

## Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland

**C.-D. Schönwiese, T. Staeger, S. Trömel**

### *Einführung*

Der im Industriezeitalter eingetretene globale Klimawandel steht mit Recht nicht nur im Blickpunkt des wissenschaftlichen, sondern auch öffentlichen Interesses, weil er sich auf den gesamten ökologischen sowie ökonomisch-sozialen Bereich auswirkt und zumindest in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich der Temperatur („Global Warming“) dabei der Klimafaktor Mensch eine nicht zu übersehende Rolle spielt (IPCC, 2001; Schönwiese, 2003; Grieser et al., 2000). Je nach Klimatelement und Jahreszeit bzw. Monat weist dieser Klimawandel jedoch sehr unterschiedliche zeitlich-räumliche Strukturen auf, so dass neben der globalen Übersicht auch detaillierte regionale Studien auf der Grundlage von Beobachtungen notwendig sind.

Zudem sind die sehr häufig anzutreffenden linearen Trendanalysen nur ein Aspekt des Klimawandels, auch wenn sie – bei vieljähriger Datengrundlage – wichtige Indizien für die Langzeitsystematik des Klimawandels sind. Lineare bzw. nicht-lineare Trends sind jedoch stets von vielfältigen Fluktuationen und Anomalien überlagert und deren Zusammenspiel entscheidet darüber, was sich im Extremwertbereich der Klimadaten tut. Und gerade hinsichtlich der Auswirkungen sind Extremereignisse von ganz besonders großer Bedeutung. Beispiele dafür sind – mit Blick auf Deutschland – der Hitzesommer 2003 (Schönwiese et al., 2004; Schär et al., 2004) oder die Überschwemmungen in den Wintern 1993/94 und 1994/95 (Rhein/Mosel) sowie in den Sommern 2002 (Donau/Elbe) und 2005 (Bayern); siehe dazu auch Klimastatusberichte 2002, 2003 sowie Beitrag Grieser et al. in diesem Band.

### *Temperatur- und Niederschlagstrends*

Zunächst soll nun kurz, anhand der Tab. 1, ein Überblick der in Deutschland im Flächenmittel beobachteten linearen Trends der bodennahen Lufttemperatur und des Niederschlags gegeben werden (siehe auch Beitrag Müller-Westermeier und Riecke in diesem Band). Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, haben säkular (1901-2000) in allen Jahreszeiten ziemlich gleichmäßig Erwärmungen in der Größenordnung von 1 °C stattgefunden (global gemittelter jährlicher Vergleichswert: + 0,7 °C). Diese wie alle Klimatrends sind zeitlich nicht stabil und so zeigt sich in den letzten beiden Jahrzehnten (1981-2000) ein deutliches Erwärmungsmaximum im Winter bei gleichzeitig annähernd Stillstand im Herbst (letzteres auch schon 1961-1990).

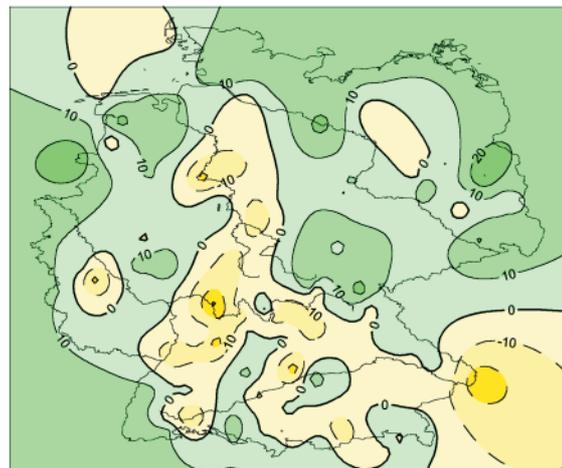
Die winterliche Erwärmung ist mit einem sich ebenfalls intensivierenden Niederschlagsanstieg verknüpft, der 1971-2000 einen Wert von 34 % erreicht hat. Dagegen weist der Sommer (1961-1990 auch der Frühling) überwiegend eine abnehmende Niederschlagstendenz auf. Während dank der guten Repräsentanzeigenschaften der Temperatur (Rapp, 2000; Rapp und Schönwiese, 1996) das räumlich differenzierte Trendbild mit einem Minimum im Nordwesten und einem Maximum im Süden bzw. Südwesten recht „glatt“ erscheint, weisen die Niederschlagstrends eine komplizierte kleinräumige Struktur auf, wie die Beispiele in Abb. 1 zeigen (weitere Details hierzu siehe Rapp, 2000; Schönwiese und Janoschitz, 2005).

**Tab. 1** Übersicht der linearen Klimatrends für das Flächenmittel Deutschland (nach Schönwiese und Janoschitz, 2005; Datenquellen: Rapp, 2000; Deut. Wetterdienst (DWD)).

Klimaelement, Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
<b>Temperatur, 1901 – 2000</b>	+ 0,8 °C	+ 1,0 °C	+ 1,1 °C	+ 0,8 °C	+ 1,0 °C
1951 – 2000	+ 1,4 °C	+ 0,9 °C	+ 0,2 °C	+ 1,6 °C	+ 1,0 °C
1961 – 1990	+ 0,8 °C	+ 0,4 °C	0	+ 1,7 °C	+ 0,7 °C
1971 – 2000	+ 1,7 °C	+ 0,9 °C	+ 0,7 °C	+ 0,7 °C	+ 1,0 °C
1981 – 2000	+ 1,3 °C	+ 0,7 °C	- 0,1 °C	+ 2,3 °C	+ 1,1 °C
<b>Niederschlag, 1901 – 2000</b>	+ 13 %	- 3 %	+ 9 %	+ 19 %	+ 9 %
1951 – 2000	+ 14 %	- 16 %	+ 18 %	+ 19 %	+ 6 %
1961 – 1990	- 9 %	- 8 %	+ 10 %	+ 20 %	+ 3 %
1971 – 2000	+ 13 %	+ 4 %	+ 14 %	+ 34 %	+ 16 %

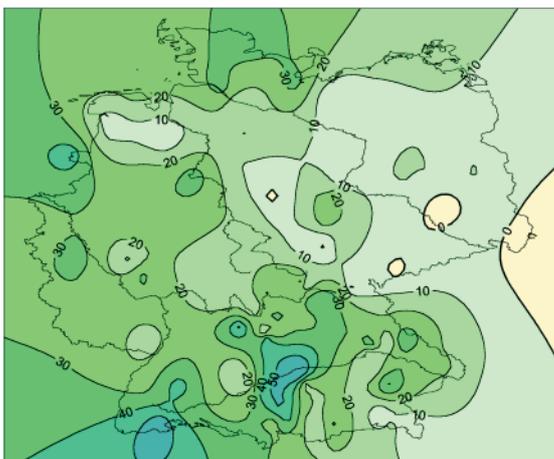
Sommer 1901-2000

Sommer 1971-2000



Winter 1901-2000

Winter 1971-2000

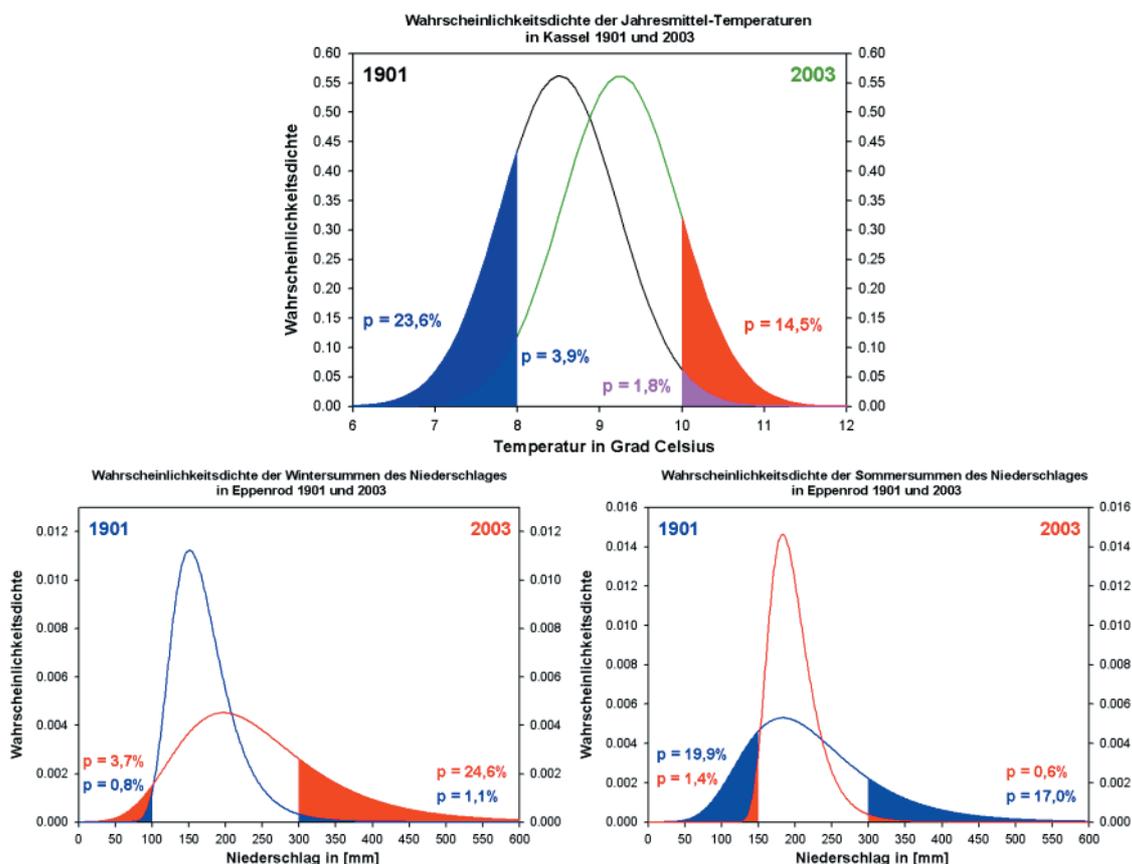


**Abb. 1** Lineare Niederschlagstrends in Prozent, oben Sommer, unten Winter, links 1901-2000, rechts 1971-2000 (nach Schönwiese und Janoschitz, 2005).

## Extremereignisse und Extremwerte

Spiegeln sich solche Trends auch im Verhalten der Extremereignisse wider? Diese Frage wird im folgenden kurz aufgrund einiger ausgewählter Ergebnisse beantwortet, die auf drei Projekte zurückgehen: ein vom Umweltbundesamt gefördertes Vorhaben (Extremwertanalyse mit Schwerpunkt Deutschland; Jonas et al., 2005), ein Projekt ähnlicher Zielsetzung im Rahmen des Integrierten Klimaschutzprogramms (INKLIM) Hessen (Schönwiese et al., 2006); schließlich ist diese Fragestellung auch ein Teilaspekt im Deutschen Klimaforschungsprogramm (DEKLIM; Trömel, 2005).

Dabei sollen im folgenden unter „Extremereignissen“ solche (i.a. synoptische) Konstellationen verstanden werden, die in den Zeitreihen der Beobachtungsdaten zum Auftreten von extremen Werten führen. Und konventionsgemäß gelten solche Werte als extrem, die relativ weit vom Mittelwert bzw. Modus (häufigsten Wert) entfernt auftreten. Insbesondere ist nach möglichen Änderungen der Häufigkeit und Intensität (als Abstandsmaß vom Mittelwert bzw. Modus) von Extremwerten gefragt. Und wie bereits gesagt, entscheiden darüber nicht nur Trends, sondern auch die überlagerten weiteren Variationsanteile.



**Abb. 2** Veränderung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) 2003 (grün bzw. rot) gegenüber 1901 (schwarz bzw. blau) mit Angabe der entsprechenden Änderungen der Über- sowie Unterschreitungswahrscheinlichkeit für bestimmte obere und untere Schwellenwerte; oben Temperatur-Jahresdaten Kassel, unten Niederschlagssummen Eppenrod (bei Limburg), links Winter und rechts Sommer (Analyse Staeger, nach Schönwiese et al., 2006).

Den Schlüssel zur Klärung solcher Probleme liefern nun die Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Zeitreihen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (engl. Probability Density Functions, PDF) heißen. Dabei hilft bei der Analyse eine neue Methodik, die aufbauend auf der Zeitreihenzerlegung (Grieser et al., 2002) die zeitabhängige Berechnung beliebiger Verteilungsparameter gestattet (Trömel, 2005; Trömel und Schönwiese, 2005). Drei Beispiele sollen dies veranschaulichen, siehe Abb. 2. Dabei ist jeweils die PDF zu Beginn (1901) und zum Ende (2003) des betrachteten Zeitintervalls angegeben.

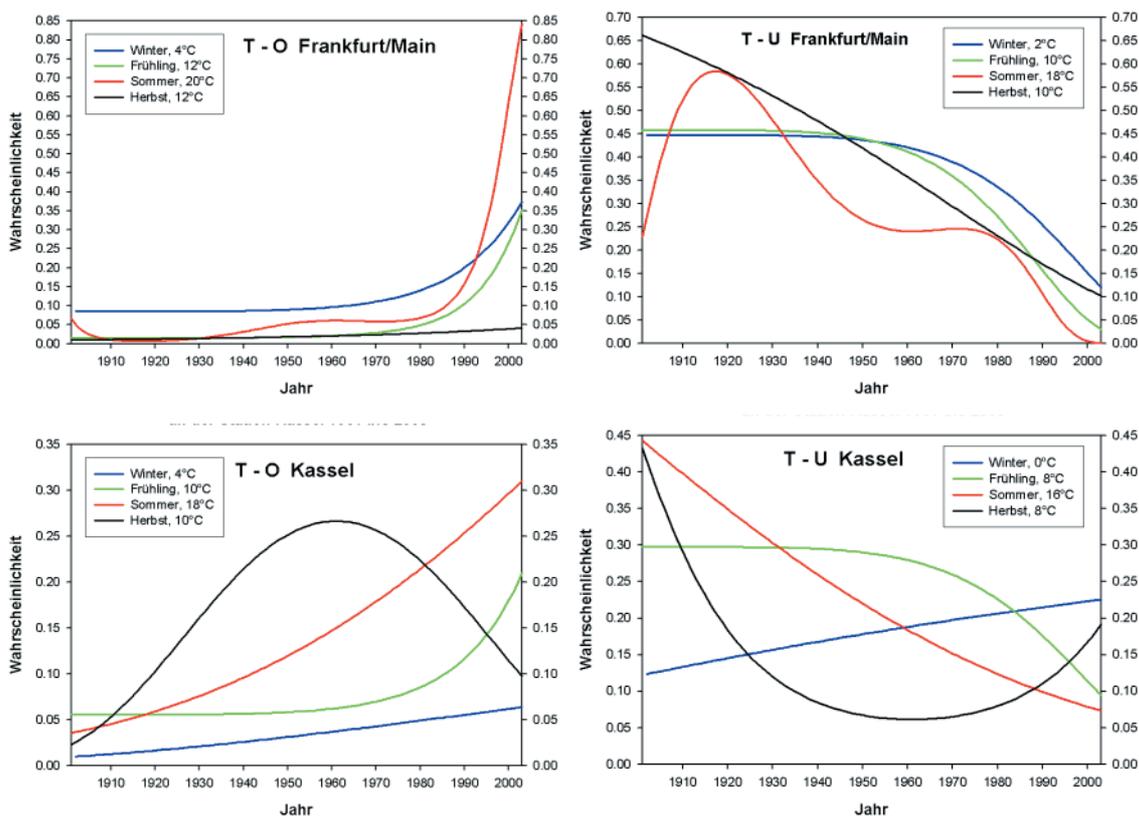
Bei der Temperatur (Abb. 2, oben; Station Kassel) ist ein Jahresmittelwert von weniger als 8 °C als extrem kalt und von mehr als 10 °C als extrem warm definiert. Die farbig markierten Flächen sind ein Maß für die betreffenden Eintrittswahrscheinlichkeiten. Die Daten folgen in guter Näherung einer Normalverteilung, die sich ohne signifikante Veränderung der Varianz zu höheren Werten hin verschoben hat. Die Folge ist im Lauf der Jahre 1901-2003 eine Abnahme der Unterschreitungswahrscheinlichkeit der Schwelle 8 °C von jeweils rund 24 % auf 4 % und eine Zunahme der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schwelle 10 °C von rund 2 % auf 14,5 %.

Anders beim Niederschlag (Abb. 2, unten; Station Eppenrod bei Limburg), der häufig einer Gumbelverteilung folgt: Hier ist im Winter nicht nur eine Verschiebung des Modus zu höheren Werten hin feststellbar (Trend); gleichzeitig ist auch die Varianz angestiegen, und dies ganz erheblich. Folglich hat sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit extrem geringer Niederschläge (Schwellendefinition 100 mm) als auch extrem hoher Niederschläge (Schwellendefinition 300 mm) zugenommen, und zwar von jeweils rund 1 % auf 4 % bzw. 1 % auf 25 %. Gerade dieses letztgenannte Beispiel zeigt, wie enorm sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwerten im Zuge des Klimawandels verändern können. Da jedoch im Sommer an der gleichen Station die Varianz nicht zu-, sondern abgenommen hat, ist in dieser Jahreszeit die Extremwert-Eintrittswahrscheinlichkeit geringer geworden, und zwar für extrem geringe Niederschläge (Schwellenwertdefinitionen wie im Winter) von jeweils rund 20 % auf 1 % (trotz Trend zu geringerem Niederschlag) und für extrem hohe Niederschläge von 17 % auf 1 %.

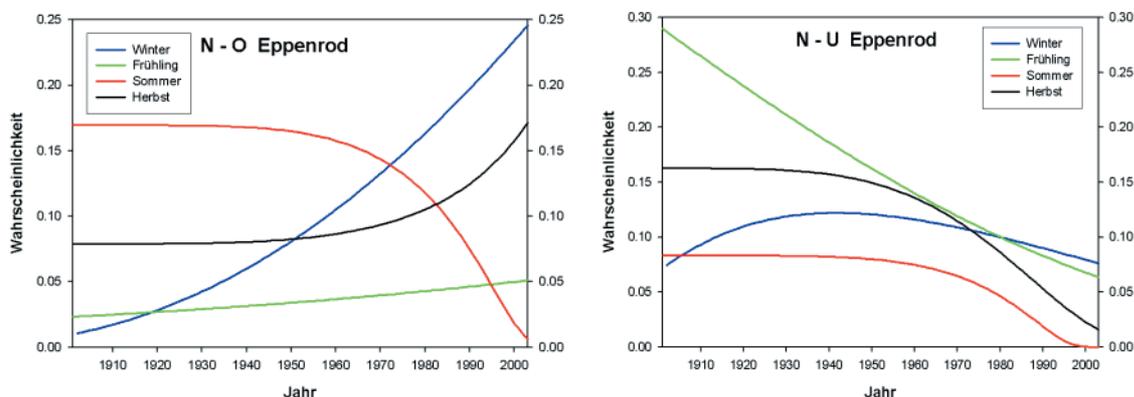
### *Zeitabhängige Extremwertanalyse*

Daraus lässt sich nun auch der zeitliche Verlauf der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Überschreiten beliebiger oberer bzw. Unterschreiten beliebiger unterer Schwellenwerte berechnen. Dies ist in Abb. 3 für die Temperatur in Kassel und Frankfurt/Main dargestellt, allerdings nicht in Orientierung an Jahresmittel- sondern jahreszeitliche Mittelwerte. Die jeweiligen Schwellenwertdefinitionen sind in dieser Abbildung mit angegeben. Man erkennt in Frankfurt in allen Jahreszeiten einen Anstieg der Überschreitungswahrscheinlichkeit, am stärksten im Sommer und sehr gering im Herbst. Gerade der Herbst fällt in Kassel aus dem Rahmen: starker Anstieg dieser Wahrscheinlichkeit bis etwa 1960 und anschließend Rückgang. Ungefähr spiegelbildlich dazu verhält sich an der gleichen Station die herbstliche Unterschreitungswahrscheinlichkeit. Ansonsten ist diese Wahrscheinlichkeit mit Ausnahme des Winters in Kassel – dem Erwärmungstrend entsprechend – abgefallen.

Abb. 4 enthält die dazu analoge Analyse für den Niederschlag in Eppenrod. Entsprechend Abb. 2 ist wiederum der starke Anstieg der Überschreitungswahrscheinlichkeit im Winter ersichtlich. Im Herbst konzentriert sich der Anstieg auf die jüngere Zeit, im Frühling ist er insgesamt schwach ausgeprägt und im Sommer ist ein ungefähr ab 1960 stark beschleunigter Rückgang eingetreten. Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit (im Gegensatz zu Abb. 2 ist in Abb. 4 ein einheitlicher unterer Schwellenwert definiert) ist an dieser Station in allen Jahreszeiten, wenn auch mit unterschiedlichem zeitlichen Verlauf, zurückgegangen.



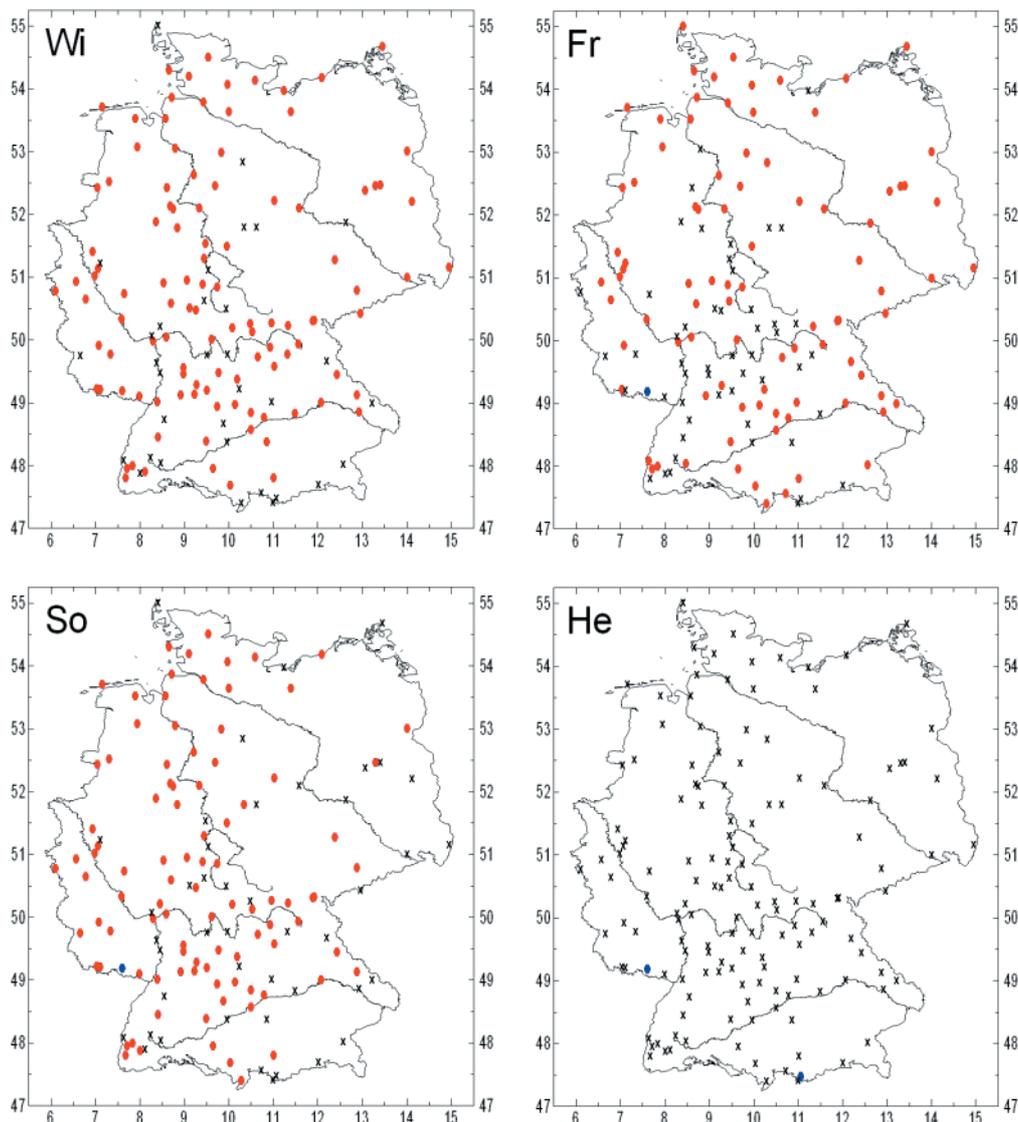
**Abb. 3** Zeitlicher Verlauf 1901-2003 der Überschreitungs- (O, links) und Unterschreitungswahrscheinlichkeit (U, rechts) der angegebenen saisonalen Temperatur(T)-Schwellenwerte an den Stationen Frankfurt/Main, oben, und Kassel, unten (Analyse Staeger, nach Schönwiese et al., 2006).



**Abb. 4** Ähnlich Abb. 3, jedoch Niederschlag Eppenrod; obere Schwelle 300 mm, untere Schwelle 120 mm für alle Jahreszeiten.

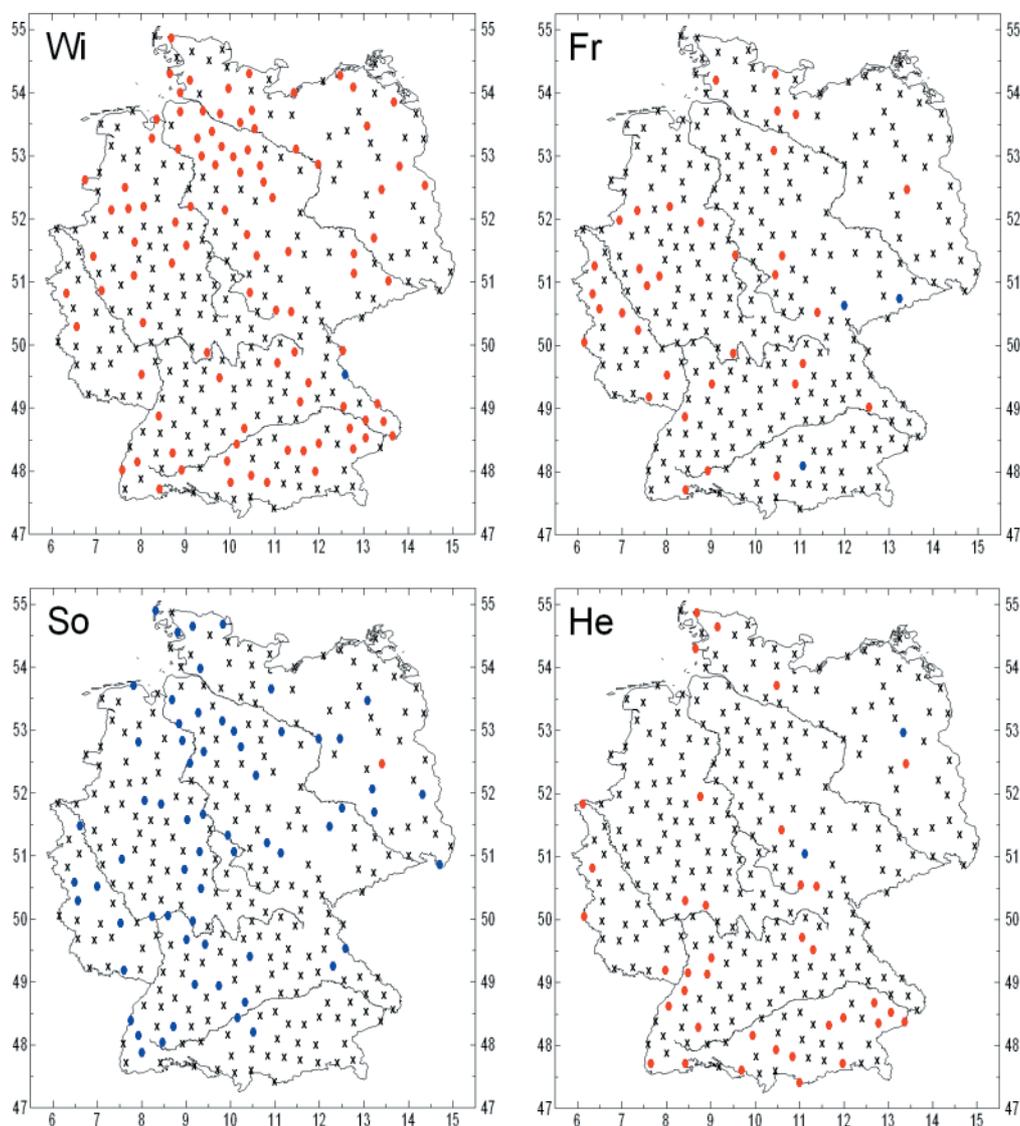
## Regionale Strukturen

Diese Analysen lassen sich noch weitergehend differenzieren. Zum einen können für jede betrachtete Station die zeitlichen Verläufe der Extremwertwahrscheinlichkeiten in den einzelnen Monaten berechnet werden (Ergebnisse hier nicht gezeigt, siehe dazu Jonas et al., 2005; Schönwiese et al., 2006; Trömel, 2005). Zum anderen können die räumlichen Strukturen der Trends dieser Wahrscheinlichkeiten erfasst werden. Dazu sollen nun einige Beispiele folgen, und zwar in Kartenform und zunächst jahreszeitlich. Wegen der im einzelnen, je nach Klimaelement, Station und Schwellenwertdefinition sehr unterschiedlichen Verläufe der Extremwert-Eintrittswahrscheinlichkeiten kann dies allerdings nur in grober Übersicht geschehen.



**Abb. 5** Saisonale Trends 1951-2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit der 90 %-Perzentilschwelle (obere 10 %) der Temperatur an den erfassten 141 Stationen; rot: Zunahme; blau: Abnahme; schwarz (x): keine signifikante Änderung (Berechnung Staeger, nach Jonas et al., 2005).

Begonnen werden soll wiederum mit der Temperatur, und zwar den Tagesdaten 1951-2000 an 141 Stationen, siehe Abb. 5. Dort sind lediglich die Trends der Überschreitungswahrscheinlichkeit des 90 %-Perzentils (gleichbedeutend mit dem oberen 10 %-Perzentil) gezeigt. Diese Perzentilbetrachtung ist deswegen sinnvoll, weil die Temperaturen bzw. Niederschlagsmengen an den einzelnen Stationen und auch in den einzelnen Jahreszeiten unterschiedlich sind und man sich deshalb immer am gleichen Prozentsatz der Daten mit relativ hohen bzw. relativ niedrigen Werten orientieren sollte. Wird dieser Prozentsatz durch die Perzentilwahl festgehalten, ergeben sich je nach Zeitreihe unterschiedliche Schwellenwerte.

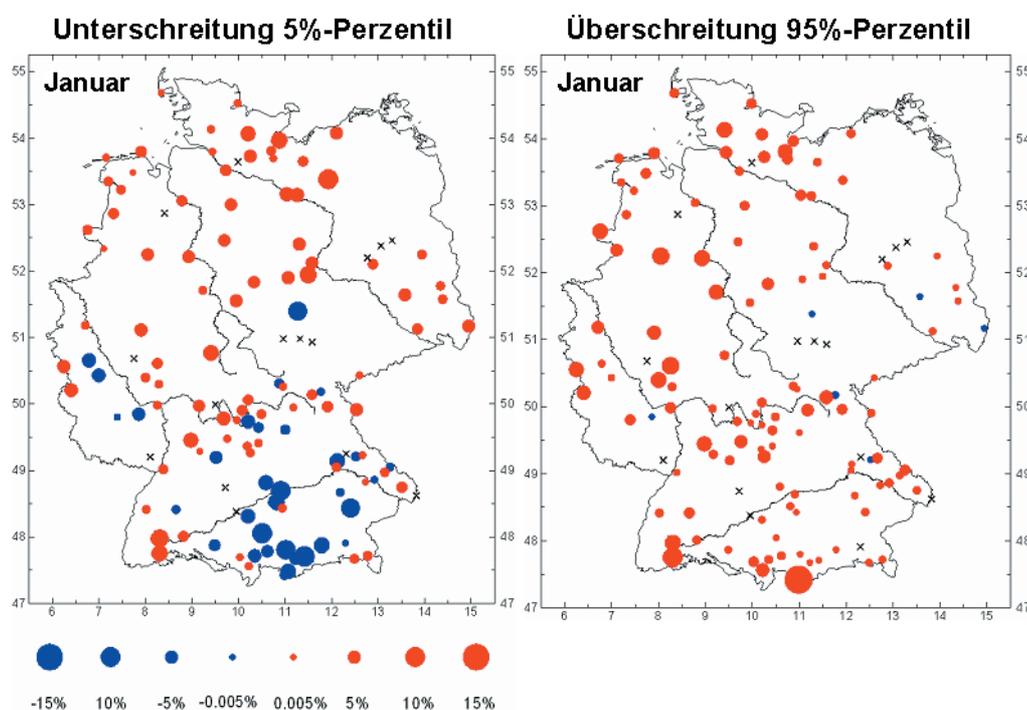


**Abb. 6.** Ähnlich Abb. 5, jedoch Niederschlag (301 Stationen).

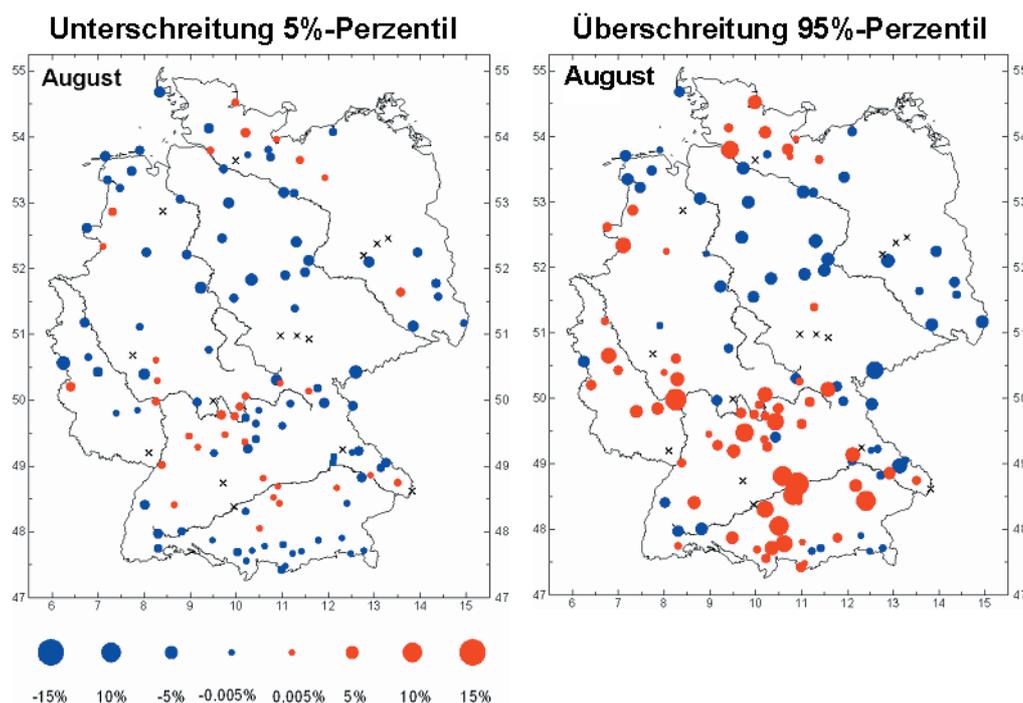
Die auf diese Weise erfassten Trends der Überschreitungswahrscheinlichkeit extrem hoher Werte (Signifikanz jeweils nach dem Mann-Kendall-Test geprüft) sind (vgl. Abb. 5) in allen Jahreszeiten außer dem Herbst zum weitaus größten Teil positiv und spiegeln somit die Erwärmung wider. Die entsprechenden Unterschreitungswahrscheinlichkeiten (hier nicht gezeigt) weisen außer im Frühjahr, wo sie abnehmen, nur selten signifikante Trends auf. Dabei ist anzumerken, dass die hier betrachteten Tagesdaten im Gegensatz zu Monats- bzw. jahreszeitlichen bzw. Jahresdaten der Temperatur keinesfalls immer der Normalverteilung folgen, sondern vielfach andere Verteilungen (z.B. Weibullverteilung) angebracht sind und dabei auch Varianzänderungen in Erscheinung treten.

In Abb. 6 ist analog zu Abb. 5 die regionale Struktur der Überschreitungswahrscheinlichkeiten für die Niederschlagstagesummen 1951-2000 (301 Stationen) wiedergegeben. Diese Wahrscheinlichkeitstrends sind offenbar im Winter verbreitet positiv, im Sommer überwiegend negativ und in den Übergangsjahreszeiten meist insignifikant, gelegentlich positiv und sehr selten negativ.

Schließlich sollen noch für Niederschlagsmonatsdaten 1901-2000 die Trends sowohl der Über- als auch Unterschreitungswahrscheinlichkeiten betrachtet werden. Diese Daten folgen in guter Näherung einer Gumbelverteilung. Dabei ist als Repräsentant des Winters der Januar und des Sommers der August ausgewählt; siehe Abb. 7 und 8. Die Perzentilschranken sind hier 5 % (Unterschreitung) und 95 % (entsprechend den oberen 5 %, Überschreitung). Die roten Farbsymbole weisen wieder auf zunehmende, die blauen auf abnehmende Wahrscheinlichkeit hin, sind aber nun zusätzlich je nach Ausmaß der Wahrscheinlichkeitstrends unterschiedlich groß.



**Abb. 7** Trends 1901-2000 der Unter- (links) und Überschreitungswahrscheinlichkeit (rechts) der angegebenen Perzentilwerte des Niederschlags im Januar an 132 Stationen; rot: Zunahme; blau: Abnahme, siehe dazu jeweils auch Farblegende; schwarz (x): keine signifikante Änderung (nach Trömel, 2005).



**Abb. 8** Ähnlich Abb. 7, jedoch August.

Im Januar erkennt man verbreitet eine Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit extrem hoher Niederschläge (Abb. 7, rechts), ausgenommen in den südlichen neuen Bundesländern (Brandenburg, Thüringen und zum Teil auch Sachsen). Gleichzeitig hat ähnlich verbreitet auch die Eintrittswahrscheinlichkeit extrem geringer Niederschläge zugenommen, ausgenommen Thüringen und – sehr markant – Bayern; uneinheitlich sind diese Trends entlang des Mains und Mittel- bis Unterrheins. Überall, wo die Eintrittswahrscheinlichkeit sowohl oberer als auch unterer Perzentile zugenommen hat (Abb. 7, rote Symbole sowohl im linken als auch rechten Teilbild), weist dies auf Varianzzunahmen hin und somit auf eine (ggf. den Mittelwertrends überlagerte) Tendenz zu einem „echt“ extremen Verhalten hin.

Im August (Abb. 8) sind die Tendenzen noch wesentlich uneinheitlicher. Die Wahrscheinlichkeit extrem geringer Niederschläge nimmt in diesem Monat überwiegend ab, jedoch nicht bzw. nur leicht zu unter anderem im äußersten Norden und teilweise entlang von Main, Donau und Rhein. Die Wahrscheinlichkeit für extrem hohe Niederschläge nimmt im August in Bayern ganz markant und verbreitet zu (nicht jedoch im äußersten Südosten und im Bayerischen Wald), weiterhin entlang des Rheins, in Schleswig-Holstein und im äußersten Südwesten von Niedersachsen. Im Gegensatz zum Januar gibt es größere Bereiche, vor allem in der Nordhälfte (ausgenommen Schleswig-Holstein und einige Teilregionen im äußersten Westen), wo sowohl die Unter- als auch Überschreitungswahrscheinlichkeiten abnehmen (Abb. 8, blaue Symbole im linken und rechten Teilbild), was auf abnehmende Varianz und somit weniger extreme Gegebenheiten hinweist. (Weitere Details, auch zu den anderen Monaten, siehe Trömel, 2005).

## *Schlussbemerkungen*

Auch Deutschland nimmt am globalen Klimawandel teil, wie die hier skizzierten Temperatur- und Niederschlagstrends zeigen. Allerdings gibt es sowohl jahreszeitlich als auch regional erhebliche Unterschiede. Zudem sind die Klimatrends zeitlich nicht stabil. Am auffälligsten ist die enorme Verstärkung der winterlichen Erwärmung in den letzten Jahrzehnten, die von einer sich ebenfalls verstärkenden winterlichen Niederschlagszunahme begleitet ist (vor allem in den westlichen und südwestlichen Landesteilen), während der Sommer langfristig eher zu einer Niederschlagsabnahme tendiert.

Eine neue Methode der Extremwertanalyse erlaubt für beliebige Häufigkeitsverteilungen und somit auch Klimaelemente die zeitabhängige Berechnung der Änderungen der Verteilungsparameter und folglich auch der Änderungen der Über- bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten für beliebige obere bzw. untere Schwellenwerte. Bei monatlichen, jahreszeitlichen sowie jährlichen Temperaturdaten liegt meist eine Normalverteilung vor, die sich ohne signifikante Änderung der Varianz zu höheren Werten hin verschiebt. Somit werden im allgemeinen warme Extrema wahrscheinlicher und kalte weniger wahrscheinlich. Bei den Tagesdaten gilt ähnliches, obwohl bei deren Analyse auch andere Verteilungen zugrunde gelegt werden müssen und die Varianz keineswegs immer konstant bleibt.

Dies gilt generell auch für den Niederschlag, bei dem die Ergebnisse, einschließlich der regionalen Strukturen, deutlich vielfältiger sind. Am auffälligsten ist hier ein extremeres Verhalten im Winter; das heißt, in Verbindung mit einer häufig zunehmenden Varianz werden sowohl extrem hohe als auch extrem geringe Niederschläge auf Kosten mittlerer wahrscheinlicher. Im Sommer ist größtenteils das Gegenteil der Fall, insbesondere in der Nordhälfte Deutschlands, ausgenommen vor allem Bayern und einige Teilregionen entlang des Mains und Mittelrheins. Wegen der großen Unterschiede im Detail ist es für den Nutzer dieser Befunde angebracht, sich gezielt für jede einzelne Station und jeden einzelnen Monat hinsichtlich der Tendenzen der Extremwerte zu informieren. Die manchmal anzutreffende Pauschalaussage, das Klima werde generell extremer, ist nicht gerechtfertigt.

### Literatur

- DWD: Klimainformationssystem (KLIS), <http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/index.htm> (und Datenzugang im Rahmen eines gemeinsamen DEKLIM-Projekts).
- Grieser, J., T. Staeger und C.-D. Schönwiese (2000): Statistische Analyse zur Früherkennung globaler und regionaler Klimaänderungen aufgrund des anthropogenen Treibhauseffektes. Bericht Nr. 103, Inst. Meteorol. Geophys. Univ. Frankfurt/M.
- Grieser, J., S. Trömel und C.-D. Schönwiese (2002): Statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature. *Theor. Appl. Climatol.* 71: 171-183.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Houghton, J.T. et al., eds., 2001): *Climate Change 2001. The Scientific Basis.* Univ.Press, Cambridge.
- Jonas, M., T. Staeger und C.-D. Schönwiese (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland (Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben Nr. 201 41 254). Bericht Nr. 1, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Bericht Nr. 212, Deut. Wetterdienst, Offenbach.
- Rapp, J., und C.-D. Schönwiese (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. Band 5, Serie B, Frankfurter Geowiss. Arb. (2. Aufl.).
- Schär, C., et al. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332-336.
- Schönwiese, C.-D. (2003): *Klimatologie.* Ulmer (UTB), Stuttgart (2. Aufl.).
- Schönwiese, C.-D., und R. Janoschitz (2005): Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000. Bericht Nr. 4, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger, H. Steiner und S. Brinckmann (2006): Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901-2003 (Abschlussbericht zum INKLIM-Projekt, Baustein II., Nr. 2004.090353876-3 HLUG). Bericht Nr. 3, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.
- Schönwiese, C.-D., T. Staeger und S. Trömel (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorol. Z.* 13: 323-327 (siehe auch Deut. Wetterdienst, Klimastatusbericht 2003, S. 123-132).
- Trömel, S. (2005): Statistische Modellierung von Klimazeitreihen. Bericht Nr. 2, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Universität Frankfurt/M.
- Trömel, S., and 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. *Meteorol. Z.* 14: 417-427.