

3.1.6 Langzeitänderungen des Niederschlages in Deutschland

CHRISTIAN-D. SCHÖNWIESE & SILKE TRÖMEL

LONG-TERM CHANGE OF PRECIPITATION IN GERMANY: Trends of observed precipitation in Germany during the past century show striking particularities in different seasons, months, and subregions. Most pronounced is an increase in winter, particularly in western and southern regions, whereas in summer the indications of more dryness exist which are, however, interrupted by heavy precipitation episodes. Analyse of the probability of monthly precipitation exceeding defined upper or lower thresholds, respectively, reflect this behaviour where, for example, the probability that heavy precipitation occurs in January has increased nearly at all observation stations but decreased in August at the majority of northern and eastern stations.

Die im Industriezeitalter und im globalen Mittel beobachtete Erwärmung der unteren Atmosphäre zeigt ausgeprägte regional-jahreszeitliche Besonderheiten (IPCC 2001, SCHÖNWIESE 2003, 2004). Dies gilt in noch höherem Maß für den Niederschlag (vgl. Kap. 3.1.2 und 3.1.8). Die Vermutung, dass eine solche Erwärmung zu einer Intensivierung des hydrologischen Zyklus führt, was im Prinzip zunächst richtig ist (vgl. Kap. 3.1.2), erweist sich jedoch als viel zu simpel, wenn daraus einfach auf eine generelle Niederschlagszunahme geschlossen wird. Dies gilt sogar innerhalb einer so kleinen Region wie Deutschland. Denn obwohl Deutschland im Mittel überproportional an der »globalen« Erwärmung teilnimmt (SCHÖNWIESE 2003, 2004), zeigen die Langzeitänderungen des Niederschlages im Detail ganz unterschiedliche Charakteristika. Dabei kann die hier vorgestellte Beschreibung der in Deutschland beobachteten Niederschlagstrends subregional noch wesentlich verfeinert werden, vgl. z.B. Analyse für Sachsen (FRANKE et al. 2004), da der Niederschlag eine nur geringe räumliche Repräsentanz aufweist (SCHÖNWIESE & RAPP 1997).

Zeitliche Änderungen von Klimaelementen lassen sich nun in ganz unterschiedlicher Weise betrachten. Am meisten verbreitet sind lineare Trendberechnungen, wie sie auch einem Teil der hier vorliegenden Studie zugrunde liegen. Es können aber auch Trends anderer statistischer Kenngrößen als des Mittelwertes von Interesse sein, z.B. der Varianz. Häufigkeitsverteilungen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen heißen, erlauben die Bestimmung solcher Kenngrößen in Form der Verteilungsparameter. Wird unter Nutzung geeigneter Verteilungen (z.B. Normal- oder Gumbelverteilung, vgl. unten *Abb. 3.1.6-4*) eine statistische Modellierung der jeweils betrachteten klimatologischen Zeitreihe vorgenommen, werden Aussagen über die Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Schwellenwerte möglich, in verallgemeinerter Form für beliebige Schwellen und Zeiten (TRÖMEL 2004). Da dieser extremwertorientierte Aspekt von großer Wichtigkeit ist, soll auch ihm hier nachgegangen werden (vgl. alternativ Kap. 3.1.7 und 3.1.10).

Die im Folgenden verwendeten Daten sind jeweils Monatssummen des Niederschlages 1901–2000 an 132 Stationen in Deutschland (teilweise unter Einbezug einiger Stationen in den angrenzenden Ländern), einschließlich der daraus abgeleiteten Flächenmittelwerte (sog. Rasterdaten; Quelle: Deutscher Wetterdienst, siehe u.a. MÜLLER-WESTERMEIER 2002; vgl. weiterhin RAPP & SCHÖNWIESE 1996, dort auch Hinweise zur Homogenitätsprüfung, sowie RAPP 2000).

Trends der Flächenmittelwerte

Die Zeitreihen der Jahres-, Sommer- und Winterdaten der Flächenmittelwerte 1901–2003 des Niederschlages in Deutschland sind in *Abb. 3.1.6-1* dargestellt. Dabei zeigt sich zunächst eine ausgeprägte Jahr-zu-Jahr-Variabilität, die zu einigen Extremereignissen geführt hat; als Beispiele seien die niederschlagsreichen Winter 1948 und 1994/95 sowie die Trockensommer 1976, 1983 und 2003 (davor auch 1904 und 1911) genannt. *Tab. 3.1.6-1* liefert dazu, und dies für alle Jahreszeiten, die säkularen Mittelwerte und Standardabweichungen. Trotz der genannten interannuellen Variabilität sind aber auch Langzeitveränderungen erkennbar, die in *Abb. 3.1.6-1* als lineare Trends eingezeichnet sind. *Tab. 3.1.6-2* quantifiziert dies nicht nur für die Jahreswerte und die Jahreszeiten, sondern auch für alle Monate. Zudem sind dort außer den Langzeittrends 1901–2000 auch die Trends für die Zeitabschnitte 1961–1990 und 1971–2000 angegeben. Danach sind die Jahresniederschläge 1901–2000 um rund 66 mm (9%) angestiegen, 1961–1990 zwar nur gering, 1971–2000 aber mit rund 115 mm (15%) sehr stark.

Jahreszeitlich und insbesondere monatlich gesehen ergibt sich ein sehr differenziertes Bild. Es überwiegen die Zunahmen, jedoch treten – in den einzelnen Zeitintervallen unterschiedlich – auch Abnahmen auf, und zwar im Sommer/Frühling (vgl. dazu *Abb. 3.1.6-1* Mitte) bzw. in den Monaten April-August sowie November. Die Signifikanz (Mann-Kendall-Trendtest, Methodik vgl. SCHÖNWIESE & RAPP 1997, RAPP & SCHÖNWIESE 1996) ist wegen der starken interannuellen Variationen fast durchweg nur gering, jahreszeitlich gesehen noch am deutlich-

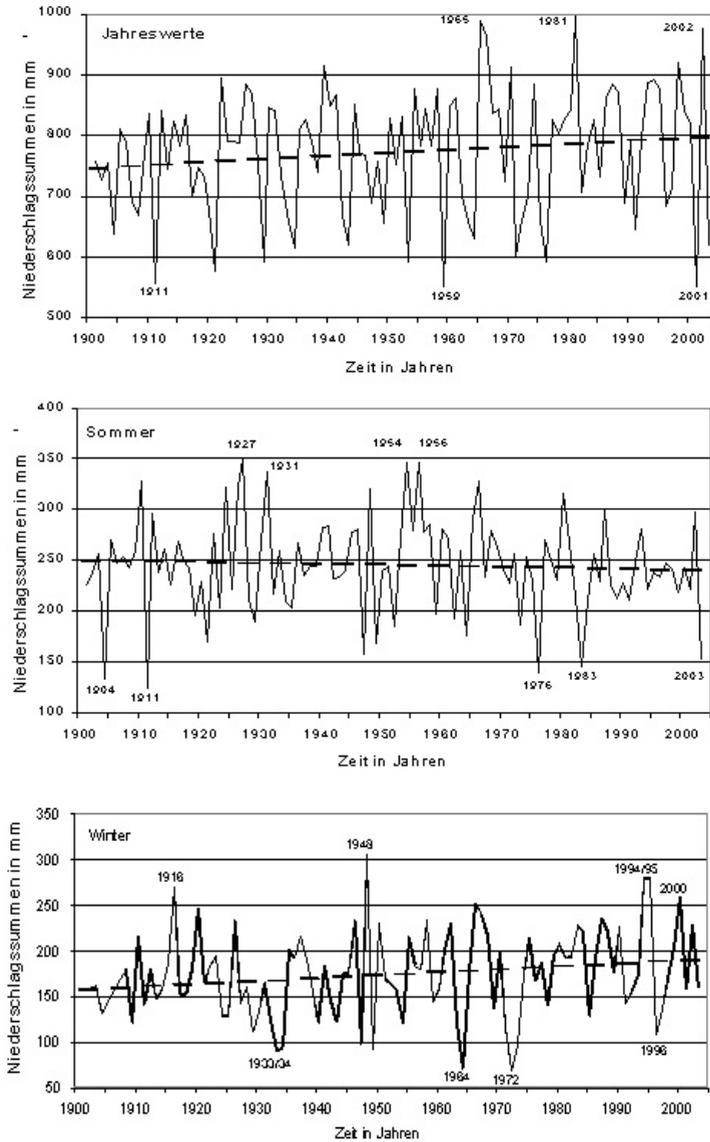


Abb. 3.1.6-1: Zeitreihen 1901–2003 des Jahres- (oben), Sommer- (Mitte) und Winterniederschlags (unten), Flächenmittel Deutschland mit linearen Trends und Angabe einiger extremer Jahre (Winter jeweils einschließlich Dezember des Vorjahres). Datenquelle wie Tab. 3.1.6-1; Bearbeitung Autoren)

Tab. 3.1.6-1: Mittelwerte und Standardabweichungen der jahreszeitlichen und Jahres-Niederschlagssummen des Flächenmittels Deutschland jeweils in mm, Bezugsintervall 1901–2000 (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, MÜLLER-WESTERMEIER 2002)

Kenngröße	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Mittelwert	172	245	184	174	774
Standardabweichung	36	46	48	48	99

sten bei der starken winterlichen Zunahme im Intervall 1971–2000 (um rund 64 mm, entsprechend 35%). Der August – um ein Monatsbeispiel herauszugreifen –, der 1961–1990 massiv trockener geworden war, zeigt 1971–2000 fast überhaupt keinen Trend. Gerade im Sommer ist jedoch bei solchen Trendaussagen Vorsicht geboten, da der in dieser Jahreszeit besonders stark von der Konvektion dominierte Niederschlag eigentlich eine detailliertere Betrachtung erfordert. Im Juni liegt übrigens genau eine umgekehrte Trendwende vor: 1961–1990 leicht zunehmender Trend, 1971–2000 deutliche Abnahme (dies übrigens auch im November; im März und September dagegen starke Zunahme).

Mittelwerttrends in subregionaler Differenzierung

Offenbar zeigt der Winter säkular (1901–2000) sowie für die beiden hier betrachteten kürzeren Zeitabschnitte (vgl. jeweils Tab. 3.1.6-2) die stärksten Trends (Zunahme). Abb. 3.1.6-2 erlaubt nun einen Einblick in die subregionalen Trendstrukturen (Trendkarten unter Verwendung des ordinary kriging als Interpolationsmethode; Details siehe wiederum o.a. Literatur). Danach ist 1901–2000 (Abb. 3.1.6-2 links) diese winterliche Zunahme vor allem auf den Westen und Süden Deutschlands konzentriert. Im Nordosten ist ein solcher Trend dagegen insignifikant bzw. nicht erkennbar; 1971–2000 (Abb. 3.1.6-2 rechts) gilt dies aber nur noch für das südöstliche Sachsen.

Der Sommer, der im Flächenmittel für Deutschland langzeitlich (1901–2000) eine leichte Abnahme aufweist, in den letzten Jahrzehnten (1971–2000) jedoch auch leicht zugenommen haben könnte, zeigt in subregionaler Differenzierung ein Nebeneinander von Ab- und Zunahmen. Dabei konzentrieren sich die Abnahmen langzeitlich, vgl. Abb. 3.1.6-3 links, auf

Tab. 3.1.6-2: Lineare Trends der monatlichen, jahreszeitlichen und Jahres-Niederschlagssummen des Flächenmittels Deutschland für die angegebenen Bezugsintervalle in mm in Klammern in %; Fettdruck bedeutet Signifikanz über 70% (Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,3; Datenquelle wie Tab. 3.1.6-1. Bearbeitung SCHÖNWIESE 2002)

Monat/Jahreszeit	1901–2000	1961–1990	1971–2000
Januar	+ 6,2 (10,5%)	+ 20,3 (33,3%)	4,2 (6,8%)
Februar	+ 8,7 (17,6%)	+ 6,0 (12,1%)	+31,0 (64,4%)
März	+ 16,0 (31,4%)	+ 16,4 (29,0%)	+28,2 (47,9%)
April	- 1,2 (2,2%)	- 10,7 (18,4%)	- 0,2 (0,4%)
Mai	+ 7,5 (11,5%)	- 18,2 (25,5%)	- 5,0 (7,5%)
Juni	+ 13,8 (17,5%)	+ 4,1 (4,8%)	- 11,8 (14,2%)
Juli	- 8,3 (9,7%)	- 3,5 (4,5%)	+ 21,5 (26,7%)
August	- 12,2 (15,3%)	- 22,3 (28,8%)	+ 0,6 (0,9%)
September	+ 2,7 (4,2%)	+ 14,7 (24,1%)	+ 22,4 (34,9%)
Oktober	+ 2,5 (4,2%)	+ 14,4 (25,8%)	+ 17,2 (28,0%)
November	+ 11,6 (18,9%)	- 2,4 (0,4%)	- 12,6 (19,1%)
Dezember	+ 18,4 (28,5%)	+ 14,3 (20,3%)	+ 19,3 (26,5%)
<i>Frühling</i>	+ 22,4 (13,0%)	- 12,6 (6,8%)	+ 23,0 (12,9%)
<i>Sommer</i>	- 6,7 (2,7%)	- 21,7 (9,1%)	+ 10,3 (4,4%)
<i>Herbst</i>	+ 16,7 (9,1%)	+ 26,7 (14,5%)	+ 26,9 (14,1%)
<i>Winter</i>	+ 33,1 (19,1%)	+ 39,2 (21,9%)	+ 64,4 (35,2%)
<i>Jahr (insgesamt)</i>	+ 65,7 (8,5%)	+ 33,1 (4,2%)	+ 114,8 (14,6%)

Mitteldeutschland, insbesondere Sachsen, in den letzten Jahrzehnten, vgl. Abb. 3.1.6-3 rechts, auf größere Bereiche Süddeutschlands. Insgesamt ergibt sich ein sehr kompliziertes Bild, das einer systematischen Beschreibung nicht besonders zugänglich ist. Das gilt in ähnlicher Weise auch für die Übergangsjahreszeiten Frühling und Sommer (hier nicht gezeigt, vgl. dazu für die Intervalle 1891–1990 bzw. 1961–1990 RAPP & SCHÖNWIESE 1996, RAPP 2000).

Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Als einführendes Beispiel für wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtungen mag der monatliche Niederschlag an der Station Eppenrod (Lahn-Einzugsgebiet, 50,4°N 8,0°E) dienen. In Abb. 3.1.6-4 ist für die beiden Hälften der Beobachtungsperiode (1901–1950, 1951–2000) jeweils eine Gumbel-Verteilung angepasst, wobei sich der Lageparameter (entsprechend dem häufigsten Wert, also Modus) von 46,9 auf 50,9 mm und der Streuparameter von 26,0 auf 29,0 mm erhöht haben. Daraus folgt eine Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit hoher Monatswerte, nämlich von über 100 mm, von 12,3% auf 16,8% bzw. extrem hoher Monatswerte, nämlich von über 150 bzw. 180 mm, von 1,9% auf 3,2% bzw. von 0,6% auf 1,2% (also Verdoppelung, wenn auch auf niedrigem Wahrscheinlichkeitsniveau; vgl. dazu SCHÖNWIESE et al. 2003).

Es wurde nun eine statistische Modellierung auf Basis der Gumbelverteilung angewandt, die für jedes beliebige Jahr, nach den einzelnen Monaten differenziert, die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für den (willkürlich

definierten) Schwellenwert 180 mm liefert. Die Ergebnisse sind – ebenfalls für das Beispiel der Station Eppenrod – in Abb. 3.1.6-5 links zusammengestellt (und zwar exemplarisch für die Monate Januar, Mai, August und November; methodische Details siehe TRÖMEL 2004). Offenbar steigt in einigen Monaten diese Wahrscheinlichkeit an (besonders im Winter, aber zum Teil auch in den Übergangsjahreszeiten), was auf häufigere hohe Extremereignisse hinweist, in den Sommermonaten August und Juli (letzteres in Abb. 3.1.6-5 nicht gezeigt) jedoch nicht. Dies lässt eine bemerkenswerte jahreszeitliche Umstellung erkennen: Am Anfang der betrachteten Zeitspanne ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit im Sommer am höchsten, am Ende und somit neuerdings jedoch im Winter.

Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit, deren zeitliche Evolution bezüglich des Schwellenwertes 10 mm in Abb. 3.1.6-5 rechts wiederum für das Beispiel Eppenrod gezeigt ist (gleiche Monate wie zuvor), nimmt teils zu (Winter und z.T. Frühling), teils ab (Sommer und z.T. Herbst). Dabei bedeutet zunehmende Über- als auch Unterschreitungswahrscheinlichkeit (z.B. Eppenrod, Januar) eine »Verbreiterung« der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, somit Zunahme der Varianz und daher in jeder Hinsicht eine Tendenz zu einem extremeren Klima (größer werdende Wahrscheinlichkeit für sowohl hohe als auch niedrige Niederschlagswerte).

Ähnlich der räumlichen Struktur der Mittelwerttrends (Abb. 3.1.6-2 und -3) gibt es nun auch Strukturen der Über-/Unterschreitungswahrscheinlichkeit extremer Werte. Zusammen mit den Besonderheiten in den einzelnen Monaten ergibt sich wiederum ein sehr differenziertes Bild. Einige wenige Kartendarstellungen sollen, auch in

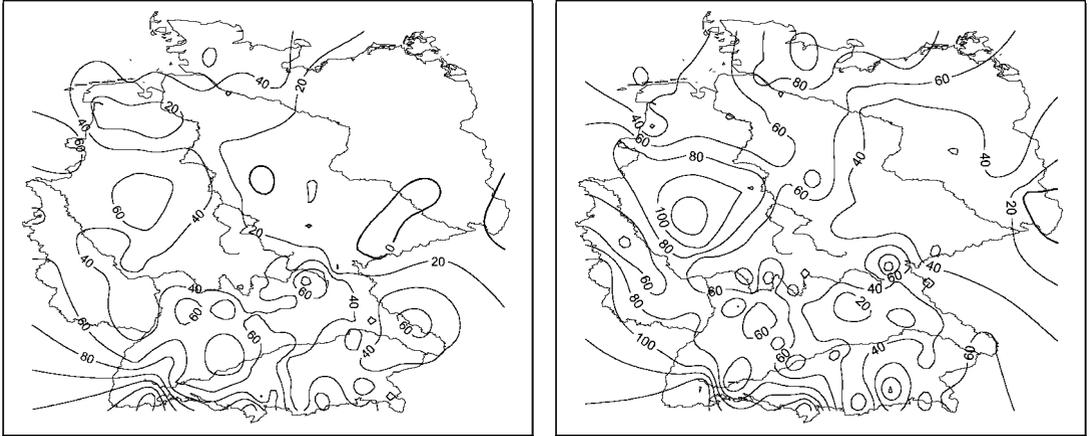


Abb. 3.1.6-2: Lineare Trends des Winter-Niederschlags in Deutschland in mm, Links 1901–2000, rechts 1971–2000. (Aktualisierung der Kartendarstellungen von RAPP & SCHÖNWIESE 1996)

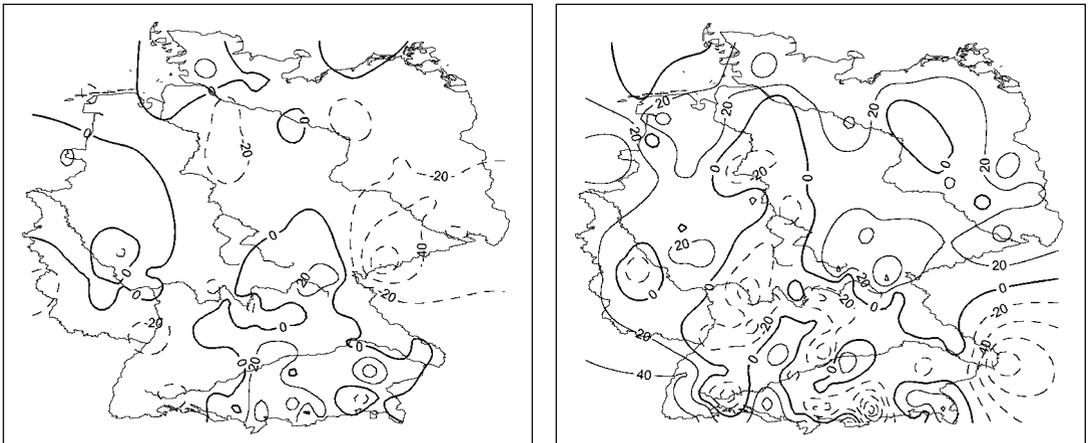


Abb. 3.16-3: Ähnlich Abb. 3.1.6-2, jedoch Sommer (links 1901–2000, rechts 1971–2000). Gestrichelt = Abnahme

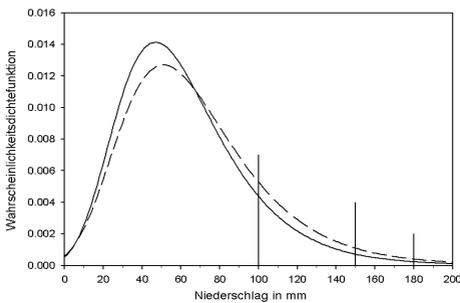


Abb. 3.1.6-4: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Gumbel-Verteilung), angepasst an die monatlichen Niederschlags-summen 1901–1950 (ausgezogen) bzw. 1951–2000 (gestrichelt) der Station Eppenrod (Lahn-Region 50.4°N 8.0°E) mit Schranken 100, 150 und 180 mm. Es ist zu erkennen, dass die Überschreitungswahrscheinlichkeit in der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode jeweils größer ist (vgl. Text)

diesem Fall exemplarisch, auf die Gegebenheiten hinweisen. So bringt Abb. 3.1.6-6 links eine Karte der qualitativen Trends (also nur unterschieden nach Zu-, Abnahme bzw. kein signifikanter Trend) der Überschreitungswahrscheinlichkeit der 180 mm - Schwelle im Januar, Abb. 3.1.6-6 rechts im August. Aus Abb. 3.1.6-6 links ist ersichtlich, dass der Befund der Zunahme der Überschreitungswahrscheinlichkeit, wie er auch aus Abb. 3.1.6-5 links am Beispiel der Station Eppenrod aufgezeigt worden ist, zumindest im Januar für fast alle Stationen in Deutschland gilt. Nur eine Minderheit zeigt keine Trends; abnehmende Trends treten nur ganz vereinzelt auf. Ähnliches gilt für die gesamte Jahreszeit Winter/Frühling (Monate Dezember, Februar, März und April). Erst ab Mai sind in etwa an der Hälfte der erfassten Stationen auch abnehmende Trends ersichtlich, vgl. Beispiel August in Abb. 3.1.6-6 rechts, eine Situation, die ungefähr bis November anhält.

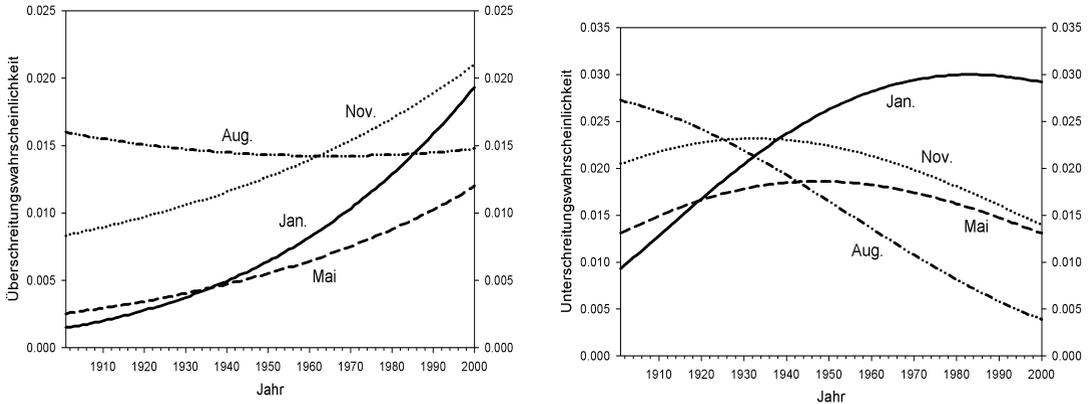


Abb. 3.1.6-5: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schranke 180 mm, links, bzw. der Unterschreitungswahrscheinlichkeit 10 mm, rechts; Monatsniederschlag an der Station Eppenrod (vgl. Abb. 3.1.6-4) in den angegebenen ausgewählten Monaten (nach TRÖMEL 2004)

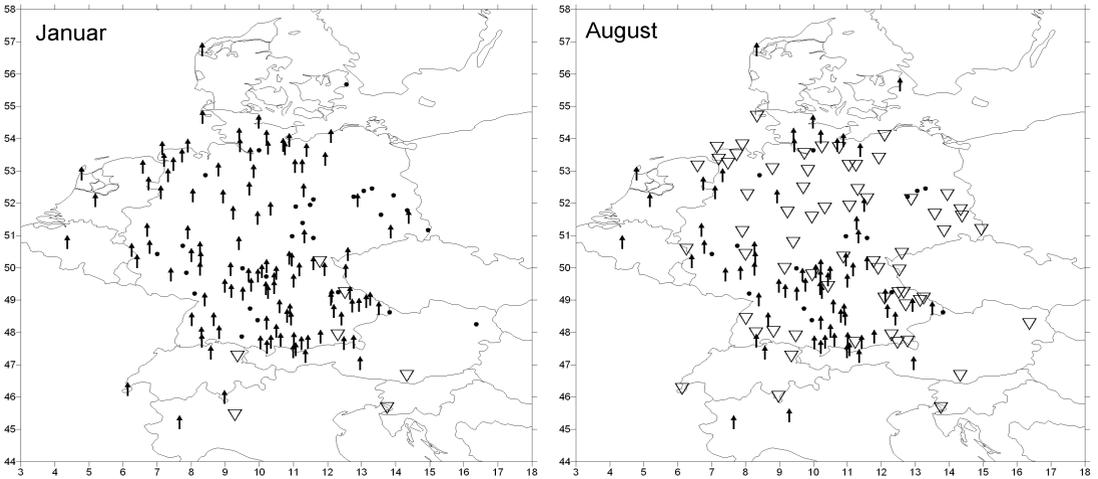


Abb. 3.1.6-6: Zeitliche Trends der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schranke 180 mm Monatsniederschlag (Stationsnetz vgl. Text) im Januar, links, und im August, rechts; dabei bedeuten: Pfeile Zunahme, Dreiecke Abnahme, Punkte keine signifikante Änderung (nach TRÖMEL 2004)

Schließlich soll anhand solcher Beispiele noch ein Blick auf die Trends der Unterschreitungswahrscheinlichkeit der 10 mm-Schwelle geworfen werden, siehe Abb. 3.1.6-7, links Januar und rechts August. Dabei zeigt sich, dass im Winter wiederum die zunehmenden Trends überwiegen, nun jedoch mit einem nicht unerheblichen Teil entgegengesetzter Trends im Westen und Süden. In etwa ab Mai gewinnen die negativen Trends die Oberhand, ein Bild, das bis einschließlich November im Wesentlichen so bleibt. Dabei weisen, wie gesagt, Zunahmen sowohl der Über- als auch Unterschreitungswahrscheinlichkeit, wie das an vielen Stationen im Winter der Fall ist, auf ein extremer werdendes Klima hin.

Das Gegenteil, Abnahmen beider Wahrscheinlichkeiten, tritt verbreitet im Sommer auf.

Schlussbetrachtung

Die Veränderungen des Niederschlages im Industriezeitalter (hier letztes Jahrhundert betrachtet) zeigen in Deutschland zeitlich-jahreszeitlich-regional bzw. subregional so komplizierte Strukturen, dass eine kurze Charakterisierung schwer fällt. Am wichtigsten erscheint eine langfristige (1901–2000) winterliche Zunahme (insbesondere im Westen und Süden), die so ausgeprägt ist, dass sie sich auch in den Jahreswerten widerspiegelt. Im jüngsten Zeitintervall 1971–2000 hat sich diese winterliche

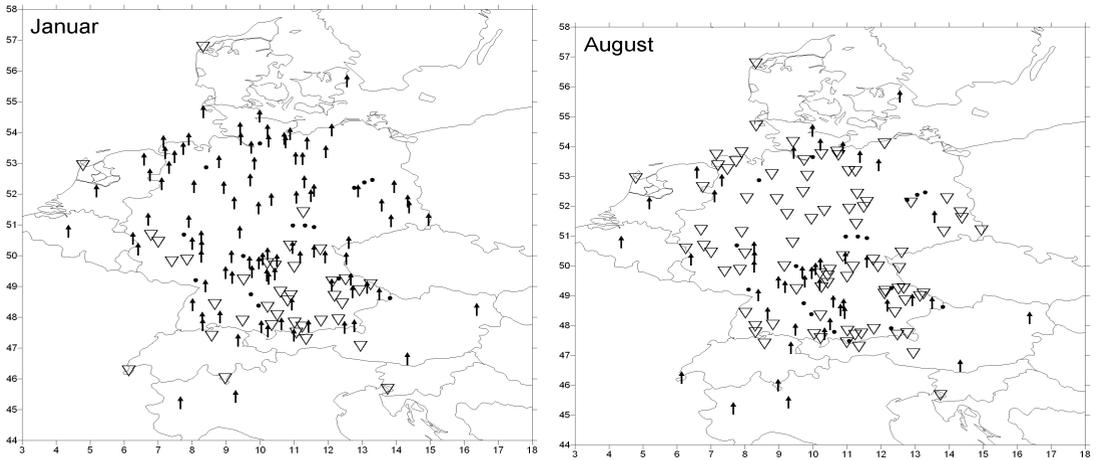


Abb. 3.1.6-7: Ähnlich Abb. 3.1.6-6, jedoch Unterschreitungswahrscheinlichkeit der Schranke 10

Niederschlagszunahme nicht nur intensiviert, sondern auch die anderen Jahreszeiten erfasst. Jedoch verdient der Sommer insofern eine besondere Betrachtung, als sich Trends zu mehr Trockenheit (säkular vor allem in Sachsen, aber auch im Südwesten und Nordosten) mit episodischen Starkniederschlägen überlagern (vgl. Kap. 3.1.7, wo auch auf Tagesdaten Bezug genommen wird).

Diese Langzeitveränderungen wirken sich auch im Extremverhalten aus, was sich mit Hilfe der Trends der Über- sowie Unterschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Schwellenwerte erfassen lässt. Dabei zeigt sich, dass häufig zunehmende Trends der Mittelwerte mit zunehmenden Trends der Überschreitungswahrscheinlichkeit Hand in Hand gehen, insbesondere im Winter (eine Aussage, die sich in allgemeinerer Form auch bei IPCC 2001 wieder finden lässt). Allerdings ist auch eine gleichzeitige Zunahme der Unterschreitungswahrscheinlichkeit möglich, die im Fall einer Verteilungsschiefe im Mittelwert nicht deutlich zum Ausdruck kommt. Im Som-

mer gibt es auch Abnahmen beider Wahrscheinlichkeiten, was sich zum Teil mit dem Befund zunehmender Sommertrockenheit deckt. Allgemein zeigen die Trends der Unterschreitungswahrscheinlichkeit regional und jahreszeitlich ein sehr unterschiedliches Bild.

Die Auswirkungen aller dieser Befunde, beispielsweise in der Landwirtschaft oder hinsichtlich der Hochwassergefährdung (vgl. dazu Kap. 3.1.5, 3.1.10, 1.13 und allgemein 3.2), sind bereits jetzt brisant und diese Brisanz dürfte in Zukunft eher noch zunehmen. Umso wichtiger ist es, alle regionalen Strukturen und alle statistischen Aspekte der Langzeitveränderungen des Niederschlags zu erkennen und zu berücksichtigen ♦

Danksagung: Dieser Beitrag steht in engem Zusammenhang mit dem Projekt Nr. 01LD0032 des Deutschen Klimaforschungsprogramms (<http://www.deklim.de/seiten/dekframe.asp>), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Dafür sind die Autoren sehr dankbar.