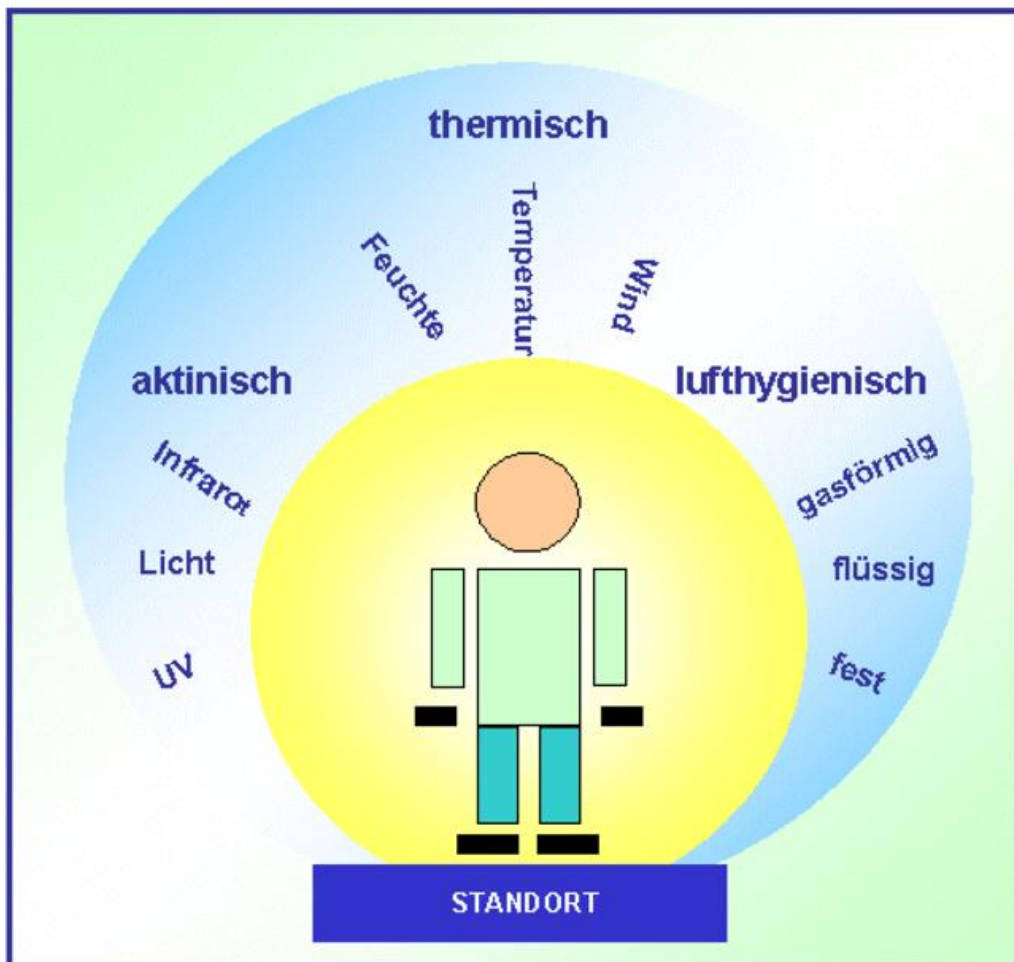


# Klimastatusbericht

1998



**Einwirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen**

**Ursachen der Lufttemperaturvariationen in Deutschland**

**Die Starkniederschläge im Oktober**

Herausgeber und Verlag  
Deutscher Wetterdienst  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65  
63004 Offenbach

Der Klimastatusbericht im Internet:

<http://www.dwd.de/research/klis/ksb/ksb.htm>

**ISSN 1437 - 7691**

**ISBN 3-88148-350-0**

### **Urheberrecht**

Alle Rechte an den hier präsentierten Informationen liegen, soweit nicht anders vermerkt, beim DWD.

Die Nutzung der nachfolgenden Informationen bzw. Teilen davon ist nur unter Nennung des Quellenhinweises " Deutscher Wetterdienst " gestattet. Eine kommerzielle Nutzung ohne ausdrückliche Genehmigung ist untersagt.

### **Zum Titelbild**

Gesundheitseffekte der atmosphärischen Umweltbedingungen gehen i.d.R. nicht von einem einzelnen meteorologischen Element aus; die Atmosphäre wirkt vielmehr komplex im Akkord auf den Organismus. Gleichwohl, lassen sich drei Hauptthemen unterscheiden:

1. die Strahlung der Sonne im UV-, sichtbaren (Licht) und Infrarot-Bereich (aktinischer-Wirkungskomplex)
2. die komplexen Bedingungen des Wärmeaustausches des Menschen mit seiner Umgebung mit dem Ziel, thermisches Gleichgewicht zu erhalten (thermischer Wirkungskomplex)
3. Lufthygiene (lufthygienischer Wirkungskomplex)

## Liebe Leserin, lieber Leser

Die zweite Ausgabe des Klimastatusberichts greift das Motto [Weather, Climate and Human Health](#) des Weltmeteorologentages 1999 auf und befaßt sich in zwei Artikeln mit dem Themengebiet *Klima und die Gesundheit des Menschen*. Zwei weitere Schwerpunkte bilden die Beiträge zu beobachteten Trends der Lufttemperatur in Deutschland und deren mögliche Ursachen sowie eine ausführliche Behandlung der Starkniederschläge im Oktober des Jahres 1998.

Auch in diesem Jahr sind die regelmäßig erscheinenden Berichte zum Klima des vergangenen Jahres wieder in weitere Hintergrundartikel eingebettet. In der gedruckten Version werden diese regelmäßig erscheinenden Beiträge dabei redaktionell/drucktechnisch von den anderen Artikeln abgehoben dargestellt, was eine leichtere Zuordnung von regelmäßigen und Hintergrund-Artikeln ermöglichen soll.

Der große Zuspruch zu dem im vergangenen Jahr erstmals erschienenen Prototypen des Klimastatusberichts hat uns ermutigt, dieses Jahr den Bericht nicht nur und primär im Internet zu veröffentlichen, sondern auch eine gedruckte Version in kleiner Auflage (ca. 1000 Exemplare) herauszugeben.

Auch wenn der Klimastatusbericht als Veröffentlichung des Deutschen Wetterdienstes vorrangig als deutschsprachiger Beitrag zum Klima in Deutschland im vergangenen Jahr beitragen soll, ist die Idee, ein *offenes* Forum zu bieten, welches über institutionelle (DWD-weite), geographische (Deutschland-weite) und sprachliche (deutsch) Grenzen hinausblickt, ohne dabei jedoch seine (noch zu entwickelnde) Identität zu verlieren. Mit Beiträgen zum El Niño, dem englischsprachigen Artikel zur Generierung von Klimakarten und nicht zuletzt durch die Mitarbeit von „Externen“ (von der Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt) wird dieser Weg in dieser Ausgabe beschritten.

In diesem Sinne und bestärkt durch die gute Resonanz auf die bisherige Ausgabe soll nunmehr die Herausgabe des Klimastatusberichts regelmäßig jährlich fortgesetzt werden.

Für Anregungen und Kommentare von Ihnen, liebe Leserin und lieber Leser, zur Ausgestaltung und Fortsetzung künftiger Ausgaben des Klimastatusberichts, würde ich mich sehr freuen ([mwerscheck@dwd.d400.de](mailto:mwerscheck@dwd.d400.de)).

Ich wünsche Ihnen eine vergnügliche und interessante Lektüre der nachfolgenden Seiten.



RDir M. Werscheck  
(Leiter des Referates  
Grundlagen der Klimaüberwachung)

## Inhaltsverzeichnis

### SEITE

- 7 [Einwirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen in Mitteleuropa](#)  
**G. Jendritzky**
- 18 [Beobachtete Trends der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe in Deutschland](#)  
**J. Rapp**
- 23 [Ursachen der Lufttemperaturvariationen in Deutschland 1865 - 1997](#)  
**A. Walter, C.-D. Schönwiese**
- 30 [Die mittleren klimatologischen Bedingungen in Deutschland \(Teil II\)](#)  
**G. Müller-Westermeier**
- 33 [Die Witterung in Deutschland und Extremwertkarte für das Jahr 1998](#)  
**G. Müller-Westermeier, G. Czeplak**
- 41 [Die Witterung in deutschen Küstengebieten](#)  
**Ch. Lefebvre**
- 44 [Die phänologische Entwicklung](#)  
**W.Trampf, W. Janssen**
- 47 [Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre](#)  
**H. Nitsche**

## SEITE

- 53 [Entwicklung der Ozonschicht](#)  
**H. Claude, W. Steinbrecht**
- 56 [Objektive Wetterlagenklassifikation](#)  
**P. Bissolli, E. Dittmann**
- 61 [Saisonale Abweichung der Gebietsniederschläge in Europa](#)  
**B. Rudolf**
- 65 [Auswertung von Gebietsniederschlägen für die Gesamt-Einzugsgebiete großer Flußsysteme](#)  
**B. Rudolf , J. Rapp**
- 68 [Starkniederschläge im Oktober](#)  
**T.Fuchs, J. Rapp , B. Rudolf (Teil 1)**  
**E. Dittmann, G. Müller-Westermeier (Teil 2)**
- 75 [Niederschlagsanalysen des WZN am Beispiel des El Niño -Ereignisses 1997/98](#)  
**T. Fuchs, B. Rudolf , U. Schneider**
- 82 [Numerical Production of Climatic Maps for Parameters with Significant Correlation to Topography](#)  
**G. Müller-Westermeier**
- 86 [Das Bioklima in Deutschland](#)  
**G. Jendritzky**

## SEITE

1	<a href="#">Titelbild</a>
2	<a href="#">Zum Titelbild</a>
3	<a href="#">Vorwort</a>
5	<a href="#">Inhaltsverzeichnis</a>
91	<a href="#">Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</a>
92	<a href="#">Anschriften der Autoren</a>
94	<a href="#">Impressum</a>
95	<a href="#">Index</a>

# Einwirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen in Mitteleuropa<sup>1</sup>

G. Jendritzky

Gesundheitsrisiken von Umweltbelastungen werden typischerweise in der Nähe der Quellen, d.h. in einem lokalen oder maximal regionalen Maßstab betrachtet. Die im Klimasystem wirksamen Treibhausgase breiten sich jedoch aufgrund ihrer langen Lebensdauer global aus. Wir sehen uns deshalb zum ersten Mal in der Geschichte der Menschen mit den möglichen Auswirkungen einer vom Menschen verursachten globalen Umweltveränderung auf die Gesundheit konfrontiert. Gesundheitsrisiken einer Klimaänderung sind damit grundsätzlich nicht mehr lokal begrenzt. Allerdings hängen die Auswirkungen von zahlreichen sozio-ökonomischen, technologischen, infrastrukturellen, geographischen und klimatologischen Rahmenbedingungen ab.

Änderungen des Klimas wirken sich vielfach auf indirektem Weg aus (s.a. Abb.1), indem z.B. die Ökologie von Krankheitserregern und ihrer Überträgerorganismen, die Nahrungsproduktion oder Frischwasserversorgung gestört wird. Weitere mögliche Auswirkungen ergeben sich durch Hitzewellen und wärmere Winter; Dürren, Überschwemmungen, Stürme und andere Wetterkatastrophen; von Vektoren sowie von wasser- und nahrungsmittelübertragenen Infektionserkrankungen; verringerte Nahrungsmittelproduktion; Anstieg des Meeresspiegels; Luftverschmutzung und Luftallergene; Zunahme der UV-Strahlung durch die stratosphärische Ozonabnahme; sozio-ökonomische Verwerfungen. Die Bewertung der Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Gesundheit des Menschen wird durch zahlreiche Unsicherheiten erschwert. Gesellschaften mit hohem Niveau von natürlichen, technologischen und sozialen Ressourcen werden insgesamt wohl eine geringere Empfindlichkeit gegenüber klimainduzierter Auswirkungen auf die Gesundheit aufweisen bzw. leichter Anpassungsstrategien zur Risikominimierung entwickeln. Weil solche Gesellschaften in aller Regel den höchsten Pro-Kopf-Beitrag an der globalen Treibhausgasemission zu verantworten haben, ist hier in erster Linie die strikte Anwendung des Vorsorgeprinzips der Agenda 21 einer nachhaltigen Entwicklung einzufordern.

## *Gesundheitsrisiken*

Mit einer vom Menschen verursachten globalen Umweltveränderung sind Veränderungen und Zerstörungen unterschiedlicher ökologischer Beziehungen und lebenserhaltender natürlicher Systeme verbunden. Die daraus resultierenden Gesundheitsrisiken liegen in ihrer Größenordnung und Qualität möglicherweise außerhalb der bisherigen Erfahrungen<sup>13,15</sup>. Sie sind nicht mehr lokal begrenzt, sondern betreffen die gesamte Menschheit. Sie ziehen eine Reihe von Folgeerscheinungen nach sich, von denen sich viele über indirekte Wege auswirken, weil natürliche Systeme, wie z. B. die Ökologie von Krankheitserregern und ihre Überträgerorganismen, die Nahrungs-

---

<sup>1</sup> Partiiell publiziert in: Umweltmed.Forsch.Prax.3 (2) 72-76 in ecomed-Verlag, Landsberg sowie in OEKOSKOP Nr. 1/99, Basel, 11-17

produktion und Frischwasserversorgung gestört werden<sup>7,13</sup>.

Risiko		global	Mitteleuropa	Bestimmtheit der Abschätzung
Thermischer Stress:	Mortalitätsrate	##	##	+
Luftbelastung:	Asthma/Allergien	#	#	+
Vektorübertragene Infektionskrankheiten		##	#	-
Wasserübertragene Infektionskrankheiten		##	#	-
Nahrungsmittelübertr. Infektionskrankheiten		#	#	-
Mangelernährung		##	-	-
Wetterkatastrophen:	Tod, Traumatisierung	##	#	-
Hauttumoren		#	#	+
Katarakte		#	#	-
Immunsuppression		##	##	-

Erwarteter Effekt: - keiner, # gering, ## stark

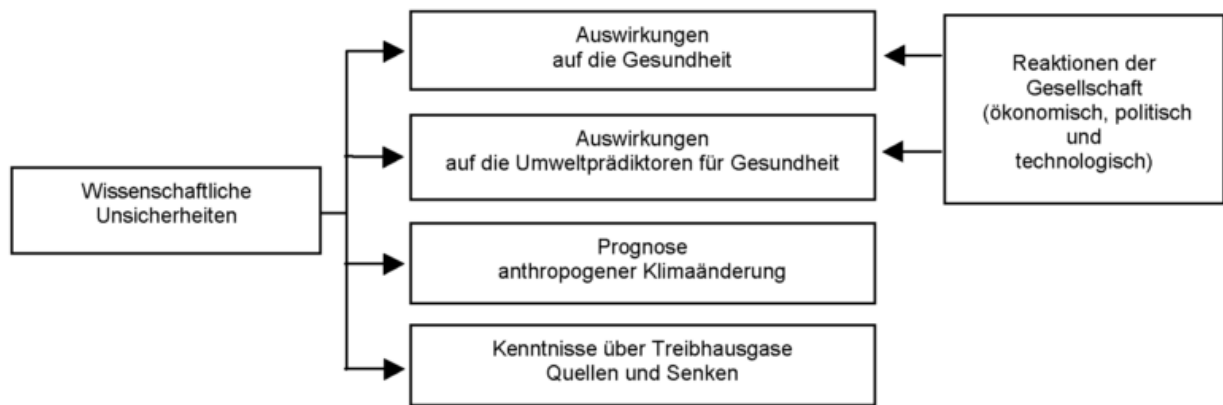
Bestimmtheit: - niedrig, + akzeptabel

**Abb. 1** Gesundheitsrisiken von Klimaänderungen und stratosphärischer Ozonabnahme (mod. n. P. Martens, 1996)

Eine Risikobewertung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit - gleich ob im regionalen oder globalen Maßstab - verlangt, unsere begrenzten Kenntnisse über die Beziehungen zwischen Umweltbedingungen und Gesundheit aus der Vergangenheit auf zukünftige Umweltveränderungen anzuwenden, die wir nicht sicher kennen und die möglicherweise den Schwankungsbereich der Vergangenheit bei weitem übertreffen<sup>14</sup>. Die Unsicherheiten in der Vorhersage von Auswirkungen auf die Gesundheit sind vermischt mit Unsicherheiten bezüglich sozio-ökonomischer, demographischer, technologischer und politischer Veränderungen, die die Gefährdung des Menschen und seine Anpassungskapazität ebenfalls beeinflussen (Abb. 2).

#### *Direkte und indirekte Auswirkungen*

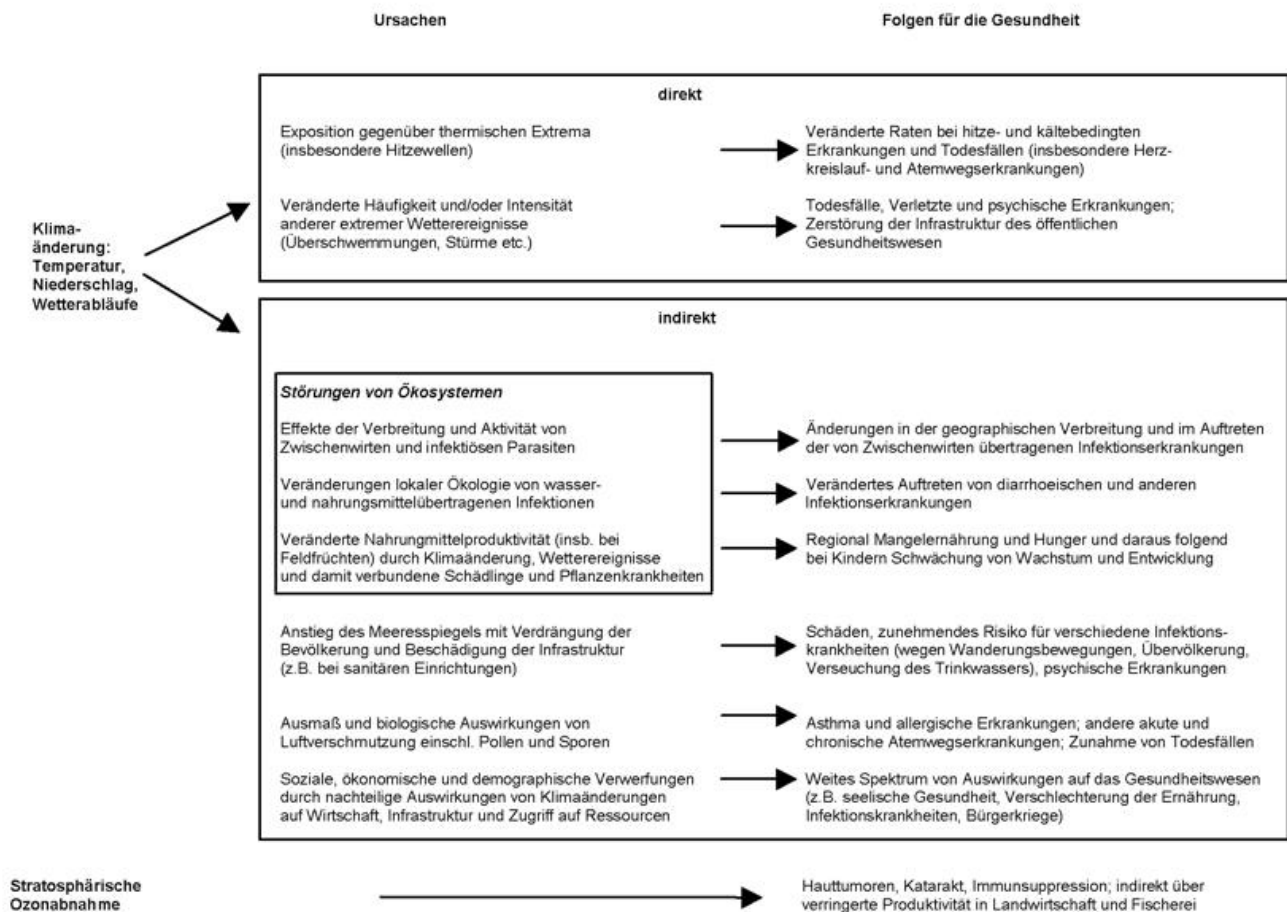
Die Auswirkungen der Klimaänderung können nach "direkten" und "indirekten" unterschieden werden (Abb. 3). Während einige Auswirkungen sehr leicht vorausgesehen werden können - wie z.B. die Zunahme von Todesfällen durch die Zunahme der Häufigkeit und Schwere von Hitzewellen<sup>7</sup> - hängen andere z.B. vom Verbreitungsmuster von Vektorpopulationen<sup>2</sup> oder regionaler Nahrungsmittelproduktion ab und sind deshalb weniger leicht zu prognostizieren<sup>1,11</sup>. Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit in Mitteleuropa könnten von Vertreibung bzw. Wanderungen von Bevölkerungen aufgrund auch von fernen Konflikten, z.B. bei einem Meeresspiegelanstieg oder durch Nahrungsmittelmangel bei Dürre, ausgehen.



**Abb. 2** Die Abfolge von Unsicherheiten bei der Beurteilung der Gesundheitsrisiken bei einer Klimaänderung (WHO/WMO/UNEP-Task Group, 1996)

### *Thermische Belastungen und Luftbeimengungen*

Mögliche nachteilige Gesundheitseffekte gehen auch in Mitteleuropa von sommerlicher Hitzebelastung aus - bei möglicherweise verringerter kälteinduzierter Mortalität durch mildere Winter - und von der wahrscheinlichen Zunahme von partikelförmigen Luftbeimengungen, bei Aeroallergenen und Photooxidantien durch meteorologische Faktoren<sup>3</sup>. Korrelationsstatistische Untersuchungen über die Beziehung von Mortalitätsdaten (gesamt, Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen) zu den thermischen Bedingungen zeigen generell einen Jahresgang, der in gemäßigten Klimaten bemerkenswerterweise stärker ausgeprägt ist als in kalten<sup>12</sup>. Unter Behaglichkeitsbedingungen, d.h., wenn die Aktivität der Thermoregulationsmechanismen ein Minimum aufweist, zeigt auch die Mortalitätsrate niedrigste Werte. Dem typischen saisonalen Verhalten der Mortalität entsprechend nimmt mit zunehmendem Kältestreß die Mortalitätsrate zu, wobei die erhöhte Zahl der Todesfälle im Winter jedoch überwiegend auf Infektionen zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist jedoch, daß während des saisonalen Minimums im Sommer mit zunehmender Wärmebelastung die Mortalitätsrate hohe Werte erreicht, die höchsten bei ausgeprägten Hitzewellen auch in dem sog. gemäßigten Klima des mitteleuropäischen Tieflandes (Abb. 4). Betroffen sind überwiegend Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislauserkrankungen, insbesondere ältere multimorbide Menschen mit ihrer eingeschränkten Anpassungskapazität<sup>6</sup>.

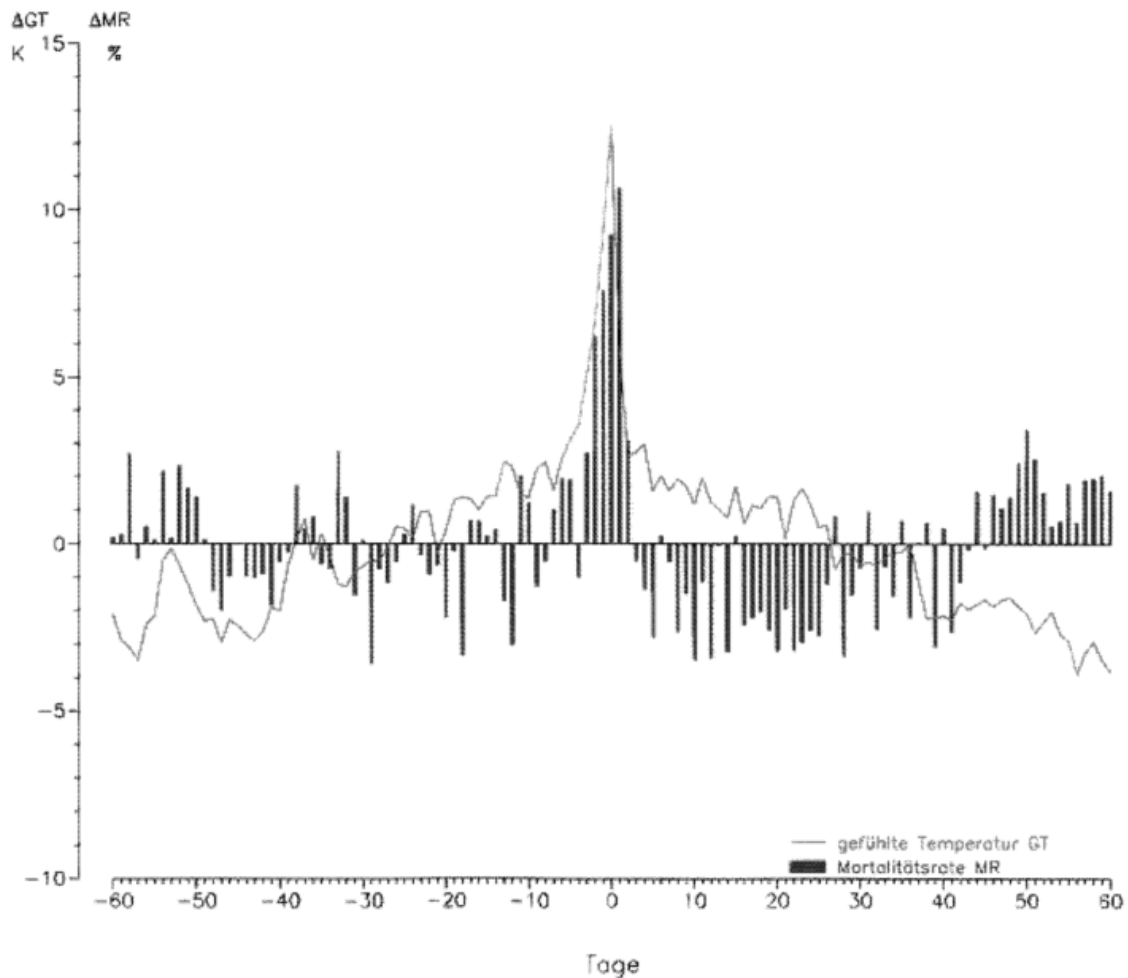


Anmerkung: Bevölkerungen mit unterschiedlichem Niveau an natürlichen, technologischen und sozialen Ressourcen werden sich auch in ihrer Verwundbarkeit bzgl. Klimainduzierter Auswirkung auf die Gesundheit unterscheiden

**Abb. 3** Wirkungspfade einer Klimaänderung auf die Gesundheit des Menschen (WHO/WMO/UNEP-Task Group, 1996)

Es kann angenommen werden, daß auch unterhalb des Extremereignisses Todesfall sich thermische Belastungen auf Morbidität, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden des Menschen auswirken. Für Synergieeffekte zwischen Wärme- und Luftbelastung gibt es deutliche Hinweise. Dabei sei darauf hingewiesen, daß die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel aufgrund des Wachstums und der Verdichtung in den Ballungsräumen generell inzwischen das Niveau der für Ende des nächsten Jahrhunderts prognostizierten globalen Temperaturerhöhung erreicht hat.

In Analogie zur gesundheitsbezogenen Bewertung des aktuellen Klimas in Form von Bioklimakarten (siehe auch den Beitrag "[Das Bioklima in Deutschland](#)" in diesem Heft) werden für die Betrachtung der Gesundheitsrisiken von Klimaänderungen ebenfalls räumliche Darstellungen mit mindestens regionaler Auflösung benötigt<sup>8</sup>. Da angenommen werden kann, daß in einer wärmeren Welt die deutlichste direkte Klimawirkung von nach Häufigkeit und Intensität veränderten Hitzewellen ausgeht, müssen solche Bedingungen auch thermophysologisch relevant beschrieben werden. Im DWD dient dazu bekanntlich das Klima-Michel-Modell auf der Basis der Behaglichkeitsgleichung von Fanger, mit dem eine auf Standardbedingungen bezogene gefühlte Temperatur GT (siehe auch Abb. 4) berechnet wird.



**Abb. 4** Gemittelter Einfluß des extremsten Wärmebelastungsereignisses pro Jahr auf die Mortalitätsrate in Baden-Württemberg 1968-1993

Bei den meteorologischen Input-Daten machen die Strahlungsflüsse die größten Schwierigkeiten, da direkte Messungen in der Regel nicht zur Verfügung stehen, sie also aus üblichen synoptischen Beobachtungen über ein Strahlungsmodell, z.B. nach VDI 3789, Blatt 2, parametrisiert werden müssen.

Für globale Karten stehen die erforderlichen Daten in hinreichender Dichte und Qualität z.B. als Kontrolllauf („status-quo“) des Klimasimulationsmodells ECHAM4/T106 zur Verfügung. Die Daten stammen aus dem sog. Zeitscheibenexperiment des DKRZ (zusammen mit Uni Fribourg und ETH Zürich), bei dem mit dem damals aktuellen Strahlungsantrieb für 1971-80 mit der relativ hohen T106-Auflösung (ca. 110 km in 30° N bzw. S) gerechnet wurde. Die jeweiligen bioklimatologischen Analysen mit Hilfe des Klima-Michel-Modells ergeben jedoch z.T. beträchtliche Unterschiede zu den analogen Analysen der EZMW-Reanalysen.

Die Klimaänderung wird für die Zeitscheibe 2041-50 auf der Basis des Szenarios IS 92a betrachtet. Die Differenz beider Zeitscheiben ist in Abb. 5a, b dargestellt. Im Juli wird danach u.a. für das südliche Mitteleuropa und das westliche Südeuropa eine

deutliche Zunahme der Wärmebelastung prognostiziert. Unter der Annahme fehlender Akklimatisation und Verzicht auf Klimaanlage müßte damit ein Anstieg der Mortalitätsrate im Sommer verbunden sein, deren mögliche Kompensation durch verminderte Wintermortalität allerdings noch unklar ist.

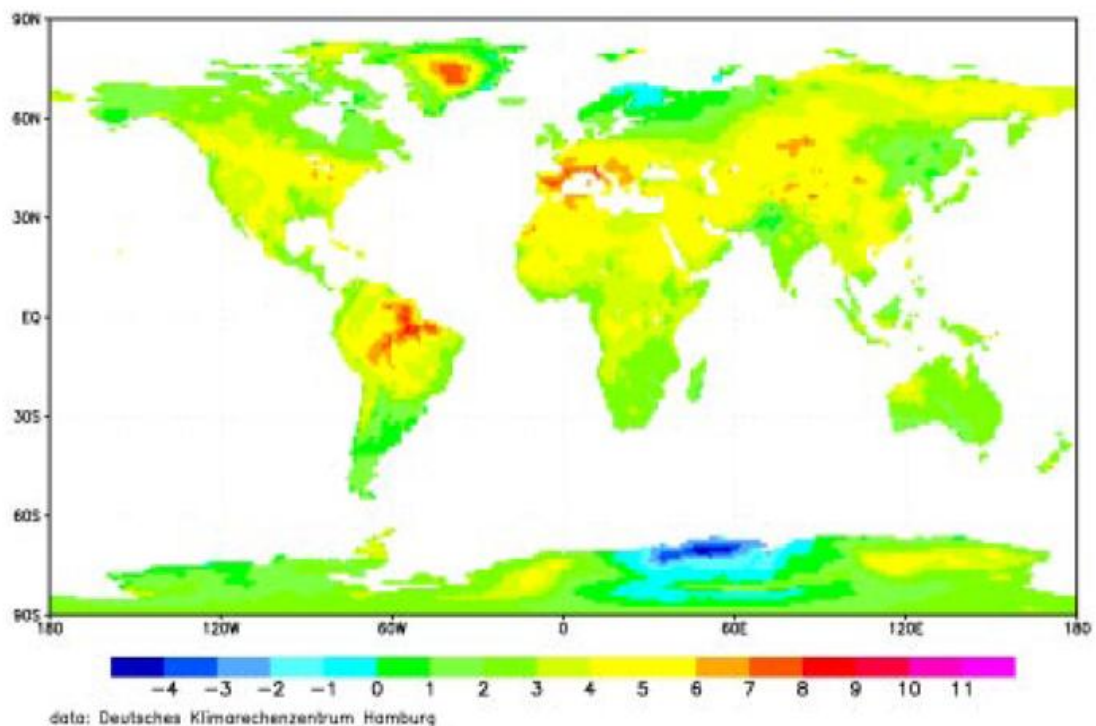
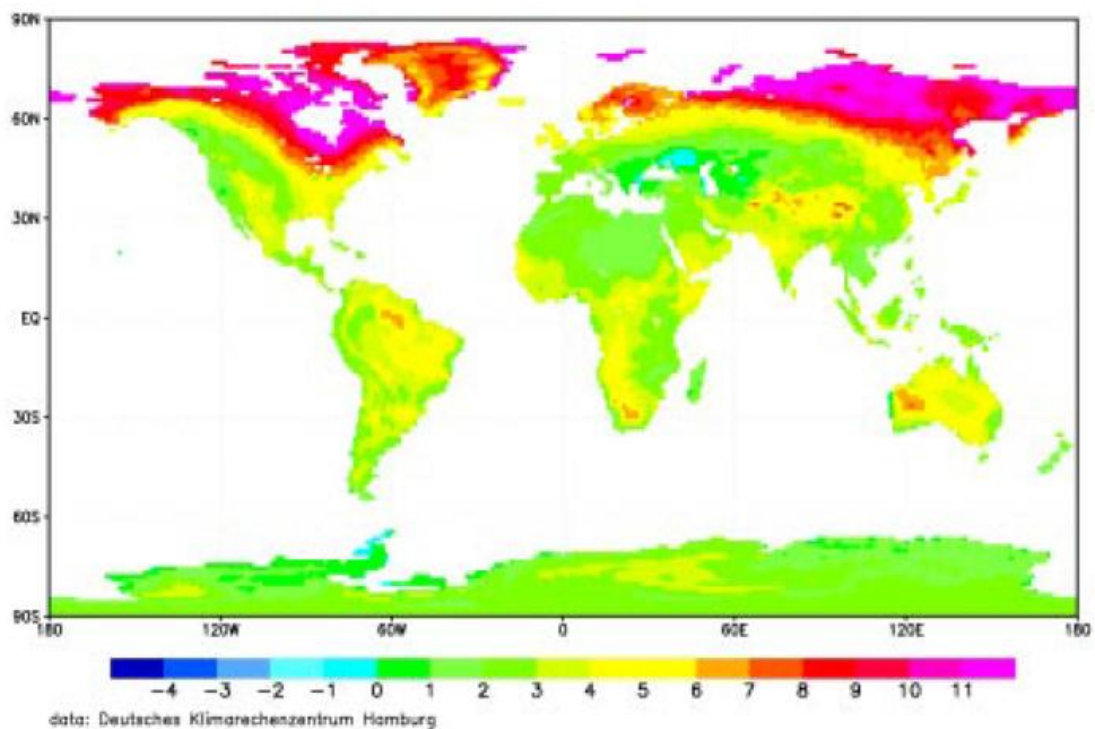
Eine Verbesserung bei der für humanbioklimatologische Fragestellungen auch bei T106 noch unbefriedigenden Auflösung läßt sich z.B. durch statistisches Downscaling erreichen, indem die Beziehung zwischen dem ECHAM4-Kontrolllauf bzw. der EZMW-Reanalyse und den Bioklimakarten Europa in 5'-Auflösung auf das Ergebnis der Klimaänderungszeitscheibe angewandt wird. Die grundsätzlichen Unsicherheiten in der Klimasimulation werden dadurch aber nicht ausgeräumt.

### *Infektionskrankheiten*

Klima spielt bei der Populationsdynamik und Verbreitung von Zwischenwirten (Vektoren) von Krankheitserregern und für das Auftreten von wasser- und nahrungsmittelübertragenen Infektionen eine dominierende Rolle. Zu den wichtigsten Überträgern von Krankheitserregern zählen Insekten (u.a. Stechmücken, Läuse, Flöhe u.a.), Spinnentiere (Zecken) und Nagetiere (Ratten, Mäuse). Die aufgeführten Tierarten zeichnen sich durch die Eigenschaft aus, sich schneller als viele andere Organismengruppen veränderten Umweltbedingungen anpassen zu können. Kurzfristige und längerfristige Klimavariabilität kann damit deutliche Auswirkungen auf die Ausbreitung von Vektoren haben, wodurch die Übertragung und Ausbreitung von durch Vektoren übertragene Erkrankungen beeinflusst werden<sup>2,3</sup>.

Die wichtigste durch Stechmücken übertragene Erkrankung ist die Malaria. Mehr als 2 Milliarden Menschen leben in malaria-gefährdeten Gebieten. 300 Millionen Menschen erkranken jährlich an Malaria und schätzungsweise 2 Millionen Menschen versterben jährlich an einer Malaria-Infektion. In Deutschland werden über Infektionen auf Fernreisen pro Jahr etwa 1000 Erkrankungen mit 20 Todesfällen registriert. Die Malaria wird von verschiedenen Arten der Stechmücken-Gattung Anopheles übertragen. Anopheles-Arten kommen weltweit vor. Die Malaria wird nur in tropischen und subtropischen Regionen übertragen, da die Vermehrung der Erreger in den Mücken unter 18 °C (*Plasmodium falciparum*) bzw. 14 °C (*Plasmodium vivax*) zum Stillstand kommt<sup>13,16</sup>. Damit sind der Malaria klimatische Grenzen in ihrer Verbreitung gesetzt, die allerdings durch eine Klimaänderung ausgedehnt werden. Epidemiologische Aufzeichnungen zeigen, daß die Malaria in den letzten 15 Jahren vor allem an den Grenzen ihres Ausbreitungsgebiets deutlich an Intensität zugenommen hat. In Mitteleuropa muß mit der Möglichkeit des Wiederauftretens von Malaria Vivax gerechnet werden.

Zecken übertragen in Mitteleuropa zwei wichtige Erkrankungen, die Lyme-Borreliose und die Frühsommer-Meningoenzephalitis ("Zeckenenzephalitis", FSME)<sup>2</sup>. Für beide Erkrankungen konnte in den letzten Jahren ein deutlicher Anstieg der Erkrankungszahlen registriert werden. Neben der Änderung menschlichen Freizeitverhaltens scheinen hierfür auch witterungsbedingte Faktoren eine Rolle zu spielen<sup>9</sup>.



**Abb.**

**5a + b:** Änderungen der Monatsmittel der gefühlten Temperatur GT zwischen 1971-80 und 2041-50 (IS 92a - Ctrl) im Zeitscheibenexperiment mit ECHAM4/T106 des DKRZ Hamburg für Januar (a) und Juli (b) (Jendritzky u. Tinz, 1999)

Die in den letzten Jahren vermehrt beobachteten milden Winter führten zu einer höheren Überlebensrate von Zecken und kleinen Waldnagern, den natürlichen Wirten der beiden Erreger. Damit konnte der Übertragungszyklus in den darauffolgenden Jahren auf einem sehr viel höheren Niveau beginnen, da nicht erst entsprechende Zecken- und Nagerpopulationen aufgebaut werden mußten. Auch in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas muß in niedrigen und mittleren Höhen bei einer Abschwächung jahreszeitlicher Extreme mit einer Zunahme vektorübertragener Erkrankungen gerechnet werden.

Nagetiere können einige der wichtigsten Infektionen übertragen; u.a. stellen sie das Reservoir für den Pesterreger dar, der wichtigsten Infektionskrankheit der Menschheitsgeschichte. Verschiedene unbekannt Virusinfektionen wurden in den letzten Jahren entdeckt, nicht zuletzt aufgrund witterungsbedingter übergroßer Nagerpopulationen. Drei wichtige, die Populationsgröße beeinflussenden Größen sind Nahrungsangebot, Anzahl der Freßfeinde und Wetterbedingungen. Das Nahrungsangebot wird von klimatischen Faktoren beeinflusst, die Populationsdynamik der meisten Freßfeinde verläuft sehr viel langsamer als die der Nager.

### *Nahrungsmittelproduktion*

Klimaänderungen werden sich grundsätzlich auf die landwirtschaftliche Produktivität auswirken<sup>12</sup>. Während ein Anstieg der Temperatur, Änderung der Bodenfeuchte und eine Verschiebung im Verteilungsmuster von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten die landwirtschaftliche Produktivität vermindern müßte, könnte CO<sub>2</sub>-Düngung grundsätzlich zu einem Anstieg in der Produktivität führen. Regionale Unterschiede im Gewinn oder Verlust werden global gesehen zu einer Abnahme der landwirtschaftlichen Produktion führen. Dieser Rückgang wird besonders deutlich in den Gebieten ausfallen, die jetzt schon keine sicheren Ernährungsgrundlagen aufweisen. Verminderte Ernteerträge, Änderungen der Produktivität der Forstwirtschaft oder Fischerei werden in Mitteleuropa sicher nicht zu der drastischen Minderversorgung wie in einigen tropischen Regionen führen. Damit muß auch nicht mit den Folgen dieser Minderversorgung gerechnet werden wie z.B. einer erhöhten Infektanfälligkeit und deutlich schwere Verlaufsformen der Masern (u.a. Masern-Pneumonie) bei Kindern mit Eiweißmangel, die in vielen tropischen Regionen weiterhin zu den wichtigsten Ursachen der Kindersterblichkeit zählen.

### *Extreme Wetterereignisse*

Globale oder regionale Klimamodelle sind noch nicht in der Lage, die zukünftige Klimavariabilität vorherzusagen. Die Münchener Rückversicherungsgesellschaft fand im Vergleich zu den sechziger Jahren in den letzten 10 Jahren eine Verdreifachung der natürlichen Katastrophen<sup>17</sup> (Abb. 6). Mögliche Änderungen von extremen Wetterereignissen, wie Hitzewellen, Überflutungen, Stürme und Dürren können sich auf die Gesundheit auswirken. Obwohl spezifische und lokale Auswirkungen von Klimaänderungen noch sehr unsicher sind<sup>10</sup>, werden regional größere Häufigkeiten von

Stürmen und Starkniederschlagsereignissen mit zunehmendem Risiko für Überschwemmungen oder Bergrutsche erwartet. Gesundheitseffekte schließen nicht nur ein höheres Risiko für Tod, Verletzung und Hunger ein, sondern auch ein gehäuftes Auftreten von psychischen und sozialen Störungen (Posttraumatische Streßerkrankung). Extreme Wetterereignisse können zum Auftreten großer Vektorpopulationen mit entsprechender Infektionsgefahr führen (z.B. Leptospirose), wie auch zu Übertragung und Verbreitung von über verunreinigtes Wasser übertragenen Infektionen (Typhus, Hepatitis, Cholera)<sup>3</sup>. Grundsätzlich scheint jedoch die Empfindlichkeit der Bevölkerung durch Verstädterung und zunehmende Besiedlung von Risikogebieten zuzunehmen.

Der sanitäre Standard und Risikomanagement läßt in Mitteleuropa das Risiko des Auftretens unkontrollierter Zustände als relativ gering erscheinen.

Jahr	Ereignis	Region	Zahl der Toten	wirtschaftl. Verlust Mio. US\$*	Rang	versicherter Verlust Mio. US\$*	Rang
1992	Hurrikan: Andrew	USA	62	30.000	1	17.000	1
1998	Überschwemmungen	China	3.656	30.000	1	1.000	5
1996	Überschwemmungen	China	3.048	24.000	2	445	6
1993	Überschwemmungen	USA	45	16.000	3	1.000	5
1995	Überschwemmungen	Nordkorea	68	15.000	4	k.A.	
1990	Winterstürme	Europa	230	14.800	5	10.200	2
1993	Überschwemmungen	China	3.300	11.000	6	k.A.	
1998	Hurrikan: Georges	Karibik, USA	4.000	10.000	7	3.300	4
1994	Sturzflut	Italien	64	9.300	8	65	7
1989	Hurrikan: Hugo	Karibik, USA	61	9.000	9	4.500	3
zum Vergleich:							
1991	Taifun, Hochwasser	Bangladesh	140.000	3.000		100	

\*Originalwerte

© Munich Re, Munich  
January 1999

**Abb. 6** Die 10 teuersten klimabezogenen Katastrophen weltweit zwischen 1960 und 1998 (modifiziert n. A. Wirtz 1999).

### Meeresspiegelanstieg

Ein Anstieg des Meeresspiegels um 13 - 94 cm bis 2100<sup>5</sup> ergibt ebenfalls Auswirkungen auf die Gesundheit von gefährdeten Bevölkerungen. Diese Auswirkungen schließen Verdrängung, Verlust an landwirtschaftlich nutzbarem Land und ggf. auch Fischerei ein, darüber hinaus Versalzung von Trinkwasser. Spezifische Gesundheitsrisiken gehen von zunehmenden Starkstürmen und der Beschädigung der Infrastruktur an der Küste (einschließlich Abwasser und Sanitärsystem, Wohnen und Verkehr) aus. Die wohlhabenden Staaten Mitteleuropas werden den Problemen mit Verbesserungen bei der Küstenschutzinfrastruktur zu begegnen wissen.

## Strahlung

Aufgrund der stratosphärischen Ozonabnahme (s.a. Beitrag „[Entwicklung der Ozonschicht](#)“ in diesem Heft) in den vergangenen Jahren werden insbesondere in mittleren und hohen geographischen Breiten zunehmende UV-Strahlungsintensitäten erwartet, wenn sie auch in den Niederungen aufgrund der Luftverschmutzung bisher noch nicht gemessen wurden. Modellrechnungen für ausgesuchte Wetterlagen mit sehr klarer Luft ohne Bewölkung zeigen jedoch bei abnehmender Wellenlänge, d.h. zunehmender biologischer Wirksamkeit, einen überproportional zunehmenden Trend. Dies wird zu einer erhöhten Hauttumorraten (besonders bei den nichtmelanomen) bei der hellhäutigen Bevölkerung führen und wahrscheinlich auch zu einer Zunahme beim Auftreten von Katarakten<sup>4</sup>. Möglicherweise kommt es auch zu einer Immunsuppression im Organismus<sup>15</sup>. Die beobachtete drastische Zunahme von Neubildungen von Hauttumoren sind - soweit UV-bedingt - Ausdruck von Mißbrauch durch falsches Expositionsverhalten. Durch Bekleidung, Sonnenbrille, geeignete Wahl von Expositionszeit und -dauer kann man sich leicht vor Überdosierung schützen.

Eine erhöhte UV-Strahlungsintensität kann sich auch nachteilig auf die (auch aquatische) Biomasseproduktion und damit auf die Nahrungsmittelproduktion des Menschen auswirken. Das Ausmaß dieses Effektes ist unsicher und für Mitteleuropa wohl auch von geringer Bedeutung.

## Ausblick

Die vom IPCC<sup>5</sup> prognostizierte Klimaänderung wird größer sein als irgendeine in den letzten 10000 Jahren<sup>10</sup>. Daraus resultieren Veränderungen ökologischer Beziehungen und biogeochemischer Systeme, die uns mit Gesundheitsrisiken völlig neuer Größenordnung und Qualität konfrontieren<sup>16</sup>. Die Unsicherheiten in der Prognose der Auswirkungen sind mit Unsicherheiten bzgl. sozialer, demographischer, ökonomischer und technologischer Veränderungen verknüpft.

Es müssen Überwachungssysteme aufgebaut werden, die Gesundheits- und Umweltinformationen miteinander systematisch verknüpfen und die Änderungen bei den relevanten Gesundheitsrisiken frühzeitig erkennen lassen. Es müssen Anpassungsmaßnahmen zur Verminderung von negativen Gesundheitseffekten vorbereitet werden. Und es müssen im Sinne einer primären Vorsorge alle Anstrengungen für eine nachhaltige Entwicklung unternommen werden, weil der gegenwärtige Eingriff des Menschen in das Klimasystem unverantwortbare Risiken birgt. Die Folgekonferenzen nach dem Umweltgipfel von Rio de Janeiro 1992 haben gezeigt, daß die internationale Staatengemeinschaft nur sehr zögerlich die für eine primäre Vorsorge notwendigen Schritte unternimmt, obwohl zwischen Ursache (Treibhausgasemission) und voller Wirkung (Klimaänderung) eine Zeitverschiebung von etlichen Jahrzehnten liegt.

## Literaturverzeichnis

- 1 *Beniston, M. und Tol, R.S.J. et al.* (1998): Europe: In: The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. A Special Report of Working Group II. New York, Cambridge University Press, 149-187
- 2 *Dobler, G.* (1996): Klimakatastrophe - mikrobiologische Gefahren. In: *Enders, E.; Stahl, G.* (Hrsg.): Kinder zwischen Wetterfühligkeit und Klimakatastrophe. Schriftenreihe Ökopädiatrie, ecomed, Landsberg, 73-89.
- 3 *Dobler, G., G. Jendritzky* (1998): Krankheiten und Klima. In: *Lozán, J.L., Graßl, H., Hupfer, P.* (Hrsg.): Warnsignal Klima/ Wissenschaftliche Fakten. Wiss. Auswertungen, Hamburg, 334-340.
- 4 *IARC* (1992): Solar and ultraviolet radiation. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 55. Lyon, IARC.
- 5 *IPCC* (1996): Climate Change 1995. The Science of Climate Change. 2<sup>nd</sup> Assessment Report of IPCC-WGI. *J. T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 571 pp.
- 6 *Jendritzky, G., K. Bucher, G. Laschewski, E. Schultz, H. Staiger* (1998): Medizinische Klimatologie. Kap. 4,7 Klimaänderungen. In: Chr. Gutenbrunner, G. Hildebrandt (Hrsg.): Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie. Springer, Berlin, 589-598.
- 7 *Jendritzky, G.* (1998): Gesundheitsrisiken durch Klimaänderungen. Umweltmed Forsch Prax 3 (2) 72-76.
- 8 *Jendritzky, G., B. Tinz* (1999): Bioklimakarten als Grundlage für die Klimafolgenforschung im Humanbereich. FA BIOMET, in Vorbereitung
- 9 *Lindgren, E.* (1998): Climate and tick-borne encephalitis in Sweden. Conservation Ecology, 2: 5-7
- 10 *Lozán, J.L., H. Graßl, P. Hupfer* (Hrsg.) (1998): Warnsignal Klima/ Wissenschaftliche Fakten. Wiss. Auswertungen, Hamburg.
- 11 *Martens, W.J.M., ed.* (1996): Vulnerability of Human Population Health to Climate Change: state-of-knowledge and future research directions. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Report No. 410200004, Bilthoven.
- 12 *Martens, W.J.M.* (1998): Health and Climate Change: Modelling the Impacts of Global Warming and Ozone Depletion. EarthScan, London.
- 13 *McMichael, A.J.* (1996): Human Population Health. In: Climate Change 1995. Impacts, Adaptions and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. 2<sup>nd</sup> Assessment Report of IPCC-WG II, Cambridge University Press, Cambridge, 561-584.
- 14 *McMichael, A.J., G. Jendritzky, S. Kovats* (1997): Klimaänderung und Gesundheit. In: *Wichmann, H.E., H.W. Schlipkötter, G. Fülgraff* (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin Kap.VIII-1.10. ecomed, Landsberg, 1-20.
- 15 *van Loveren, H.* (1998): Effects on the immune system of human UV radiation exposure associated with stratospheric ozone depletion. WHO ECEH, Rome.
- 16 *WHOMMO/UNEP-Task Group* (1996): Climate Change and Human Health. *McMichael, A.J., A. Haines, R. Sloof, S. Kovats* (eds.). WHO, Geneva, 299pp.
- 17 *Wirtz, A.* (1999): Die 10 teuersten klimabezogenen Katastrophen weltweit zwischen 1960 und 1998. Munich Re, Munich, pers. comm.

# Beobachtete Trends der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe in Deutschland

J. Rapp

## *Motivation*

Die Erwärmung der Lufthülle der Erde hat sich im Jahr 1998 deutlich beschleunigt. Das zeigen die Temperaturdaten des Goddard Institute of Space Studies (GISS), die monatlich veröffentlicht werden [1]. Während die bisherige jemals gemessene höchste Temperaturabweichung im Jahr 1997 bei + 0.45 °C lag, wurde dieser Wert ein Jahr später gleich um zwei Zehntel Grad übertroffen (+ 0.63 °C). Auch in Deutschland ist das Temperaturniveau ungewöhnlich hoch: Seit 1988 liegt die Jahresmitteltemperatur, mit Ausnahme des Jahres 1996, kontinuierlich über dem Mittelwert der Klimanormalperiode 1961-1990. Im Jahr 1998 betrug die Anomalie + 0.8 °C (Datenbasis: DWD). Aus dieser Perspektive ist es angebracht, einmal genauer auf die rezente Entwicklung des bisherigen Klimaverlaufs in Deutschland zu blicken, wozu vor allem eigene Analysen herangezogen, daneben aber auch aktuelle Arbeiten anderer Forschungsgruppen zitiert werden.

## *Begriffe*

Die zeitliche Entwicklung einer Klimavariablen läßt sich am zweckmäßigsten durch die Berechnung des linearen Trends bewerkstelligen. Allerdings reicht die Angabe des bloßen Trendwertes (zum Beispiel der Differenz der Ordinatenwerte am Anfang und Ende einer Regressionsgeraden durch die Zeitreihe) nicht aus, um zu sicheren Schlußfolgerungen zu gelangen. Vielmehr ist es unerlässlich, die statistische Signifikanz des Trends, also den Grad, mit dem der Trend aus dem Hintergrundrauschen der Zeitreihe herausragt, mit anzugeben. Außerdem ist die Überprüfung der zeitlichen und räumlichen Repräsentanz eines Trends [2] von Bedeutung. Die zeitliche Repräsentanz gibt an, wie stabil sich die Signifikanz des Trends bei sukzessiver Veränderung des Untersuchungszeitraums verhält. Die räumliche Repräsentanz wiederum, die bei Untersuchung mehrerer Stationszeitreihen beachtet werden muß, gibt Auskunft darüber, ob ein Trend flächendeckend bzw. im ganzen Untersuchungsgebiet mit gleicher bzw. ähnlicher Signifikanz auftritt.

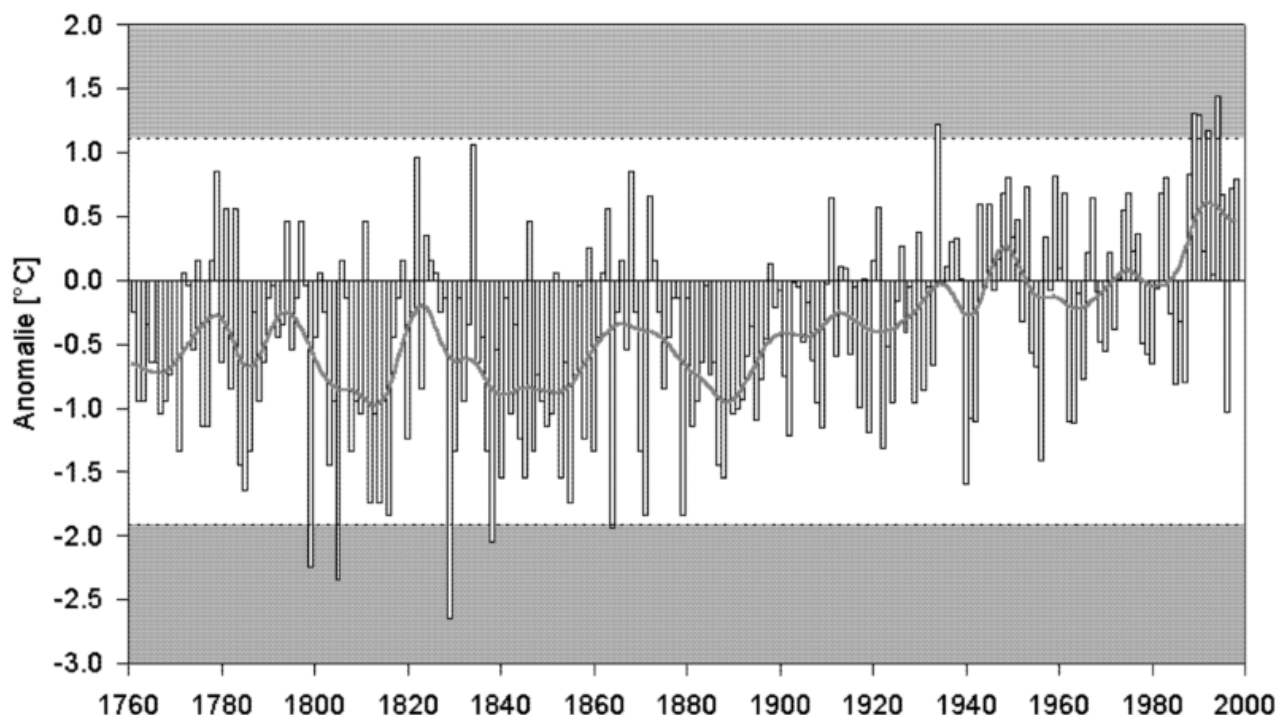
Von großer Bedeutung in der Klimadiagnose ist zudem die Überprüfung der Homogenität einer Zeitreihe. Schließlich können nicht-meteorologische Einflüsse, insbesondere Stationsverlegungen und der städtische Wärmeinseleffekt, zu Verfälschungen des Trends führen. Inhomogene Stationsdaten müssen daher aus der Datenanalyse möglichst ausgeschlossen werden [3, 4].

## Trends der Lufttemperatur in Deutschland

Das Flächenmittel der Lufttemperatur schließt für die Zeitspanne seit 1891 tatsächlich nur wahrscheinlich homogene Stationen ein (Abbildung 1). Für die Zeit vor 1891 wurde die Zeitreihe nach Baur [5, 6], basierend auf Messungen in drei bzw. vier mitteleuropäischen Orten, angepaßt. Seit Beginn der neunziger Jahre hat sich die säkulare Erwärmung beschleunigt und ein ungewöhnlich hohes Niveau erreicht, höher als jemals zuvor in den letzten 230 Jahren. Das Jahr 1994 war in Deutschland das wärmste seit Beginn verlässlicher Messungen. Der lineare Trend für die letzten 133 Jahre (1866-1998) beträgt ca. + 1.0 °C und ist damit deutlich größer als der Trend der globalen Mitteltemperatur (+ 0.6 °C; siehe auch Tabelle 1). Aufgrund der höheren Variabilität ist diese Temperaturzunahme allerdings weniger signifikant als die weltweite Temperaturerhöhung.

	Deutschland °C	global °C		Deutschland °C	global °C
Januar	1.1	0.8	Frühling (MAM)	1.1	0.6
Februar	0.2	0.7	Sommer (JJA)	0.7	0.4
März	1.5	0.7	Herbst (SON)	1.1	0.5
April	0.7	0.6	Winter (DJF)	1.0	0.7
Mai	1.2	0.6			
Juni	0.2	0.5	Jahr	1.0	0.6
Juli	0.7	0.4			
August	1.2	0.4			
September	0.6	0.4			
Oktober	1.4	0.5			
November	1.2	0.6			
Dezember	1.7	0.6			

**Tab.1** Lineare Trends der Lufttemperatur in Deutschland und der globalen Mitteltemperatur zwischen 1866 und 1998 mit Kennzeichnung einer statistischen Signifikanz von mindestens 95 % durch Einfärbung. Datenbasis: DWD und GISS.



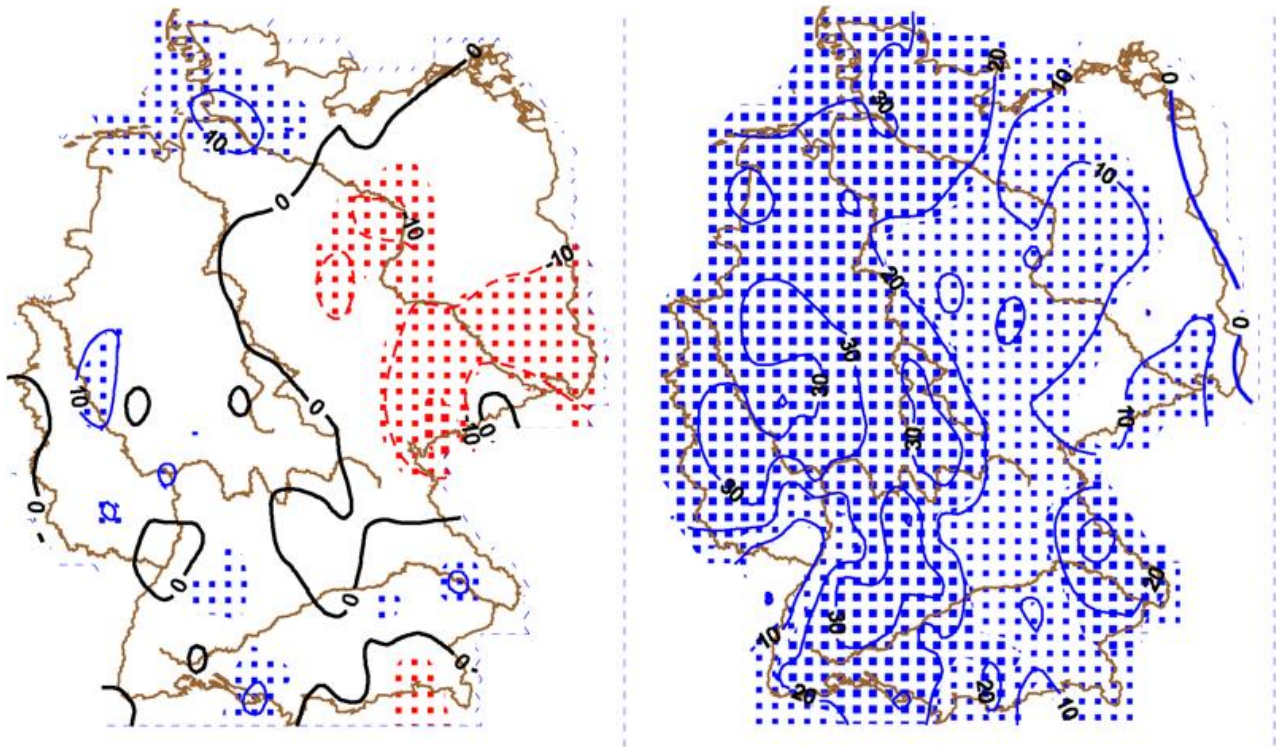
**Abb. 1** Zeitlicher Verlauf der Lufttemperatur in Deutschland zwischen 1761 und 1998, dargestellt als Anomalie in °C gegenüber dem CLINO-Intervall 1961-1990. Balken: Jahreswerte, durchgezogene Linie: 20-jährig tiefpaßgefilterte Werte, eingefärbte Flächen: Bereich mit mindestens zweifacher Standardabweichung um den Mittelwert der Gesamtzeitreihe. Datenbasis: DWD.

### *Trends der Niederschlagshöhe in Deutschland*

Mit dem „Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990“ [3] konnte vor einigen Jahren erstmals flächendeckend eine „Bestandsaufnahme“ der Veränderung des Klimas in Deutschland vorgelegt werden. Inzwischen wurde eine Aktualisierung des Kartenmaterials um fünf weitere Jahre realisiert. Die Niederschlags- und Temperaturtrends zeigen dabei weiterhin ein komplexes Bild mit jahreszeitlich und regional durchaus unterschiedlichen Entwicklungen. Die Trendkarten für 1896-1995 zeigen für die West- und Südhälfte des Bundesgebietes eine signifikante Zunahme der Jahresniederschlagshöhe um durchschnittlich 10 bis 20 %. Dazu trägt das hydrologische Winterhalbjahr mit Steigerungsraten von vielerorts mehr als 30 % am meisten bei (Abbildung 2). Das Sommerhalbjahr dagegen tendiert vor allem in den neuen Bundesländern eher zur Niederschlagsabnahme.

Die winterliche Tendenz zu größeren Niederschlagshöhen ist in einer gesonderten Trendanalyse für Baden-Württemberg bestätigt worden [7]. In den Monaten Februar bis April könnte in Teileinzugsgebieten des oberen Neckars, der oberen Donau und an der Wutach die Niederschlagszunahme durch die wahrscheinliche Zunahme der Extremniederschläge erklärt werden. Dabei ist es interessanterweise weniger die

Veränderung des Ausmaßes der Starkregenereignisse als vielmehr ihre erhöhte Häufigkeit, die Anlaß zur Beachtung sein sollte. Unabhängig von Einzelergebnissen scheint aus klimatologischer Sicht geraten, den auf Beobachtungen zwischen 1951 und 1980 basierenden Atlas „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“ [8] bei einer Neuauflage auf eine aktualisierte bzw. erweiterte Beobachtungszeitspanne zu beziehen.



**Abb. 2** Relative Trends der Niederschlagshöhe (in % des Mittelwertes) zwischen 1896 und 1995 mit signifikanten Gebieten (gerastert). Links: Hydrologisches Sommerhalbjahr, rechts: Hydrologisches Winterhalbjahr.

### *Klimawirkungen*

Die Klimaänderung in Deutschland und Europa ist inzwischen so signifikant, daß erste Wirkungen auf Flora und Fauna zu erkennen sind. Beispielsweise blühen Forsythien und Schneeglöckchen in Süddeutschland früher (ca. 5 Tage/Jahrzehnt) [9], Waldbäume treiben in vielen Ländern Europas eher aus (ca. 5 Tage/Jahrzehnt) und verfärben ihr Laub später [10], und die Aufenthaltsdauer vieler Singvögel liegt fast einen Monat über der des Jahres 1970 [11]. Dies sind Beweise dafür, daß aus einem veränderten Temperaturniveau eine Änderung der Eintrittszeit und Dauer der einzelnen Jahreszeit resultiert. Der Frühling kommt früher, der Herbst später.

Die Erhöhung der Lufttemperatur hat auch direkte Konsequenzen für die Ökonomie. So ist der Trinkwasserverbrauch mit dem Tagesmaximum der Lufttemperatur korreliert und steigt besonders schnell bei Temperaturen oberhalb 20 °C an [12]. Ein anderes Beispiel betrifft die Stromwirtschaft, die bei einer Erwärmung mit geringerem Stromverbrauch rechnen muß. Für Essen resultiert aus einem Anstieg der

Lufttemperatur um 1 °C eine Erniedrigung des täglichen Stromverbrauchs um 200 bis 400 MWh [11].

### *Ausblick*

Ohne Frage - die vorgestellten Auswirkungen beweisen, daß die künftige Klimaentwicklung permanent im Auge behalten werden muß. Die statistische Trendanalyse qualitativ gesicherter Beobachtungsergebnisse bietet dazu einen geeigneten Ausgangspunkt („Trendmonitoring“). Bleibt zu wünschen, daß durch permanente Aktualisierung dieser Trendanalysen sich in Zukunft eine „Klimaüberwachung“ im diagnostischen Sinn des Begriffes etabliert.

### Literatur

- 1 NASA Goddard Institute for Space Studies (1999): <http://www.giss.nasa.gov/data/gistemp/GLB.Ts+dSST.txt>  
Global Land-Ocean Temperature Index.
- 2 Rapp J. (1998): Eine Systematik der zeitlich und regional differenzierenden Trendanalyse klimatologischer Zeitreihen Mitteleuropas. Annl. Meteor. 37, DWD, Offenbach/Main, 375-376.
- 3 Rapp J. und Schönwiese C.-D. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Band B5, Frankfurt/Main.
- 4 Herzog J. und Müller-Westermeier G. (1998): Homogenitätsprüfung und Homogenisierung klimatologischer Meßreihen im Deutschen Wetterdienst. DWD Bericht Nr. 202, Offenbach.
- 5 Baur F. (1975): Abweichungen der Monatsmittel der Temperatur Mitteleuropas vom 210jährigen Mittelwert (1761-1970). Beilage zur Berliner Wetterkarte 76/75, FU Berlin.
- 6 Pelz J., Rüge U., Schlaak P. (1996): Zur Fortführung der von F. Baur im Jahre 1975 veröffentlichten Temperaturreihe für Mitteleuropa ab 1761 und der Niederschlagsreihe für Deutschland westlich der Oder ab 1851. Beilage zur Berliner Wetterkarte 50/96, FU Berlin.
- 7 Sánchez Penzo S., Rapp J., Schönwiese C.-D., Luft G. (1998): Räumliche Strukturen aktueller Trends des Gesamt- und Extremniederschlags in Baden-Württemberg. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 42, 4, 157-163.
- 8 Bartels H. et al. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA). Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main.
- 9 Sachweh M. und Rötzer T. (1997): Phänologische Phasen und Klimavariabilität in Mitteleuropa. In: Annalen der Meteorologie 34, Offenbach.
- 10 Menzel A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen. Forstwiss. Fakultät Univ. München, Schriftenreihe Nr. 164.
- 11 Lozán J.L., Graßl H. und Hupfer P. (Hrsg) (1998): Warnsignal Klima. Hamburg.
- 12 Hupfer P. (1996): Unsere Umwelt: Das Klima. Teubner, Stuttgart.

## Ursachen der Lufttemperaturvariationen in Deutschland 1865 - 1997

A. Walter, C.-D. Schönwiese

### *Motivation und Zielsetzung*

Im gleichen Heft berichtet [J. Rapp](#) über die beobachteten Variationen der bodennahen Lufttemperatur in Deutschland (Flächenmittel, im folgenden Deutschland-Temperatur genannt) und zeigt in seiner Abb. 1 die Jahresanomalien (Abweichungen vom Referenz-Zeitintervall 1961-1990) sowie die 20-jährig tiefpaßgefilterten (geglätteten) Daten für die Zeit ab 1761. Es ist nun von Interesse, auch die Ursachen für diese Variationen anzugeben oder zumindest Hypothesen darüber zu entwickeln.

Die Frage, ob und in welchem Ausmaß menschliche Eingriffe, wie sie sich im Konzentrationsanstieg der „Treibhausgase“ sowie troposphärischen Sulfataerosole zeigen, das Klima beeinflussen, wird in Zusammenhang mit dem Phänomen weltweiter Klimaänderungen des Industriezeitalters nicht nur wissenschaftlich (IPCC, Houghton et al., 1996), sondern auch öffentlich intensiv diskutiert. Solche Einflüsse existieren sicherlich auch bei der Deutschland-Temperatur. Jedoch stehen dazu, und zwar global wie regional, viele natürliche Einflußfaktoren in Konkurrenz, insbesondere externe Einflüsse auf das Klimasystem durch den explosiven Vulkanismus und die Sonnenaktivität sowie interne Zirkulationsmechanismen der Atmosphäre bzw. des Ozeans wie ENSO (El Niño / Southern Oscillation) und NAO (Nordatlantikoszillation). Leider ist es derzeit unmöglich, mit Hilfe aufwendiger atmosphärisch-ozeanischer Zirkulationsmodelle alle diese Einflüsse simultan zu simulieren; hinzu kommt deren prinzipielle quantitative sowie regionale Unsicherheit.

Daher ist es sinnvoll, nach Alternativen zu suchen, welche die Tatsache der multiplen Klimasteuerung realisieren. Wie bei unseren globalen Untersuchungen (Walter et al., 1998; Schönwiese et al., 1998) verwenden wir nun auch hinsichtlich der Deutschland-Temperaturen ein solches alternatives und zwar statistisches Konzept, das zudem strikt auf den Beobachtungsdaten beruht und zumindest hypothetisch die Trennung der verschiedenen Klimasignale erlaubt (multiple Klima-Signalanalyse). Dabei versteht man unter Signalen die Variationsanteile beobachteter bzw. modellierter Klimaänderungen, die sich bestimmten Einzelursachen zuordnen lassen.

### *Neuronale Netze als Werkzeug der Klimaanalyse*

In grober, aber wirkungsvoller Nachahmung der menschlichen Vorgänge im Gehirn ist seitens der Physik bzw. Informatik das Konzept der neuronalen Netze entwickelt worden (Brause, 1991; Smith, 1993), das sich inzwischen einer breiten Anwendung in vielen Fachdisziplinen erfreut, in der Meteorologie/Klimatologie bisher jedoch bisher nur selten verwendet wird. Ein biologisches Beispiel mag zunächst das Prinzip der Wirkungsweise veranschaulichen: Auf der menschlichen Haut befinden sich sog. Wärme- und Kältepunkte, d.h. auf die Wahrnehmung von Wärme- bzw. Kältereizen

spezialisierte Zellen. Diese sind mit Nervenzellen, den Neuronen, verbunden, die diese Reize an das Gehirn weiterleiten. Das Gehirn reagiert beim Überschreiten gewisser Reizschwellen dadurch, daß (über das vegetative Nervensystem) beispielsweise Schwitzen ausgelöst wird, und das ist eine Reaktion auf zu hohe Wärmebelastung.

Übertragen auf die Informatik und unser Klimaproblem stellen die beobachteten zeitlichen Variationen der oben genannten anthropogenen wie natürlichen Klimafaktoren sozusagen die Reize dar, die der Eingabeschicht des neuronalen Netzes mitgeteilt werden. Die Reaktion, repräsentiert durch die Neuronen der Ausgabeschicht, ist die zeitlich variierende Temperaturvariation, und dazwischen, in der sog. verdeckten oder verarbeitenden Schicht, entsprechend dem Gehirn, erfolgt die Verknüpfung zwischen Einflüssen und Wirkung. Dabei wird beim sog. überwachten Lernen dem neuronalen Netz die tatsächlich eingetretene Reaktion, in diesem Fall die beobachteten Temperaturvariationen, mitgeteilt, was eine rückwärts d.h. von der Ausgabe- in die verarbeitende Schicht gerichtete Fehlerkorrektur ermöglicht (Backpropagation). Es gibt zwar noch andere Architekturen von neuronalen Netzen; für die statistisch-klimatologische Signalanalyse ist aber dieser Typus am besten geeignet (Walter, 1996). Gegenüber der multiplen Korrelations- und Regressionsanalyse haben neuronale Netze den Vorteil, daß sie in einer Art Training optimale nicht-lineare Funktionen (i.a. sigmoider Art) zwischen Ursachen und Wirkungen aufsuchen (während multiple Regressionen entweder linear sind oder nicht-lineare Funktionen vorgegeben werden müssen) und sich die Einflußfaktoren auch gegenseitig beeinflussen dürfen.

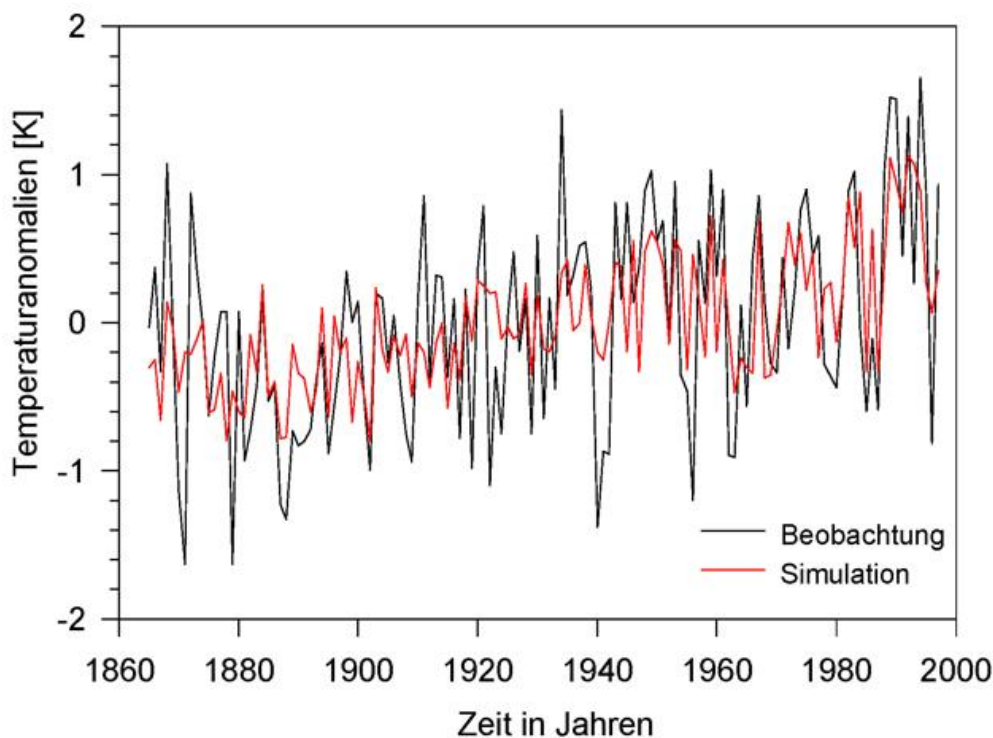
### *Signalanalyse der Deutschland-Temperatur-Zeitreihe*

In der oben geschilderten Art ist nun eine neuronale Netzwerk-Analyse der Deutschland-Temperatur-Zeitreihe 1865-1997 durchgeführt worden, wobei die zeitliche Einschränkung gegenüber des Beitrages von [Rapp](#) (dieses Heft) aus der begrenzten Verfügbarkeit der Zeitreihen der Einflußgrößen resultiert. Zudem beschränkt sich der anthropogene Einfluß weitgehend auf das Industriezeitalter. Schließlich ermöglicht das hier gewählte Zeitintervall einen Vergleich mit entsprechenden Analysen der Schätzwerte der globalen Mitteltemperatur.

Als anthropogene Einflußgrößen dienen anthropogen die jährlichen atmosphärischen Konzentrationswerte der äquivalenten Kohlendioxid-Konzentration sowie der Schwefeldioxid-Emission, die proportional der troposphärischen Sulfataerosolkonzentration sind. Zu allen Details, auch hinsichtlich der natürlichen Klimafaktoren, vergl. einerseits IPCC (1996) und andererseits Schönwiese et al., 1998 (auch Schönwiese, 1995). Die Parametrisierung der explosiven Vulkantätigkeit in Form einer Zeitreihe erfolgte nach Grieser (1999), die entsprechende Zeitreihe der von der Sonnenaktivität modulierten solaren Ausstrahlung stammt von Lean et al. (1995; während bei unseren Globalanalysen bisher schlicht die damit gut korrelierten Sonnenflecken-Relativzahlen verwendet worden sind). Die in die Globalanalysen eingehende SOI-Zeitreihe (Southern Oscillation Index; nach IPCC) ist bei der Analyse der

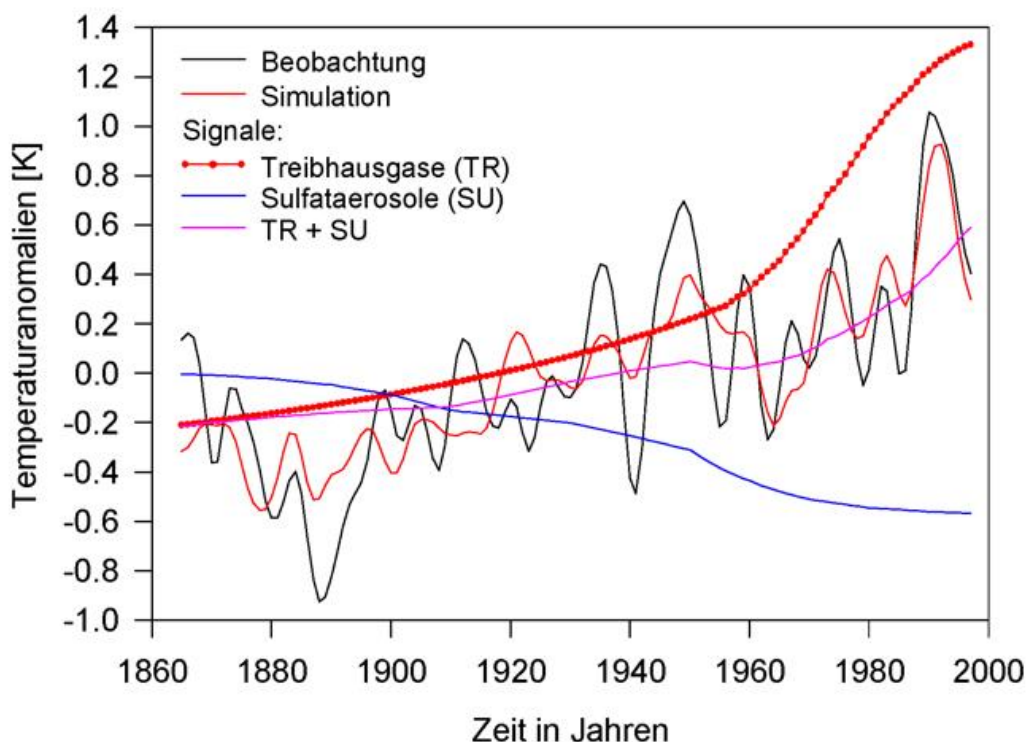
Deutschland-Temperatur durch den Index der NAO (Nordatlantikoszillation; Hurrell, 1997) ersetzt.

Abb. 1 zeigt zunächst die Reproduktion 1865-1997 der beobachteten Jahresanomalien der Deutschland-Temperatur bei Verwendung aller betrachteten Einflußgrößen durch das neuronale Netz. Der multiple Korrelationskoeffizient beträgt dabei  $r = 0,62$ , was einer erklärten Varianz ( $r^2$ ) von 39% entspricht. Das ist deutlich weniger als bei der globalen Mitteltemperatur (83%), was im Falle einer regionalen Zeitreihe aber realistischerweise nicht höher zu erwarten ist. Außerdem fällt in Abb. 1 schon optisch auf, daß das neuronale Netz die hochfrequente Varianz deutlich unterschätzt, d.h. die betreffenden Amplituden der Zeitreihe sind bei den Beobachtungen wesentlich größer als bei der Modellreproduktion.



**Abb. 1:** Beobachtete Jahresanomalien 1865-1997 der mittleren Deutschland-Temperatur (vgl. auch Beitrag Rapp, dieses Heft) und Simulation mit Hilfe eines neuronalen Netzes (Backpropagation), das als Einflußfaktoren die anthropogenen Treibhausgase und Sulfatpartikel sowie die natürlichen Einflüsse durch Vulkanismus, Sonnenaktivität und NAO (Nordatlantikoszillation) enthält. Der multiple Korrelationskoeffizient beträgt 0,62 (erklärte Varianz 39%).

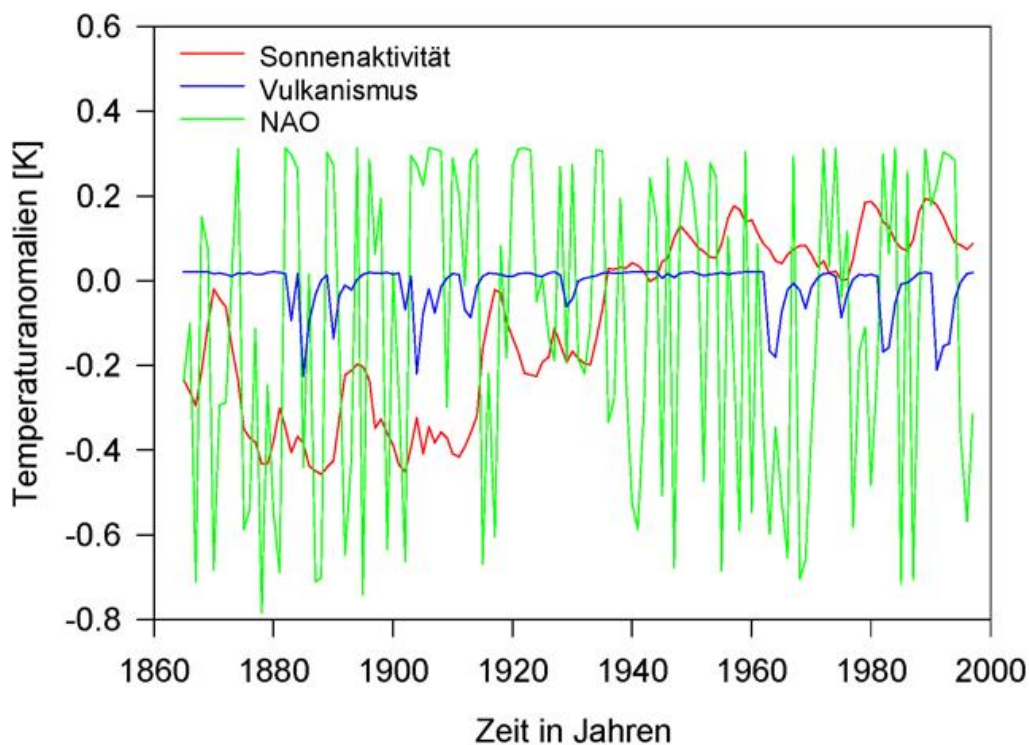
In Abb. 2 sind nun die zugehörigen 10-jährig tiefpaßgefilterten Daten, bei denen diese Varianzunterschätzung nicht so ausgeprägt ist, zusammen mit den anthropogenen Signalen gezeigt, und zwar aufgrund des Konzentrationsanstiegs der Treibhausgase TR (Signalstärke + 1,53 °C), der Sulfataerosole SU (- 0,56 °C) und der (nicht-linearen) Kombination aus beidem TR+SU (+ 0,79 °C). Das bedeutet, daß das neuronale Netz dem anthropogenen Einfluß insgesamt einen zwar zeitlich ungleichmäßigen, aber langfristigen Temperaturanstieg von rund 0,8 °C zuordnet, nur unwesentlich mehr als im Fall der globalen Mitteltemperatur (rund 0,6 °C). Jedoch ist das anthropogene Treibhausignal allein, wie es sich in dieser Analyse der Deutschland-Temperatur abzeichnet, deutlich höher als bei der globalen Mitteltemperatur.



**Abb. 2:** Ähnlich Abb. 1, jedoch 10-jährig geglättete Daten, zusätzlich Zeitreihen der anthropogenen Signale TR (Treibhausgase), SU (Sulfatpartikel) und TR+SU (Kombination aus beidem).

Bei den natürlichen Signalen, vgl. Abb. 3, ist das NAO-Signal mit Abstand führend (Signalstärke 1,09 °C), jedoch nicht in Form eines Langfristtrends, sondern stark fluktuierend. Nur am Rande sei hier erwähnt, daß auch Modellrechnungen zum Zusammenhang zwischen anthropogenem Treibhauseffekt und NAO vorliegen (Paeth et al., 1999). Der Vulkanismus zeigt sich bei unserer Analyse in episodischen Abkühlungen (Signalstärke bis - 0,24 °C) nach größeren explosiven Vulkanausbrüchen, ganz ähnlich wie bei der globalen Mitteltemperatur. Die Befunde hinsichtlich des Einflusses der Sonnenaktivität sind mit unseren Globalanalysen wegen unterschiedlicher Parametrisierungen nicht direkt vergleichbar. Der Datensatz nach Lean et al.

(1995) spiegelt nämlich einen größeren Einfluß wider, als er bei diversen alternativen Schätzungen in Erscheinung getreten ist (Schönwiese et al., 1994; Schönwiese et al., 1998; Cubasch et al., 1997). Bei der Deutschland-Temperatur setzt sich unter Verwendung dieses Datensatzes der solare Einfluß aus einer Trend- und einer fluktuativen Komponente zusammen (Signalstärke insgesamt 0,64 °C), wobei der Trendanteil (lineare Regression der Signalzeitreihe von Abb. 3) bei etwa 0,3 °C liegt. Somit enthält die Deutschland-Temperaturreihe aufgrund der hier vorgestellten Analyseergebnisse auch einen bemerkenswerten solaren Anteil, der allerdings deutlich unter dem anthropogenen Treibhaussignal liegt. Die unerklärte Restvarianz, die bei der globalen Mitteltemperatur Zufallseigenschaften aufweist (Walter et al., 1998), dürfte im Fall der Deutschland-Temperatur auf nicht erfaßte Zirkulationsvorgänge zurückzuführen, teilweise wohl auch stochastischer Art sein.



**Abb. 3:** Zeitreihen der natürlichen Signale zu Abb. 1.

#### *Vergleich mit Globalanalysen und Schlußfolgerung*

Die bereits mehrfach genannten Signalanalyse-Vergleiche zwischen der Deutschland- (TDH) und Globaltemperatur (TGL) sind in Tab. 1 systematisch zusammengefaßt; und zwar enthält diese Tabelle zunächst die globalen, auf die untere Atmosphäre bezogenen Strahlungsantriebe der einzelnen zur Diskussion stehenden Klimafaktoren während des Industriezeitalters (seit ca. 1850) nach IPCC-Angaben

(Houghton et al., 1996) und in den weiteren Spalten den Vergleich aller untersuchten anthropogenen sowie natürlichen Signale hinsichtlich der Global- (TGL) und Deutschland-Temperatur (TDH).

Klimafaktor	Strahlungsantrieb	TGL	TDH	Signalstruktur
Treibhausgase, TR	+ 2,1 - 2,8 Wm <sup>-2</sup>	0,9 - 1,3°C	1,5 °C	progressiver Trend
Sulfataerosol, SU	- 0,4 - 1,5 Wm <sup>-2</sup>	0,2 - 0,4°C	0,6 °C	uneinheitlicher Trend
Kombiniert, TR+SU	+ (1,3 - 1,7 Wm <sup>-2</sup> )	0,5 - 0,7°C	0,8 °C	uneinheitlicher Trend
Vulkaneruptionen	- max. 1-3 Wm <sup>-2</sup> *	0,1 - 0,2°C	0,2 °C	episodisch
Sonnenaktivität	+ 0,1 - 0,5 Wm <sup>-2</sup>	0,1 - 0,2°C	0,6 °C	fluktuativ + Trend
ENSO (SOI)	-	0,2 - 0,3°C	-	episodisch/fluktuativ
NAO	-	-	1,1 °C	fluktuativ (hochfrequ.)

\* Beim Pinatubo-Ausbruch 1991: 2,4 Wm<sup>-2</sup>, 1992: 3,2 Wm<sup>-2</sup>, 1993: 0,9 Wm<sup>-2</sup> (McCormick et al. 1995)

**Tab. 1:** Auflistung der wichtigsten großräumig wirksamen anthropogenen und natürlichen Klimafaktoren, zugehörige globale Strahlungsantriebe (untere Atmosphäre) in industrieller Zeit nach IPCC-Angaben (seit ca. 1850; Houghton et al., 1996) und Vergleich der entsprechenden, mit Hilfe eines neuronalen Netzes geschätzten Signale in der bodennahen Lufttemperatur im globalen (TGL, 1866-1994) bzw. Deutschland-Mittel (TDH, 1865-1997; vgl. dazu auch Rapp, dieses Heft). Der multiple Korrelationskoeffizient (erklärte Varianz) beträgt hinsichtlich aller betrachteten Einflußgrößen und bezüglich der ungefilterten Jahresdaten: TGL 0,91 (83%), TDH 0,62 (39%).

Bereits an anderer Stelle (Schönwiese et al., 1997, 1998) ist darauf hingewiesen worden, daß sich die statistisch geschätzten anthropogenen Signale im Klimageschehen gut in das Bild einfügen, das die globalen atmosphärisch-ozeanischen Zirkulationsmodelle liefern (IPCC, Houghton et al., 1996). Das ist auch insofern bemerkenswert, als diese Methodik gestattet, simultan auch weitere Einflüsse, insbesondere natürlicher Art, mit einzubeziehen und alle Abschätzungen strikt auf Beobachtungsdaten beruhen. Außerdem wird das Konzept der neuronalen Netze der Tatsache der nichtlinearen Klimasteuerung gerecht.

Es ist hier gezeigt worden, daß dies im Prinzip auch hinsichtlich der Deutschland-Temperatur funktioniert. Allerdings ist in diesem Fall die erklärte Gesamtvarianz relativ klein, wie generell das Verständnis der regional-jahreszeitlich differenzierten Klimavariationen noch alles andere als befriedigend gelöst ist, ganz gleich, um welche Modelle es sich dabei handelt. Mit dieser Zielsetzung gibt es sicherlich noch großen, ebenso multimethodischen wie interdisziplinären Forschungsbedarf.

### *Literatur*

- Brause, R., 1991: Neuronale Netze. Teubner, Stuttgart.
- Cubasch, U., Voss, R., Hegerl, G.C., Waszkewitz, J., Crowley, T.J., 1997: Simulation of the influence of solar radiation variations on the global climate with an ocean-atmosphere general circulation model. *Clim. Dynamics*, 13, 757-767.
- Grieser, J., Schönwiese, C.-D., 1999: Parameterization of spatio-temporal patterns of aerosol-induced stratospheric optical depth and its climate radiative forcing. *Atmosphäre*, in print.
- Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K., 1996: *Climate Change 1995 (Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)*. Univ. Press, Cambridge.
- Hurrell, J.M., van Loon, H., 1997: Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Clim. Change*, 36, 301-326.
- Lean, J., Beer, J., Bradley, R., 1995: Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophys. Res. Letters*, 22, 3195-3198.
- McCormick, M.P., Thomason, L.W., Trepte, C.R., 1995: Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption. *Nature*, 373, 399-404.
- Paeth, H., Hense, A., Glowienka-Hense, R., Voss, R., Cubasch, U., 1999: The North Atlantic Oscillation as an indicator for greenhouse regional climate change. In preparation, preprint available from authors, Meteorol. Inst. Univ. Bonn.
- Rapp, J., 1999: Beitrag in diesem Heft.
- Schönwiese, C.-D., 1995: *Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen*. Springer, Berlin.
- Schönwiese, C.-D., Denhard, M., Grieser, J., Walter, A., 1997: Assessments of the global anthropogenic greenhouse and sulfate signal using different types of simplified climate models. *Theor. Appl. Climatol.*, 57, 119-124.
- Schönwiese, C.-D., Ullrich, R., Beck, F., Rapp, J., 1994: Solar signals in global climatic change. *Clim. Change*, 27, 259-281.
- Schönwiese, C.-D., Walter, A., Rapp, J., Meyhöfer, S., Denhard, M., 1998: *Statistische Analyse der Klimavariabilität und anthropogenen Klimasignale in globaler und regionaler Betrachtung*. Bericht Nr. 102, Inst. Meteorol. Geophys. Univ. Frankfurt a.M.
- Smith, M., 1993: *Neural Networks for Statistical Modeling*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Walter, A., 1996: *Die Anwendungsmöglichkeiten selbstorganisierender neuronaler Netze in der Klimatologie am Beispiel globaler und hemisphärischer Temperaturzeitreihen*. Diplomarbeit, Inst. Meteorol. Geophys. Univ. Frankfurt a.M.
- Walter, A., Denhard, M., Schönwiese, C.-D., 1998: Simulation of global and hemispheric temperature variations and signal detection studies using neural networks. *Meteorol. Z., N.F.*, 7, 171-180.

## Die mittleren klimatologischen Bedingungen in Deutschland (Teil II)

### G. Müller-Westermeier

Die im Klimastatusbericht 1997 begonnene Beschreibung der mittleren klimatologischen Bedingungen soll in diesem Heft durch die Beschreibung eines weiteren Parameters aus dem hydrometeorologischen Bereich, der Verdunstung, ergänzt werden.

#### *Die mittlere Verteilung der jährlichen Grasreferenzverdunstung in der Referenzperiode 1961-1990*

Die Verdunstung ist die Wassermenge, die vom unteren Rand der Atmosphäre, den Wasserflächen und der Landoberfläche mit ihrem Bewuchs, durch Evaporation vom Boden oder freier Wasserflächen sowie durch Transpiration der Pflanzen (zusammengefaßt als Evapotranspiration bezeichnet), in die Atmosphäre eingebracht wird. Sie wird wie der Niederschlag in mm angegeben, d. h. ihre Maßzahl gibt an, um welche Höhe sich eine Wasserfläche durch die Verdunstung absenken würde, bzw. wie hoch das verdunstete Wasser bei völliger Kondensation stehen würde, wenn nichts ablaufen oder versickern würde.

Die tatsächliche Verdunstung läßt sich nur mit großem Aufwand stichprobenartig messen, da dabei neben den meteorologischen Bedingungen (Temperatur, Strahlung, Wind, Luftfeuchte) auch die Bodenbeschaffenheit, der Bewuchs und sein pflanzenphysiologischer Zustand sowie die verfügbaren Wasservorräte berücksichtigt werden müssen.

Für flächendeckende Darstellungen bezieht man sich daher auf verschiedene Referenzgrößen. Eine verbreitete und für die Praxis recht gut brauchbare Referenzgröße ist die Grasreferenzverdunstung, die die Verdunstung über einer standardisierten Grasfläche auf einheitlichem Boden bei optimaler Wasserversorgung darstellt.

Diese Größe läßt sich aufgrund empirisch ermittelter Beziehungen nach Wendling (1995) aus den an klimatologischen Meßstationen gemessenen Größen berechnen:

$$E = \frac{(R_G + 93 \cdot k) \cdot (T + 22)}{165 \cdot (T + 123) \cdot (1 + 0.00019 \cdot h)}$$

wobei

- E: monatliche Grasreferenzverdunstung in mm
- $R_G$ : Globalstrahlung in  $J/cm^2$
- T: Monatsmittel der Lufttemperatur in Grad C
- k: Küstenfaktor (0.5 an der Küste, 1 im Binnenland)
- h: Seehöhe in m (für  $h > 600$  m ist  $h = 600$  m zu setzen.)

Die Globalstrahlung wird aus der Sonnenscheindauer abgeleitet nach der empirischen Formel:

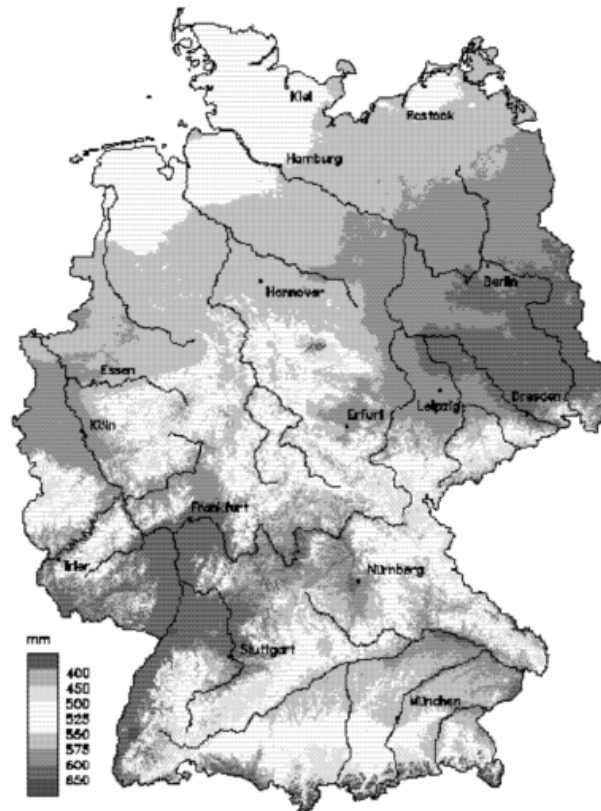
$$R_G = R_0 \cdot (0.20 + 0.46 \cdot S_r)$$

wobei

- $R_0$ : extraterrestrische Sonnenstrahlung in  $J/cm^2$
- $S_r$ : relative Sonnenscheindauer in % (Verhältnis von gemessener zu astronomisch möglicher Sonnenscheindauer) für einen Sonnenstand von mindestens  $15^\circ$  über dem Horizont

Die speziell definierte relative Sonnenscheindauer in % wird benutzt, um räumlich vergleichbare Werte zu erhalten, da an vielen Meßstationen der Horizont durch Bäume oder Gebäude eingeschränkt ist, so daß die einfache relative Sonnenscheindauer stark von lokalen Einflüssen geprägt und für eine kartenmäßige Darstellung ungeeignet ist. (Wendling u.a. 1997)

Die mittlere Grasreferenzverdunstung in jedem Monat wurde für Deutschland in einem 1-km-Raster für jeden Rasterpunkt aus den entsprechenden Rasterwerten der Temperatur, der relativen Sonnenscheindauer und der Topographie berechnet und zu mittleren Jahreswerten aufaddiert (Abb. 1).



**Abb. 1** Mittlere Grasreferenzverdunstung 1961-1990

Aufgrund des starken Temperatureinflusses zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Orographie, wobei auf den Höhen niedrige Werte beobachtet werden. Dabei werden in den höheren Lagen der Alpen, aber auch in den Gipfellen von Schwarzwald, Böhmerwald, Erzgebirge und Harz Werte unter 500 mm pro Jahr beobachtet. Die stärkste Verdunstung tritt in den warmen Gebieten des Oberrheins mit seinen Seitentälern, an der Donau unterhalb von Regensburg sowie im südöstlichen Brandenburg und im östlichen Sachsen auf. Dort werden verbreitet jährliche Verdunstungswerte über 650 mm festgestellt. Am Oberrhein werden örtlich 700 mm überschritten.

In Norddeutschland findet man eine deutliche Abnahme der Verdunstung von Südost nach Nordwest, wo fast überall Werte zwischen 525 und 550 mm beobachtet werden.

Im Jahresgang findet man entsprechend dem Jahresgang der Temperatur und der Strahlung das Maximum im Sommer, während in den Wintermonaten die Verdunstung nur gering ist.

#### Literatur

U. Wendling, P. Fuchs u. G. Müller-Westermeier: Modellierung des Zusammenhangs von Globalstrahlung, Sonnenscheindauer und Bewölkungsgrad als Beitrag zur Klimaüberwachung. DWD - Forschung und Entwicklung 45 (1997) U. Wendling (1995): Berechnung der Gras-Referenz-Verdunstung mit der FAO Penman-Monteith-Beziehung. Wasserwirtschaft 85E, H.12, S.602-660

## Die Witterung in Deutschland

G. Müller-Westermeier, G. Czeplak

Das Jahr 1998 war in Deutschland insgesamt relativ warm, etwas sonnenscheinarm und naß.

Die **Mitteltemperatur** für Deutschland basierend auf einem 1-km-Raster<sup>1</sup> betrug 9.1 Grad C. Sie lag damit 0.2 K höher als im Vorjahr und 0.8 K über dem Wert für den internationalen Referenzzeitraum 1961-1990.

Am wärmsten war es wieder am Rhein und in seinen Seitentälern mit Werten bis 12.0 Grad C. Ansonsten lagen die Jahresmittelwerte in den Niederungen zwischen 8 und 10 Grad C und nahmen mit der Höhe kontinuierlich ab, so daß oberhalb 600 m die Mitteltemperaturen durchweg unter 10 Grad C und oberhalb von 1500 m generell unter 5 Grad C lagen.

Die Abweichungen vom Referenzzeitraum lagen zwischen +2.1 und -0.4 K,<sup>1</sup> wobei negative Abweichungen aber nur örtlich sehr vereinzelt auftraten. Auf 75 % der Fläche bewegten sich die Abweichungen zwischen 0 und +1 K. (Abb. 2)

Die jährliche **Sonnenscheindauer** variierte zwischen 1056 und 2066 Stunden mit einem Mittelwert von 1460 Stunden. Sie war damit 18 % niedriger als im Vorjahr.

Im Mittel betrug die Sonnenscheindauer 1998 in Deutschland 95 % des vieljährigen Referenzwerts, wobei Extreme<sup>1</sup> von 138 und 76 % auftraten.

Besonders sonnenscheinarm waren die Gebiete nördlich des Mains und westlich der Saale. Relativ sonnenscheinreich waren die Bereiche südlich der Donau. (Abb. 5)

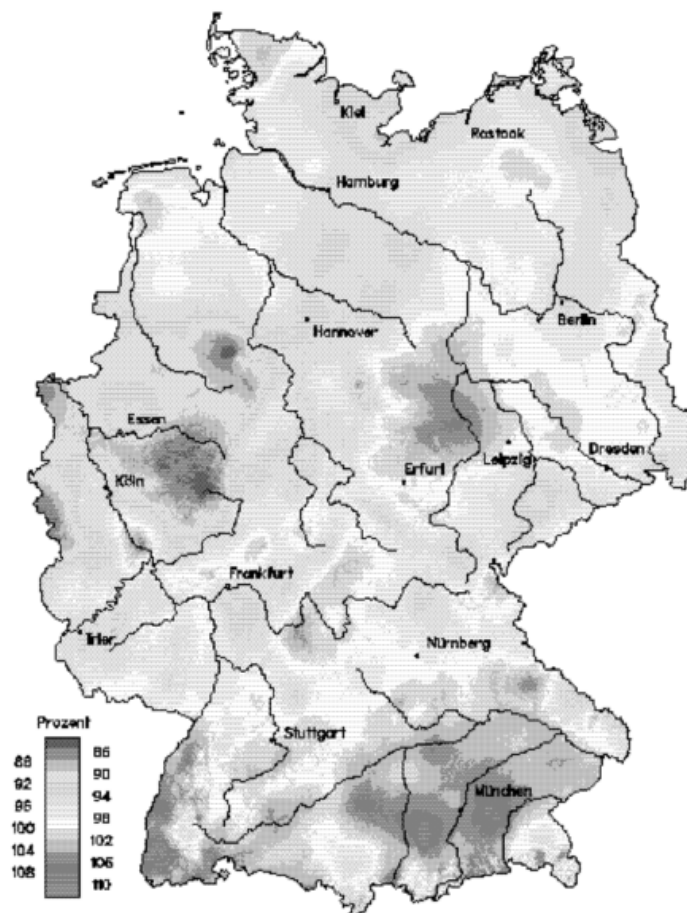
Hinsichtlich der **Globalstrahlung** war 1998 ein Jahr mit durchschnittlichem Strahlungsgewinn. Die durchschnittliche Jahressumme lag in Deutschland mit 992kWh/m<sup>2</sup> etwa 2% unter dem vieljährigen Mittel von 1014 kWh/m<sup>2</sup>.

Von Höchstwerten auf den Alpengipfeln abgesehen, bewegten sich die Jahressummen der Globalstrahlung zwischen 825 und 1177 kWh/m<sup>2</sup>. Besonders strahlungsbegünstigt waren der Raum München-Augsburg, das Oberrheintal und der Bodensee. Die Stationen Weihenstephan und Freiburg meldeten 1177 bzw. 1160 kWh/m<sup>2</sup>. Strahlungsarm zeigte sich das Sauerland. Die Meßstation Lüdenscheid erreichte nur eine Jahressumme von 827 kWh/m<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Die angegebenen (Extrem-)Werte, basierend auf dem 1-km-Raster, sind durch Interpolation von Meßwerten zwischen den Stationen unter Berücksichtigung der Topographie **berechnet** worden (vergleiche auch "[Extremwertkarte](#) für das Jahr 1998" und "[Numerical Productions](#) of Climatic Maps....").

Vergleicht man die Jahressummen der Globalstrahlung von 1998 mit den vieljährigen Mitteln und stellt die Abweichungen flächenhaft dar (s. Abb. 1), so weisen Oberbayern, das Oberrheintal und Sachsen-Anhalt einen Strahlungsgewinn von über +10% (über +100 kWh/m<sup>2</sup>) auf, der lokal bis zu +19% betragen kann. Dagegen waren das Sauerland, der Teutoburger Wald und der Raum Aachen mit einem Strahlungsverlust von etwa -14% (-125 kWh/m<sup>2</sup>) am wenigsten strahlungsbegünstigt. Auffällig ist, daß dieser Strahlungsverlust besonders über den Mittelgebirgen zu registrieren war, die ohnehin durch verstärkte Wolkenbildung und Wolkenstau weniger Sonnenstrahlung empfangen. Auch die Zone hoher Einstrahlung, die üblicherweise die Küsten einschließt, konnte sich 1998 bis auf ein kleines Gebiet um die Insel Rügen nicht ausbilden.



**Abb. 1** Globalstrahlung 1998 in Prozent des Mittelwertes der Jahre 1981-1995

Für Deutschland, basierend auf einem 1-km-Raster, betrug 1998 die mittlere **Niederschlagshöhe** 917 mm, wobei Extremwerte<sup>1</sup> von 440 und 3435 mm auftraten. Die räumliche Struktur der Verteilung der Niederschläge wich nicht wesentlich von der Verteilung im vieljährigen Mittel ab. Besonders niederschlagsreich waren wie üblich die Alpen mit ihrem Vorland, die Mittelgebirge und die Nordseeküste. Weniger als 600 mm Niederschlag fiel örtlich in Rheinhessen und in großen Teilen Ostdeutschlands, insbesondere im Elbe-Saale- und im Havel-Spree-Gebiet.

Insgesamt fielen in Deutschland 1998 118 % des vieljährigen Niederschlags. Die extremen Abweichungen lagen bei 59 und 191 %.

Relativ zum vieljährigen Mittel war es in Nordwestdeutschland und in den nördlichen Mittelgebirgen besonders naß. Auf 22 % der Fläche Deutschlands lag die Abweichung über 130 %. Relativ trocken war es nur auf 7 % der Fläche gebietsweise im Südwesten und im Alpenvorland. (Abb. 6)

Der **Jahresverlauf** der Witterung zeigte wieder einige Besonderheiten:

Während der Winter (Dezember 1997 - Februar 1998) und der Frühling in ganz Deutschland gegenüber dem vieljährigen Durchschnitt durchweg zu warm waren, war der Sommer im größten Teil Norddeutschlands etwas zu kühl. Nur im Südteil von Bayern und Baden-Württemberg wurde das vieljährige Mittel großflächig um mehr als ein Grad überschritten. Der Herbst war fast überall zu kühl. Nur in Süddeutschland wurde örtlich der vieljährige Mittelwert geringfügig überschritten.

Die Niederschläge waren im Winter im größten Teil Deutschlands geringer als im vieljährigen Durchschnitt, insbesondere am Niederrhein, in Hessen, Unterfranken und im östlichen Bayern, wobei örtlich nicht einmal 50 % des vieljährigen Mittels erreicht wurden. Relativ feucht war es im Südwesten und im Nordosten vom Thüringer Wald und Harz bis zur Ostseeküste, wobei gelegentlich Abweichungen bis über 150 % des Mittels im Referenzzeitraum 1961-1990 erreicht wurden.

Das Frühjahr war im Nordwesten feucht, im Südosten mit Ausnahme des Berchtesgadener Lands trocken. Im Sommer verschob sich der trockene Bereich mit seinem Zentrum nach Südwesten, besonders naß war es an der Küste.

Der Herbst war in ganz Deutschland zu naß, insbesondere in Franken und in den nördlichen Mittelgebirgen. Dort wurden gebietsweise mehr als 250 % des vieljährigen Durchschnitts gemessen.

*Im einzelnen ergab sich folgender Jahresverlauf der Witterung:*

Der **Januar** begann mit einer milden, teilweise stürmischen Westströmung. Dabei trat am 11. in Freudenstadt ein neuer Rekordwert von 18.4 Grad C auf. Erst im letzten Monatsdrittel wurde es etwas kälter. Die Niederschläge waren im Norden über-, im Süden unterdurchschnittlich.

Im **Februar** setzte sich zunächst die kalte Witterung fort. Ab dem 10. wurde es jedoch deutlich milder, so daß der Monat insgesamt gegenüber dem vieljährigen Mittel erheblich zu warm wurde. Dabei wurden gemittelt über Deutschland nur 41 % der vieljährigen Niederschlagsmenge gemessen. In Rheinland-Pfalz und im Saarland waren es sogar nur 17 %. Der Monat war sehr sonnenscheinreich. An einigen Stationen in Süddeutschland wurden die höchsten Werte der Sonnenscheindauer seit Beginn der Messungen registriert.

Auch der **März** war mild, aber überwiegend feucht. Im größten Teil Deutschlands wurde der vieljährige Mittelwert überschritten. Nur in Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland war es wieder trocken. Am 30. wurde bei Bonn mit 25.7 Grad C bereits der erste Sommertag (Temperaturmaximum über 25 Grad C) beobachtet.

Der **April** war ebenfalls überwiegend mild und feucht. Es gab erste starke Gewitter mit Schäden durch Überflutungen und Blitzeinschläge.

Der **Mai** war insgesamt warm und trocken. Es gab aber auch einzelne schwere Gewitter mit Starkniederschlägen und Hagel.

Auch im **Juni** setzte sich die überwiegend warme Witterung fort, wobei es jedoch nur im Süden relativ trocken blieb, während es im Norden Deutschlands erheblich zu naß war.

Im **Juli** waren die Niederschläge durchschnittlich. Abgesehen vom Alpenvorland war der Monat insgesamt kühl. Es gab jedoch auch kurze sehr heiße Perioden, insbesondere um den 20. herum. Dabei wurden örtlich die bisherigen Temperaturextremwerte überschritten (z. B. in Freiburg mit 37.9 Grad C und in Ueckermünde mit 36.2 Grad C).

Der **August** war trocken, insbesondere im Süden (nur 50 % des vieljährigen Niederschlags in Baden-Württemberg und Bayern). Es gab sehr heiße Perioden (am 1. des Monats 39.8 Grad C in Mendig). Aber insgesamt war es nur im Süden warm. Im Norden dominierten die kühlen Abschnitte.

Der **September** war in Deutschland meist warm, aber insgesamt sehr naß mit einem Flächenmittel für Deutschland von 181 % des vieljährigen Niederschlagssolls.

Der **Oktober** war extrem niederschlagsreich. Das Flächenmittel für Deutschland betrug knapp 300 % des vieljährigen Durchschnitts (siehe auch den Beitrag "[Starkniederschläge im Oktober](#)" in diesem Heft). Gebietsweise war es der nasseste Oktober seit 100 Jahren. Einzelne Starkniederschläge mit Tagesmengen bis 99 mm führten zu lokalen Überflutungen. Die normalerweise auftretenden ruhigen herbstlichen Schönwetterperioden mit Temperaturinversionen fehlten völlig, so daß der Monat in den Niederungen mild, auf den Bergen aber kühl ausfiel.

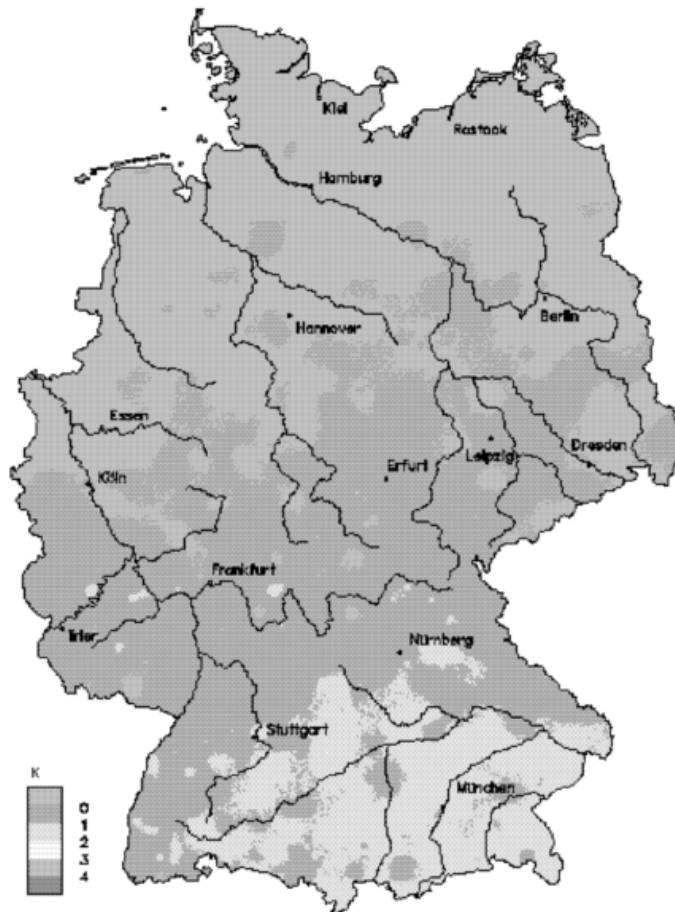
Der **November** war in ganz Deutschland kalt, im Nordwesten trocken, im Südosten feucht. Die zweite Monatshälfte hatte bereits winterlichen Charakter. Am 22. wurden

in Oberstdorf ein Temperaturminimum von -22.7 Grad in der Luft und -28 Grad C am Boden gemessen.

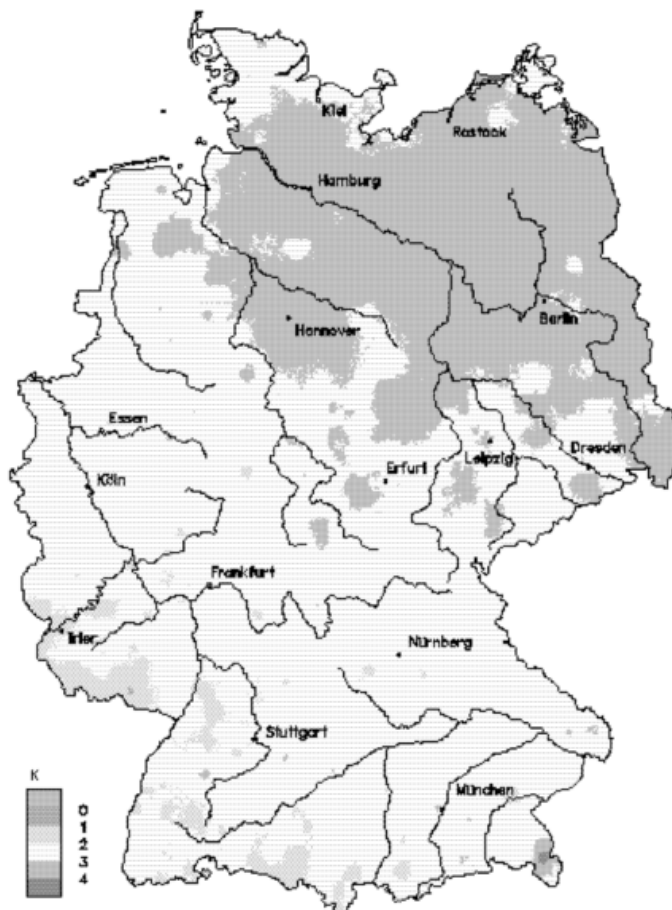
Im **Dezember** setzte sich die kalte Witterung zunächst fort. Dabei traten wieder extrem tiefe Temperaturen auf (Erdbodenminimum in Oberstdorf am 9. Dezember -29.8 Grad C). Ab dem 10. setzte sich aber in Deutschland milde Luft durch. So blieb die Monatsmitteltemperatur nur in Norddeutschland etwas unter dem vieljährigen Bezugswert. In Süddeutschland wurde der Dezember zu warm, wobei gegen Monatsende besonders hohe Temperaturen auftraten (am 27. in Freiburg 16.8 Grad C).



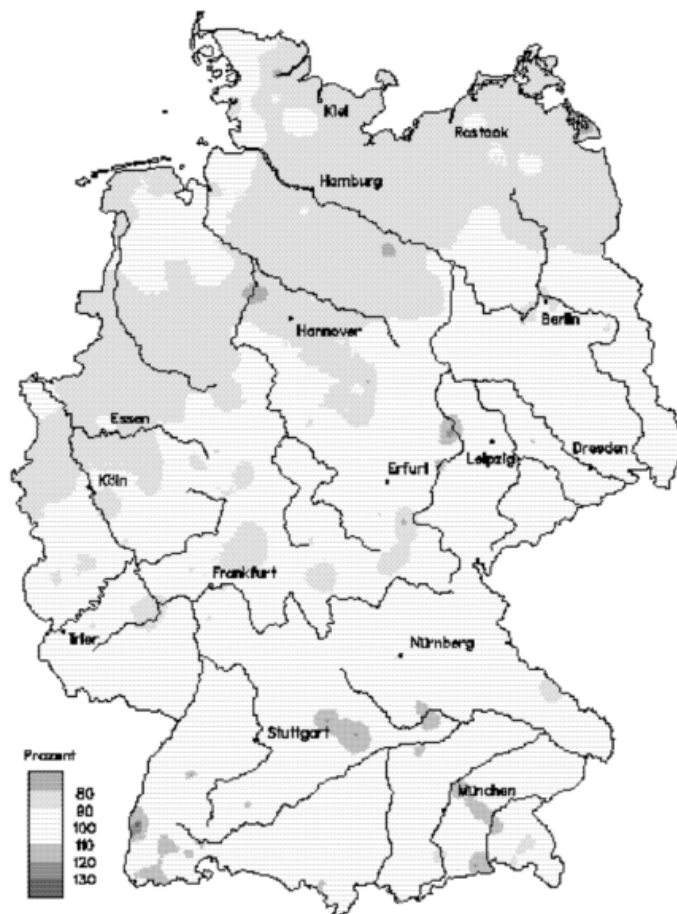
**Abb. 2** Temperaturabweichung 1998 vom Mittel 1961-1990



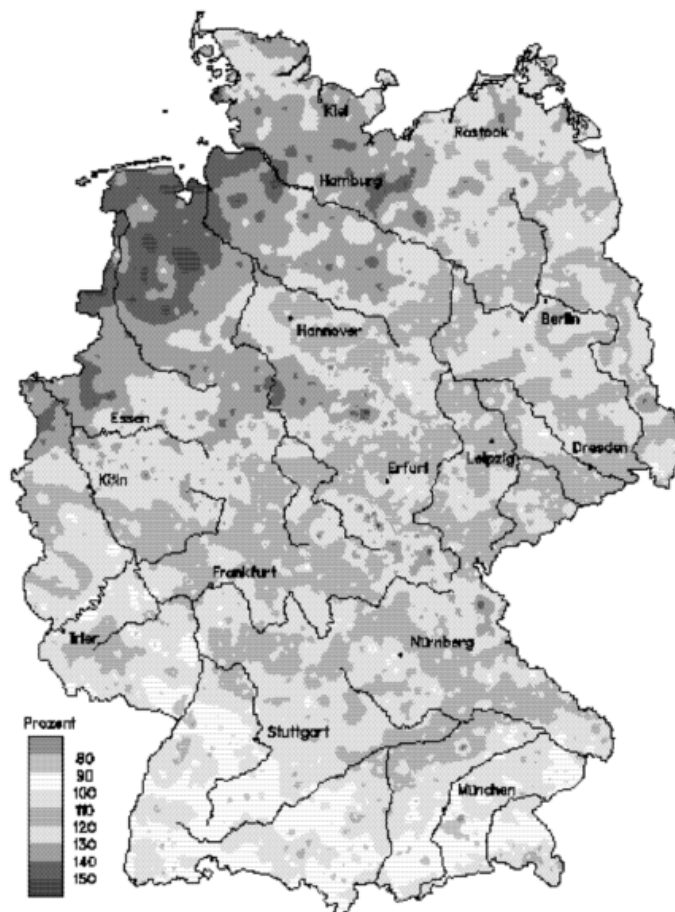
**Abb. 3** Temperaturabweichung Sommer 1998 vom Mittel 1961 - 1990



**Abb. 4** Temperaturabweichung Winter 1998 vom Mittel 1961 - 1990

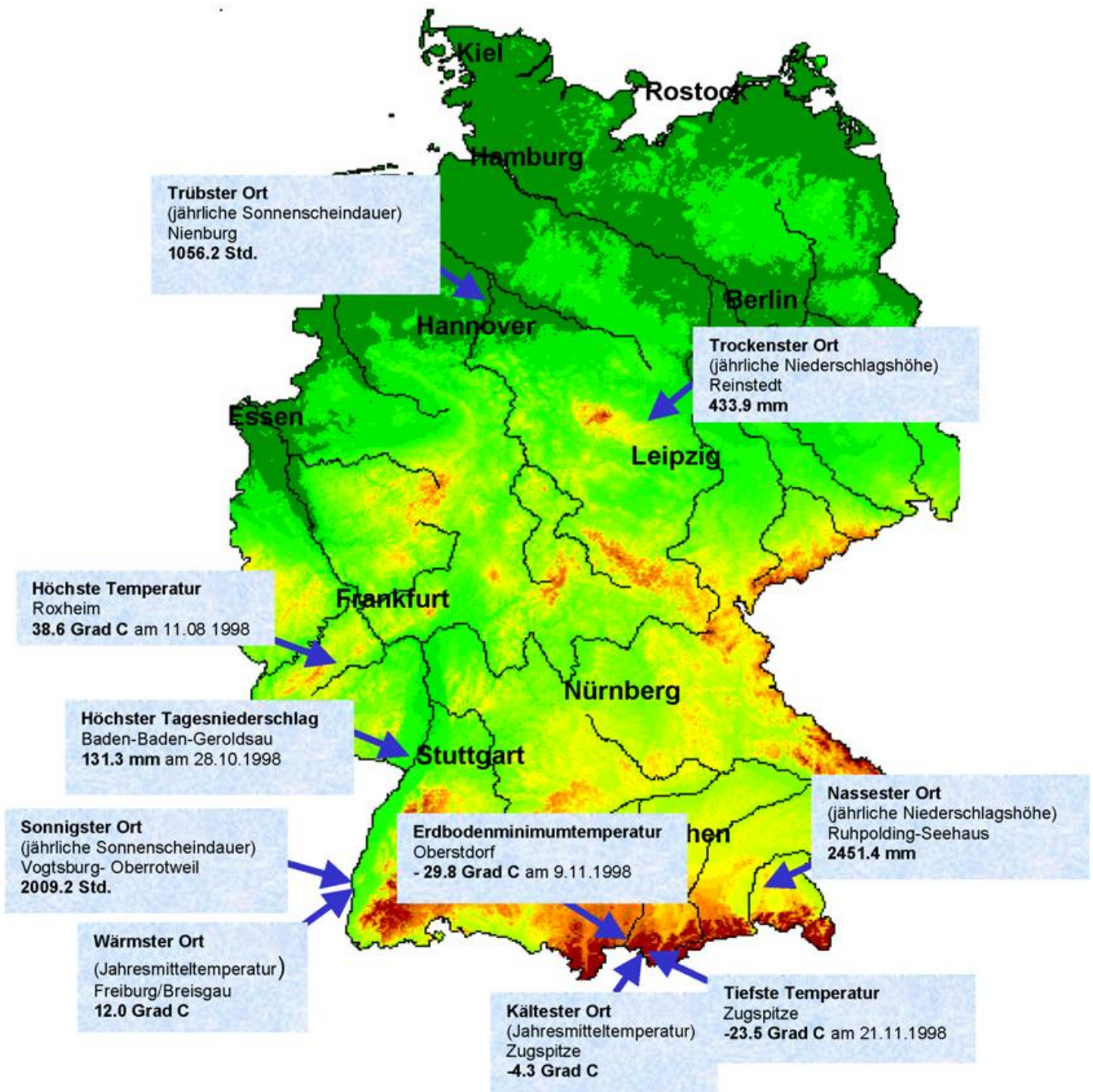


**Abb. 5** Sonnenscheindauer 1998 in Prozent des Mittelwertes der Jahre 1961 - 1990



**Abb.6** Niederschlagshöhe 1998 in Prozent des Mittelwertes der Jahre 1961 - 1990

## Extremwertkarte für das Jahr 1998



Die eingetragenen Extremwerte beruhen auf den **Messungen** der Beobachtungsstationen des DWD. Im Einzelfall können noch stärkere Extreme aufgetreten sein, die von den Meßstellen nicht erfaßt wurden (s.a. „[Die Witterung in Deutschland](#)“ in diesem Heft).

Stationskennziffer	Name	Koordinaten	Meßnetze
1531	Nienburg	52°38'N, 09°13'E	Klima
44331	Reinstedt	51°45'N, 11°21'E	Niederschlag
2274	Roxheim	49°52'N, 07°48'E	Klima
2701	Baden-Baden-Geroldsau	48°44'N, 08°15'E	Klima
2305	Vogtsburg- Oberrotweil	48°06'N, 07°38'E	Sonne
2311	Freiburg/Breisgau	48°00'N, 07°51'E	Klima
92443	Ruhpolding-Seehaus	47°43'N, 12°37'E	Niederschlag
4144	Oberstdorf	47°24'N, 10°17'E	Klima
4155	Zugspitze	47°25'N, 10°59'E	Klima

## Die Witterung in den deutschen Küstengebieten

### Ch. Lefebvre

Die Jahresmittel der Lufttemperatur lagen 1998 mit 9 bis 10 °C an der Nordsee ähnlich hoch wie im Vorjahr. Im Ostseeraum bewegten sie sich bei 8 bis 9 °C, womit an der mecklenburg-vorpommerschen Küste weiträumig die gleichen Werte wie 1995 verzeichnet wurden. Diese Jahrestemperaturen bedeuteten für die norddeutschen Küstengebiete positive Abweichungen von 0.4 bis 1.0 K zu den Mittelwerten des Referenzzeitraums. Bemerkenswert ist, daß die erste Jahreshälfte in allen Monaten zu warm, die zweite (mit Ausnahme vom September im Ostseebereich) zu kalt ausfiel. Die größten positiven Abweichungen von rund 3.5 bis 5.5 K wies der Februar auf, die größten negativen mit rund -2.5 bis -3.5 K der November. Dabei war der Februar der zweit- oder drittwärmste Februar seit 1951, wobei dieser Monat 1990 noch um 1 bis 1.5 K wärmer ausfiel. Dem vergleichbar gehörte der November zu einem der kältesten Novembermonate seit 1951. Nur 1965, 1985 und 1993 waren sie noch kälter.

Die Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperaturen von 25 °C und mehr) bewegte sich zwischen 0 auf Helgoland und 11 am Stettiner Haff. Sie lag im Nordseegebiet im Bereich der Vergleichswerte, während sie an der Ostseeküste um bis zu 6 Tage darunter blieb. Nur ein Tag davon zählte bei Erreichen von 30 °C auch als heißer Tag (Ausnahme: Bremerhaven mit 2). In Ostfriesland war dies der 21. Juni und an der Ostsee der 21. Juli.

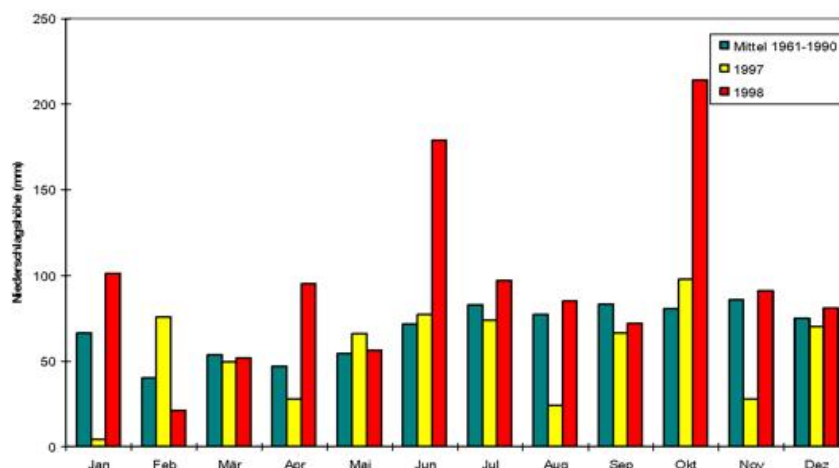
Im Küstengebiet der Nordsee und auf den vorgelagerten Inseln wurden 1998 nur 30-40 Tage mit Luftfrost (Tiefsttemperatur unter 0 °C) und um 7 Eistage (Tageshöchsttemperatur unter dem Gefrierpunkt) verzeichnet, im Ostseeraum 40-70 Frosttage und 6-20 Eistage. Damit gab es im gesamten Küstenbereich etwa 16-24 Frosttage und 6-14 Eistage weniger als im Mittel der Jahre. Helgoland hatte mit 17 sogar nur die Hälfte der mittleren Anzahl an Frosttagen und mit 3 Eistagen sogar nur ein Drittel des üblichen Wertes. Ähnlich wie 1989 lag die Anzahl dieser kalten Tage zu Jahresbeginn deutlich niedriger als zu Jahresende.

Die Sonnenscheindauer bewegte sich in den Küstengebieten mit meist 1325 bis 1560 Stunden im Bereich des für das Bundesgebiet ermittelten Durchschnittswertes (vgl. Seite 34). Damit blieb sie um 5-15 % unter den Erwartungswerten. Auch in einer der normalerweise sonnigsten Gegenden Deutschlands, im nördlichen Rügen, wurde mit 1676 Stunden das Jahressoll nicht erreicht. Während Jahresbeginn und -ende ungewöhnlich sonnenscheinreich waren, zeichneten sich die Sommer- und Herbstmonate durch ein markantes Defizit aus, womit 1998 an der Küste eines der sonnenscheinärmsten der letzten 100 Jahren war.

Der Nordseeraum gehörte 1998 zu einem der deutlich zu nassen Gebiete Deutschlands. Die jährlichen Niederschlagshöhen lagen hier mit meist 935 bis 1150 mm um 20 bis 50 % über den vieljährigen Mittelwerten. Örtlich, wie in List auf Sylt, blieb es auch leicht zu trocken. Niederschlag von mindestens 1 mm fiel dabei an 140 bis 165

Tagen und somit an 7 bis 30 Tagen mehr als im Durchschnitt. Verbreitet trat hier eine vergleichbare Anzahl 1988 auf, aber nur vereinzelt war 1988 auch ein solch nasses Jahr. Überwiegend waren ab 1951 keine entsprechenden Jahreshöhen aufgetreten. Der Ostseeraum fiel dagegen nicht so ungewöhnlich naß aus. Hier summierten sich die Niederschläge, die häufig in Schauern von regional sehr unterschiedlicher Intensität niedergingen, zu Jahreshöhen von 643 bis 819 mm. Das waren verbreitet 20-30% mehr als im Mittel der Jahre. Ähnlich hohe Niederschläge fielen zuletzt, gebietlich unterschiedlich, in den Jahren 1993 und 1960. Die Zahl der Tage mit mindestens 1 mm Niederschlag überschritt mit 115 bis 140 Tagen ebenfalls um rund 10-30 die Vergleichswerte, was nicht als außergewöhnlich zu werten ist.

Ungewöhnlich naß waren im Jahresverlauf die Monate April, Juni und Oktober, in denen verbreitet bis um das Doppelte, regional auch bis zum 3-fachen des gewöhnlichen Niederschlags fiel. Anders als im übrigen Bundesgebiet, war auch der August überwiegend zu naß, so daß die Küstengebiete insgesamt einen regenreichen Sommer zu beklagen hatten (vgl. Abb.1). An der südlichen Ostsee beliefen sich die Sommerniederschläge verbreitet auf rund 250 mm, was einen Überschuß von rund 40 % im Vergleich zu einem mittleren Sommer bedeutet. Niederschlagsreichere Sommer gab es dort vor allem in den 50er Jahren und zuletzt 1987. Noch nasser war der Sommer im westlichen Ostfriesland und auf Helgoland, wo mit 320 bis 400 mm um 60-80 % höhere Summen verzeichnet wurden. Das waren die höchsten oder zweithöchsten Sommerniederschläge seit 1951. Merklich zu trocken fielen demgegenüber Februar, Mai und an der Ostsee auch der September aus, in denen es mit meist 20-30 mm verbreitet nur rund die Hälfte des mittleren Niederschlags gab.

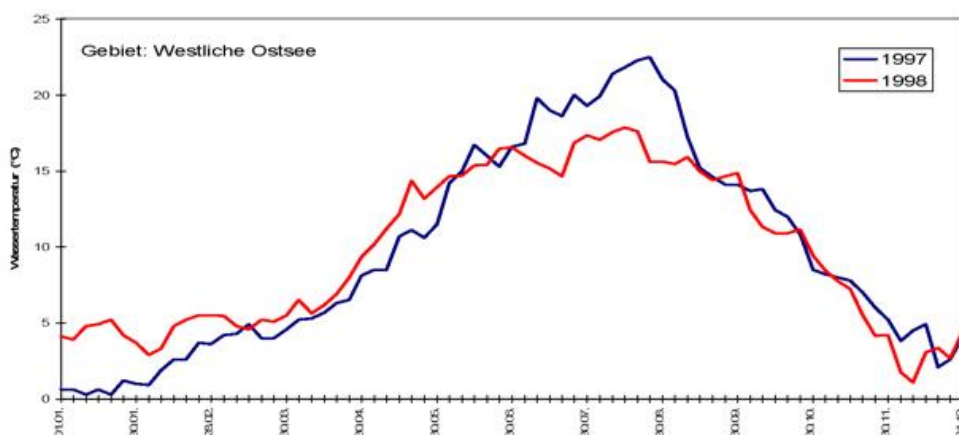


**Abb. 1** Monatliche Niederschlagshöhen Cuxhaven

Der Februar 1998 war in den Küstengebieten nicht nur hinsichtlich seiner Wärme und Niederschlagsarmut besonders beachtenswert, sondern auch wegen seiner Windverteilung. Diese wurde von einem markanten Vorherrschen von Südwest- und Westwinden geprägt, die zu rund 80-90 % der Zeit vorkamen, während sie im Mittel der Jahre nur einen Anteil von etwa 28-35 % haben. Ungewöhnlich windig verlief der Oktober. In den freien Lagen der Dt. Bucht wurde an jedem Tag, in den exponierten Insellagen der Ostsee an bis zu 27 Tagen Windstärke 6 und darüber verzeichnet.

Das waren 10-12 Tage mehr als im Durchschnitt. Sturmstärke (Bft. 8) wurde mit bis zu rund 10 Tagen mehr als doppelt so oft erreicht. Vorherrschend waren Südwest- und Westwinde, die mit einem Anteil von rund 50-60 % um 15 % häufiger vorkamen, aber auch Ostwinde, die mit mehr als 20 % dreimal so oft auftraten wie gewöhnlich.

Der Jahresgang der Wassertemperaturen wies 1998 eine merklich gedämpftere Amplitude auf als 1997 (vgl. Abb. 2). Ähnlich wie die Lufttemperaturen, bewegten sich die Oberflächentemperaturen im 1. Halbjahr durchweg auf überdurchschnittlichem, im 2. Halbjahr auf unterdurchschnittlichem Niveau. Zu Jahresbeginn lagen sie in den flacheren Küstengebieten der Nordsee und westlichen Ostsee bei 3-4 °C, in den tieferen Gewässern der Dt. Bucht bei Helgoland um 6 °C. Sie erreichten in den ersten Februartagen (3./4.) mit 1-3 °C ein Minimum, bevor ein langsamer Anstieg erfolgte. Bis einschließlich Juli fielen die höchsten Erwärmungsraten jeweils auf die letzten Monatsdekaden. Dabei vergrößerte sich im Mai die Abweichung zu den vieljährigen Bezugswerten auf 1-1.5 °C in der Nordsee und 3 K in der westlichen Ostsee. Im Juli, als die Wassertemperaturen zunächst rückgängig waren und erst nach Einsetzen von strahlungsreicher Sommerwitterung im letzten Monatsdrittel wieder anstiegen, blieben die monatlichen Erwärmungsraten dann merklich unter dem Erwartungswert und die küstennahen Nordseeegewässer um gut 1 K zu kühl. Die höchsten Wassertemperaturen dieses Jahres wurden zu Beginn der 2. Augustdekade mit 18-20 °C gemessen. Bereits in der letzten Augustdekade setzte ein starker Temperaturrückgang ein. Stärker als gewöhnlich kühlten sich die Gewässer im November ab, wobei die Abkühlungsrate in den flachen Wasserzonen mit 5-6 K doppelt so hoch war wie in den tieferen. Bei frostiger Witterung setzte im letzten Novemberdrittel Eisbildung in den geschützten Bereichen der inneren Boddengewässer der südlichen Ostsee und später auch örtlich an der nordfriesischen Küste und in den Fördengewässern der westlichen Ostsee ein. Um den 11./12. Dezember erreichten die Wassertemperaturen dann mit 1-2 °C wieder ein Minimum. In der 2. Dezemberhälfte ließ die Zufuhr milder Meeresluft das Eis, das in den Boddengewässern eine Dicke bis zu 20 cm erreicht hatte, wieder abschmelzen und die Wassertemperaturen auf 4-5 °C am Jahresende ansteigen.



**Abb. 2** Verlauf der Wassertemperatur 1997 und 1998

## Die phänologische Entwicklung

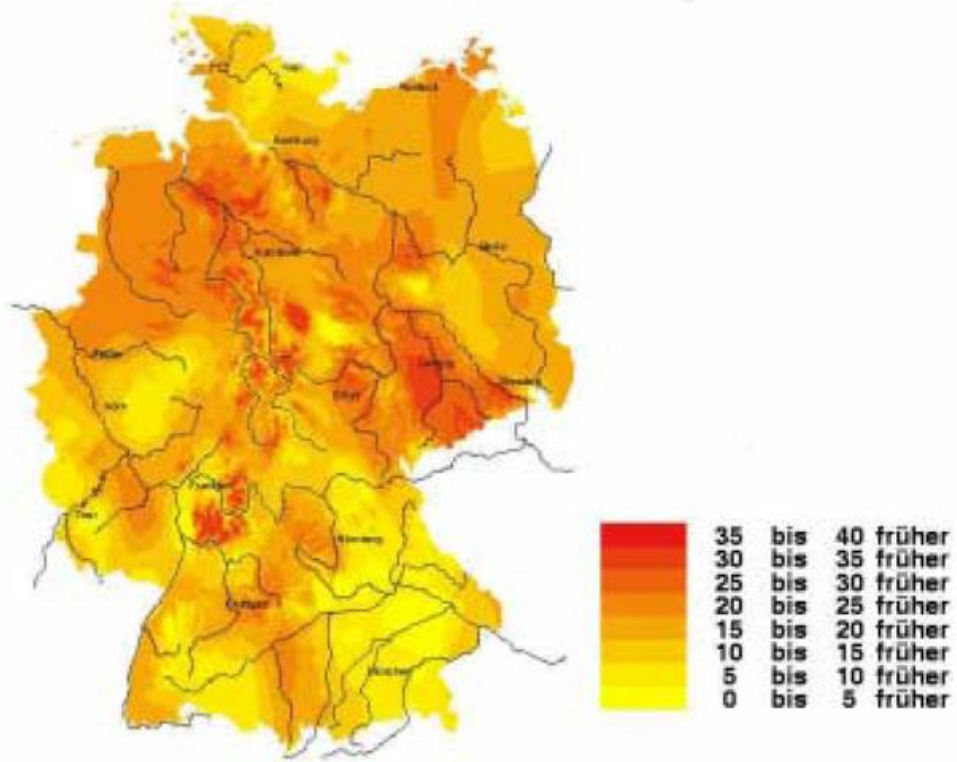
W.Trampf, W. Janssen

Da lediglich in der letzten Januar- und der ersten Februardekade eine winterliche Witterung zu verzeichnen war, setzte im Jahr 1998 der **Vorfrühling**, der mit der Blüte der Haselsträucher beginnt, in weiten Teilen Deutschlands bereits sehr früh im Januar oder nach dem Ende der Kälteperiode im Februar ein. Im Vergleich zu den mittleren Werten der Beobachtungsreihe 1992 bis 1998 waren die Eintrittsdaten überall verfrüht, im Norden und Osten meist um mehr als zehn Tage. In weiten Teilen des Südens und Westens war der Beginn des Vorfrühlings um ca. eine Woche verfrüht.

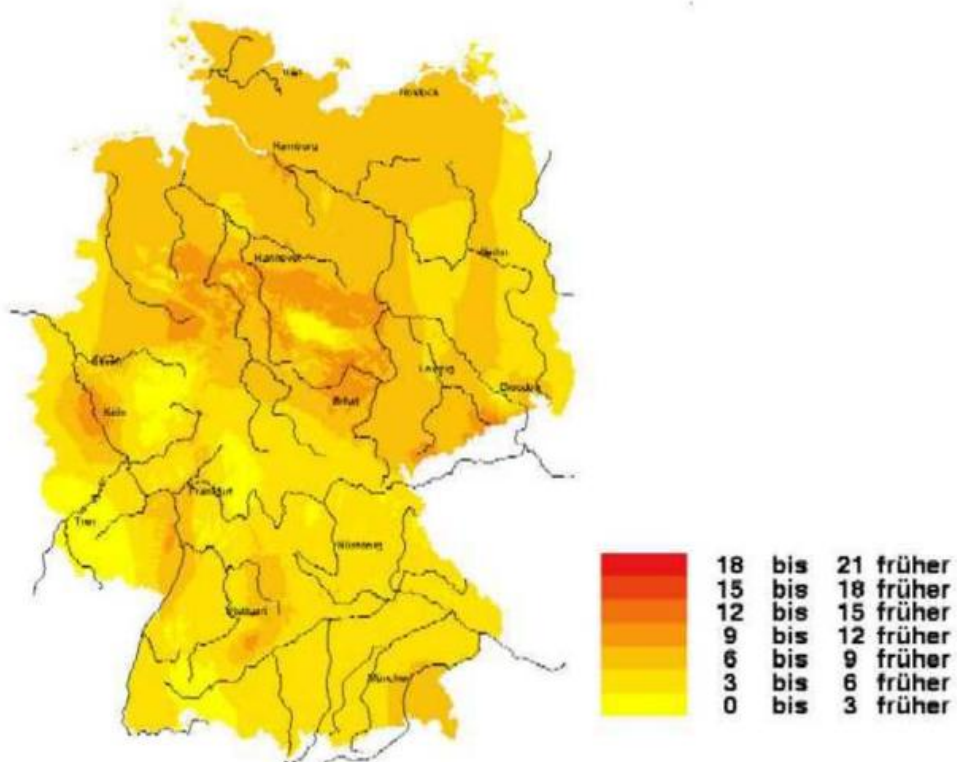
Mit der Apfelblüte hält der **Vollfrühling** seinen Einzug. Auch hierbei zeigte sich im Jahr 1998 eine verfrühte Vegetationsentwicklung. Die Apfelblüte begann im zweiten und letzten Aprildrittel und trat im Süden und Westen meist ungefähr eine Woche, im größten Teil des Nordens und Ostens zwei Wochen früher als im Mittel der Jahre 1992 bis 1998 auf.

In der letzten Junidekade, im Norden und im Bergland im ersten Julidrittel setzte mit der Fruchtreife der Roten Johannisbeeren der **Hochsommer** ein. Diese Phase trat 1998 gegenüber den mittleren Eintrittsdaten im größten Teil Deutschlands bis zu zehn Tagen verfrüht auf. Nur gebietsweise im Westen und Südwesten sowie in Ostbayern und Schleswig-Holstein wurden die Roten Johannisbeeren bis zu zehn Tage verspätet reif.

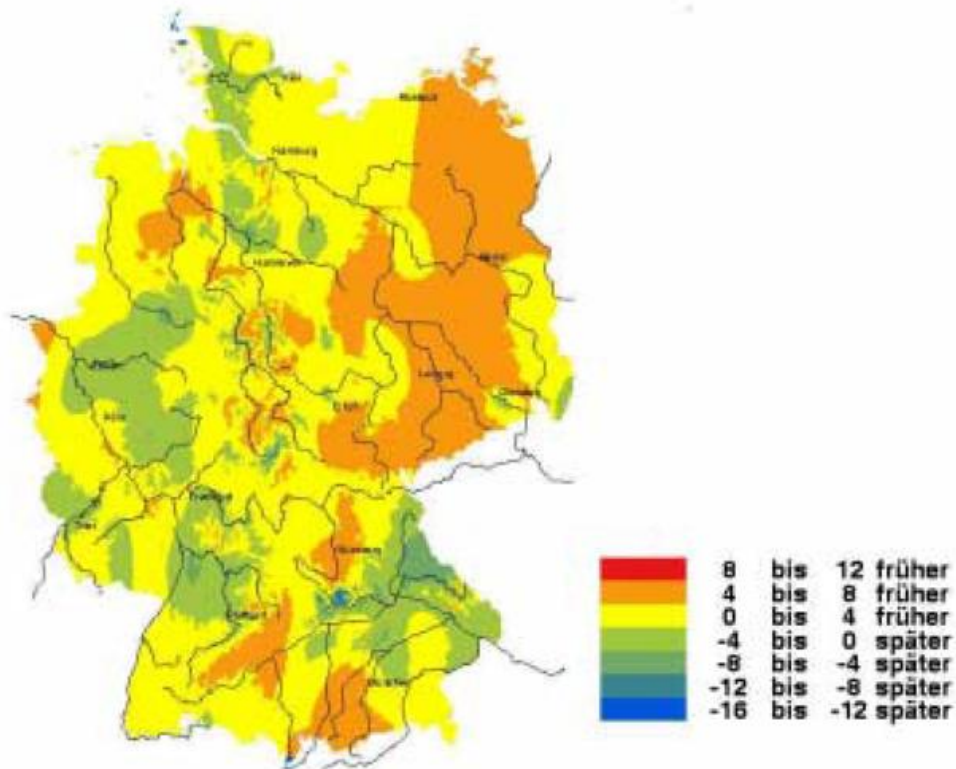
Im **Vollherbst** findet die Bestellung des Wintergetreides statt. Winterweizen wurde 1998 vor allem im Oktober gedrillt. Durch die niederschlagsreiche Witterung in diesem Monat war die Aussaat im größten Teil Deutschlands etwas verspätet. Dagegen konnte bei günstigeren Bodenverhältnissen die Winterweizenbestellung im größten Teil von Ostdeutschland und im östlichen Teil von Schleswig-Holstein bis zu acht Tagen verfrüht erfolgen.



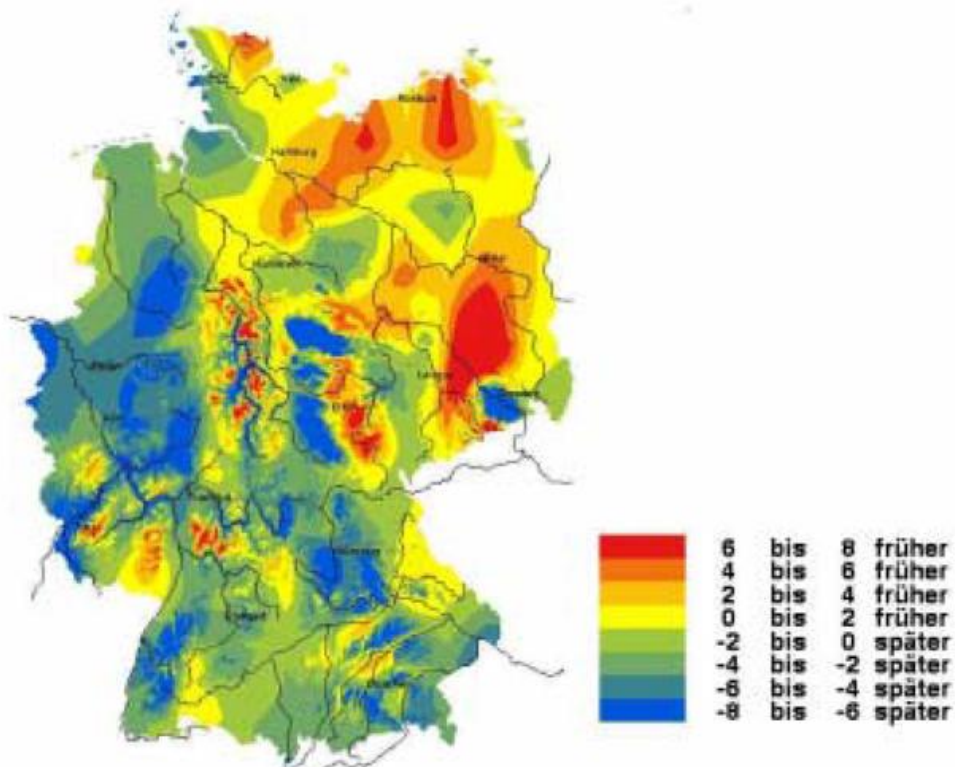
**Abb. 1** Haselblüte 1998  
Abweichung der Eintrittsdaten vom vieljährigen Mittel (1992-1998)



**Abb. 2** Apfelblüte 1998  
Abweichung der Eintrittsdaten vom vieljährigen Mittel (1992-1998)



**Abb. 3** Rote Johannisbeere Fruchtreife 1998  
Abweichung der Eintrittsdaten vom vieljährigen Mittel (1992-1998)



**Abb. 4** Winterweizenbestellung 1998  
Abweichung der Eintrittsdaten vom vieljährigen Mittel (1992-1998)

## Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre

H. Nitsche

Den folgenden Ausführungen liegen die Radiosondenmessungen und Windpilotierungen an den Stationen des gemeinsamen Meßnetzes des Deutschen Wetterdienstes und des Geophysikalischen Beratungsdienstes der Bundeswehr zugrunde, die als TEMP- bzw. PILOT-Meldungen über GTS empfangen wurden.

Zirkulation und Höhenwind:

*Mittlere monatliche Windvektoren:*

In den Abbildungen 1 bis 4 sind für Schleswig und Stuttgart (jeweils als repräsentative Stationen für Nord-bzw. Süddeutschland) die mittleren monatlichen Windvektoren bzw. ihre Abweichungsvektoren vom Referenzzeitraum als Vertikal-/Zeitschnitte für das Jahr 1998 dargestellt. Im Februar und März war über alle Höhen 1998 ein stärkerer Westnordwestwind mit höherer Beständigkeit als im Mittel über 1961-1990 zu beobachten. In den folgenden 3 Monaten gab es einen lebhaften Wechsel von vermehrtem Südwest im April, auf Nordwest im Mai 'mit sehr geringer Beständigkeit' und wieder Südwest im Juni bis in die untere Stratosphäre hinein. Juli und August haben geringe Richtungsabweichung zum Mittel bei etwas höheren Geschwindigkeiten und größerer Beständigkeit.

Der September war besonders im Norden ausgesprochen unbeständig, der Oktober dagegen etwas windstärker und beständiger. Der November war in der Troposphäre etwas weniger beständig als im Referenzzeitraum und hatte etwas vermehrt Nordwest- als Westwind. Im Januar und Dezember waren die Abweichungen zum Referenzzeitraum gering.

*Sommerliche Ostwindperioden:*

Der Beginn der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre lag über der GUAN-Station Stuttgart in 10 und 30 hPa etwa 10 Tage früher als 1997 und 3 bzw. 6 Tage früher als im Mittel über den Zeitraum 1974 bis 1997. In 70 hPa war die Zirkulation 1998 über Stuttgart wie auch über Essen nicht mehr ausgeprägt, an den 6 anderen Stationen allerdings wohl. Abbildung 5 zeigt die Folge der Perioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1974 bis 1998. In Tabelle 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen stratosphärischen Ostwindzirkulation für die Druckflächen 20 und 70 hPa für 8 Radiosondenstationen zusammengefaßt.

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer
Schleswig	20	91	243	153
	70	152	181	30
Greifswald	20	120	244	125
	70	152	181	30
Lindenberg	20	103	243	141
	70	151	181	31
Essen	20	107	243	137
	70	-	-	-
Dresden	20	107	244	138
	70	150	181	32
Meiningen	20	107	243	137
	70	150	181	32
Stuttgart	20	110	243	134
	70	-	-	-
München	20	111	244	134
	70	150	181	32

**Tab. 1:** Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 8 Radiosondenstationen (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 4 Windprofilen pro Tag)

Lufttemperatur:

*Monatsmittelwerte der Lufttemperatur:*

Abbildung 6 zeigt die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur 1998 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 8 Radiosondenstationen in 500 hPa und 50 hPa für die 4 Jahreszeiten. Im Frühjahr und im Winter war die Troposphäre wärmer als der Referenzzeitraum 1961-1990; die Stratosphäre war in allen Jahreszeiten kälter.

*Temperaturminima in der Stratosphäre:*

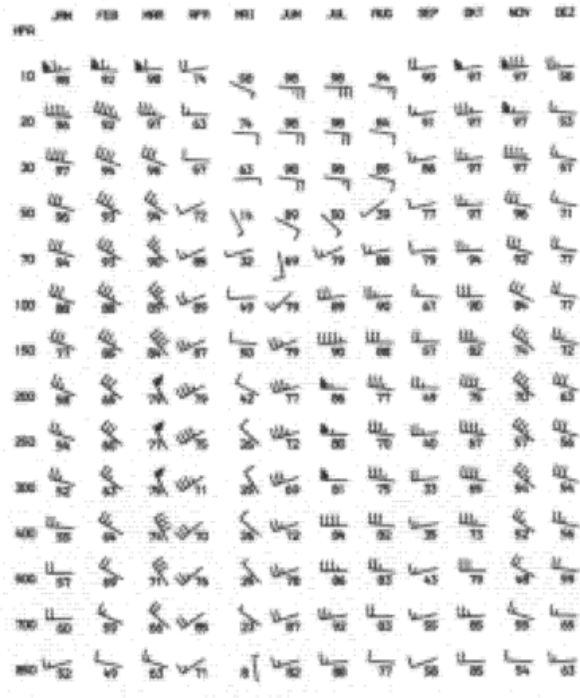
1998 traten Anfang Januar besonders niedrige Temperaturwerte in der Stratosphäre auf. Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der Werte dieser Episode, bei der die Temperaturen zwischen etwa 21,5 km und 26,3 km Höhe zwischen -81 und -86 Grad lagen.

Station	Tag	Mon	Zeit	Temperatur °C	Geopotential gdm
Schleswig	1	Jan	12	-85	23823
	2	Jan	0	-85	24439
Greifswald	1	Jan	12	-86	23951
	4	Jan	0	-83	24422
	4	Dez	0	-83	26291
Emden	1	Jan	12	-85	23128
	3	Jan	0	-84	23655
Bergen/ Hohne	1	Jan	12	-83	25549
	2	Jan	0	-82	23358
Wittstock/Dosse	2	Jan	12	-84	23764
Lindenberg	1	Jan	12	-84	22850
	2	Jan	0	-81	21461
Essen	2	Jan	12	-83	23870
	1	Jan	0	-82	21910
Dresden	1	Jan	12	-85	24383
	2	Jan	0	-82	23157
Meiningen	2	Jan	12	-85	25525
	3	Jan	0	-84	24174
Idar-Oberstein	1	Jan	12	-84	24250
	1	Jan	0	-81	21492
Stuttgart	2	Jan	12	-85	25568
	1	Jan	0	-81	24909
Kümmersbrück	1	Jan	12	-84	24298
München- Oberschleißheim	2	Jan	12	-82	24736
	1	Jan	0	-81	21472

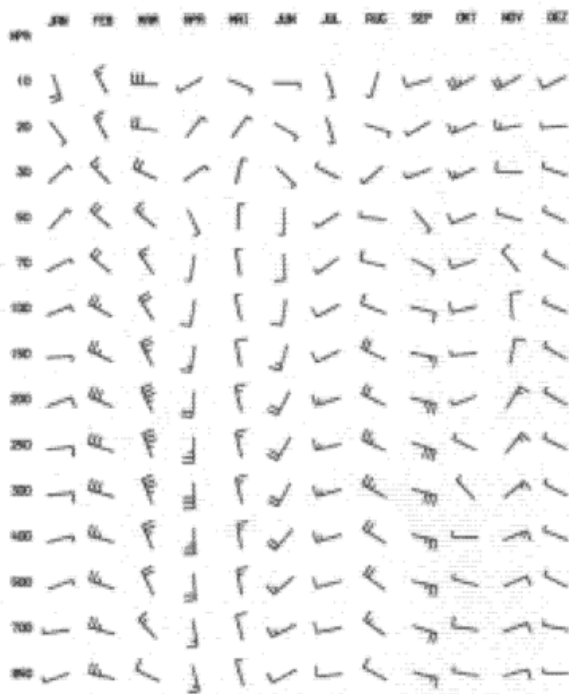
**Tab. 2:** Extreme Temperaturminima in der Stratosphäre nach Radiosondennmessungen 1998



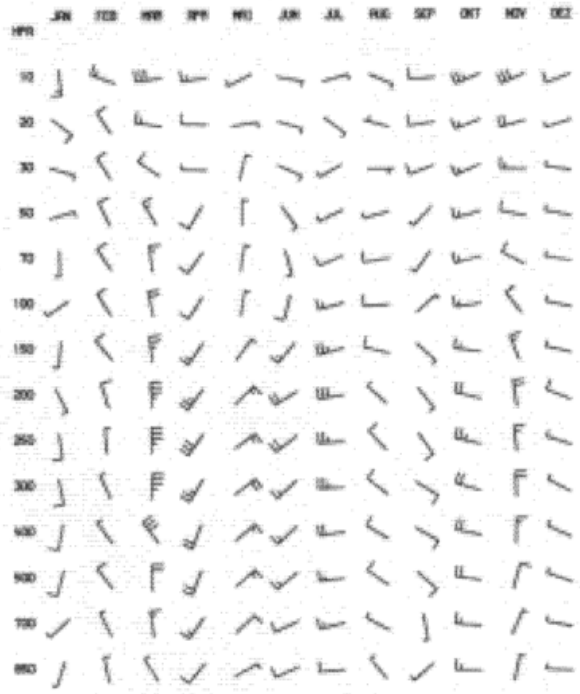
**Abb. 1** Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit Schleswig 1998



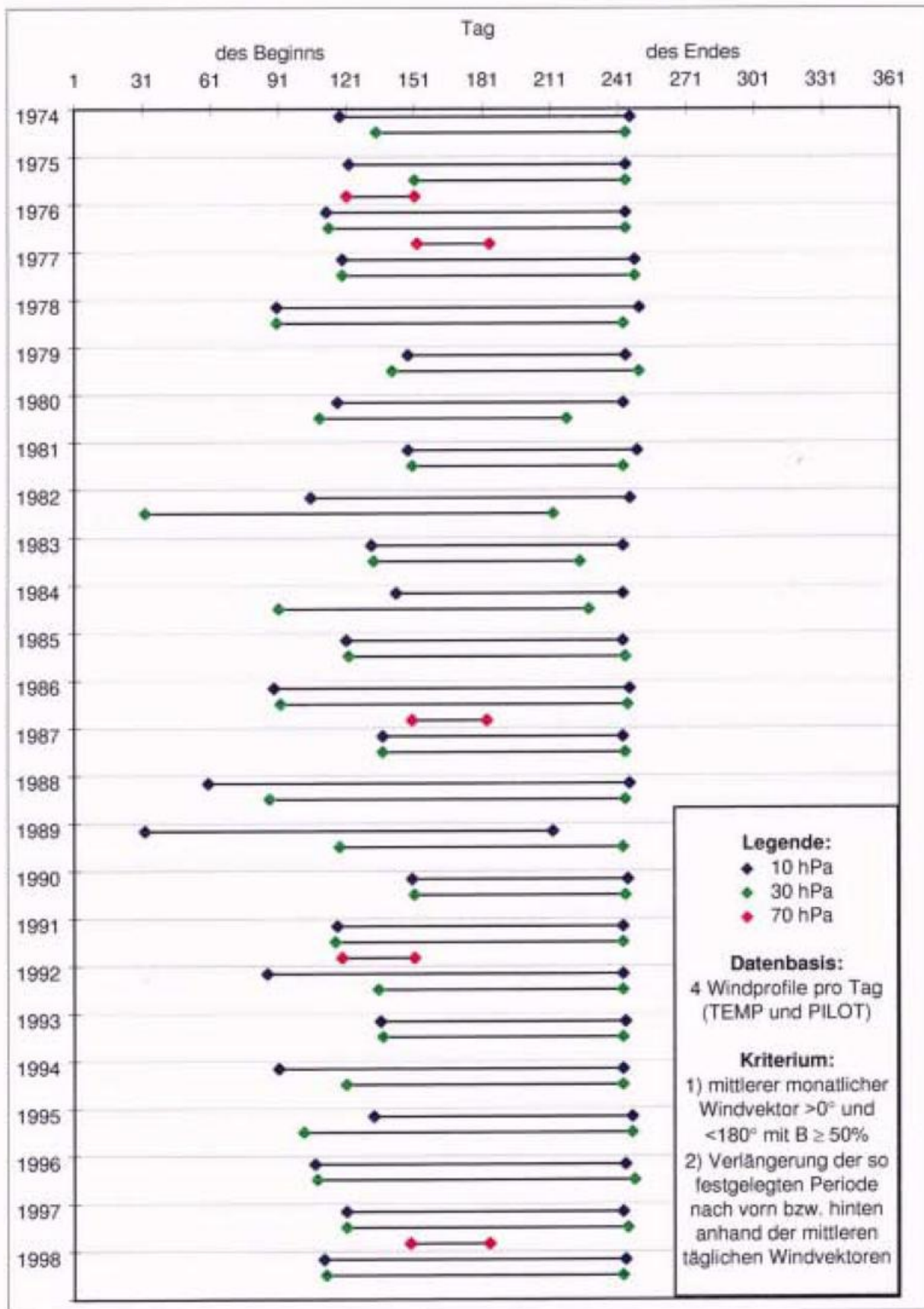
**Abb. 2** Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit Stuttgart 1998



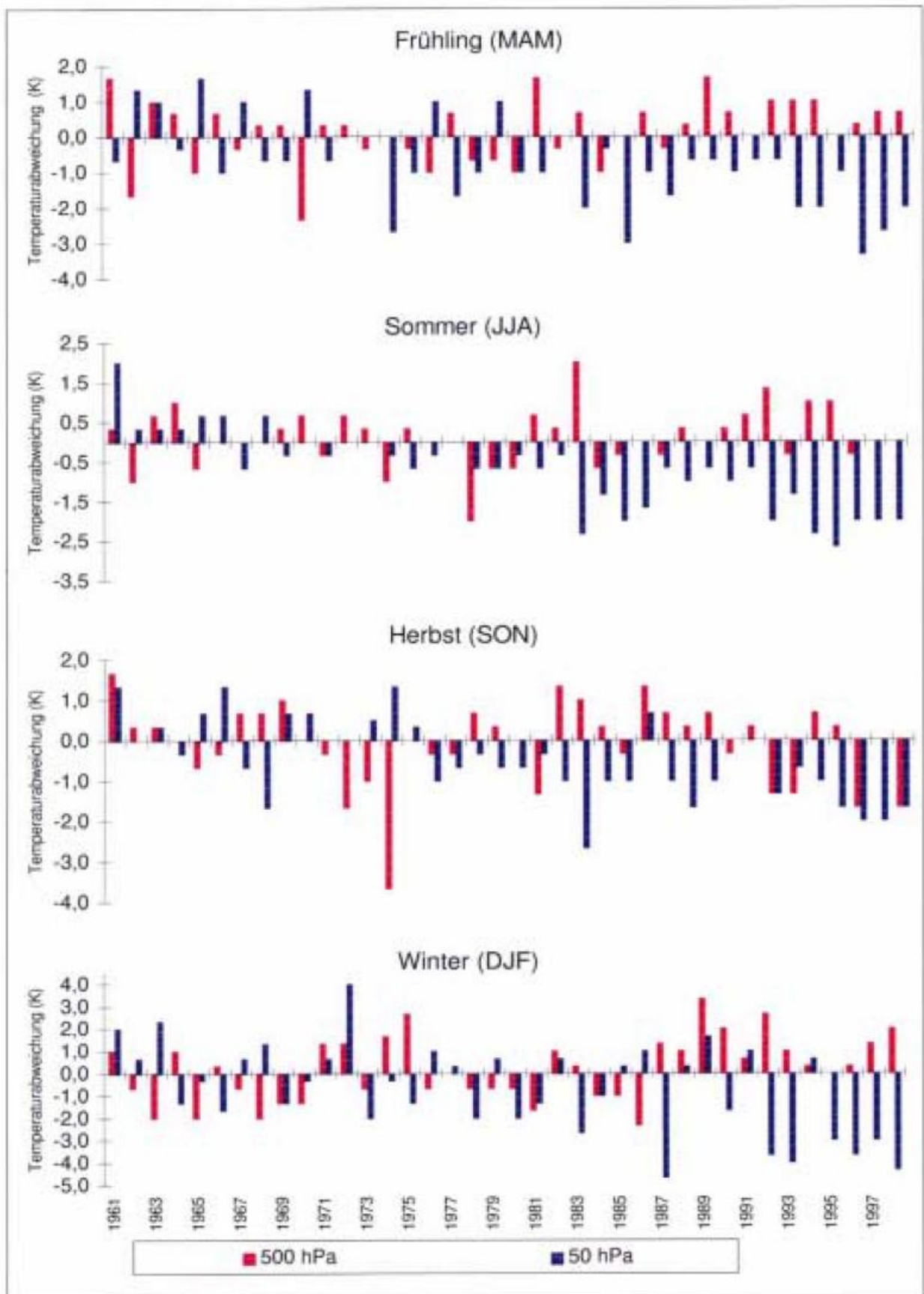
**Abb. 3** Abweichungen monatlicher Windvektoren vom Referenzzeitraum Schleswig 1998 Referenzzeitraum 1961-1990



**Abb. 4** Abweichungen monatlicher Windvektoren vom Referenzzeitraum Stuttgart 1998 Referenzzeitraum 1961-1990



**Abb. 5** Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre Stuttgart-Schnarrenberg 1974 -1998 (B=Beständigkeit)



**Abb. 6** Abweichung der mittleren Lufttemperatur der Jahreszeiten vom Referenzzeitraum 1961 - 1990 in 500 hPa und 50 hPa Mittel über 8 Radiosondenstationen

## Entwicklung der Ozonschicht

H. Claude, W. Steinbrecht

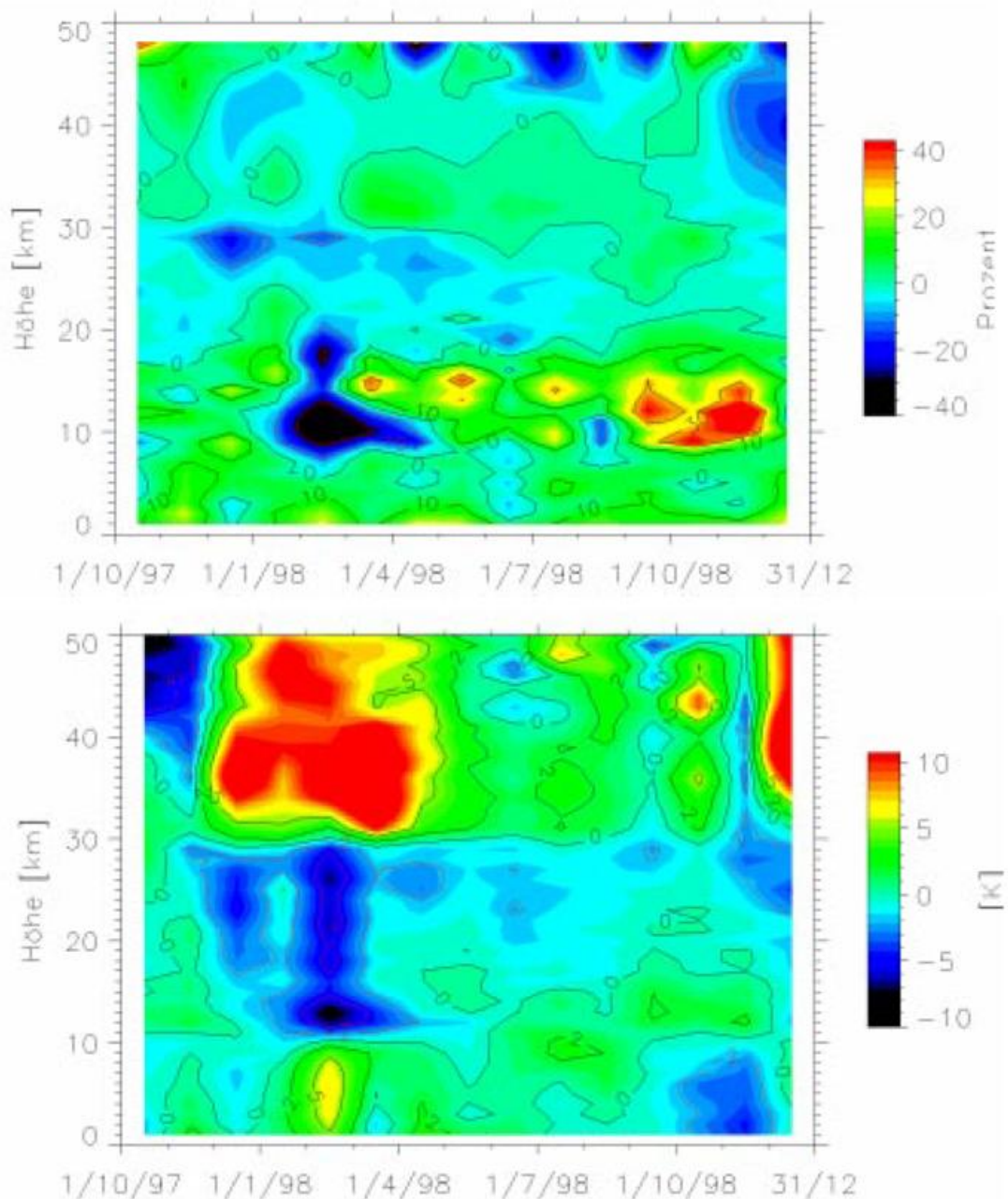
Die Überwachung der Ozonschicht mit Ballonsonden, Lidar und Spektrophotometern am Hohenpeißenberg zeigte 1998 erstmals seit langem normale oder sogar erhöhte Werte in weiten Bereichen der Stratosphäre. So betrug der Jahresmittelwert der Gesamtozon-Säulendichte 327 Dobson Einheiten (D.U.) und lag somit nur noch 2 D.U., entsprechend 0.6 %, unter dem 30-jährigen Mittelwert. Dieser Wert wurde zuletzt im Jahr 1991 überschritten.

Anhand der höhen aufgelösten Sondierungsdaten (Abb. 1, oben) zeigt sich, daß markantere Abweichungen des Ozons sich meist auf der Zeitskala einiger Wochen und im wesentlichen zwischen 10 und 20 km Höhe abspielten. Der Vergleich mit anderen Beiträgen dieses Klimastatusberichtes zeigt auch, daß diese Abweichungen oftmals mit prägnanten Witterungsabschnitten einhergingen. Die Falschfarbendarstellungen zeigen die Abweichungen von Ozon (in Prozent) und der Temperatur (in Kelvin) von den vieljährigen Mitteln als Funktion der Höhe und der Zeit, wobei sowohl Sonden als auch Lidardaten verwendet wurden. Neben der bereits erwähnten fast ganzjährig aufgetretenen positiven Abweichung des Ozons in der untersten Stratosphäre, mit Höhepunkt im sehr kalten November, fällt besonders auch eine stark negative Ozonabweichung in der troposphärisch sehr warmen Februar auf. Sie schlug sich insbesondere in der Tropopausenregion nieder, wobei das vieljährige Monatsmittel um mehr als 40 % unterschritten wurde. Sehr eindrucksvoll ist die Korrelation von Ozon- und Temperaturabweichung, die sich in diesem Abschnitt durch die gesamte Tropo- und Stratosphäre ausprägte und dabei zweimal das Vorzeichen wechselte. Die Wärmeperiode in der Troposphäre wurde von einer ebenso markanten Kälteperiode in der unteren Stratosphäre überlagert, während in der oberen Stratosphäre eine ausgedehntere Warmphase beobachtet wurde.

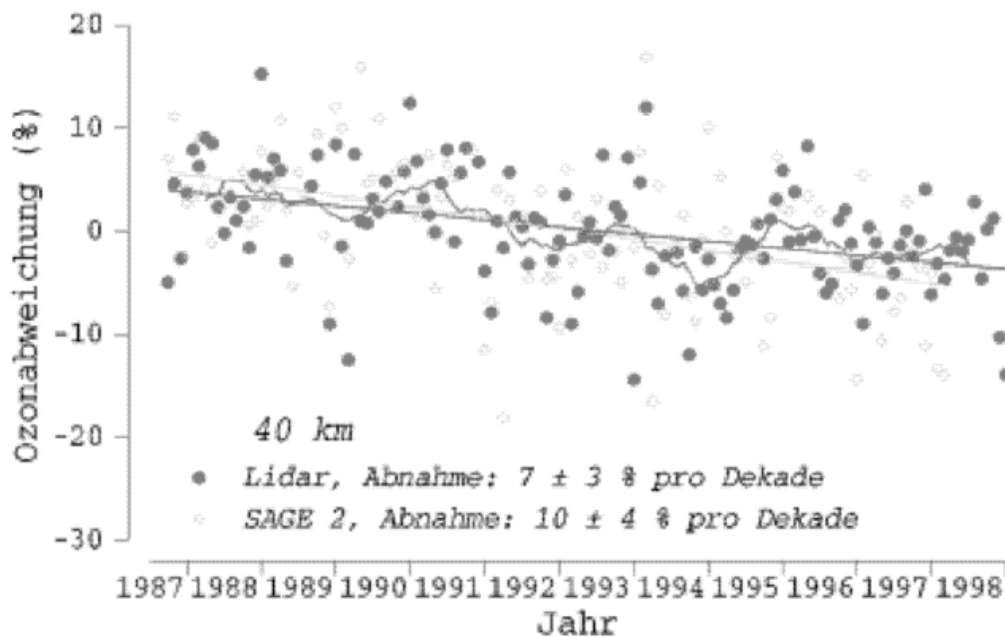
Die hier angesprochenen Abschnitte waren zumeist von ebenso deutlichen Abweichungen der Tropopausenhöhe und des Geopotentials begleitet, und es spricht vieles dafür, daß der jüngste Ozonanstieg im mitteleuropäischen Raum auf das Vorherrschende „ozonreicher Wetterlagen“ zurückzuführen ist. Auch zyklische meteorologische Faktoren wie z. B. die quasi-zweijährige Oszillation der Atmosphäre führen derzeit eher zu höheren wie zu niedrigen Werten. Darüberhinaus ist der Aerosolgehalt der unteren Stratosphäre weltweit so niedrig wie seit langem nicht mehr. Zusätzliche Aerosole, wie z. B. durch große Vulkanausbrüche, intensivieren den heterogenen Ozonabbau sehr, wodurch in den Jahren nach dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo, 1991 auf den Philippinen, Rekordtiefstwerte beim stratosphärischen Ozon beobachtet wurden.

Tendenziell eher wieder höhere Ozonwerte wurden 1998 auch an anderen Orten der gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre beobachtet. Diese liegen jedoch im Bereich der naturgemäß starken Variabilität und dürfen nicht als Trendwende oder grundlegende Erholung der Ozonschicht fehlinterpretiert werden. Die stratosphärischen Kon-

zentrationen von früher verbreitet benutzten FCKW-Komponenten (Spraygase) sind zwar derzeit nicht mehr weiter ansteigend oder sogar leicht rückläufig. Das über Jahrzehnte aufgebaute Ozon-Zerstörungs-Potential aller reaktiver Halogenide ist und bleibt vorerst aber noch hoch, daß von dieser Seite momentan noch gar keine Erholung der Ozonschicht erwartet wird. Besorgniserregend ist der teilweise drastische und noch immer anhaltende Anstieg von Halonen (Löschmittel) mit noch höherem Ozon-Zerstörungs-Potential.



**Abb. 1** Abweichungen des Ozons (oben) und der Temperatur (unten) von den vieljährigen Mittelwerten für 1998 aus Monatsmitteln der Ballonsondierung (<30 km) und Lidarmessungen (>30 km) am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg.



**Abb. 2** Zeitreihen der prozentualen monatlichen Abweichungen des Ozons in 40 km Höhe über Hohenpeißenberg, seit 1987 gemessen mit Lidar und mit Satellit (SAGE 2).

Diesem Hintergrund entsprechend zeigen die Hohenpeißenberger Lidarmessungen des Ozons in der oberen Stratosphäre bis 45 km Höhe eine Fortsetzung der bisher beobachteten, starken Abnahme. Seit Beginn der Messung 1987 beträgt sie bei 40 km Höhe etwa 7% pro Dekade (Abb. 2). Dieser Wert steht in guter Übereinstimmung mit Satellitenmessungen im Rahmen des Stratospheric Aerosol and Gas Experiments (SAGE 2) der NASA. Die entsprechenden Monatsmittel aus den Satellitenüberflügen für Hohenpeißenberg sind hier zum Vergleich mit dargestellt. Diese unter klimatologischen Gesichtspunkten zwar kurzen Reihen müssen im Lichte einer möglichen Verschiebung des Strahlungs-Temperatur-Gleichgewichtes der oberen Stratosphäre gesehen werden. Temperaturmessungen in der oberen Stratosphäre/unteren Mesosphäre zeigen in den letzten Jahren eine deutliche Abkühlung die von dieser Ozonabnahme verursacht sein kann. Mögliche Auswirkungen dieser Ozon/Temperaturabnahme auf das Weltklima sind noch unbekannt. Neu konnte gezeigt werden, daß analog zum Gesamtozon und zum Ozon der unteren Stratosphäre auch in diesen Höhen die stärkste Ozonabnahme im Frühjahr stattfindet.

Beim troposphärischen Ozon hingegen kann die Situation weiterhin als „Stagnation auf hohem Niveau“ bezeichnet werden. Nachdem in den siebziger Jahren ein sehr steiler Anstieg zu beobachten war, der sich abgeschwächt bis etwa 1987 fortsetzte, wurden 1998 in der freien Troposphäre im Mittel Werte verzeichnet, wie sie Anfang der achtziger Jahre auftraten.

## Objektive Wetterlagenklassifikation

P. Bissolli, E. Dittmann

### *Beschreibung der objektiven Wetterlagenklassifikation*

Die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD beruht auf numerischen Kriterien, die auf jede meteorologische Situation über Mitteleuropa angewendet werden können. Die Klassifizierung wird einmal täglich um 12 UTC durchgeführt und das Ergebnis als die Wetterlage betrachtet, die für den ganzen Tag gelten soll. Das räumliche Klassifizierungsgebiet überdeckt Deutschland und benachbarte Regionen. Die Datengrundlage liefert das Europa-Modell als Bestandteil des operationellen Wetteranalyse- und Vorhersagesystems des DWD.

Kriterien für die Einteilung der Wetterlagenklassen sind die Zirkulationsformen der Atmosphäre (Zyklonalität) in 950 und 500 hPa, die großräumige Anströmrichtung in 700 hPa und der Feuchtegehalt der Troposphäre. Dadurch ergeben sich 40 verschiedene Wetterlagenklassen (siehe Tabelle 1). Die Methode ist jederzeit nachvollziehbar mit dem gleichen Ergebnis. Es gibt keine unbestimmten Fälle. Aus diesen Gründen wird der Anspruch auf die Bezeichnung „objektive Wetterlagenklassifikation“ abgeleitet.

### *Häufigkeit der Wetterlagenklassen 1998 gegenüber einem vieljährigen Gesamtzeitraum*

Das Verfahren wird seit dem 01.07.1979 angewendet, so daß inzwischen eine fast 20jährige Zeitreihe täglicher Wetterlagenklassen vorliegt. Abb. 1 zeigt die relative Häufigkeitsverteilung der Wetterlagenklassen für das Jahr 1998 im Vergleich zum Gesamtzeitraum 01.07.1979 - 31.12.1998.

Wie schon 1997 zeigte sich auch 1998 ein relativ häufiges Auftreten von Nordwestlagen (Abb. 3). Besonders wirkte sich dies bei den Wetterlagen Nr. 10 (NWAAF) und 15 (NWAZT) aus, welche beide die 10%-Marke überschritten. Dagegen erreichte der „Vorjahressieger“ Nr. 5 (NWAAT) 1998 mit 9% nur noch den 3. Platz und trat auch weniger häufig auf als im Gesamtzeitraum. Insgesamt fiel 1998 fast ein Drittel aller Wetterlagen auf diese drei Nordwestklassen, die auch alle in Bodennähe antizyklonale Bedingungen aufweisen.

Im übrigen war 1998 die Zyklonalität in Bodennähe (950 hPa) fast genauso verteilt wie im Gesamtzeitraum (ca. 70% antizyklonal, 30% zyklonal, Abb. 2). In der Höhe (500 hPa) ergab sich 1998 eine leichte Verschiebung zugunsten der zyklonalen Fälle, dennoch waren auch hier wieder die antizyklonalen Situationen in der Mehrzahl (56%). Beim Feuchtekriterium gab es 1998 etwas mehr relativ feuchte als relativ trockene Wetterlagen, also entgegengesetzt zum Gesamtzeitraum.

Im Jahresablauf trat die Wetterlage NWAAF allein an 11 Tagen im Februar auf, dies ist fast ein Viertel der Häufigkeit dieser Klasse im ganzen Jahr. In der Zeit vom 9. bis 16. Februar dauerte diese Lage mit einem Ausnahmetag ununterbrochen an und führte insbesondere in Süddeutschland, wo die hochreichend antizyklonalen Bedingungen (AA) besonders ausgeprägt waren, trotz hohem Feuchtegehalt zu einer fast niederschlagslosen und meist aufgeheiterten Periode. Darüber hinaus war dieser Zeitraum in ganz Deutschland von hohen Tagesschwankungen der bodennahen Lufttemperatur geprägt, wobei vor allem die Maximumtemperatur für die Jahreszeit sehr hoch ausfiel (im westlichen, mittleren und südlichen Deutschland teilweise bis zu 18°C ansteigend).

Die Lage Nr. 15 (NWAZT) trat dagegen überwiegend in den Sommermonaten auf (fast die Hälfte aller Fälle dieser Klasse). Zyklonale Bedingungen in der Höhe verbunden mit der Zufuhr maritimer Polarluft sorgten für eine Reihe von kühlen und niederschlagsreichen Tagen während des Sommers 1998, trotz einer für die Jahreszeit relativ geringen Feuchte und hohem Luftdruck in Bodennähe. Mitte Juni (zur Zeit der Schafskälte) trug diese Lage zu ergiebigen Niederschlägen und einer markanten vorübergehenden Abkühlung bei. In den Alpen fiel zu dieser Zeit in 1200 Meter Höhe Schnee. In der letzten Augustdekade gab es eine weitere, diesmal länger andauernde Periode mit dieser Wetterlage. Vor allem im Norden Deutschlands traten hierbei mehrfach heftige Niederschläge auf, teils als gewittrige Schauer im Bereich von Höhentrögen, teils als Nordweststauniederschlag. Dies stand im Gegensatz zu dem sonst Ende August meistens auftretenden ruhigen Spätsommerwetter.

Die Wetterlage Nr. 5 (NWAAT), eine allgemein sehr häufig vorkommende Lage, hatte ihr Häufigkeitsmaximum im Jahresablauf ebenfalls im August, vor allem zwischen dem 5. und 10. des Monats. Da sich die Frontalzone zu dieser Zeit weit nach Norden vorschob, herrschten hochreichend antizyklonale Bedingungen und eine weitgehend trockene Atmosphäre vor. Demzufolge gab es in diesem Zeitraum nur geringe Niederschläge und sehr heiße Tage, so daß der Sommer 1998 keineswegs nur kühl und verregnet war.

Im Oktober 1998 traten vor allem gegen Ende des Monats Starkniederschläge mit Hochwasserfolgen auf (s.a. den Beitrag „Starkniederschläge im Oktober“). Ursache dafür war eine großräumige Westströmung sowohl in Bodennähe als auch in der Höhe mit eingelagerten Front- und Troppassagen. Die beteiligten Wetterlagen, die zu den Starkniederschlägen führten, waren vor allem die sonst nicht so sehr häufigen Lagen Nr. 14 (SWAZT) am 24. und Nr. 39 (SWZZF) am 28. Oktober. Innerhalb der großräumigen Westlage traten also die höchsten Niederschlagsmengen bei vorherrschenden Südwestwindkomponenten und zyklonalen Bedingungen in der Höhe auf.

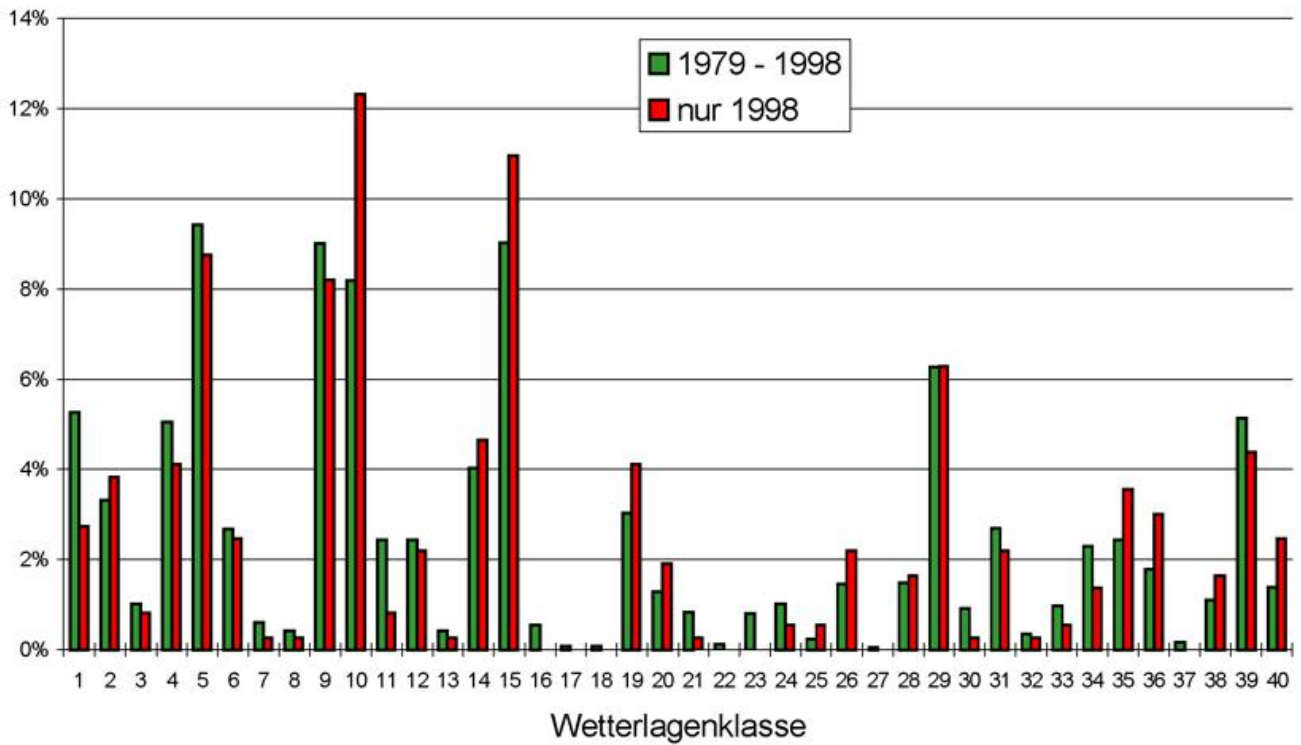
### *Langzeittrends*

Die Tendenz einer Zunahme von Nordwestlagen macht sich auch über einen längeren Zeitraum bemerkbar. Nach einem Minimum Mitte der achtziger Jahre hat die Häufigkeit der Nordwestlagen abgesehen von kurzzeitigen Jahr-zu-Jahr-Schwan-

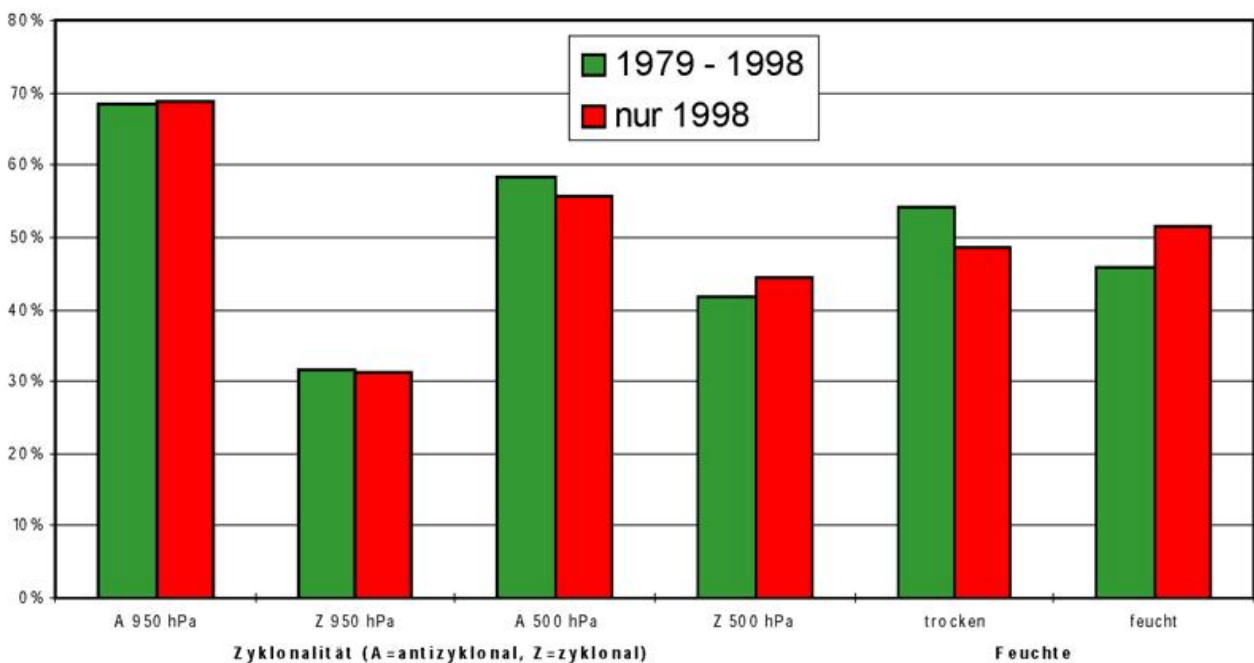
kungen stetig zugenommen (Abb. 4), wobei die Zunahme hauptsächlich zu Lasten der Südwestlagen ging.

Klassen-Nr.	Anströmrichtung	anti-/zyklonale Strömung in 950/500 hPa	trocken/feucht	Kurzbezeichnung
1	undefiniert	A/A	trocken	XXAAT
2	Nordost	A/A	trocken	NOAAT
3	Südost	A/A	trocken	SOAAT
4	Südwest	A/A	trocken	SWAAT
5	Nordwest	A/A	trocken	NWAAT
6	undefiniert	A/A	feucht	XXAAF
7	Nordost	A/A	feucht	NOAAF
8	Südost	A/A	feucht	SOAAF
9	Südwest	A/A	feucht	SWAAF
10	Nordwest	A/A	feucht	NWAAF
11	undefiniert	A/Z	trocken	XXAZT
12	Nordost	A/Z	trocken	NOAZT
13	Südost	A/Z	trocken	SOAZT
14	Südwest	A/Z	trocken	SWAZT
15	Nordwest	A/Z	trocken	NWAZT
16	undefiniert	A/Z	feucht	XXAZF
17	Nordost	A/Z	feucht	NOAZF
18	Südost	A/Z	feucht	SOAZF
19	Südwest	A/Z	feucht	SWAZF
20	Nordwest	A/Z	feucht	NWAZF
21	undefiniert	Z/A	trocken	XXZAT
22	Nordost	Z/A	trocken	NOZAT
23	Südost	Z/A	trocken	SOZAT
24	Südwest	Z/A	trocken	SWZAT
25	Nordwest	Z/A	trocken	NWZAT
26	undefiniert	Z/A	feucht	XXZAF
27	Nordost	Z/A	feucht	NOZAF
28	Südost	Z/A	feucht	SOZAF
29	Südwest	Z/A	feucht	SWZAF
30	Nordwest	Z/A	feucht	NWZAF
31	undefiniert	Z/Z	trocken	XXZZF
32	Nordost	Z/Z	trocken	NOZZT
33	Südost	Z/Z	trocken	SOZZT
34	Südwest	Z/Z	trocken	SWZZT
35	Nordwest	Z/Z	trocken	NWZZT
36	undefiniert	Z/Z	feucht	XXZZF
37	Nordost	Z/Z	feucht	NOZZF
38	Südost	Z/Z	feucht	SOZZF
39	Südwest	Z/Z	feucht	SWZZF
40	Nordwest	Z/Z	feucht	NWZZF

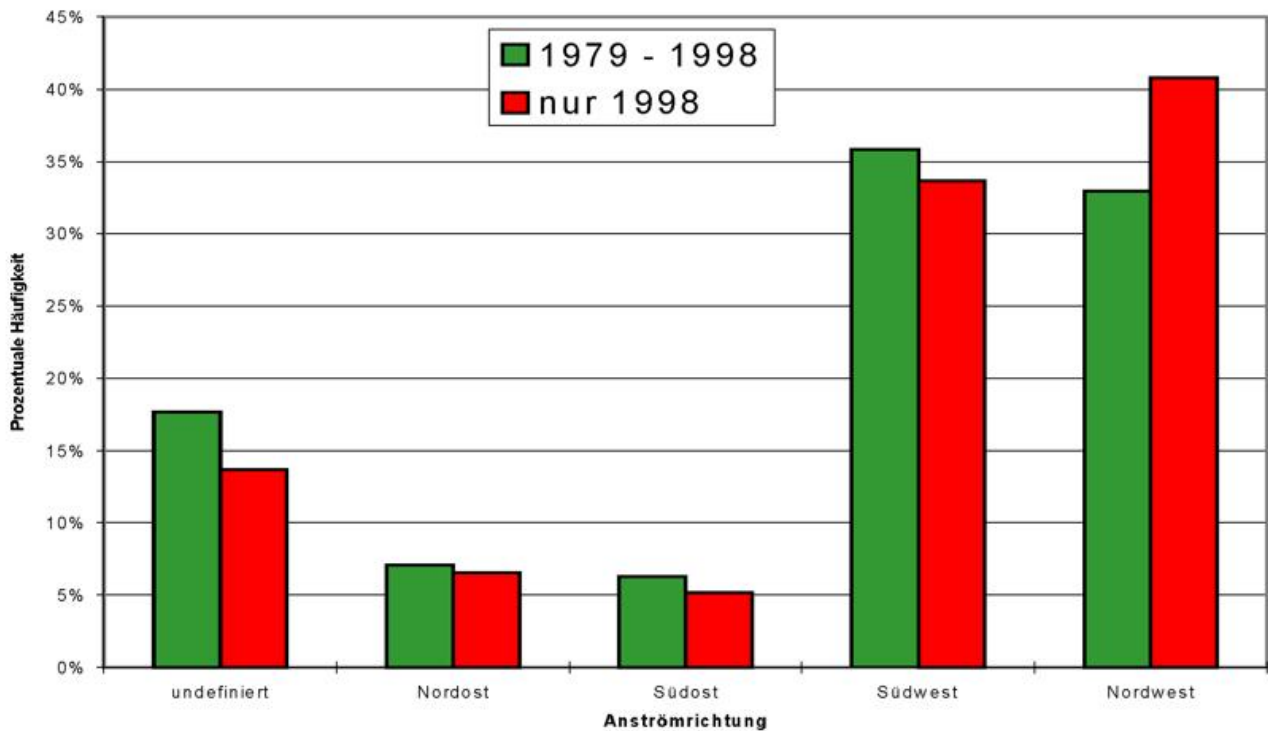
**Tab. 1** Einteilung der Wetterlagen in 40 objektive Klassen.



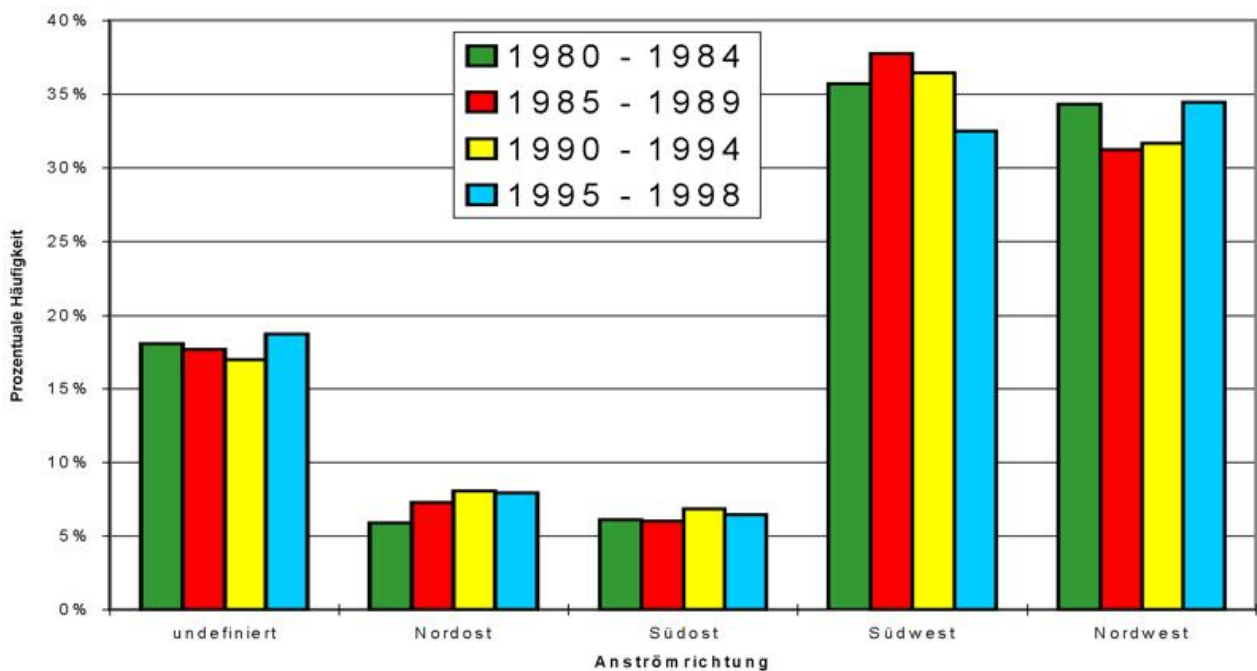
**Abb. 1** Relative Häufigkeitsverteilung der 40 Wetterlagenklassen 1998 im Vergleich zum Gesamtzeitraum 1979-1998



**Abb. 2** Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalität in 950 und 500 hPa sowie der Feuchte (ganze Troposphäre) der objektiven Wetterlagenklassifikation 1998 im Vergleich zum Gesamtzeitraum 1979-1998



**Abb. 3** Relative Häufigkeitsverteilung der 5 Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1998 im Vergleich zum Gesamtzeitraum 1979-1998



**Abb. 4** Langzeittrends der Häufigkeit der 5 Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation

## Saisonale Abweichung der Gebietsniederschläge in Europa

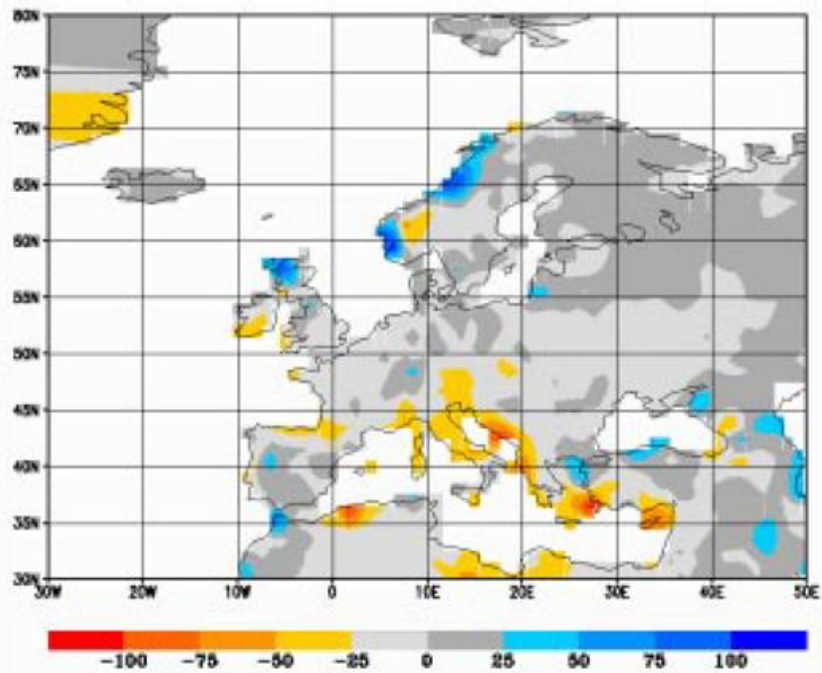
B. Rudolf

Das Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) wurde Ende 1988 als deutscher Beitrag zum Global Precipitation Climatology Project (GPCP) des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) im Deutschen Wetterdienst in Offenbach eingerichtet. Die Aufgaben des WZN umfassen die Sammlung und Archivierung konventionell gemessener monatlicher Niederschlagshöhen, deren Qualitätskontrolle und -bewertung sowie die Berechnung von monatlichen Gebietsniederschlägen für Rasterflächen der Größe 2,5° mal 2,5° und 1° mal 1° in geographischen Koordinaten sowie schließlich die Abschätzung der Genauigkeit der berechneten rasterbezogenen Niederschlagshöhen. Die Produkte des WZN dienen der Klimaforschung und dabei insbesondere der Verifizierung von Klimamodellen, aber zunehmend auch dem Klimamonitoring im allgemeinen wie der Analyse des globalen Wasserkreislaufs.

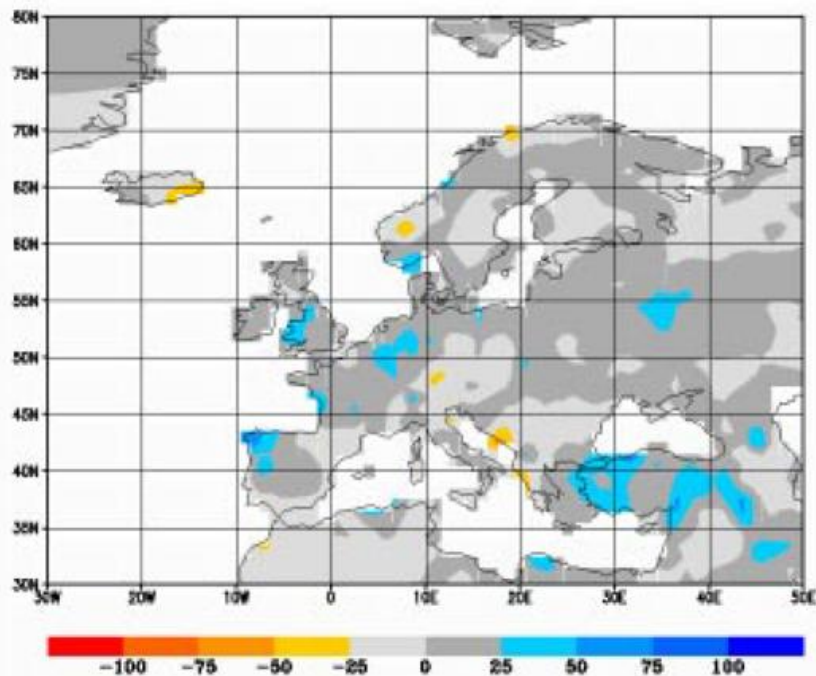
Die regelmäßig monatlich erzeugte „Monitoringanalyse“ des WZN beruht auf über GTS empfangenen SYNOP- und CLIMAT-Meldungen von 6.000 bis 7.000 Stationen und steht innerhalb von etwa zwei Monaten nach Beobachtung im Internet zur Verfügung (<http://www.dwd.de/research/gpcc>). Die Daten wurden gründlich im WZN auf Kodierungs- oder andere Fehler hin geprüft.

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen die Abweichungen der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in den Jahreszeiten des meteorologischen Jahres 1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum 1961-1990 für Europa sowie Abb. 5 für das Jahr 1998. Wegen der jahreszeitlichen Mittelung sind in diesen Karten nur sehr markante über- bzw. unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen zu erkennen, so z.B. die anhaltenden hohen Niederschläge über Osteuropa im Sommer und über Mitteleuropa im Oktober 1998, die auch zu Überschwemmungen führten (s. a. "[Starkniederschläge im Oktober](#)" in diesem Heft).

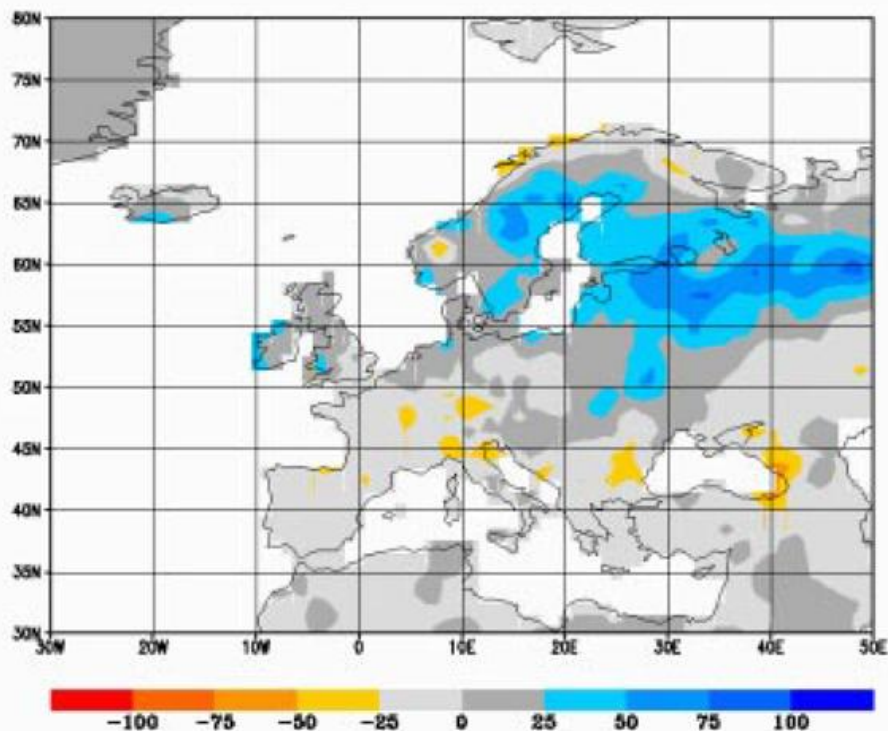
Die größten Überschwemmungen außerhalb Europas waren mit dem Hochwasser des Jangtse in China verbunden; die Niederschläge im Einzugsgebiet dieses Stroms waren während einer Dauer von drei Monaten (Juni bis August 1998) übernormal hoch. In der Periode April 1997 bis März 1998 trat eine starke ausgeprägte warme ENSO-Phase auf, mit der extreme Niederschlagsanomalien, vor allem in den Tropen und Subtropen, verbunden waren („El Niño“): Während in Ekuador und dem nördlichen Peru sowie in Kenia außergewöhnliche Regenfälle Überschwemmungen hervorriefen, wurde in Indonesien und Nordost-Brasilien die Gefahr des Entstehens von Waldbränden durch eine lang andauernde Trockenheit erhöht (s. a. "Niederschlagsanalysen des WZN am Beispiel des El Niño-Ereignisses 1997/98" in diesem Heft).



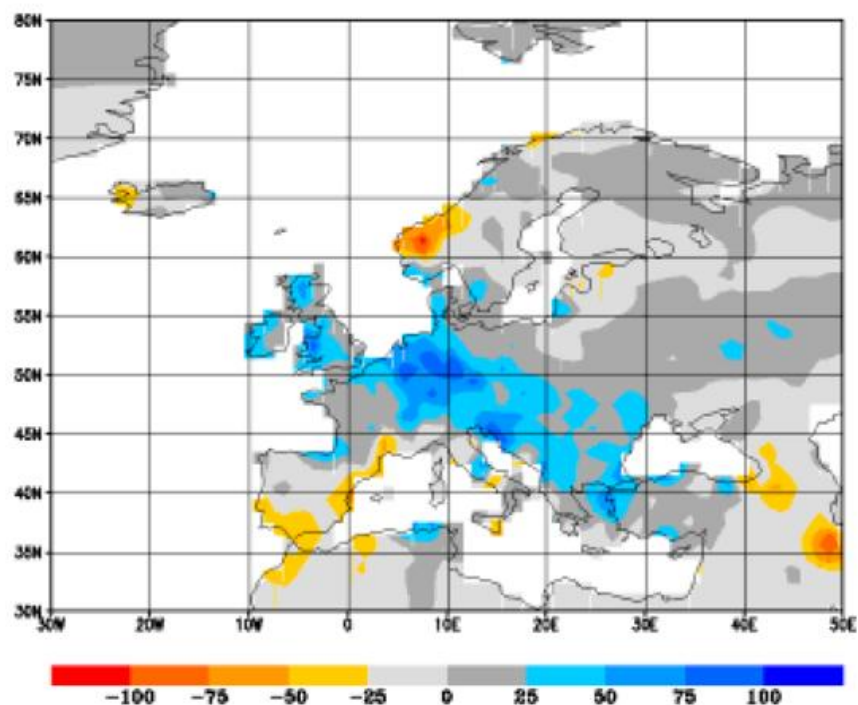
**Abb. 1** Abweichung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in mm/Monat für den Winter (Dezember, Januar, Februar) 1997/1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum Winter 1961-1990.



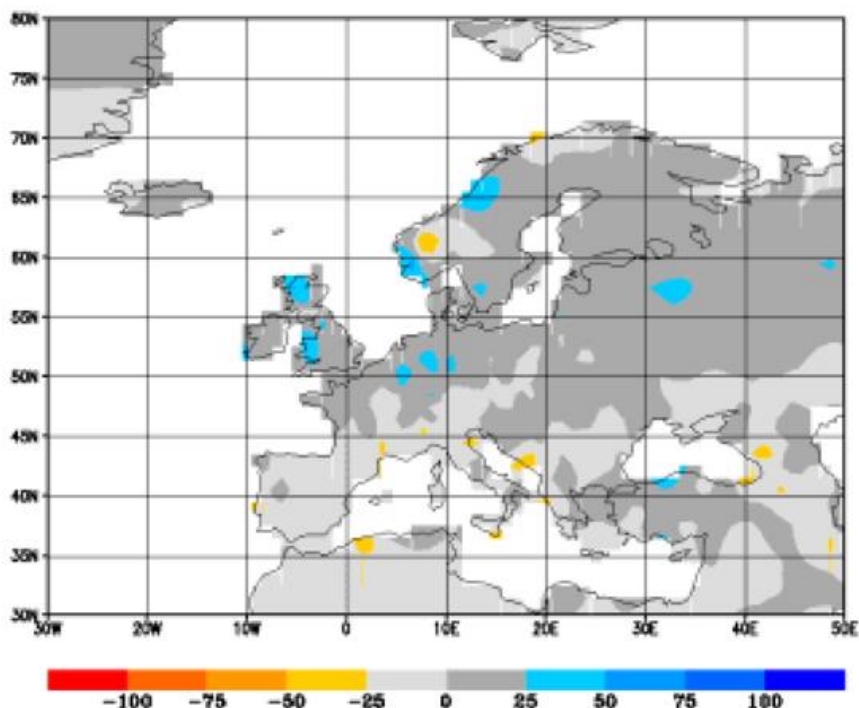
**Abb. 2** Abweichung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in mm/Monat für den Frühling (März, April, Mai) 1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum Frühling 1961-1990.



**Abb. 3** Abweichung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in mm/Monat für den Sommer (Juni, Juli, August) 1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum Sommer 1961-1990.



**Abb. 4** Abweichung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in mm/Monat für den Herbst (September, Oktober, November) 1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum Herbst 1961-1990.



**Abb. 5** Abweichung der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen in mm/Monat für das Jahr 1998 von den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im Bezugszeitraum 1961-1990.

Im Mittel über das ganze Jahr gleichen sich die Abweichungen der monatlichen Niederschlagshöhen von den Bezugswerten etwas mehr aus. Dennoch ist zu erkennen, daß die nördliche Hälfte Europas im Jahr 1998 überwiegend zu feucht, die südliche dagegen zu trocken war (s. Abb. 5).

Die saisonalen wie auch die monatlichen Niederschlagsanalysen des WZN aus dem gesamten bisher analysierten Zeitraum Januar 1986 bis Dezember 1998 können interaktiv mit Hilfe eines Web Browsers visualisiert und als Bild gespeichert oder ausgedruckt werden. Die Internet-Adressen sind: [http://www.dwd.de/research/gpcc/visu\\_gpcc.html](http://www.dwd.de/research/gpcc/visu_gpcc.html) (für monatliche Analysen) sowie <http://www.dwd.de/research/gpcc/seasonizer/> (für saisonale Analysen). Nutzer werden gebeten, die Erläuterungen zu beachten und Kommentare oder Vorschläge betreffend der WZN-Produkte per email an das WZN zu senden.

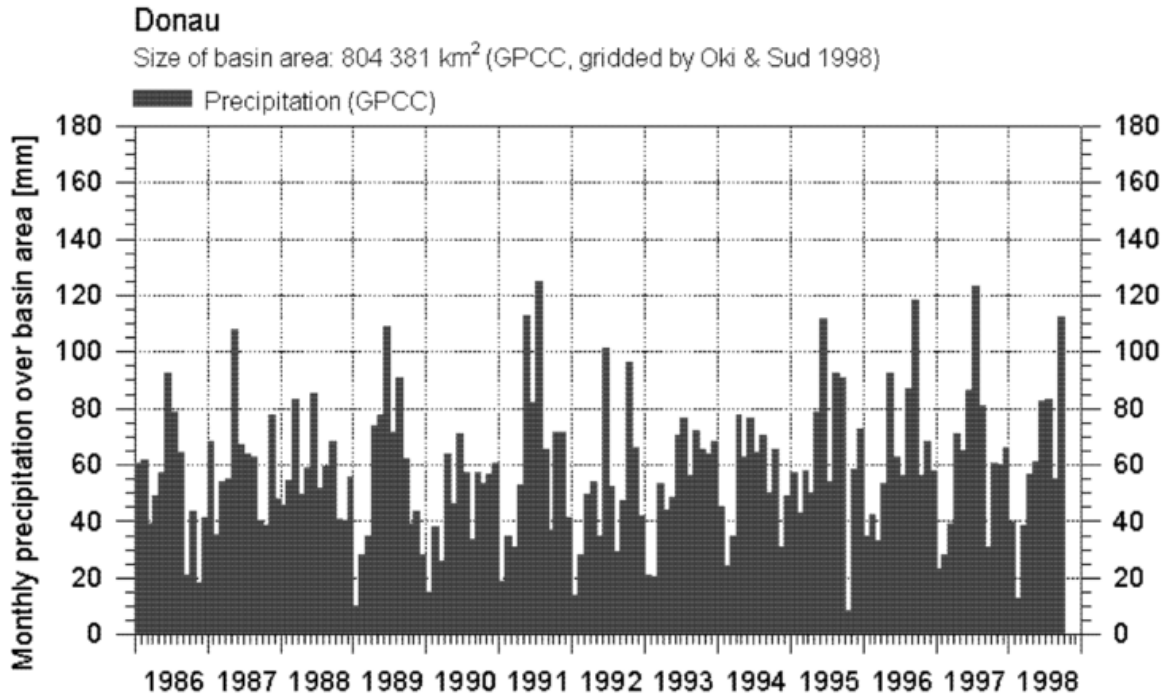
## Auswertung von Gebietsniederschlägen für die Gesamt-Einzugsgebiete großer Flußsysteme

B. Rudolf , J. Rapp

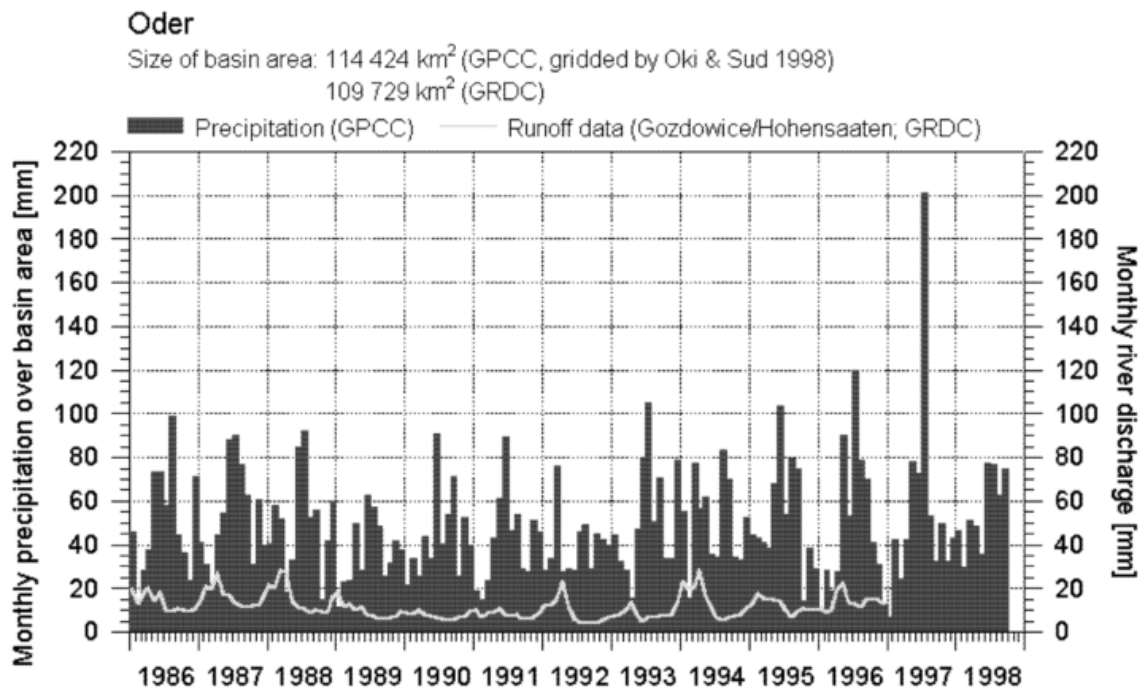
Die Bestimmung globaler und regionaler Änderungen des Wasserkreislaufs ist vor dem Hintergrund von Fluktuationen und Änderungen unseres Klimas von großem Interesse. Das Auftreten von extremen hydrologischen Ereignissen in Form von Hochwasser oder Dürren kann gewaltige ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen zur Folge haben. Daher wird innerhalb des Weltklimaforschungsprogrammes der WMO im Rahmen des Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) schon seit langem der globale Wasserkreislauf erforscht. Das Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) sowie das an der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz eingerichtete Global Runoff Data Center sind im Weltklimaforschungsprogramm eingebunden und Mitglieder im GEWEX Hydrometeorology Panel.

Niederschlag ist die einzige Eintragsgröße in den globalen Wasserkreislauf, daher ist die Bestimmung von Gebietsniederschlägen eine wichtige Komponente zur quantitativen Erfassung des Wasserhaushaltes. Im Jahr 1998 wurde eine Methode zur Berechnung der Gebietsniederschläge für die Gesamt-Einzugsgebiete großer Flußsysteme im WZN eingerichtet. Als Basis dienen die WZN-Niederschlagsanalysen (s. die Internet-Seiten des WZN unter <http://www.dwd.de/research/gpcc> sowie den Beitrag von B. Rudolf in diesem Heft). Die Bilder 1 bis 3 zeigen Zeitreihen der Gebietsniederschläge für Donau, Oder und Rhein für die Zeitspanne 1986 bis September 1998. Zusätzlich enthalten die Diagramme, soweit vorhanden, die zugehörigen Abflussdaten (Runoff data), die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Global Runoff Data Centre archiviert werden. Erkennbar sind die z.T. deutlichen Fluktuationen des Gebietsniederschlages von Monat zu Monat sowie die direkte Kopplung zwischen Niederschlag und Abfluß. Der extreme Niederschlagswert in Abbildung 2 zeigt den zum Oder-Hochwasser im Juli 1997 führenden Gebietsniederschlag.

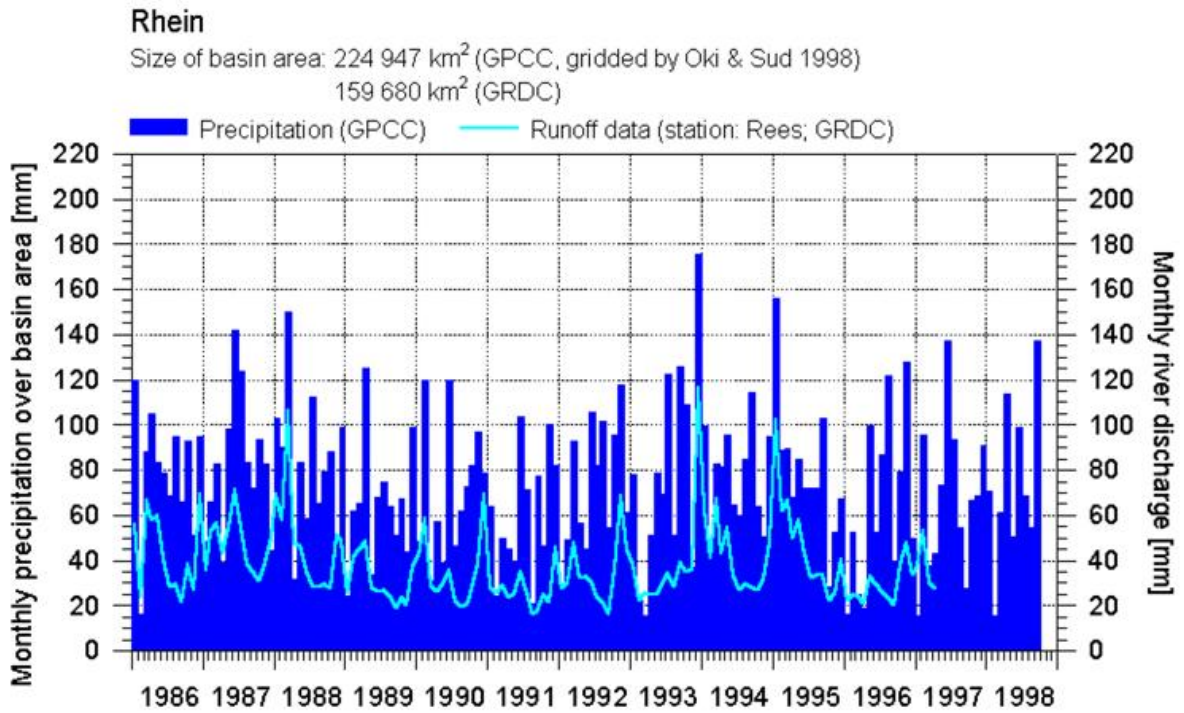
In Abb. 3 lassen sowohl die Niederschlags- als auch die Abflußdaten die Rheinhochwasser im Dezember 1993 ("Weihnachtshochwasser") und im Januar 1995 ("Jahrhunderthochwasser") erkennen. Stellt man den mittleren jährlichen Abfluß und die mittlere jährliche Niederschlagshöhe für verschieden große Flußeinzugsgebiete gegenüber (Abb. 4), wird deutlich, daß die Niederschlagshöhe den Abflußwert um durchschnittlich 30 - 50 % übersteigt. In grober Näherung führt eine lineare Regression zu einer "theoretischen" Niederschlagshöhe von ca. 200 mm, bei der kein Abfluß mehr entstehen kann. Da die für diese Vergleiche verwendeten Niederschlagsdaten noch nicht hinsichtlich der systematischen Meßfehler korrigiert wurden, sind die tatsächlichen mittleren Niederschlagshöhen um etwa 5 - 10 % höher anzusetzen als in Abb. 4 angegeben ist.



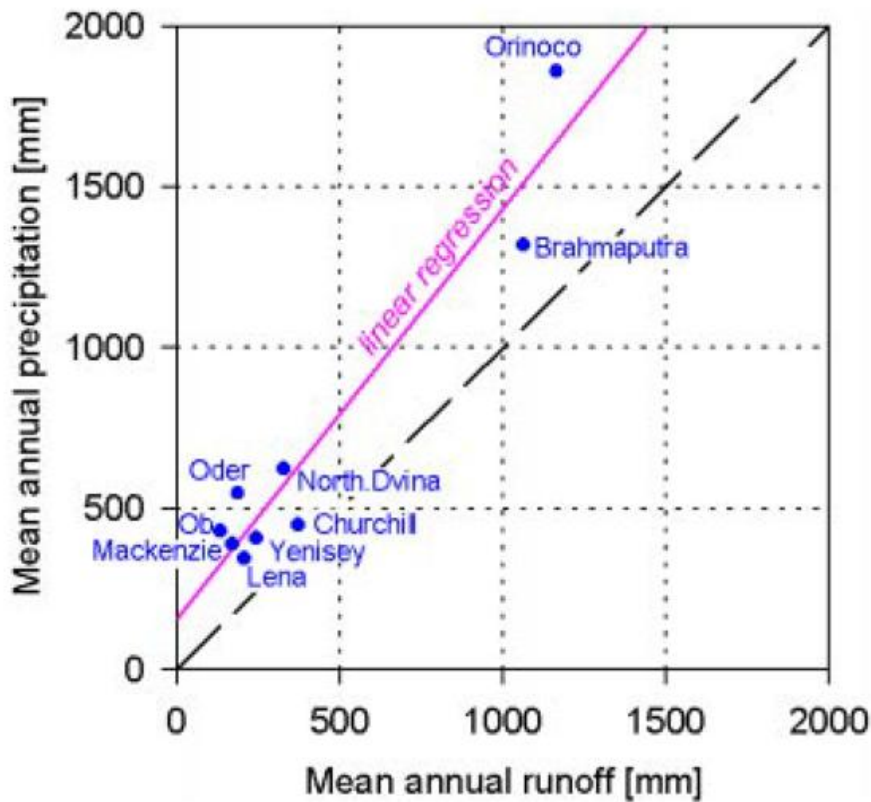
**Abb.1** Zeitlicher Verlauf der monatlichen Gebietsniederschläge für das Einzugsgebiet der Donau.



**Abb. 2** Zeitlicher Verlauf der monatlichen Gebietsniederschläge und Abflüsse für das Einzugsgebiet der Oder.



**Abb. 3** Zeitlicher Verlauf der monatlichen Gebietsniederschläge und Abflüsse für das Einzugsgebiet des Rheins.



**Abb. 4:** Gegenüberstellung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe und des mittleren jährlichen Abflusses für einige größere Flusseinzugsgebiete der Erde.

## Starkniederschläge im Oktober

**T.Fuchs, J. Rapp , B. Rudolf (Teil 1)**  
**E. Dittmann, G. Müller-Westermeier (Teil 2)**

Viele Gegenden in Mittel- und Westeuropa wurden im Oktober 1998 vom dritten „Jahrhunderthochwasser“ seit 1993 heimgesucht. Eine Ursache dieser schweren Überschwemmungen waren Starkniederschläge im Oktober 1998, die im nachfolgenden Beitrag aus 2 verschiedenen Blickwinkeln der Abteilung Klima und Umwelt des DWD diskutiert werden. Teil 1 des Beitrages ist eine Untersuchung für das Gebiet Mittel- und Westeuropas aus der Sicht des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN). In Teil 2 dieses Beitrages beschäftigt sich eine Analyse des Referates für Klimaanalyse und -diagnose speziell mit den zur Hochwassersituation in Deutschland führenden Niederschlägen.

### *1) Starkniederschläge im Oktober 1998 in Mittel- und Westeuropa*

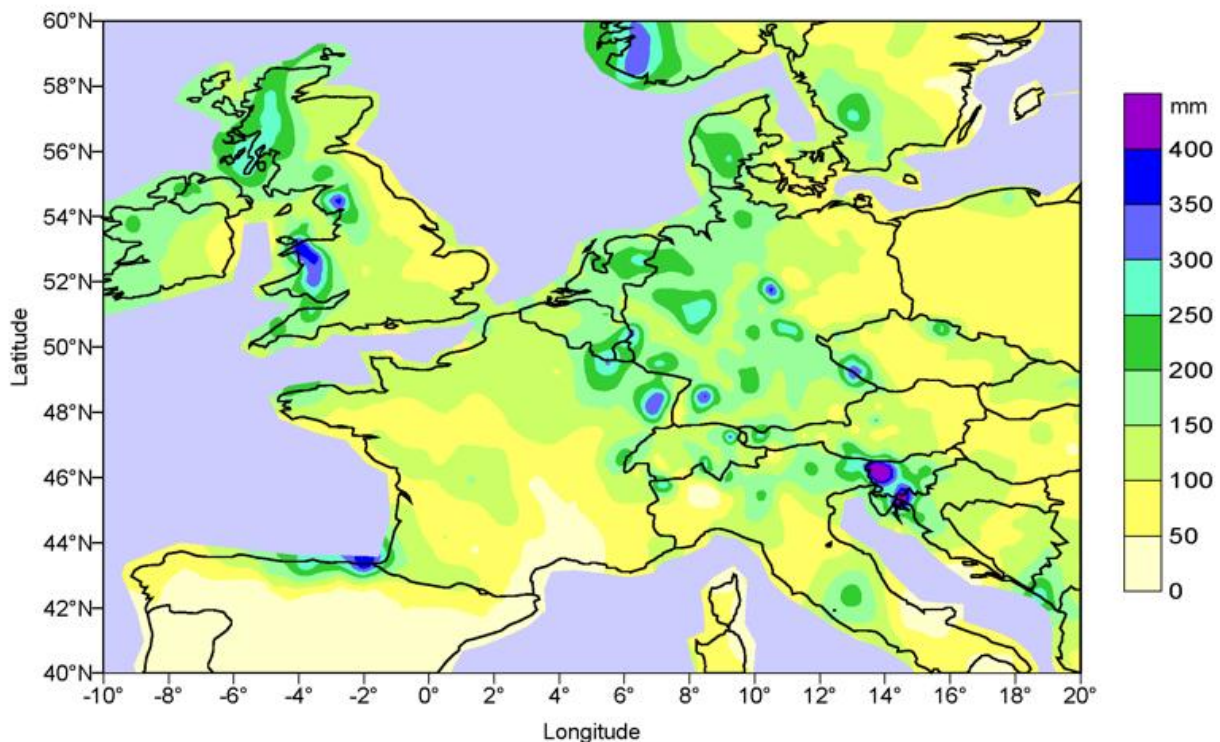
Mittels eines im WZN entwickelten Analyseprogrammes wurden für den Bereich Mittel- und Westeuropas alle Niederschlagsdaten aus den synoptischen Wettermeldungen (SYNOP), die im DWD über das globale Fernmeldesystem (GTS) der Weltwetterwacht (WWW) angekommen sind, ausgewertet. Neben den Messdaten von mehr als 1000 europäischen Stationen konnten zur klimatologischen Einschätzung des Oktober 1998 auch mittlere Niederschlagshöhen des Zeitraumes 1961-1990 (sog. Bezugswerte) verwendet werden.

Die räumliche Verteilung der Niederschlagshöhen im Oktober 1998 (Abb. 1) zeigt das Auftreten von Werten mit mehr als 100 mm in fast ganz West- und Mitteleuropa. Maxima von mehr als 200 mm wurden im Westen der Britischen Inseln, in Süd-Norwegen, in vielen Gegenden Deutschlands und seiner Anrainerstaaten sowie in Slowenien gemessen. Ein Vergleich der Niederschläge des Oktober 1998 mit den Bezugswerten des Zeitraumes 1961-1990 in Abb. 2 macht deutlich, dass in den vom Hochwasser betroffenen Gebieten in Westengland und Wales mehr als das Doppelte der normalerweise zu erwartenden Niederschläge auftrat. In Deutschland, den Benelux-Ländern und Ostfrankreich ergaben sich sogar großräumig Niederschlagshöhen von mehr als dem Dreifachen, an einzelnen Stationen (z.B. Braunlage, Göttingen, Weinbiet, Würzburg und Weiden) mehr als dem Vierfachen der Oktober-Bezugswerte.

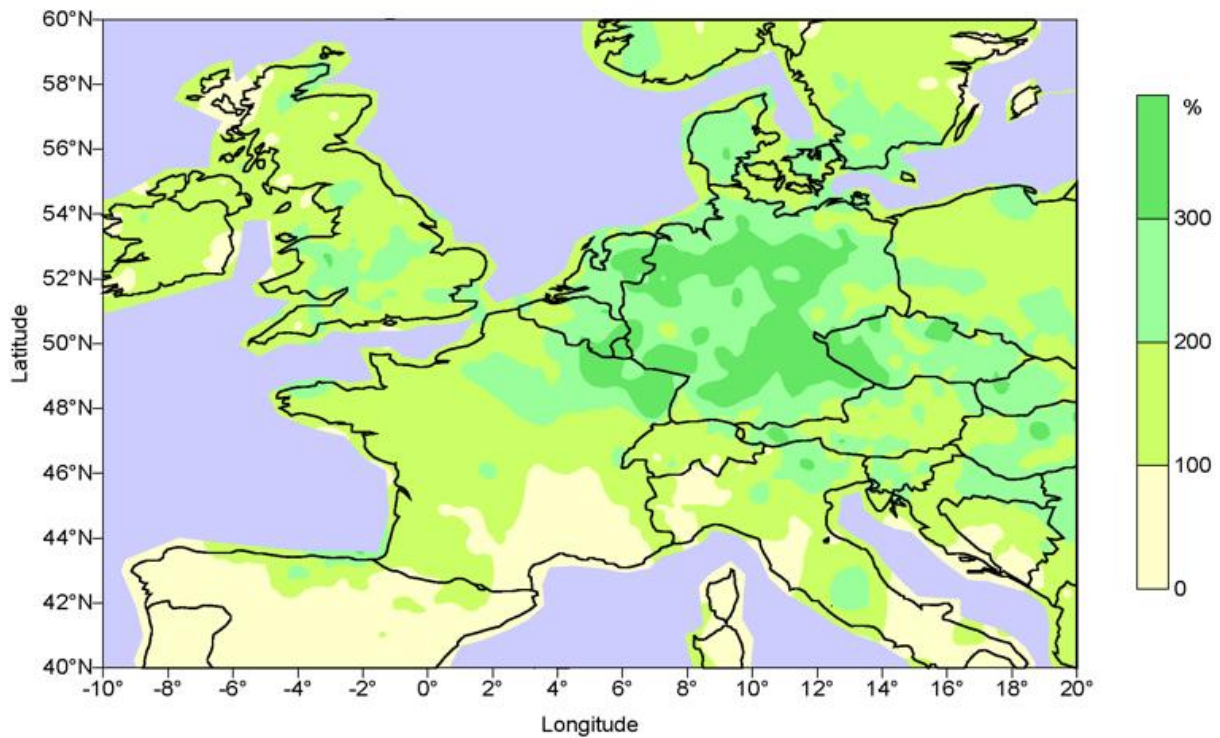
In Abb. 3 ist der typische Jahresgang der monatlichen Niederschlagshöhe an der Station Freudenstadt (Schwarzwald) während des Zeitraumes 1961-1990 wiedergegeben. Gut erkennbar sind Niederschlagsmaxima von November bis Januar sowie ein nachfolgender nahezu kontinuierlicher Niederschlagsrückgang auf ein sommerliches Minimum. Der Oktober zählt trotz des gegenüber den Vormonaten leicht höheren Niveaus noch zu den niederschlagsarmen Monaten. Das macht deutlich, dass die diesjährige Starkniederschlagsperiode außergewöhnlich früh auftrat. Der zeitliche Verlauf der täglichen Niederschlagshöhen an der Station Freudenstadt zeigt in

Abb. 4, daß Niederschläge von mehr als 20 mm am 24. und 25.10. sowie vom 28. bis 31. Oktober 1998 gemessen wurden. Allein am 28. und 29.10. fiel mehr als das ganze „Monatssoll“. Zur zeitlichen Einordnung ist in Abb. 5 die Zeitreihe der Oktober-Niederschläge an der Station Freudenstadt im Zeitraum 1891-1998 abgebildet. Auffällig ist eine starke Jahr-zu-Jahr-Variabilität von Jahren mit geringem Niederschlag (ein Kriterium für einen „goldenen Oktober“) und Jahren mit verregneten Oktober-Monaten. Die diesjährige Niederschlagshöhe stellt in Freudenstadt den Oktober-Rekord der letzten 100 Jahre dar, der bei Betrachtung aller Monate nur von der Niederschlagshöhe im Dezember 1993 übertroffen wurde.

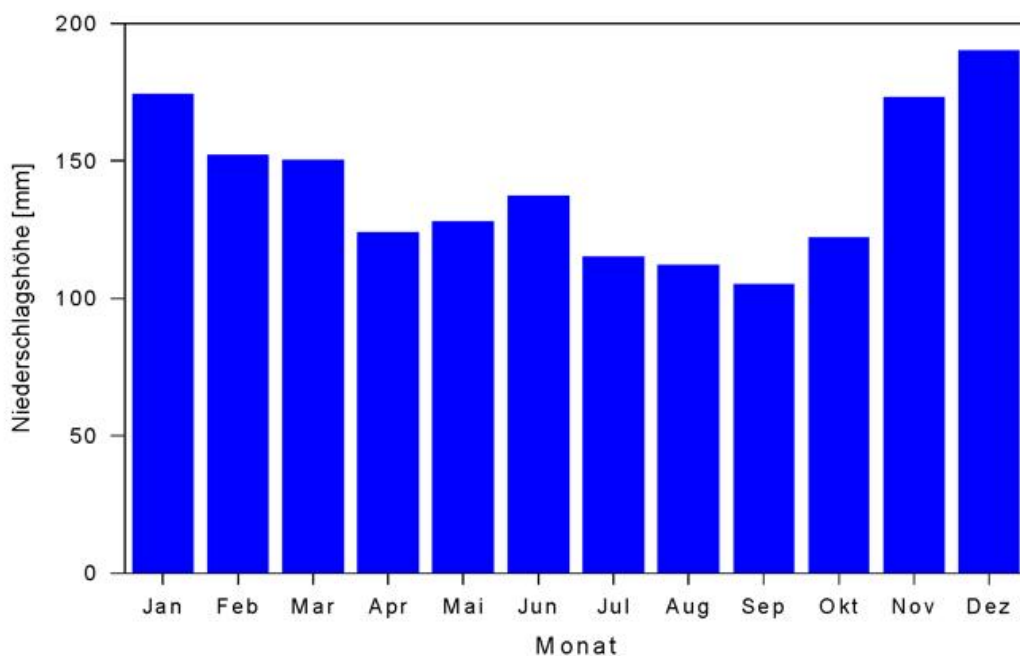
Zur Abrundung von Teil 1 dieses Beitrages ist in Abb. 6 ein für die Zeit der höchsten Niederschläge typisches Satellitenbild angefügt, das eine sich aufgrund von Wellenbildung nur sehr langsam südwärts verlagernde Kaltfront im Bereich einer ausgeprägten Frontalzone zeigt. Die Station Freudenstadt, im Stau des Schwarzwaldes gelegen, meldete an diesem Tag (29.10.1998) 93 mm Niederschlag.



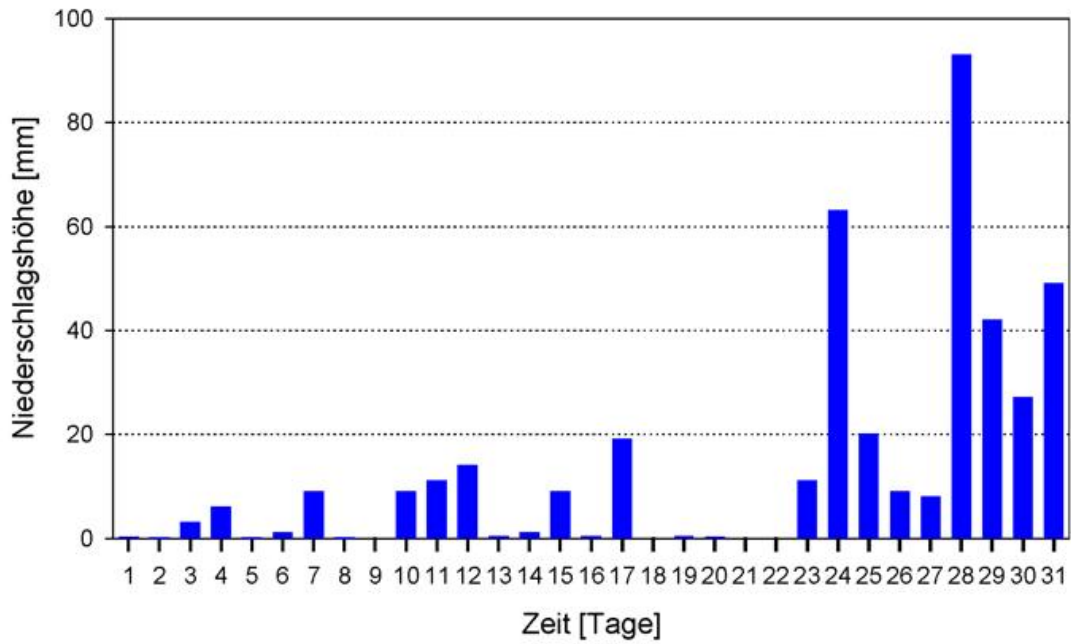
**Abb. 1** Räumliche Verteilung der auf den Landflächen Europas gemessenen Niederschlagshöhen (mm) im Monat Oktober 1998 (Datenbasis: GTS-SYNOP Daten des DWD, analysiert vom WZN).



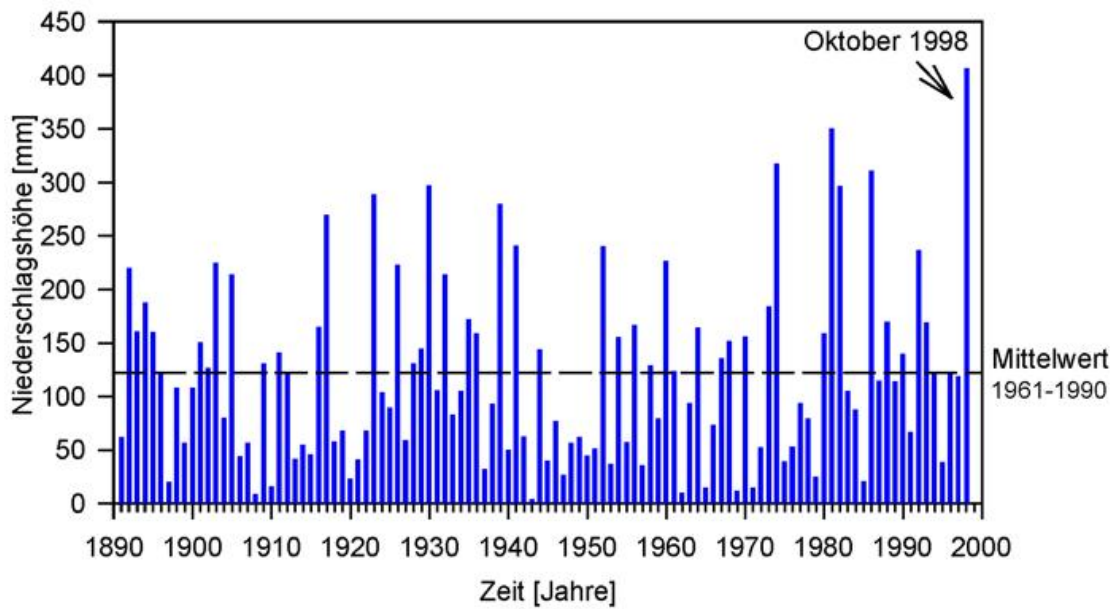
**Abb. 2** Niederschlagsanomalien in Mitteleuropa im Oktober 1998 in % der monatlichen Niederschlagshöhe 1961-1990. Grün hervorgehoben sind Gebiete mit mindestens 100 % Niederschlag (Datenbasis: GTS-SYNOP Daten und Bezugswerte des DWD).



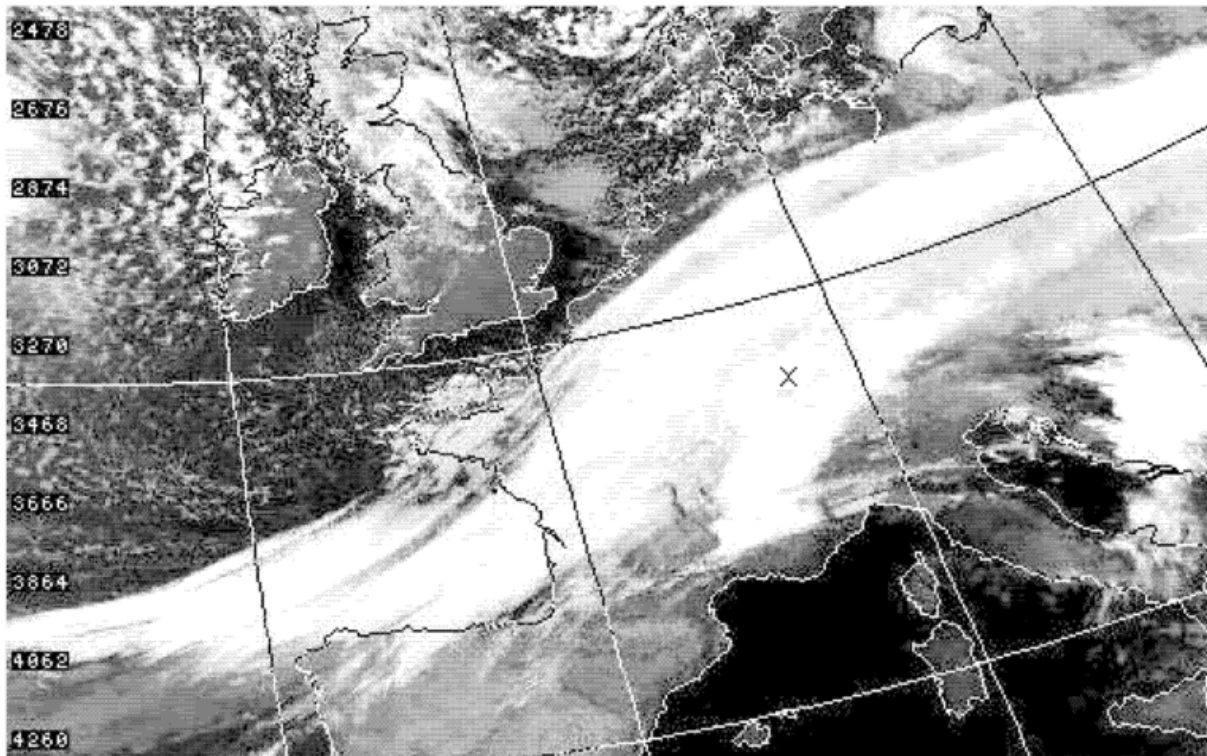
**Abb. 3** Typischer Jahrgang der monatlichen Niederschlagshöhe in Freudenstadt im Zeitraum 1961-1990. Datenbasis: Klimadaten von Deutschland (DWD, 1996).



**Abb. 4** Verlauf der täglichen Niederschlagshöhe im Oktober 1998 an der Station Freudenstadt im Schwarzwald.



**Abb. 5** Verlauf der monatlichen Niederschlagshöhe an der Station Freudenstadt (Schwarzwald) im Oktober während des Zeitraumes 1891-1998.



**Abb. 6** Aufnahme des polarumlaufenden Satelliten NOAA-12 im Infraroten Spektralbereich (IR) am 29.10.1998 um 6:22 Uhr UTC. Das X in der Bildmitte markiert grob die Lage von Freudenstadt.

## 2) Die Hochwassersituation in Deutschland im Oktober 1998

Bereits im September 1998 fiel in dem gesamten Gebiet südlich der Linie Oberelbe-Aller-Unterweser mehr Niederschlag als im klimatologischen Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990. Der Niederschlagsüberschuß betrug in einem mehr als 200 km breiten, vom Niederrhein bis zur Oberpfalz in südöstlicher Richtung verlaufenden Gürtel mehr als 200% und erreichte stellenweise mehr als 300%.

Die sehr niederschlagsreiche Witterung setzte sich im Oktober 1998 fort. Der Niederschlagsüberschuß verstärkte sich noch und erfaßte auch den Nordosten Deutschlands, so daß an jedem Ort im Bundesgebiet mehr als 100% Niederschlag, verglichen mit dem vieljährigen Mittel, fiel. Stellenweise erreichten die Abweichungen dabei sogar 500%. Abb. 7 zeigt die räumliche Verteilung des Niederschlagsüberschusses basierend auf den Messungen der rund 550 Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes. Man erkennt maximale Abweichungen im Nordwesten und in Franken.

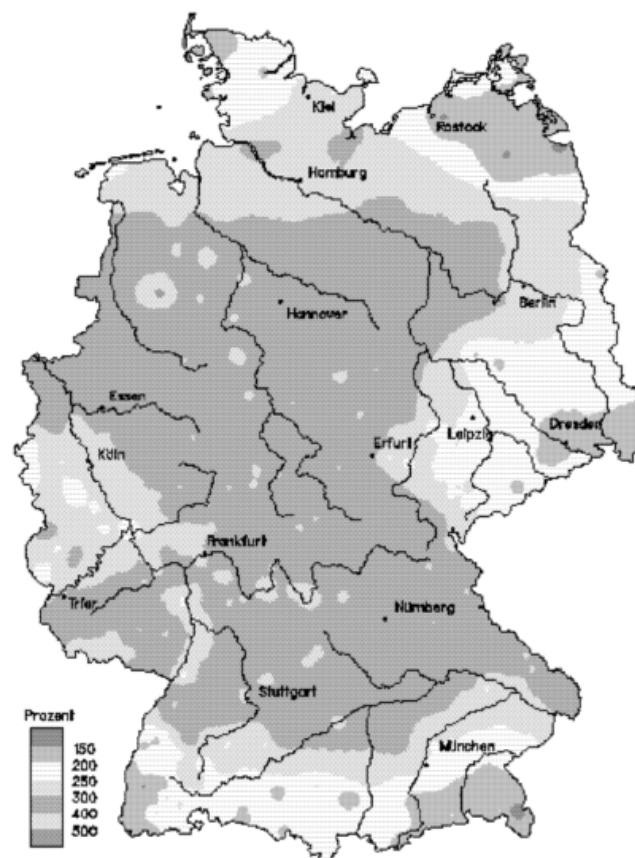
Ungewöhnlich im Oktober war auch die Anzahl der Tage mit Niederschlag. Die Karte der Zahl der Tage mit Niederschlag  $\geq 0,1$  mm, wiederum basierend auf den Beobachtungen der Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (Abb. 8), zeigt, daß es in ganz Deutschland an mehr als der Hälfte der Tage im Oktober geregnet (oder geschneit) hat, stellenweise im Westen und Süden Deutschlands sogar an allen Tagen.

Die Tage mit ergiebigen Niederschlägen ( $\geq 5,0$  mm) traten ebenfalls im Westen und Süden am häufigsten auf (bis zu 20 Tagen, s. Abb. 9).

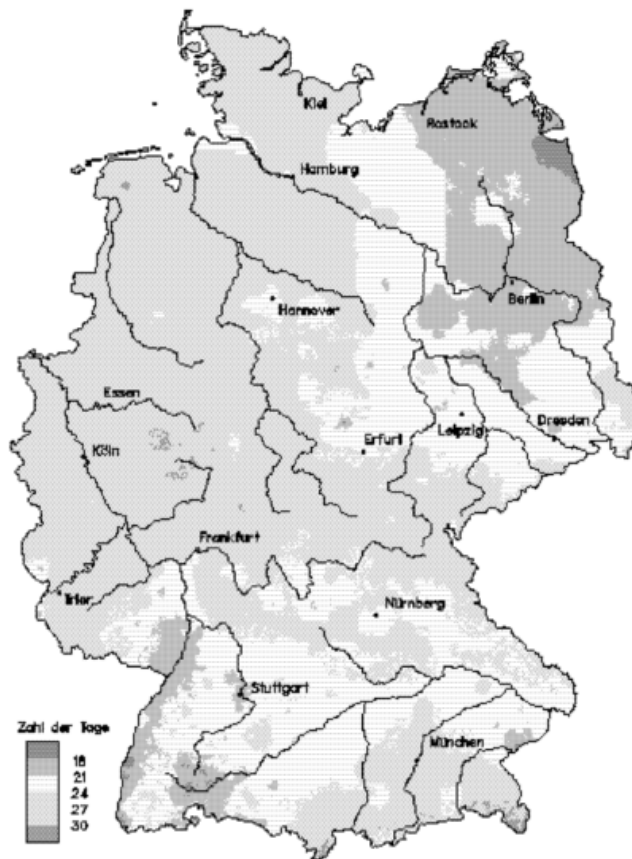
An einzelnen Stationen war 1998 der nasseste Oktober seit Beginn der Messungen (z. B. Freudenstadt seit 1891). Dort fiel an einem Tag (29. 10.) mit 93 mm mehr Niederschlag als normalerweise im ganzen Oktober. Ebenso traten in Nordwestdeutschland zwischen Ems und Lüneburger Heide am 27.10. Starkniederschläge auf, die an einem Tag mehr Niederschlag brachten, als es der durchschnittlichen Monatsmenge entspricht.

Da die Böden bereits durch den nassen September gesättigt waren, konnten sie den Niederschlag kaum noch aufnehmen und es kam zu Überschwemmungen, die örtlich (z.B. in Baden Baden) katastrophale Schäden verursachten.

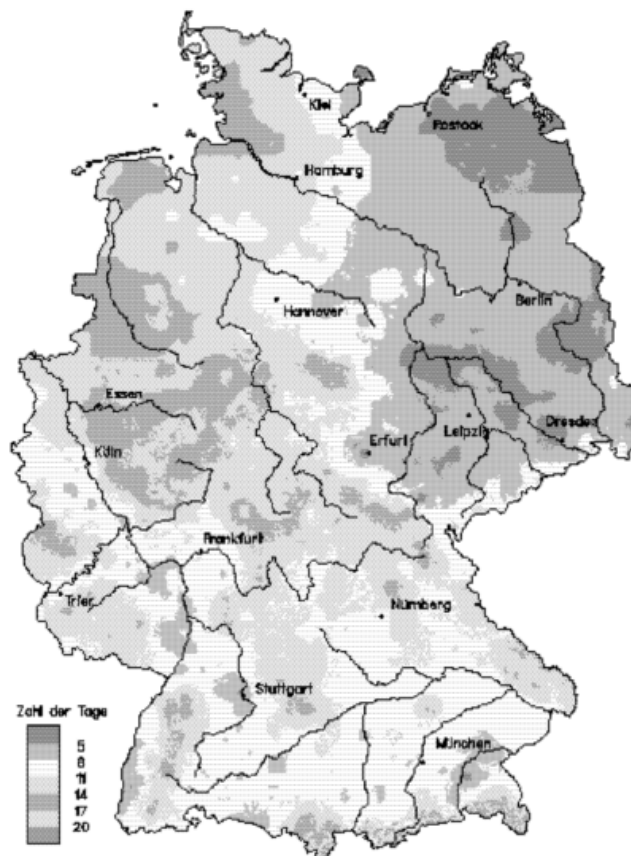
Im weiteren Verlauf trat auch an den größeren Flüssen, insbesondere am Main, an der Mosel und am Rhein unterhalb von Koblenz Hochwasser auf, wobei die Niederschläge in den von den Überflutungen betroffenen Gebieten teilweise gar nicht besonders hoch waren (im Raum Koblenz weniger als 200%).



**Abb. 7** Abweichung der Niederschlagshöhe Oktober 1998 vom vieljährigen Mittel



**Abb. 8** Zahl der Tage mit Niederschlag größergleich 0.1 mm Oktober 1998



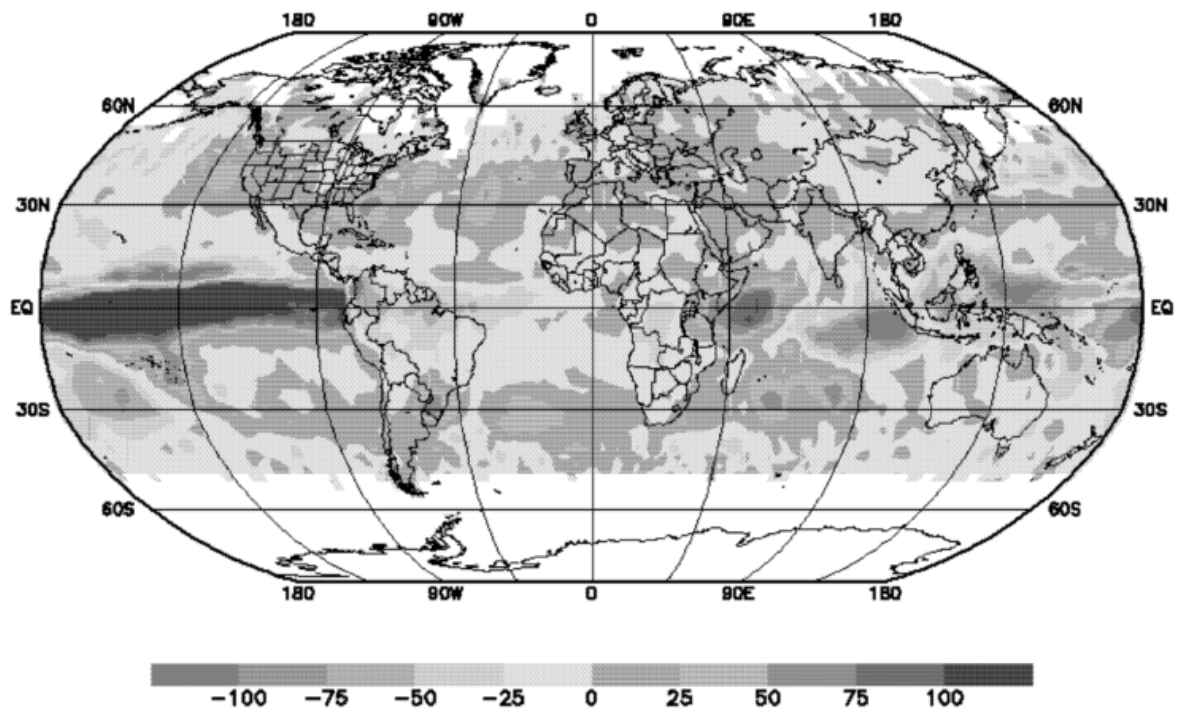
**Abb. 9** Zahl der Tage mit Niederschlag größergleich 5.0 mm Oktober 1998

**Niederschlagsanalysen des WZN**  
**am Beispiel des El Niño-Ereignisses 1997/1998**

**T. Fuchs, B. Rudolf , U. Schneider**

Die Arbeit des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN), welches der DWD als Beitrag zur internationalen Klimaforschung betreibt, hat dazu beigetragen, daß die zeitlichen und räumlichen Strukturen des Klimas durch Beobachtungen auch global erfaßt werden können. Im WZN werden Niederschlagsdaten weltweit gesammelt und analysiert. Über Land werden gerasterte Gebietsniederschläge berechnet, indem die mit Niederschlagsmessern gewonnenen Daten interpoliert werden. Zunächst unabhängig davon werden von Projektpartnern in der NOAA und NASA Niederschlagsintensitäten aus Daten der meteorologischen Satellitensysteme ermittelt. Schließlich werden die Ergebnisse der beiden Beobachtungssysteme jeden Monat zu flächendeckenden, Land und Ozean umfassenden, Produkten des Global Precipitation Climatology Projects (GPCP) kombiniert.

Im Laufe des Jahres 1997 hatte sich ein El Niño-Ereignis aufgebaut, wie es in dieser Ausprägung bisher global noch nicht quantitativ beobachtet werden konnte. Das Wort „El Niño“ stammt aus dem Spanischen (El Niño: „Das Christkind“) und wurde von peruanischen Fischern bereits im letzten Jahrhundert geprägt. Während mit El Niño früher die alljährlich um die Weihnachtszeit auftretende Erwärmung vor der peruanischen Küste bezeichnet wurde, versteht man heute darunter die großräumige Erwärmung der ozeanischen Deckschicht im tropischen Pazifik. Diese großräumigen Änderungen in der Meeresoberflächentemperatur im tropischen Pazifik sind eng gekoppelt mit Änderungen im Bodendruckfeld. Die Luftdruckänderungen erfolgen im Bereich Indonesiens gegenläufig zu Schwankungen im Südostpazifik, weshalb man auch von der Southern Oszillation spricht. In Zusammenhang mit El Niño/Southern Oszillation (ENSO) kommt es zu großräumigen Änderungen der Ozeanströmung und Windzirkulation und als Reaktion darauf zu weltweiten Niederschlagsanomalien, welche in den Tropen/Subtropen am stärksten ausgeprägt sind. Detaillierte Erklärungen des ENSO-Phänomens sind in den am Ende dieses Beitrages erwähnten Literaturstellen zu finden.



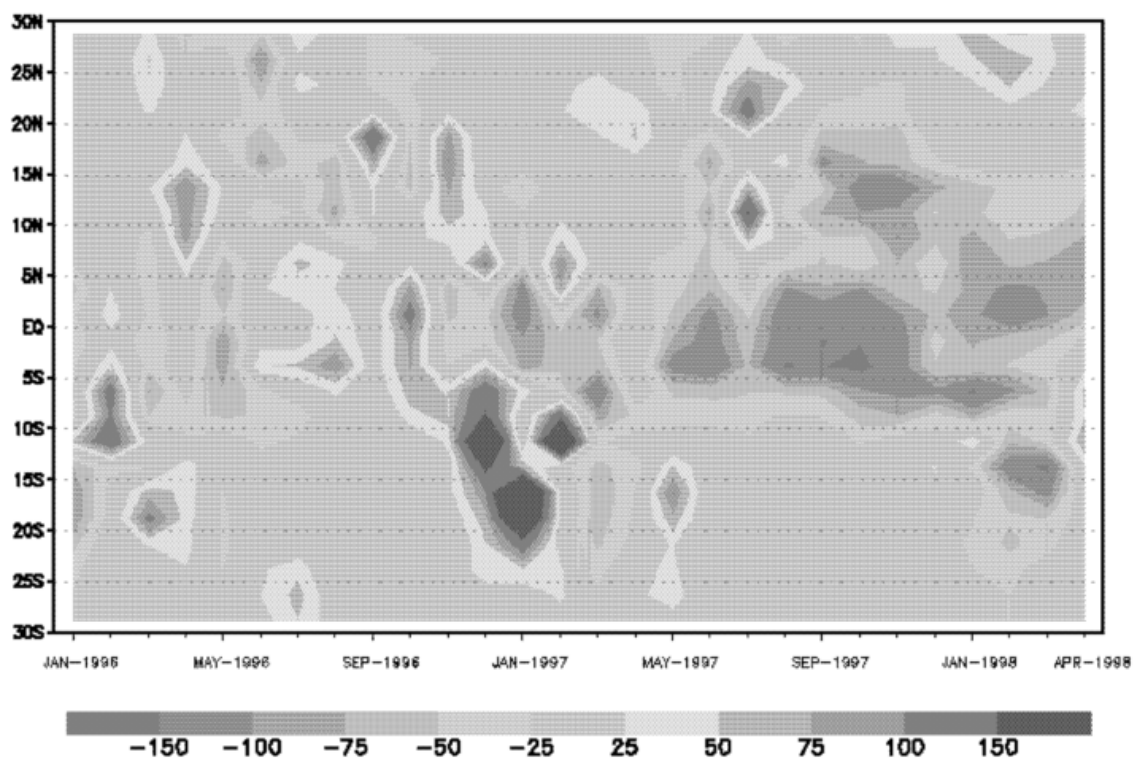
**Abb. 1:** Abweichung der mittleren Niederschlagshöhe in mm/Monat vom 10-jährigen Mittel 1988 bis 1997 für April 1997 bis März 1998, basierend auf monatlichen Analysen des Global Precipitation Climatology Project (GPCP). Dunkelblau eingefärbte Gebiete markieren starke positive Anomalien (zu feucht), rot eingefärbte Gebiete zeigen starke negative Niederschlagsanomalien (zu trocken).

Da die zur Niederschlagsbestimmung am besten geeigneten Satellitendaten (SSM/I) erst seit 1988 verfügbar sind, kann die globale Verteilung, wie in Abb. 1 gezeigt, nur auf einen 10-jährigen Zeitraum bezogen werden. Analysen über Land, die nur auf herkömmlichen Messdaten beruhen, können jedoch auch mit 30-jährigen Bezugswerten, wie in Abb. 2, verglichen werden (s. auch die regionalen Darstellungen in den Abbildungen 4 bis 8). Das WZN, dessen Analysen mit dem Datenjahr 1986 begonnen haben, plant, seine Auswertungen rückwärtig auszudehnen, so daß auch frühere El Niño-Ereignisse, z.B. 1982/83, in die Zeitreihenanalysen einbezogen werden können.



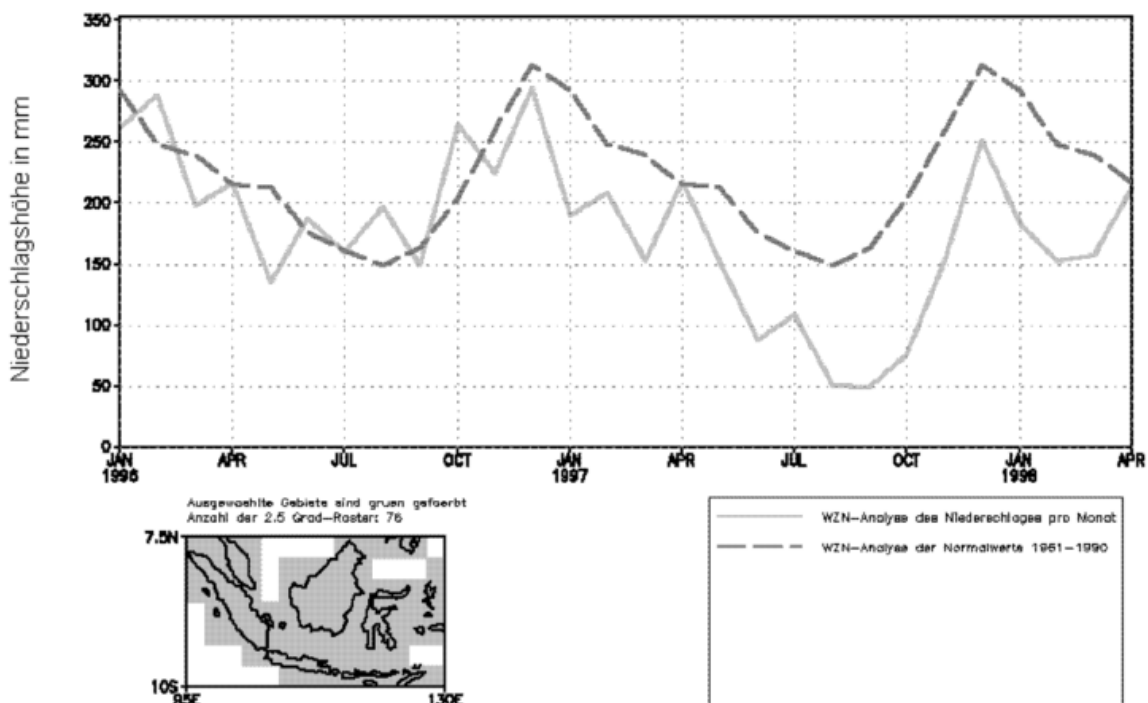
Vergleicht man die analysierten globalen Niederschlagsabweichungen von den Bezugswerten 1961-1990 im Winter 1997/1998 (Abb. 2) mit Niederschlagsanomalien, die typischerweise im Winter während El Niño-Ereignissen erwartet werden können, so ist auffällig, daß alle in Abb. 3 hervorgehobenen Niederschlagsanomaliegebiete („WET“ bzw. „DRY“) in der WZN-Analyse in Abb. 2 wiedergefunden werden können. Das deutet darauf hin, daß im Winter 1997/1998 viele globale Niederschlagsabweichungen vom „Normalzustand“ eng mit dem warmen ENSO-Ereignis von 1997/1998 zusammenhingen. Hierzu zählen speziell die anomal niedrigen Niederschläge in Indonesien (Abb. 4 und 5) und Nordost-Brasilien (Abb. 6) und die anomal hohen Niederschlagsmengen in Nordost-Argentinien (Abb. 7) und im äquatorialen Ostafrika (Abb. 8)

Der zeitliche und räumliche Verlauf extremer regionaler Niederschlagsanomalien während des El Niño-Ereignisses 1997/1998 wird in Zeitreihendarstellungen noch deutlicher. In Abbildung 4 ist der zeitliche Verlauf des Längenschnitts der monatlichen Niederschlagsanomalien in Südost-Asien in einem sogenannten Hovmöller-Diagramm dargestellt. Zu trockene Gebiete sind mit Gelb- und Rottönen markiert, zu feuchte Gebiete mit Blautönen. Anschaulich läßt sich die mehr als ein Jahr andauernde Trockenphase in fast ganz Südost-Asien erkennen.

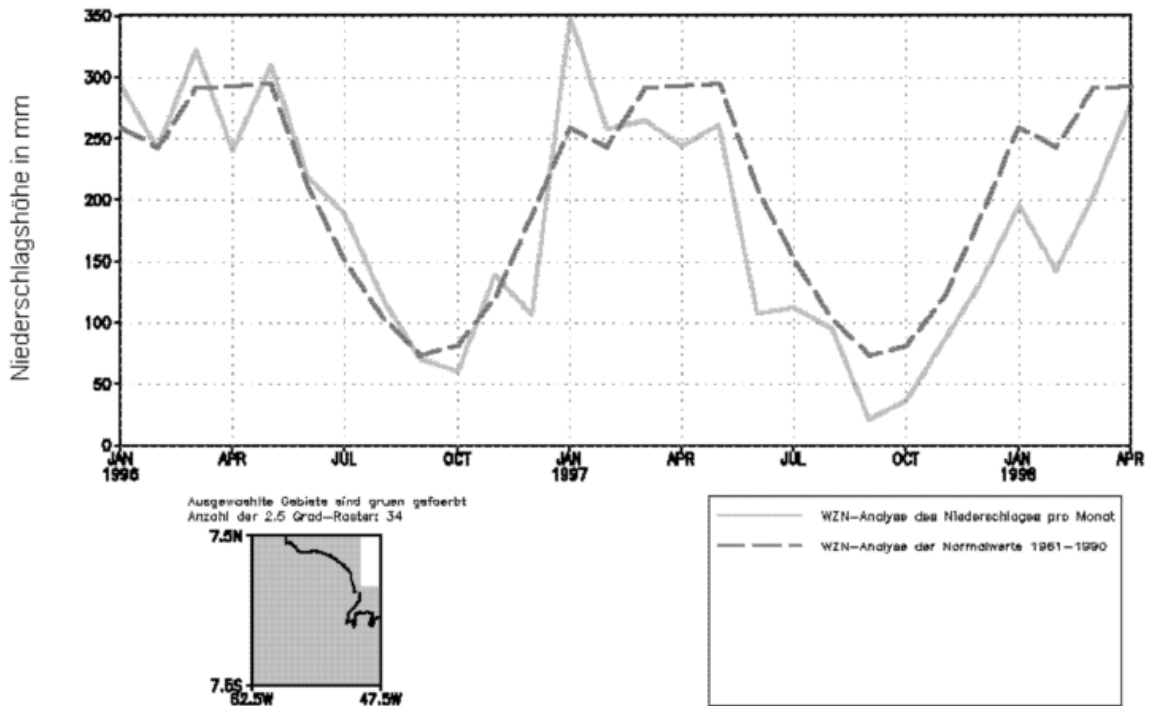


**Abb. 4** Monatliche Niederschlagsabweichungen von den Bezugswerten 1961-1990 in mm während des Zeitraumes Januar 1996 bis April 1998, längengemittelt über 95°E bis 130°E für alle 2.5°-Raster im Bereich 30°N bis 30°S. Die in Abb. 5 untersuchte Region Indonesien liegt etwa zwischen 7.5°N und 10°S.

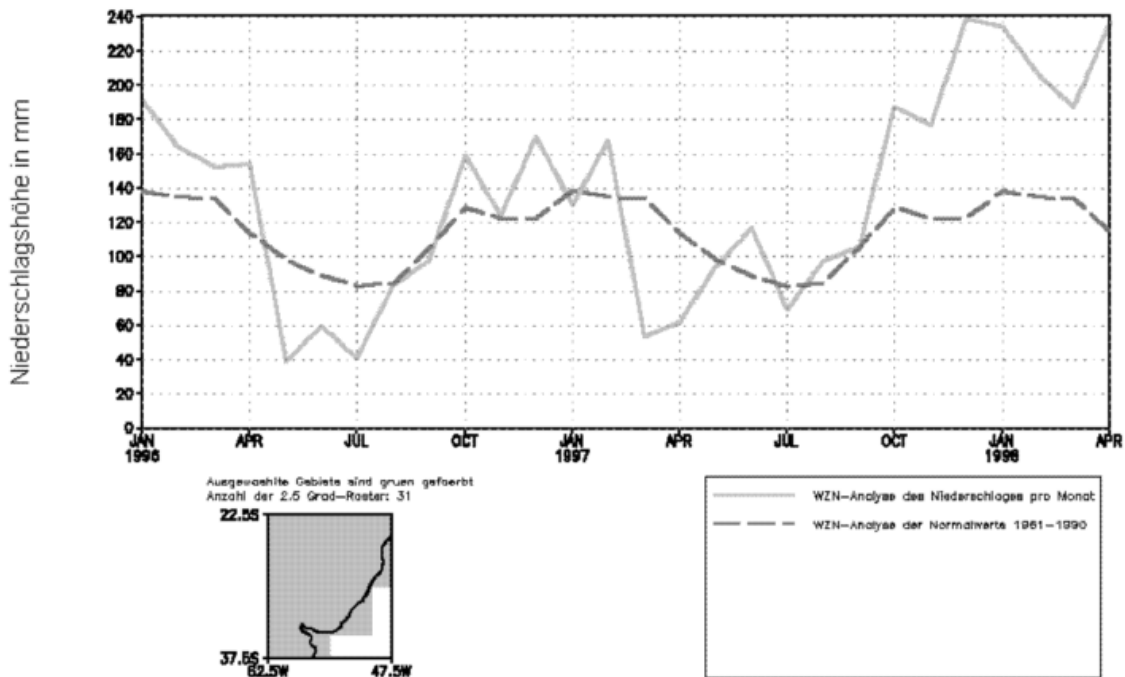
In den Abbildungen 5 - 8 sind für die oben angesprochenen Regionen jeweils die Zeitreihen des Gebietsmittels von monatlichem Niederschlag und Bezugswert 1961-1990 im Zeitraum Januar 1996 bis April 1998 dargestellt. Deutlich erkennbar sind in den zu trockenen Regionen (Abb. 5 und 6) die lange Andauer wenig unterdurchschnittlicher Niederschläge während mehr als einem Jahr und in den zu feuchten Regionen (Abb. 7 und 8) die z.T. mehr als 200 % der Bezugswerte überschreitenden Niederschläge während etwa eines halben Jahres.



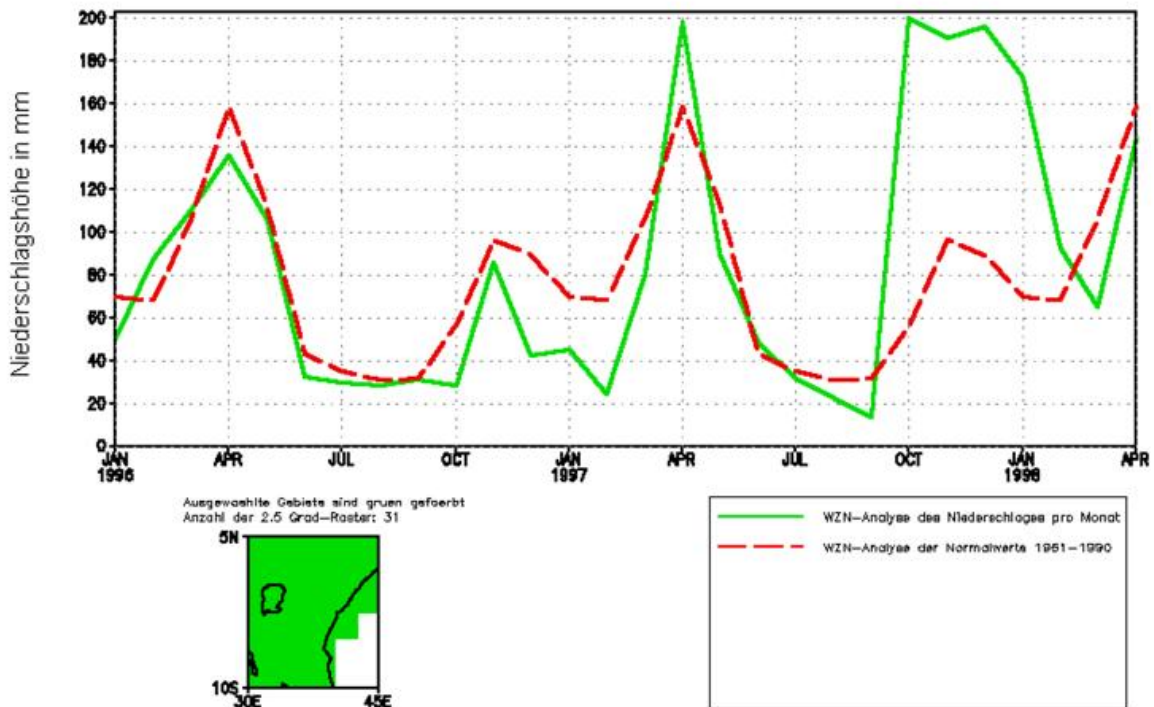
**Abb. 5** Gebietsmittel des vom WZN analysierten monatlichen Niederschlages (grüne Kurve) und der WZN-Analyse der dazugehörigen Bezugswerte 1961-1990 (rote Kurve) in mm im Raum Indonesien (7.5°N bis 10°S, 95°E bis 130°E) während des Zeitraumes Januar 1996 bis April 1998.



**Abb. 6** wie Abb. 5, aber Region Nordost-Brasilien (7.5°N bis 7.5°S, 42.5°W bis 62.5°W)



**Abb. 7** wie Abb. 5, aber Region Nordost-Argentinien (22.5°N bis 37.5°S, 47.5°W bis 62.5°W)



**Abb. 8** wie Abb. 5, aber Region äquatoriales Ostafrika (5°N bis 10°S, 30°E bis 40°E)

*Literatur:*

- Arntz, W.E. (1991): El Niño - Klimaexperiment der Natur: physikalische und biologische Folgen. Birkhäuser Verlag, Basel, 264 pp.
- Eckert, C. (1998): El Niño. Heyne Sachbuch, München, 87 pp.
- Glantz, M.H. (1996): Currents of change. El Niño's impact on climate and society. University Press, Cambridge, 194 pp.
- Latif, M. (1998): El Niño /Southern Oscillation. Internet - Beitrag des DKRZ in Hamburg unter <http://www.dkrz.de/klima/elnino/enso.html>
- Philander, S.G. (1990): El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. Academic Press, San Diego, 93 pp.

# Numerical Production of Climatic Maps for Parameters with Significant Correlation to Topography

G. Müller-Westermeier

## *Introduction*

Climatological maps containing the spatial distribution for some statistics of a climatological parameter in the form of isolines or colour gradation are needed in various fields of application.

In most cases these maps used to be produced by hand. Data for the individual stations have been plotted into a map, and then isolines have been drawn manually with reference to topography using climatological experience. This procedure is very time consuming and the subjective drawing makes it difficult to compare different maps. The results of simple numerical interpolation are often not satisfying, as the networks are not dense enough to show the climatological effects of topography. Therefore a simple procedure to draw climatological maps numerically and objectively has been developed.

## *Basic Principle*

Regression functions are computed for the correlation between the climatological parameter and topography, so that the climatological parameter can be described as a function of topographic parameters:

$$t_{i,j} = f_{i,j}(h_{i,j}, n_{i,j}, w_{i,j})$$

- $t_{i,j}$ : climatological parameter at gridpoint (i,j)
- $h_{i,j}$ : elevation at gridpoint (i,j)
- $n_{i,j}$ : slope at gridpoint (i,j)
- $w_{i,j}$ : land use, ground cover at gridpoint (i,j)

Principally the regression coefficients may be different for every gridpoint. In practice regression coefficients can only be computed for areas. They are assigned to gridpoints near the centre of the area and are interpolated, so that grid fields for each coefficient of the regression equations result.

With these regression coefficients the climatological parameters are reduced to some reference level. The reduced parameters are interpolated. With the help of the fields of regression parameters and some topographic grid field the grid field of the reduced parameter is finally converted into values corresponding to the real topography.

### Realization of the procedure

The procedure has been used to produce climatic maps of Germany with a resolution of 1 km using a linear regression between the climatological parameter and elevation:

$$t_{i,j} = t_{0,i,j} + b_{i,j} * h_{i,j}$$

- t<sub>0</sub>: climatological parameter at reference level  
b: regression coefficient

Correlation between the climatological parameter and slope as well as land use are neglected as the spatial resolution is rather coarse.

The climatological parameters of the individual stations are reduced to mean sea level:

$$t_{0,i,j} = t_{i,j} - b_{i,j} * h_{i,j}$$

The reduced values are allocated to the nearest gridpoint. If more than one station is allocated to the same gridpoint, the mean value is computed. Data for gridpoints without allocation of any observing station are produced by spatial interpolation. Gridpoints with allocation remain unchanged.

For the interpolation the following formula is used:

$$t_{i,j} = \frac{\sum_{l=j-D}^{j+D} \sum_{k=i-D}^{i+D} \frac{t_{k,l}}{d_{k,l}^2}}{\sum_{l=j-D}^{j+D} \sum_{k=i-D}^{i+D} \frac{1}{d_{k,l}^2}}$$

- D: maximum distance from gridpoint (i,j) for data to be used for the interpolation  
d<sub>k,l</sub>: distance of gridpoint (k,l) from gridpoint (i,j)

$$d_{k,l} = \sqrt{(i-k)^2 + (j-l)^2}$$

The maximum distance D may be adapted to the density of the observing network. E. g. for precipitation the distance may be rather small (20 km), which saves computing

time, while for temperature and other parameters the coarser climatological network demands a maximum interpolation distance of at least 50 km.

### *Data basis*

The climatological data basis are monthly data of ca. 470 German climatological stations and ca. 4100 precipitation stations. So there is an average network density of 1 climatological station for 750 km<sup>2</sup> and 1 precipitation station for 85 km<sup>2</sup>. However, the network density is not homogeneous, as the network has grown historically and differences in topography have been taken into account, so that the density of the networks is fairly low in the plains of northern Germany, while network density is rather high in some mountainous regions.

As topographic data base the Deutscher Wetterdienst has produced a 1 km grid of elevation in a Gauss-Krueger-net for Germany derived from data at gridpoints in topographic maps of scale 1:25000 with a vertical resolution of 5 m.

### *Results*

As temperature is the climatological parameter with the strongest correlation to elevation, maps of monthly mean temperature have been produced first. Regression coefficients have been computed for 10 regions in Germany for the different calendar months for the reference period 1951 - 1980. In some cases, when unreliable regression coefficients appeared because of insufficient correlation (mainly plains of northern Germany), the coefficients have been interpolated from neighbouring regions.

These regression coefficients have been used to produce maps for the period 1951 - 1980 as well as for other periods and individual months. Maps for the four seasons and the whole year have been produced by computing mean values for every grid point.

These maps show all characteristic features of the hand drawn map for the same period. Partly they show more details of topographic influence than any hand drawn map can achieve. In some cases even local urban heat islands can be shown. Of course not all local peculiarities can be represented, because there are not enough stations to express such small scale effects.

Similar maps for precipitation have also been produced. Generally the correlation coefficients between precipitation and elevation are not very strong, as there is no direct physical connection. Only the forced lifting of air driven over a chain of mountains and intensified convection over the differently heated slopes of the valleys produce some increase of precipitation over the mountains. However the network is so dense that already simple numerical interpolation can produce a map quite equal to a similar hand drawn map and the regression between precipitation and elevation only adds some local details.

The reliability of the maps has been tested by reducing the network of observing stations used for the production of the maps by 10 % and comparison of the grid points for those 10 % of stations which had not been used. These tests showed a mean error of 0.4 K for the temperature map and a mean error of 8 % for precipitation, so that the numerically produced maps can be called at least equal in quality to their manually drawn counterparts.

### *Outlook*

Using the described procedure, grid maps for mean temperature and precipitation in Germany of individual months since 1901 are being produced, so that time series of areal mean temperature for the country or regions delimited by some other grid field (e. g. elevation, river catchment area) may be computed.

### **Acknowledgement**

The contribution of this research work was supported by the BMBF (Federal Ministry of Education and Research) and is the result of a research project conducted with the Hungarian Meteorological Service.

### *References*

- Gerth, W.-P.: Regional Climatic Maps for Land Use Planning Walter Kirchhofer et al. Applied Climatology, 25. Geogr. Congress, Sympos. Nr. 18, Zürich, 1984
- Kalb, M.: Klimakarten des Deutschen Wetterdienstes für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland Natur u. Landsch. 54, 1979
- Kalb, M.; Vent-Schmidt, V.; Gerth, W.-P.: Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen 1. Arbeitsbericht, Offenbach, 1984 2. Arbeitsbericht, Offenbach, 1985
- Müller-Westermeier, G.: Numerisches Verfahren zur Erstellung klimatologischer Karten Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 193, Offenbach, 1995
- Müller-Westermeier, G.: Numerical Production of Climatic Maps for Parameters with Significant Correlation to Topography 2<sup>nd</sup>. European Conference on Applied Climatology Wien, 1998

## Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland

### G. Jendritzky

Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen werden auch von den meteorologischen Umweltbedingungen beeinflusst. Da der menschliche Wärmehaushalt davon am stärksten betroffen ist, soll die Bioklimakarte anhand der hierfür wichtigsten klimatischen Bedingungen Aussagen über die Gunst oder die Ungunst des Bioklimas von Ortschaften und Landschaften liefern. Die Anpassung erfolgt wesentlich über das Thermoregulationssystem, welches die Wärmeabgabe über Veränderungen der Durchblutung der Körperschale mit verstärktem Schwitzen bei Wärme bzw. einer Erhöhung des Energieumsatzes z. B. durch Zittern bei Kälte steuert. Die Wärmeregulation belastet also Stoffwechsel, Herz-Kreislauf-System und Atmung. Durch Kältereize läßt sich die Regulationsfähigkeit des Organismus trainieren (Klimatherapie). Die physiologische Anpassung wird durch Verhaltensweisen unterstützt. So können Kältereize durch geeignete Bekleidung oder Aufsuchen von geschützten Bereichen (Liegehalle, Strandkorb, Wald u.ä.) im allgemeinen vermindert werden, während bei Wärmebelastungen die Anpassungsmöglichkeiten begrenzt sind.

Die meteorologischen Bedingungen der Wärmeabgabe ergeben sich aus der gleichzeitigen Wirkung von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelliger Strahlung (direkte und diffuse Sonnenstrahlung, kurzwellige Reflexstrahlung, Wärmestrahlung von Atmosphäre und Oberflächen der Umgebung). Der Mensch paßt sich über die Variation seiner Bekleidung im Jahresgang weitgehend an die thermischen Umgebungsbedingungen an. Im gemäßigten Klima Mitteleuropas herrschen während einer großen Anzahl von Tagen im Jahr für die Bewohner thermisch indifferente Bedingungen, so daß bei angepaßtem Verhalten optimale Behaglichkeit erreicht werden kann. Zur Charakterisierung von Räumen nach der Stärke der biometeorologischen Anforderungen an die Thermoregulation des Organismus wird die Häufigkeit des Auftretens von „Wärmebelastung“ im Sommerhalbjahr und von „Kältereizen“ im Winterhalbjahr trotz jeweils angepaßter Bekleidung benutzt. Große Häufigkeiten bedeuten, daß diese Bioklimate auch im Durchschnitt „wärmer“ bzw. „kälter“ sind. In der Übergangsjahreszeit (Frühjahr, Herbst) sind Kältereize gegenüber der Darstellung dieser Karte deutlich vermindert. Die Unterschiede im Bioklima zwischen benachbarten Klassen sollen nicht überbewertet werden.

**Wärmebelastung** : hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung.

**Kältereize**: bei niedriger Temperatur, erhöhter Windgeschwindigkeit und starker Bewölkung.

**Kleinräumige Modifikation des Bioklimas** durch Geländeform und Landnutzung:

- Niederungen und Tallagen: geringe Durchlüftung, Inversionsbildung, im Winter häufig Nebel. Bei vorhandenen Schadstoffquellen (Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Verkehr) lufthygienische Belastung (Smog)

- Kuppen: windexponiert und strahlungsreich
- Küstenbereich: reizstärkere Bedingungen im Strandbereich, abgeschwächt hinter den Dünen
- Sonnen- und Schattenlagen: thermische Gegensätze von Wald- und Freiflächen oder innerhalb von Straßenschluchten
- Waldklima: ausgeglichene Bedingungen im Tages- und Jahresgang auf relativ kühlem Niveau
- Stadtklima: im Winterhalbjahr durch höhere Lufttemperaturen und geringere Windgeschwindigkeiten im Vergleich zum Umland weniger Kältereize; im Sommer im Einfluß von direkter Sonneneinstrahlung häufiger intensive Wärmelastung.

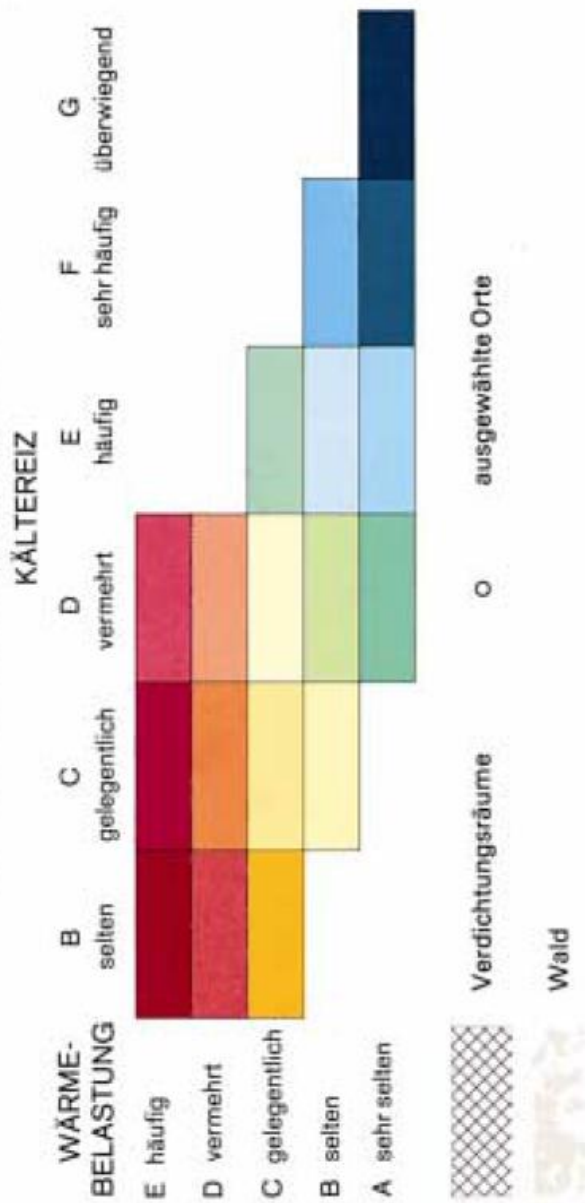
Die Klimaverträglichkeit der Menschen ist unterschiedlich ausgeprägt und hängt ab von Alter, Geschlecht, Konstitution, Reaktionstyp, Gesundheitszustand und Akklimatisationsgrad; auch Stimmungen und Erwartungen können eine Rolle spielen. Die Bioklimakarte erlaubt deshalb, entsprechend den persönlichen Wünschen und Vorstellungen für Zwecke der Erholung, der Rekonvaleszenz oder des Dauerwohnsitzes unter Berücksichtigung des Jahresablaufes das „geeignete“ (oder auch das am wenigsten ungeeignete) Bioklima aufzusuchen. Bei einem Klimawechsel ist zu beachten, daß der Klimareiz auch im Kontrast zum gewohnten Bioklima des Heimatortes liegt.

Auf eine räumliche Darstellung der lufthygienischen Problemgebiete wurde verzichtet, weil angenommen werden kann, daß bis zum Ende der neunziger Jahre die hohen Belastungen mit SO<sub>2</sub> und Schwebstaub in den südlichen Ballungsgebieten der neuen Bundesländer (Halle/Leipzig/Bitterfeld, Weimar, Erfurt), im westlichen Sachsen, im Thüringer Becken und im Erzgebirge drastisch abgenommen haben. Allerdings wird der zunehmende Verkehr zu einem Anstieg der Stickstoffoxide führen. In den verkehrsreichen Verdichtungsräumen werden dann wie bereits im westlichen Bundesgebiet, die Kurzzeitwerte für NO<sub>2</sub> häufiger überschritten. Die mittleren Ozonkonzentrationen liegen in den ländlichen Gebieten generell höher als in den Städten und nehmen mit der Höhe zu. Das Auftreten von Spitzenbelastungen hängt stärker von meteorologischen Verhältnissen (Temperatur, Sonnenstrahlung) als von den Vorläuferstoffen (Stickoxid, Kohlenwasserstoff) ab und ist i.a. konzentriert auf die Übergangsbereiche zwischen stark verkehrsbelasteter Innenstadt und dem schwach belasteten Umland.

#### Literatur

Jendritzky, G. (1995): Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarte mit Informationsbroschüre. Flöttmann Verlag, Gütersloh, 2. überarb. Auflage

## Bioklimatologische Bewertung







## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

CPC	NCEP Climate Prediction Center
DU	Dobson Unit
DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum
ECHAM	European Climate Model - Hamburg version (global circulation model)
ENSO	El Niño /Southern Oscillation
ETH	Eidgen.-Techn. Hochschule, Zürich
EZMW	Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff
FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis
GCOS	Global Climate Observing System
GEWEX	WCRP Global Energy and Water Cycle Experiment
GISS	Goddard Institute of Space Studies
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
GRDC	Global Runoff Data Centre
GTS	Global Telecommunication System
GUAN	GCOS Upper-air Network
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NAO	North Atlantic Oscillation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Center for Environmental Prediction, Washington
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SAGE	Stratospheric Aerosol and Gas Experiments
SOI	Southern Oscillation Index
SSMI	Special Sensor Microwave Imager
UNEP	United Nations Environmental Programme
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WCRP	WMO World Climate Research Programme
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization, Geneva
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie

## Anschriften der Autoren

NAME	ANSCHRIFT	EMAIL
Dr. Bissolli, Peter	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:pbissolli@dwd.d400.de">pbissolli@dwd.d400.de</a>
Claude, Hans-Jürgen	Deutscher Wetterdienst Met.Obs. Hohenpeißenberg Albin Schwaiger Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	<a href="mailto:claude@mohp.dwd.d400.de">claude@mohp.dwd.d400.de</a>
Czeplak, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frahmredder 95 22393 Hamburg	<a href="mailto:gczeplak@dwd.d400.de">gczeplak@dwd.d400.de</a>
Dr. Dittmann, Ernst	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:edittmann@dwd.d400.de">edittmann@dwd.d400.de</a>
Fuchs, Tobias	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:tfuchs@dwd.d400.de">tfuchs@dwd.d400.de</a>
Janssen, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:wjanssen@dwd.d400.de">wjanssen@dwd.d400.de</a>
Dr. Jendritzky, Gerd	Deutscher Wetterdienst Stefan-Meier-Str.4 79104 Freiburg	<a href="mailto:gjendritzky@dwd.d400.de">gjendritzky@dwd.d400.de</a>
Lefebvre, Christiana	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 78 20359 Hamburg	<a href="mailto:clefebvre@dwd.d400.de">clefebvre@dwd.d400.de</a>
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:gmueller-westermeier@dwd.d400.de">gmueller- westermeier@dwd.d400.de</a>
Nitsche, Helga	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:hnitsche@dwd.d400.de">hnitsche@dwd.d400.de</a>
Rapp, Jörg	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:jrapp@dwd.d400.de">jrapp@dwd.d400.de</a>
Dr. Rudolf, Bruno	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:brudolf@dwd.d400.de">brudolf@dwd.d400.de</a>
Dr. Steinbrecht, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Met.Obs. Hohenpeißenberg Albin Schwaiger Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	<a href="mailto:wsteinbrecht@mohp.dwd.d400.de">wsteinbrecht@mohp.dwd.d400.de</a>
Schneider, Udo	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:uschneider@dwd.d400.de">uschneider@dwd.d400.de</a>
Prof. Dr. Schönwiese, Christian-D.	J.W. Goethe-Universität Postfach 11 19 32 60054 Frankfurt/M.	<a href="mailto:schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de">schoenwiese@meteor.uni- frankfurt.de</a>

<b>NAME</b>	<b>ANSCHRIFT</b>	<b>EMAIL</b>
Trampf, Walter	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:wtrampf@dwd.d400.de">wtrampf@dwd.d400.de</a>
Walter, Andreas	J.W. Goethe-Universität Postfach 11 19 32 60054 Frankfurt/M.	<a href="mailto:a.walter@meteor.uni-frankfurt.de">a.walter@meteor.uni-frankfurt.de</a>
Werscheck, Martin	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	<a href="mailto:mwerscheck@dwd.d400.de">mwerscheck@dwd.d400.de</a>

## **Impressum**

Deutscher Wetterdienst  
Referat „Grundlagen der Klimaüberwachung“  
Frankfurter Str. 135  
Postfach 10 04 65  
63004 Offenbach

Stand: **April 1999**

## **Redaktion:**

Martin Werscheck  
e-mail: [martin.werscheck@dwd.d400.de](mailto:martin.werscheck@dwd.d400.de)

Patricia Willing  
e-mail: [patricia.willing@dwd.d400.de](mailto:patricia.willing@dwd.d400.de)

## INDEX

### A

Aerosolgehalt.....	53
Agenda 21 .....	7
anthropogenen Signalen .....	26

### B

Backpropagation .....	24, 25
-----------------------	--------

### E

ENSO .....	23, 61
Evaporation .....	30
Evapotranspiration .....	30

### F

FCKW .....	54
------------	----

### G

GCOS .....	91
Gebietsniederschläge.....	65
Gesundheitsrisiken.....	7
Globalstrahlung.....	33
Grasreferenzverdunstung.....	30
mittlere.....	32

### H

Halogenide	
reaktive .....	54
Halonen .....	54
Hauttumorraterate.....	16
Hitzewelle.....	8, 9
<b>Hochsommer</b> .....	44

### I

Immunsuppression .....	16
<i>Infektionskrankheiten</i> .....	12

### J

Jahrhunderthochwasser .....	68
-----------------------------	----

### K

<b>Kältereize</b> .....	86
Katarakte .....	16
Katastrophen	
klimabezogen .....	15
klimabezogene.....	15
natürliche .....	14
Klima	
-diagnose.....	3, 94
-überwachung.....	3, 94
Klimafaktoren.....	24
Klima-Michel-Modell .....	10
Klimanormalperiode .....	18
Klima-Signalanalyse	
multiple.....	23
<i>Klimawirkung</i> .....	21
Kohlendioxid-Konzentration .....	24

### L

*Lufttemperatur*

abweichung der mittleren.....	52
jährliche mittlere.....	33
Trends der .....	19

### M

Malaria .....	12
maps	
climatological .....	82
Meeresspiegelanstieg.....	8, 15
Mesosphäre .....	55
<b>Mitteltemperatur</b> .....	33
Mortalität	
kälteinduzierte .....	9

### N

NAO .....	23, 26
network density .....	84
<i>Neuronale Netze</i> .....	23
<i>Niederschlagshöhe</i>	
mittlere .....	35
Trend.....	20
Niederschlagshöhen	
monatlich mittlere Abweichung .....	61
Nordatlantikoszillation .....	25

### O

Ostwindzirkulation	
sommerliche .....	47, 48, 51
Oszillation	
quasi-zweijährig .....	53
Ozonabbau .....	53
Ozonabnahme .....	55
stratosphärisch.....	16
Ozonschicht .....	53

### P

Pinatubo .....	53
----------------	----

### R

Repräsentanz	
räumlich .....	18
zeitlich .....	18

### S

Schwefeldioxid-Emission .....	24
Signalanalyse	
statistisch klimatologisch .....	24
Signale	
anthropogene .....	26
Sonnenaktivität .....	24, 25, 26
Sonnenflecken-Relativzahlen.....	24
<b>Sonnenscheindauer</b>	
jährlich .....	33
Southern Oscillation Index .....	24
Starkniederschläge .....	57, 68
Strahlungsantriebe.....	27
Stratosphäre .....	47, 48, 49, 53, 55
Sulfataerosole.....	23, 26
Sulfatpartikel.....	25

