunahme der Überschreitungswahrscheinlichkeit. Ausnahmen sind nur ganz vereinzelt zu finden, insbesondere im Osten. Es hat sich somit sehr verbreitet eine zunehmende Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von extrem viel Niederschlag im Januar eingestellt. Bei der Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit ist das Bild nicht ganz so einheitlich. Ähnlich wie in Eppenrod, d.h. Zunahme sowohl der Über- als auch Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit, verhält sich zwar die Mehrzahl der Stationen. Aber in einigen Teilregionen, dabei ziemlich verbreitet in Bayern, nimmt die Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit ab, was eine geringer werdende Wahrscheinlichkeit für das Eintreten extrem niederschlagsarmer Monate bedeutet.

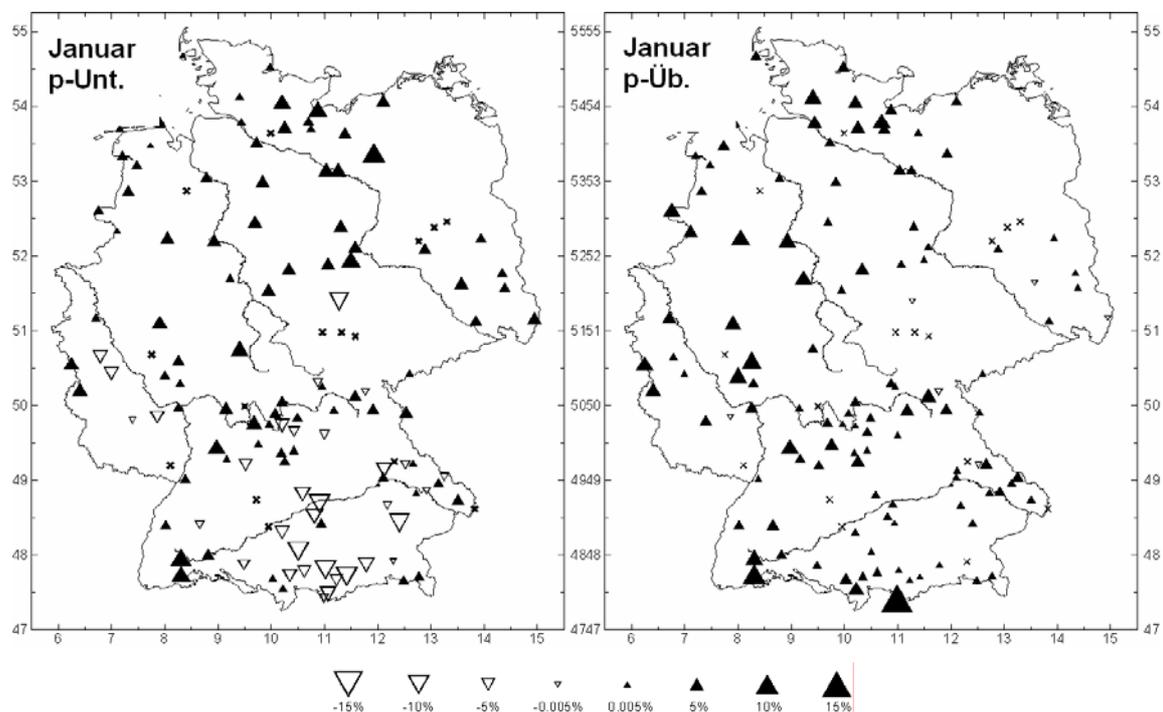


Abb. 6: Links Trends der Unterschreitungswahrscheinlichkeit des 5%-Perzentils und rechts der Überschreitungswahrscheinlichkeit des 95%-Perzentils des Niederschlags an 132 Stationen in Deutschland, wobei die vollen Dreiecke Zunahme und die leeren Abnahme bedeuten (Trendstärke siehe Legende unterhalb der Grafiken); x bedeutet, dass an der betreffenden Station kein signifikanter Trend gefunden worden ist (Schönwiese und Trömel, 2006).

Im August, siehe Abb. 7, zeigt sich hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit von extrem viel Niederschlag in etwa eine Zweiteilung Deutschlands: Im Süden, im Westen und in Schleswig-Holstein nimmt diese Wahrscheinlichkeit überwiegend zu, ansonsten überwiegend ab. Bei der Unterschreitungswahrscheinlichkeit sind deutlich überwiegend abnehmende Tendenzen zu erkennen, somit eine geringere Neigung für extrem wenig Niederschlag, an einer nicht unerheblichen Minderheit von Stationen ist aber das Gegenteil der Fall, wobei das Ausmaß dieser Tendenzen generell ziemlich gering ist. Es sei in diesem

Zusammenhang erwähnt, dass die Trends der Mittelwerte und somit die üblichen Klimatrendanalysen im Sommer überwiegend eine geringe Abnahme und im Winter überwiegend eine erhebliche Zunahme des Niederschlags anzeigen (Schönwiese und Janoschitz, 2005).

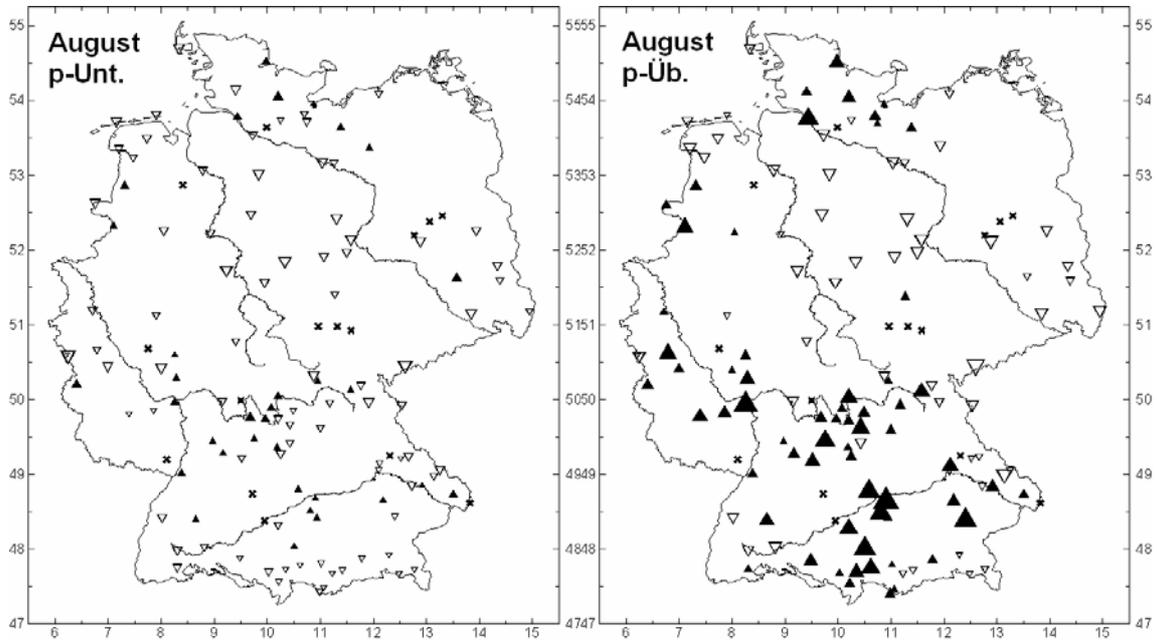


Abb. 7: Ähnlich wie Abb. 8, jedoch August.

Abschließende Bewertung

- Der Klimawandel im Industriezeitalter (letzte ca. 100-200 Jahre), der häufig zusammenfassend als „globale Erwärmung“ umschrieben wird, ist teilweise auch mit einem Trend zu einem extremeren Klima verbunden.
- Besonders deutlich ist das bei der Temperatur erkennbar, die in Deutschland sogar etwas stärker als im globalen Mittel angestiegen ist. Dies geht Hand in Hand mit einer abnehmenden Wahrscheinlichkeit für das Eintreten extrem tiefer und einer zunehmenden Wahrscheinlichkeit extrem hoher Temperaturen. Letzteres ist besonders im Sommer auffällig und folgenschwer, wo sowohl die Häufigkeit als auch Intensität von Hitzewellen zunimmt (Beispiel Hitzesommer 2003 in großen Teilen Europas).
- Tropische Wirbelstürme nehmen aufgrund der Erwärmung der Ozeane bisher kaum in ihrer Häufigkeit zu, obwohl das Jahr 2005 im tropischen Nordatlantik ein bewerkenswertes Hurrikan-Rekordjahr war. Gesichert ist aber eine Zunahme der intensiveren auf Kosten der schwächeren dieser Extremereignisse.
- Bei Tornados gibt es bisher keine gesicherten Erkenntnisse über solche Trends, weder in den USA, wo die meisten Tornados auftreten, noch in Deutschland, wo die mittlere Anzahl bei ca. 10-20 pro Jahr liegt.
- Besonders kompliziert verhält sich der Niederschlag. In Deutschland ist vor allem ein extremer werdendes Verhalten im Winter belegt, wo sowohl die

Wahrscheinlichkeit für extrem niederschlagsarme als auch extrem niederschlagsreiche Monate zunimmt, letzteres deutlich ausgeprägter als ersteres, womit das Risiko von Hochwässern ansteigt. Im Sommer drohen im Zusammenhang mit den allgemeinen Niederschlagstrends für den Osten, teilweise auch für die zentralen Regionen Deutschlands, eher häufigere Dürren. Beispielsweise in Bayern nimmt die Neigung zu Starkniederschlägen aber auch in den Sommermonaten zu. Dabei sind sommerliche Hochwasserereignisse typischerweise regional wesentlich enger begrenzt als winterliche. Da Hitzesommer in unserer Klimazone im allgemeinen mit Trockenheit verbunden sind, wird von solchen Extremereignissen dagegen mehr oder weniger ganz Deutschland erfasst.

- Wegen der anthropogenen Beeinflussung des Klimas (Emission von Treibhausgasen im Zusammenhang mit Energienutzung, Waldrodungen usw.) und der Zeitverzögerungen im Klimasystem besteht nicht nur das Risiko, dass sich die bisher beobachteten relativ langfristigen Trends der Mittelwerte in den nächsten Jahrzehnten verstärkt fortsetzen. Auch die Neigung zu einem extremeren Klima, wo und soweit sie heute schon erkennbar ist, könnte sich damit verstärken.

Literatur

Deutscher Wetterdienst: Klimainformationssystem, monatliche Beschreibungen: <http://www.dwd.de/de/Funde/Klima/KLIS/prod/monitoring/beschreibung.htm>

Dotzek, N. (2003): An updated estimate of tornado occurrence in Europe. In: Atmos. Res. 67-68. S. 153-161; <http://www.tordach.org/>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, J.T. Houghton et al., eds., 2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Univ. Press. Cambridge.

Jendritzky, G. (2006): Pers. Mitt.

Jones, P.D. (2006): <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>

MüRück (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 1999...2006): Topics (Jahresrückblicke Naturkatastrophen). Selbstverlag. München.

NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration), National Hurricane Center (2005): <http://www.nhc.noaa.gov/>

Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Bericht Nr. 212, Deutscher Wetterdienst. Selbstverlag. Offenbach.

Schär, C. et al. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. In: Nature 427. S. 332-336.

Schär, C., G. Jendritzky (2004): Hot news from summer 2003. In: Nature 432. S.559-560.

Schönwiese, C.-D. (2003): Klimatologie. 2. Aufl. Ulmer (UTB). Stuttgart.

- Schönwiese, C.-D. (2006): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. 4. Aufl. Borntraeger. Berlin. Stuttgart.
- Schönwiese, C.-D., R. Janoschitz (2005): *Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000*. Bericht Nr. 5. Inst. f. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/Main.
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, H. Steiner, S. Brinckmann (2006): *Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901 bis 2003*. Bericht Nr. 3. Inst. f. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/Main.
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, S. Trömel (2004a): *The hot summer 2003 in Germany*. In: *Meteorol. Z.* 13. S. 323-327.
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, S. Trömel, M. Jonas (2004b): *Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland*. In: *Deutscher Wetterdienst. Klimastatusbericht 2003*. Selbstverlag. Offenbach. S. 123-132.
- Schönwiese, C.-D., S. Trömel (2006): *Mehr extreme Niederschläge in Deutschland?* In: *Naturwiss. Rdsch.* 59. S. 194-199.
- Staeger, T. (2006): *Pers. Mitt.* (unter Nutzung der Methodik nach Trömel, S., 2005).
- Trömel, S. (2005): *Statistische Modellierung von Klimazeitreihen*. Bericht Nr. 2. Inst. f. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/Main.
- Trömel, S., C.-D. Schönwiese (2005): *A generalized method of time series decomposition into significant components including probability assessments of extreme events and application to observational German precipitation data*. In: *Meteorol. Z.* 14. S. 417-427.
- Webster, P.J. et al. (2005): *Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment*. In: *Science* 309. S. 1844-1846.