

### 3.1.6 Langzeitänderungen des Niederschlags in Deutschland

CHRISTIAN-D. SCHÖNWIESE & SILKE TRÖMEL

*Long-term change of precipitation in Germany: Trends of observed precipitation in Germany within the last century show pronounced particularities in different months, seasons, and subregions. Most pronounced is an increase in winter, particularly in western and southern parts, whereas in summer there are some indications of more dryness, however, interrupted by heavy precipitation episodes. Considering such extremes, an analysis of the probability of monthly precipitation exceeding defined upper or lower thresholds, respectively, reflects this trend behaviour. For example, the probability that heavy precipitation occurs in January has increased nearly at all stations but decreased in August at a majority of northern and eastern stations.*

Die im Industriezeitalter und im globalen Mittel beobachtete Erwärmung der unteren Atmosphäre zeigt ausgeprägte regional-jahreszeitliche Besonderheiten (IPCC 2007, SCHÖNWIESE 2008, 2009). Dies gilt in noch höherem Maß für den Niederschlag (vgl. Kap. 3.1.2). Die Vermutung, dass diese Erwärmung zu einer Intensivierung des hydrologischen Zyklus führt, was im Prinzip zunächst richtig ist (vgl. Kap. 3.1.3), erweist sich jedoch als 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 2008, SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2008), zeigen die Langzeitänderungen des Niederschlages im Detail ganz unterschiedliche Charakteristika.



© Dan Brandenburg – iStockphoto

Angesichts der gegenüber der Temperatur wesentlich geringeren räumlichen Repräsentanz des Niederschlags (vgl. z.B. SCHÖNWIESE & RAPP 1997) ist das nicht überraschend.

Zeitliche Änderungen von Klimatelementen lassen sich nun in ganz unterschiedlicher Weise betrachten. Am meisten verbreitet sind lineare Trendberechnungen, wie auch in einem Teil der hier vorliegenden Studie, obwohl sie im Fall nicht-normalverteilter Datenkollektive zu Trendüberschätzungen führen können (TRÖMEL & SCHÖNWIESE 2008). Von Interesse sind aber auch Trends anderer statistischer Kenngrößen als des Mittelwertes, z.B. der Varianz (bzw. Standardabweichung). Häufigkeitsverteilungen, die in normierter Form Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen heißen (engl. probability density function PDF), erlauben die Bestimmung solcher Kenngrößen in Form der Verteilungsparameter. Wird unter Nutzung geeigneter Verteilungen (z.B. Normal- oder Gumbelverteilung, vgl. unten) eine statistische Modellierung der jeweils betrachteten klimatologischen Zeitreihe des Niederschlags vorgenommen, werden zudem Aussagen über die Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten bestimmter Schwellenwerte möglich, in verallgemeinerter Form für beliebige Schwellen und Zeiten (TRÖMEL 2005). Da dieser extremwertorientierte Aspekt von großer Wichtigkeit ist, soll auch ihm hier nachgegangen werden (vgl. dazu auch Kap. 3.1.13).

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; vgl. SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2008). Hinzu kommen Flächenmittelwerte 1901–2010, sog. Rasterdaten (DEUTSCHER WETTERDIENST 2011; siehe weiterhin u.a. MÜLLER-WESTERMEIER 2002, RAPP & SCHÖNWIESE 1996 sowie RAPP 2000, wo auch Hinweise zur Beurteilung der Zeitreihen-Homogenität zu finden sind).

#### Trends der Flächenmittelwerte

Die Zeitreihen der Jahres- und jahreszeitlichen Daten

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)  
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

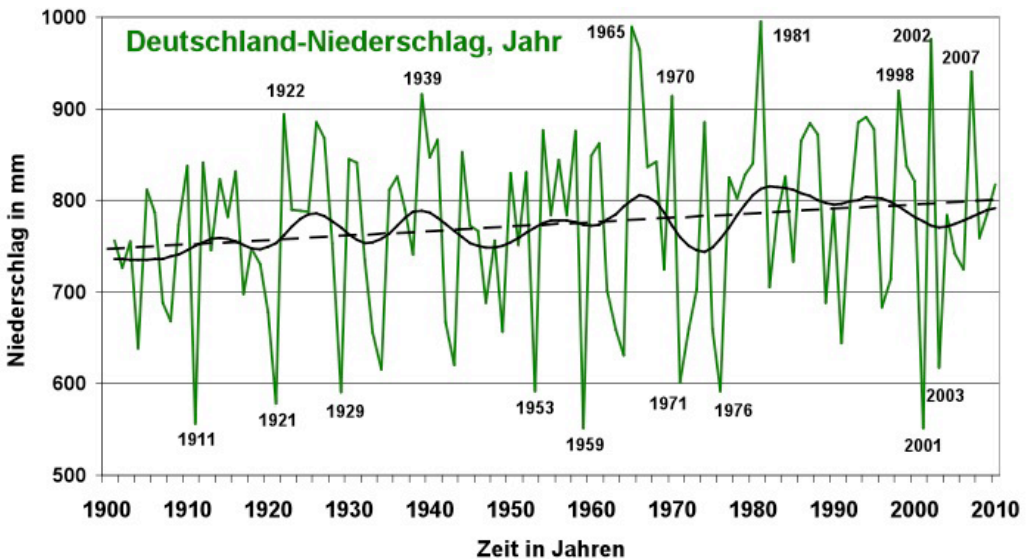
der Flächenmittelwerte 1901–2010 des Niederschlages in Deutschland sind in *Abb. 3.1.6-1* dargestellt, einschließlich 20-jähriger Glättung (Gauß'sche Tiefpassfilterung, Methodik siehe SCHÖNWIESE 2006) und linearer Trends. Dabei zeigt sich zunächst eine ausgeprägte interannuelle (Jahr-zu-Jahr-) Variabilität, 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. Demgegenüber sind die dekadischen Fluktuationen relativ gering. *Tab. 3.1.6-1* liefert für diese Daten und die Zeitintervalle 1901–2000, 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 die zugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen. Trotz der ausgeprägten 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 Jahreszeiten, sondern auch für alle Monate. Zudem sind dort außer den säkularen Trends 1901–2000 auch die Trends für die Zeitabschnitte 1961–1990, 1971–2000 und 1981–2010 angegeben. Danach sind 1901–2000 z.B. die Jahresniederschläge um rund 66

mm (9 %) und die Winterniederschläge um rund 33 mm (19%) angestiegen, für die Winter 1971–2000 sogar um rund 64 mm (35%). Die Sommerniederschläge sind dagegen säkular (1901–2000) um rund 7 mm (3%) zurückgegangen, 1961–1990 sogar um rund 22 mm (9%), 1971–2000 und insbesondere 1981–2010 jedoch wieder erheblich angestiegen, und zwar um rund 10 mm (4%) bzw. 29 mm (12%).

Diese Unterschiede, einschließlich Trendumkehr, hängen mit den interannuellen Variationen zusammen, die sich naturgemäß 30-jährig wesentlich stärker bemerkbar machen als säkular. Sie werden bei monatlicher Betrachtung noch deutlicher, wobei sich z.B. der außergewöhnlich hohe Rekordwert des Niederschlages im August 2010 (im Flächenmittel Deutschland ungefähr doppelt so viel wie in der Normalperiode 1961–1990) in den Trends sehr stark auswirkt. Insgesamt ergibt sich in *Tab. 3.1.6-2* somit ein sehr differenziertes Bild. Monatlich gesehen überwiegen säkular die Zunahmen mit Maxima im März, Juni, November und insbesondere Dezember. 30-jährig treten vor allem die hohen Zunahmen 1961–1990 im Januar, 1971–2000 im Februar und März sowie 1981–2010 im Juli und August hervor, gegenüber

**Tab. 3.1.6-1:** Mittelwerte und in Klammern Standardabweichungen der jahreszeitlichen und Jahres-Niederschlagssummen des Flächenmittels Deutschland für die angegebenen Zeitintervalle (Datenquelle: DEUTSCHER WETTERDIENST 2011; Bearbeitung: SCHÖNWIESE).

Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
1901 – 2000	172 (36) mm	245 (46) mm	184 (48) mm	174 (48) mm	774 (99) mm
1961 – 1990	186 (41) mm	239 (45) mm	183 (48) mm	181 (50) mm	798 (112) mm
1971 – 2000	179 (42) mm	234 (37) mm	191 (48) mm	183 (51) mm	787 (102) mm
1981 – 2010	185 (38) mm	238 (37) mm	195 (48) mm	189 (44) mm	797 (105) mm



**Abb. 3.1.6-1a:** Zeitreihe 1901–2010 der jährlichen Summen des Niederschlages, Flächenmittel Deutschland, mit 20-jähriger Glättung (schwarz ausgezogen), linearem Trend (schwarz gestrichelt) und Angabe einiger relativ extremer Jahre (Datenquelle und Bearbeitung wie *Tab. 3.1.6-1*).

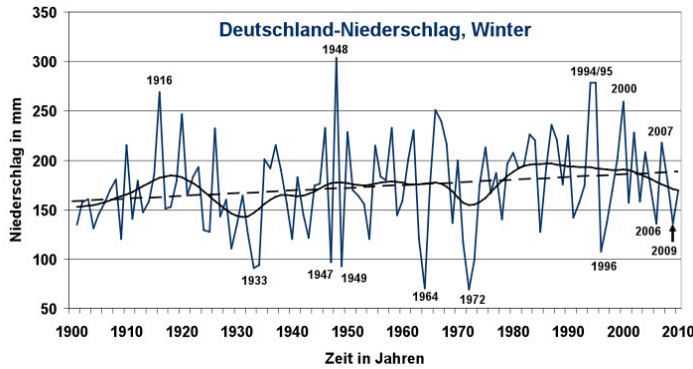
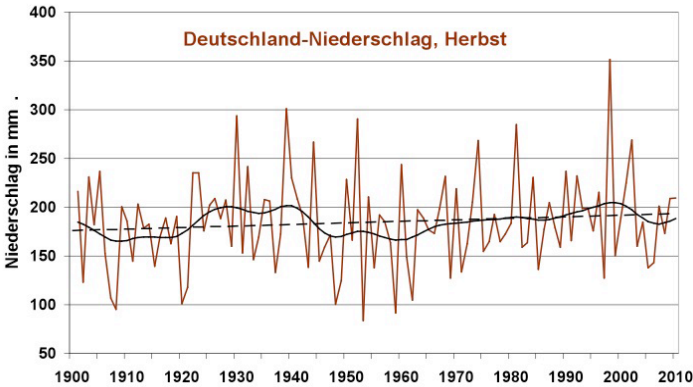
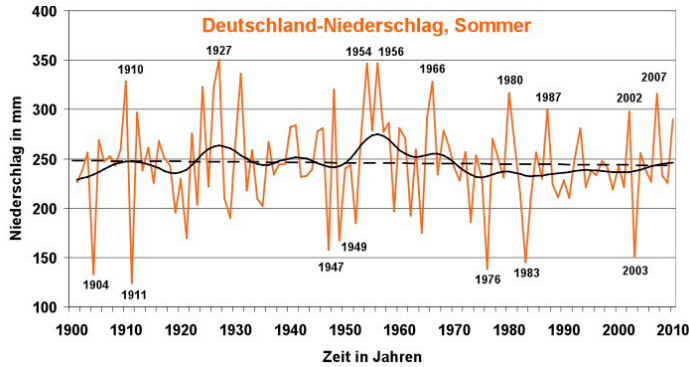
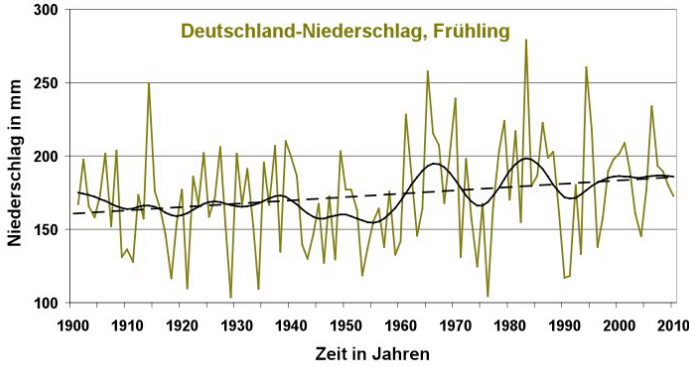


Abb. 3.1.6-1b: Ähnlich Abb. 3.1.6a, jedoch jahreszeitliche Daten (Winter: Dezember des Vorjahres, Januar und Februar; Frühling: März–Mai, usw.).

**Tab. 3.1.6-2:** Lineare Trends der monatlichen, jahreszeitlichen und Jahres-Niederschlagssummen des Flächenmittels Deutschland für die angegebenen Zeitintervalle, jeweils absolut in mm und in Klammern relativ in Prozent; Fettdruck bedeutet, dass die Trendwerte größer als die Standardabweichung sind (somit Trend-/Rausch-Verhältnis > 1; Datenquelle und Bearbeitung wie Tab. 3.1.6-1).

Monat/ Jahreszeit	1901 – 2000	1961 – 1990	1971 – 2000	1981 – 2010
Januar	+ 6,2 (10,5 %)	+ 20,3 (33,3 %)	+4,2 (6,8 %)	- 25,6 (39,6 %)
Februar	+ 8,7 (17,6 %)	+ 6,0 (12,1 %)	+31,0 (64,4 %)	+ 17,4 (32,8 %)
März	+ 16,0 (31,4 %)	+ 16,4 (29,0 %)	+28,2 (47,9 %)	+ 2,0 (3,1 %)
April	- 1,2 (2,2 %)	- 10,7 (18,4 %)	- 0,2 (0,4 %)	- 16,1 (32,0 %)
Mai	+ 7,5 (11,5 %)	- 18,2 (25,5 %)	- 5,0 (7,5 %)	+ 2,3 (3,2 %)
Juni	+ 13,8 (17,5 %)	+ 4,1 (4,8 %)	- 11,8 (14,2 %)	- 26,4 (34,2 %)
Juli	- 8,3 (9,7 %)	- 3,5 (4,5 %)	+ 21,5 (26,7 %)	+ 26,2 (31,3 %)
August	- 12,2 (15,3 %)	- 22,3 (28,8 %)	+ 0,6 (0,9 %)	+ 29,2 (37,9 %)
September	+ 2,7 (4,2 %)	+ 14,7 (24,1 %)	+ 22,4 (34,9 %)	- 0,7 (1,0 %)
Oktober	+ 2,5 (4,2 %)	+ 14,4 (25,8 %)	+ 17,2 (28,0 %)	- 10,9 (17,3 %)
November	+ 11,6 (18,9 %)	- 2,4 (0,4 %)	- 12,6 (19,1 %)	+ 7,4 (11,2 %)
Dezember	+ 18,4 (28,5 %)	+ 14,3 (20,3 %)	+ 19,3 (26,5 %)	- 20,5 (28,5 %)
<b>Frühling</b>	+ 22,4 (13,0 %)	- 12,6 (6,8 %)	+ 23,0 (12,9 %)	- 11,9 (6,4 %)
<b>Sommer</b>	- 6,7 (2,7 %)	- 21,7 (9,1 %)	+ 10,3 (4,4 %)	+ 28,7 (12,1 %)
<b>Herbst</b>	+ 16,7 (9,1 %)	+ 26,7 (14,5 %)	+ 26,9 (14,1 %)	- 6,5 (3,3 %)
<b>Winter</b>	+ 33,1 (19,1 %)	+ 39,2 (21,9 %)	+ 64,4 (35,2%)	+ 29,9 (15,8 %)
<b>Jahr</b>	+ <b>65,7 (8,5 %)</b>	+ <b>33,1 (4,2 %)</b>	+ <b>114,8 (14,6%)</b>	+ <b>44,3 (5,6 %)</b>

ähnlich starken Abnahmen 1961–1990 im August und 1981–2010 im Januar, Juni und Dezember. Die bereits mehrfach erwähnte ausgeprägte interannuelle Variabilität sorgt allerdings dafür, dass nur wenige Trendwerte die Standardabweichung überschreiten (in Tab. 3.1.6-2 durch Fettdruck hervorgehoben), die Trend-Signifikanz daher nur gering ist. (Trend-/Rausch-Verhältnisse von > 1 entsprechen nur rund > 70% Signifikanz). Auf aufwändigere Trendanalysen und Trendtests wurde daher an dieser Stelle verzichtet.

Bei den sommerlichen Trends muss berücksichtigt werden, dass trotz relativ langfristiger Abnahme Starkniederschlag-Episoden auftreten, die natürlich die Trendwerte beeinflussen, ggf. abschwächen oder gar umkehren können. Das ist ein Interpretationsproblem, das hier so gehandhabt wird, dass zwar einerseits alle Niederschlagsdaten, ob extrem oder nicht, in den Zeitreihenanalysen zusammengefasst sind, aber zusätzlich eine gesonderte Extremwertanalyse erfolgt. Zuvor soll allerdings auf die regionalen Trendstrukturen eingegangen werden.

### Analyse der regionalen Trendstrukturen

Die gegenüber der Temperatur wesentlich geringere räumliche Repräsentanz des Niederschlages erfordert, nicht bei der Analyse der Flächenmittelwerte für

Deutschland stehen zu bleiben, sondern auch die (sub-) regionalen Trendstrukturen aufzudecken. Das geschieht dadurch, dass der räumliche Bezug der Niederschlagsdaten (Stationen) durch Interpolation in ein regelmäßiges Gittersystem umgesetzt wird und Isolinien der linearen Niederschlagstrends erzeugt werden. Die dabei angewendete Interpolationsmethode ist das sog. »Ordinary Kriging« (vgl. dazu SCHÖNWIESE & RAPP 1997, RAPP 2000). Die Gitterweite beträgt hier (wie auch schon bei RAPP & SCHÖNWIESE 1996) einheitlich 0,25°, was bei einer geographischen Breite von 50° Nord in meridionaler Richtung (Nord-Süd) ca. 28 km und in zonaler Richtung (West-Ost) ca. 18 km bedeutet.

Die so zustande gekommenen in Abb. 3.1.6-2 dargestellten jahreszeitlichen Trendkarten 1901–2000 (in mm) entpuppen sich nun als so kompliziert, dass es schwer fällt, sie zusammenfassend zu beschreiben. Zunächst sei die Spannweite der Trends angegeben. Sie beträgt jeweils gerundet im Frühling 0 bis +40 mm, im Sommer -60 bis + 40 mm, im Herbst -20 bis +80 mm und im Winter 0 bis 160 mm. Dabei zeigen, grob gesehen, der Winter und quantitativ geringer ausgeprägt auch der Frühling die stärksten Niederschlagszunahmen im Westen und Süden von Deutschland, mit deutlicher Abnahme bis hin zu fast gar keinen Trends in Richtung Osten (neue Bundesländer). Ähnliches gilt für den Herbst, wobei nun allerdings die Maxima der Zunahme im äußersten Nordwesten sowie in der



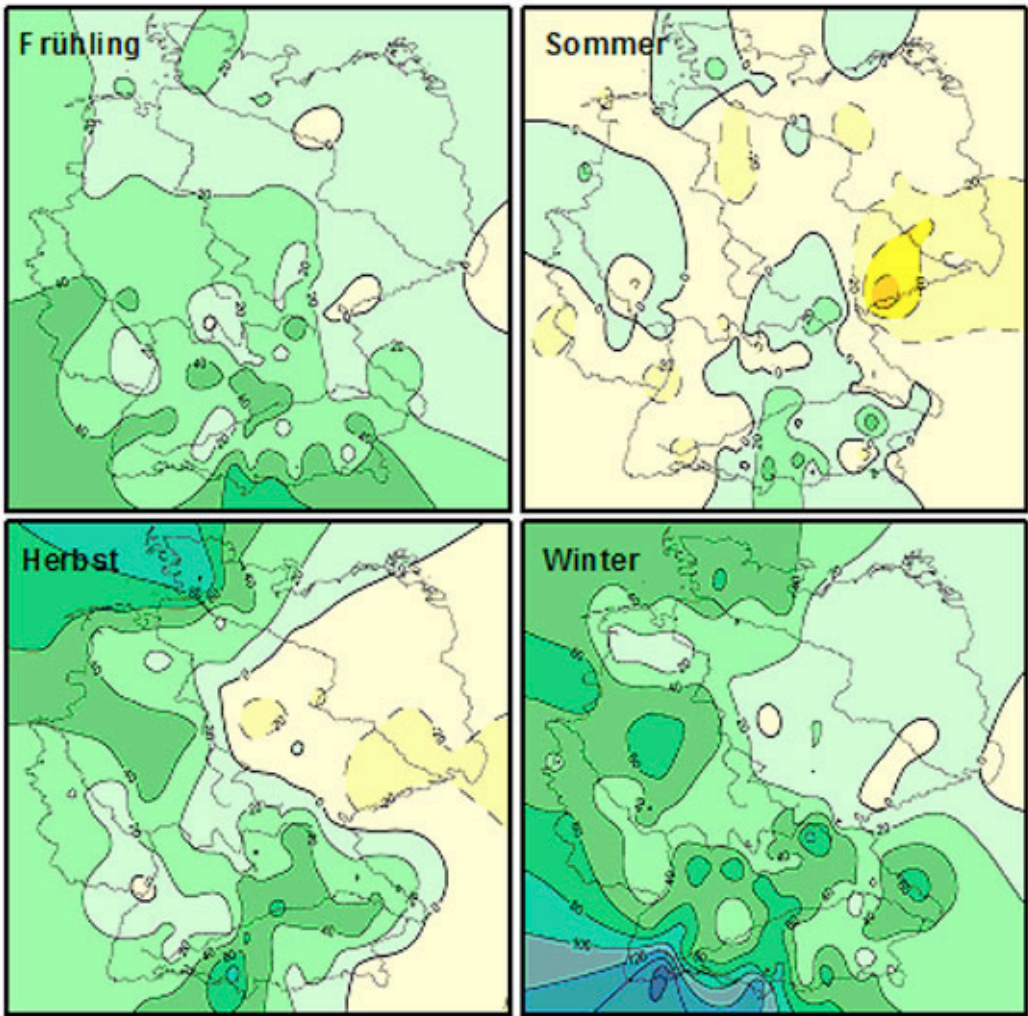


Abb. 3.1.6-2: Lineare Trends 1901–2000 des Niederschlags in Deutschland in mm in den einzelnen Jahreszeiten (Quelle: SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ 2008).

Bodenseeregion auftauchen, im Osten dagegen auch abnehmende Trends. Nur im Sommer überwiegen die Abnahmen mit einem Maximum in Sachsen; Zunahmen treten in bemerkenswertem Ausmaß vor allem in Teilregionen von Bayern auf.

Bei der hier nicht vorgenommenen aber bei SCHÖNWIESE & JANOSCHITZ (2008) ersichtlichen prozentualen Darstellung sind die regionalen Strukturen natürlich entsprechend, aber die Wertebereiche geringer: Frühling 0 bis +30%, Sommer -20 bis +10%, Herbst -10 bis +40% und Winter 0 bis +50%. Die gleiche Quelle stellt auch monatliche Trendkarten bereit und schließt Signifikanzanalysen mit ein, in diesem Fall mit Hilfe des MANN-KENDALL-Trendtests, der auch auf nicht-lineare Trends und insbesondere nicht-normalverteilte Datenkollektive anwendbar ist, wie sie beim Nieder-

schlag praktisch immer vorliegen (Test-Methodik s. SCHÖNWIESE 2006, RAPP 2000 sowie SCHÖNWIESE & RAPP 1997). Wiederum jahreszeitlich gesehen erreichen die winterlichen Trends ab ca. +40 mm immerhin > 95% Signifikanz (< 5% Irrtumswahrscheinlichkeit), so dass für große Teile im Westen und Süden von Deutschland die Ergebnisse statistisch gut gesichert sind. Im Frühling und Herbst ist das nur teilweise der Fall (ebenfalls ab ca. +40 mm) und beschränkt sich somit auf relativ kleine Teilregionen von Deutschland. Im Sommer wird dieses Kriterium nirgendwo erreicht.

### Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Extremwerten

Als einführendes Beispiel in die nun folgenden wahr-

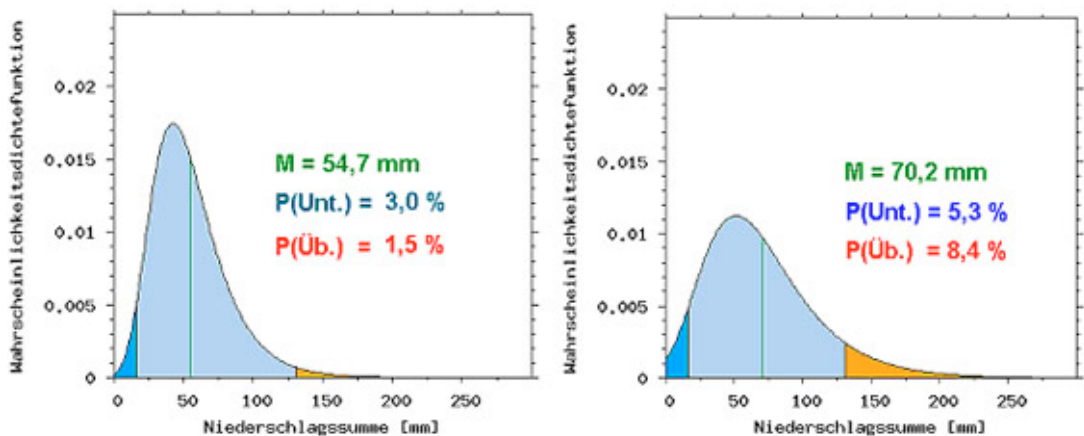
scheinlichkeitstheoretischen Betrachtungen mag der monatliche Niederschlag an der Station Eppenrod (Lahn-Einzugsgebiet, 50,4 °N 8,0 °E) dienen. Für 1901–2000 ist an diese Daten als Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) eine Gumbel-Verteilung angepasst. Anschließend ist berechnet, wie sich der Lage- und der Streuparameter in dieser Zeit verändert haben. Für jedes Jahr erhält man somit bestimmte Werte dieser Parameter, die es erlauben, auch die entsprechende PDF jährlich anzugeben. Weiterhin kann daraus auch auf die zeitliche Veränderung des Erwartungswertes geschlossen werden. Dadurch kommt man zu einer alternativen Methode der Trendschätzung, die im Gegensatz zur üblichen Trendanalyse auf der Basis der Zeitreihenmodellierung die statistischen Eigenschaften des Niederschlags berücksichtigt und sowohl bei den Verteilungsparametern als auch beim Erwartungswert keine lineare Änderung mit der Zeit voraussetzt (TRÖMEL 2005).

In *Abb. 3.1.6-3* ist am Beispiel des Januars für 1901, dem Beginn der betrachteten Zeitspanne (linker Abbildungsteil), und 2000, ihr Ende (rechter Abbildungsteil), die PDF (Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion) angegeben (nach SCHÖNWIESE & TRÖMEL 2006). Man erkennt eine deutliche PDF-Veränderung in dieser Zeit, die übrigens erstaunlich systematisch abläuft. Ausdrücklich sei betont, dass es sich dabei nicht um eine zeitlich gleitende Analyse handelt, sondern bei allen PDF-Berechnungen jeweils alle Daten eingehen, ähnlich wie beim Anfangs- und Endwert einer Trendkurve. Betrachtet man den zugehörigen Erwartungswert  $M$ , so lässt sich sagen, dass in Eppenrod der Januar-Niederschlag von  $M = 54,7$  mm (1901) auf  $M = 70,2$  mm (2000) angestiegen ist. Gleichzeitig hat sich offenbar

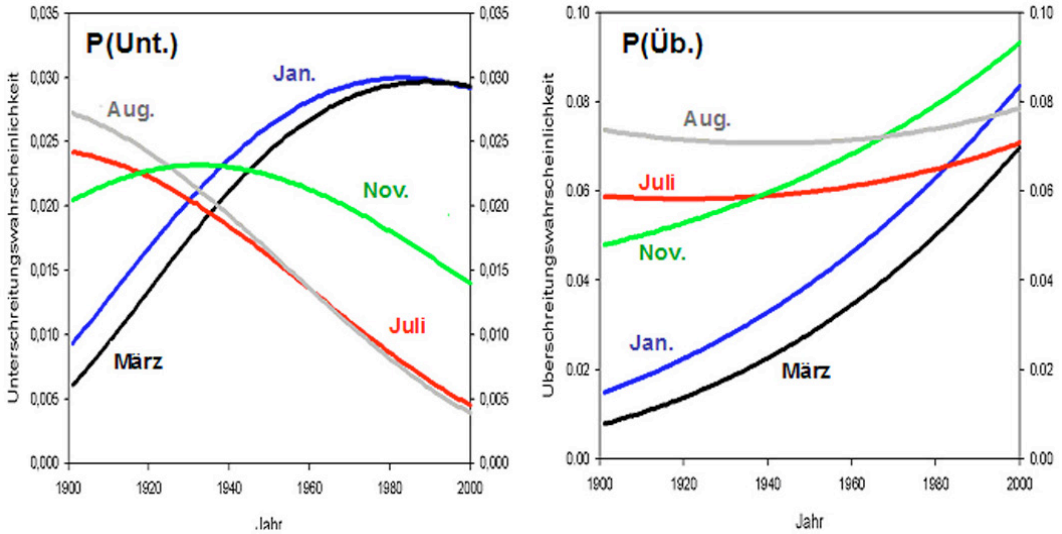
die Streuung erhöht, was an der »Verbreiterung« der PDF zu erkennen ist.

Im nächsten Schritt werden nun, wiederum ausgehend von allen Daten, das untere und obere 5%-Perzentil bestimmt, also die Schranke, unter bzw. über der 5% der Daten liegen. (Das obere 5%-Perzentil wird auch als 95%-Perzentil bezeichnet, weil unterhalb davon 95% der Daten liegen). Das ergibt bestimmte Werte, in diesem Fall 20 mm für das untere und 130 mm für das obere 5%-Perzentil. Schließlich werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Unterschreitung des unteren bzw. oberen 5%-Perzentils errechnet,  $P(\text{Unt.})$  und  $P(\text{Üb.})$ , anschaulich die jeweils dunkelblau bzw. orange markierten Flächen unter den PDF-Kurven in *Abb. 3.1.6-3*. Das Ergebnis lautet, dass  $P(\text{Unt.})$  in der betrachteten Zeit von 3 auf 5,3% angestiegen ist und  $P(\text{Üb.})$  von 1,5 auf 8,4%. Somit haben sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten sowohl für extrem wenig als auch für extrem viel Niederschlag im Januar an der Station Eppenrod erhöht, mit besonders starkem Effekt allerdings bei  $P(\text{Üb.})$ .

Entsprechende Berechnungen lassen sich nun auch für andere Monate durchführen und als Zeitfunktionen von  $P(\text{Unt.})$  und  $P(\text{Üb.})$  angeben. Wiederum für die Station Eppenrod ist das in *Abb. 3.1.6-4* gezeigt. In Übereinstimmung mit *Abb. 3.1.6-3* steigen diese Kurven ( $P(\text{Üb.})$  und  $P(\text{Unt.})$ ) im Januar an und der März verhält sich ähnlich. Aber im Juli und August ist  $P(\text{Üb.})$  fast konstant geblieben, während  $P(\text{Unt.})$  zurückgegangen ist, was einer Verschmälerung der PDF gleichkommt (Rückgang der Streuung). Im November ist  $P(\text{Üb.})$  angestiegen und  $P(\text{Unt.})$  zunächst ebenfalls (leicht) angestiegen, aber dann (deutlich) abgesunken.



**Abb. 3.1.6-3:** Veränderung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF, hier Gumbel-Verteilung) des Monatsniederschlags zwischen 1901, links, und 2000, rechts, im Januar an der Station Eppenrod (Lahn-Region, 50,4°N 8,0°E).  $M$  ist jeweils der Erwartungswert, der als eine Art Trendwert interpretiert werden kann,  $P(\text{Unt.})$  ist die Unterschreitungswahrscheinlichkeit bezüglich des unteren 5%-Perzentils (hier 20 mm) und  $P(\text{Üb.})$  die Überschreitungswahrscheinlichkeit bezüglich des oberen 5%-Perzentils (95%-Perzentils, hier 130 mm); vgl. auch Text. (Quelle: SCHÖNWIESE & TRÖMEL 2006).



**Abb. 3.1.6-4:** Zeitliche Entwicklung 1901–2000 der Unterschreitungswahrscheinlichkeit, *links*, und Überschreitungswahrscheinlichkeit, *rechts*, zu Abb. 3.1.6-3, außer Januar jedoch weitere ausgewählte Monate (Quelle: TRÖMEL 2005, SCHÖN- WIESE & TRÖMEL 2006).

Somit verhält sich offenbar jeder Monat anders. Übrigens lässt sich aus diesen Kurven die in der Hydrologie häufig verwendete Jährlichkeit ablesen, d.h., in welchem Zeitabstand im Mittel(!) entsprechende Werte zu erwarten sind. Beispielsweise ist im Januar die Jährlichkeit von 130 mm und mehr (Überschreitung des oberen 5%-Perzentsils) von rund 50 Jahren ( $1/0,02$ ) auf rund 13 Jahre ( $1/0,08$ ) angestiegen. Detail-Ergebnisse für weitere Stationen und alle Monate sind bei TRÖMEL (2005) zu finden.

Ähnlich der räumlichen Struktur der Mittelwert-trends (Abb. 3.1.6-2) gibt es nun auch räumliche Strukturen der Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit extremer Werte. Zusammen mit den Besonderheiten in den einzelnen Monaten ergibt sich wiederum ein sehr differenziertes Bild. Einige wenige Kartendarstellungen sollen, auch in diesem Fall exemplarisch, auf die Gegebenheiten hinweisen. So zeigt Abb. 3.1.6-5 jeweils rechts Karten der Änderungen der Perzentil-Überschreitungswahrscheinlichkeit im Januar bzw. August. Daraus ist ersichtlich, dass der Befund der Zunahme der Überschreitungswahrscheinlichkeit, wie er auch aus Abb. 3.1.6-4 (rechts) am Beispiel der Station Eppenrod aufgezeigt worden ist, zumindest im Januar für fast alle Stationen in Deutschland gilt. Nur eine Minderheit zeigt keine und eine noch kleinere Minderheit gering abnehmende Trends (jeweils im Osten).

Ähnliches gilt für die gesamte Jahreszeit Winter/Frühling (Monate Dezember, Februar, März und April; TRÖMEL 2005). Erst ab Mai sind in etwa an der Hälfte der erfassten Stationen auch abnehmende Trends er-

sichtlich, vgl. hier gezeigtes Beispiel August in Abb. 3.1.6-5, unten rechts, eine Situation, die ungefähr bis November anhält (TRÖMEL 2005).

Schließlich soll anhand der gleichen Beispiele noch ein Blick auf die Trends der Perzentil-Unterschreitungswahrscheinlichkeit geworfen werden, siehe wiederum Abb. 3.1.6-5, nun jeweils links. Demnach überwiegen im Winter wiederum die zunehmenden Trends, nun jedoch mit einem nicht unerheblichen Teil entgegengesetzter Trends im Westen und insbesondere Süden. In etwa ab Mai gewinnen die negativen Trends mehr und mehr die Oberhand, ein Bild, das bis einschließlich November im Wesentlichen so bleibt (TRÖMEL 2005). Das hier gezeigte Beispiel August (Abb. 3.1.6-5, unten links) zeigt das deutlich. 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 (größere Streuung). Das Gegenteil, Abnahmen beider Wahrscheinlichkeiten, tritt verbreitet im Sommer auf.

### Schlussbetrachtung

Die Veränderungen des Niederschlags im Industriezeitalter (hier letztes Jahrhundert bzw. 1901–2010) 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

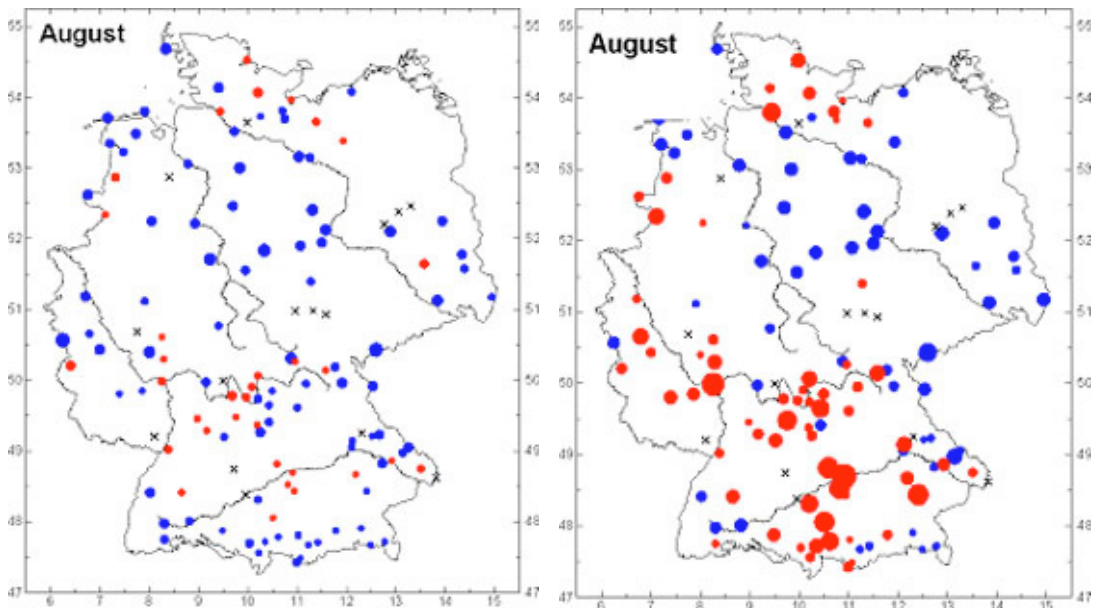
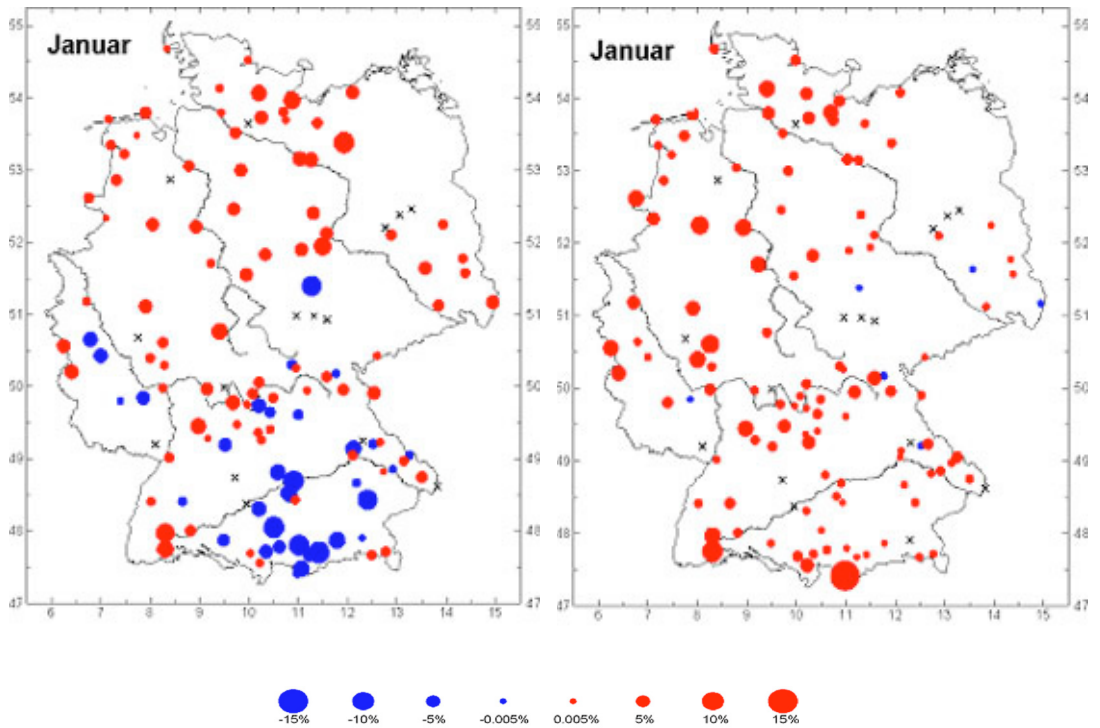


Abb. 3.1.6-5: Zeitliche Änderungen 1901–2000 der Überschreitungswahrscheinlichkeit des 95%-Perzentils, jeweils rechts, und Unterschreitungswahrscheinlichkeit des 5%-Perzentils, jeweils links, im Monat Januar, oben, bzw. August, unten, an 132 Stationen in Deutschland; blaue Kreise bedeuten Abnahme, rote Kreise Zunahme und Kreuze kein signifikanter Trend (Quelle: TRÖMEL 2005, SCHÖNWIESE & TRÖMEL 2006).



widerspiegelt. Im Zeitintervall 1971–2000 hat sich diese Niederschlagszunahme im Winter stark intensiviert, 1981–2010 allerdings wieder abgeschwächt. Im Sommer ist die Niederschlagsabnahme 1961–1990 deutlich stärker als säkular, allerdings 1971–2000 und insbesondere 1981–2010 durch eine markante Niederschlagszunahme abgelöst. Solche Trendumkehrungen zeigt der Frühling in allen 30-jährigen Intervallen, nicht jedoch der Winter, wo es bei mehr oder weniger starkem Niederschlagsanstieg geblieben ist. Mit Ausnahme dieser Jahreszeit weist das jüngste Zeitintervall 1981–2010 gegenüber dem säkularen sehr bemerkenswerte Trendumkehrungen auf. Generell 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. dazu Kap. 3.1.7, wo auch auf Tagesdaten Bezug genommen wird).

Diese Langzeitveränderungen wirken sich auch im Extremverhalten aus. Dabei zeigt sich, dass häufig zunehmende Trends der Mittelwerte mit zunehmender Überschreitungswahrscheinlichkeit extrem hoher Werte Hand in Hand gehen, insbesondere im Winter. Eine Aussage, die sich in allgemeinerer Form auch im IPCC (2007) wiederfinden lässt. Allerdings ist auch eine gleichzeitige Zunahme der Unterschreitungswahrscheinlichkeit möglich, die im Fall einer Verteilungsschiefe im Mittelwert nicht deutlich zum Ausdruck kommt. Im Sommer 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 deutlich unterschiedlicheres Bild als die Überschreitungswahrscheinlichkeiten.

Die Auswirkungen aller dieser Befunde, beispielsweise in der Landwirtschaft oder hinsichtlich der Hochwassergefährdung (vgl. diverse weitere Beiträge in diesem Buch) 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. Dabei muss angesichts der hier gezeigten Ergebnisse auf die große Bedeutung der insbesondere interannuellen Variabilität hingewiesen werden, die sowohl erhebliche Trendvariationen als auch geringe Trendsignifikanzen zur Folge hat. Das wird mit allzu einseitigem Blick auf die Klimatrends nicht immer angemessen berücksichtigt.

## Literatur

DEUTSCHER WETTERDIENST (2011): Klimamonitoring Deutschland. <http://www.dwd.de/> (→ Klima und Umwelt → Klimamonitoring → Deutschland →

Resultate monatlich → Klimakarten Deutschland; es erscheinen Texte, die u.a. den betreffenden Monatswert des Niederschlags für das Flächenmittel Deutschland enthalten; jeweils für einige Jahre der Vergangenheit monatlich abrufbar).

IPCC (SOLOMON, S., et al., eds., 2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Univ. Press, Cambridge. 996 pp.

MÜLLER-WESTERMEIER G. (2002): Klimatrends in Deutschland. Klimastatusbericht 2001, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 114-123.

RAPP J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Bericht Nr. 212, Deutscher Wetterdienst, Offenbach. 145 pp.

RAPP J. & C.-D. SCHÖNWIESE (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. Frankfurter Geowiss. Arb., Band B5, Univ. Frankfurt/M., 2. Aufl. 255 pp.

SCHÖNWIESE C.-D. (2006): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Borntraeger, Berlin & Stuttgart, 4. Aufl. 302 pp.

SCHÖNWIESE C.-D. (2008): Klimatologie. Ulmer (UTB), Stuttgart, 3. Aufl., 472 pp.

SCHÖNWIESE C.-D. (2009): Klimawandel im Industriezeitalter: Fakten und Interpretation der Vergangenheit. Geogr. Rdsch. 61, 4-11.

SCHÖNWIESE C.-D. & R. JANOSCHITZ (2008): Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000. Bericht Nr. 4, Inst. Atmosph. u. Umwelt Univ. Frankfurt/M., 2. Aufl. 64 pp.

SCHÖNWIESE C.-D. & J. RAPP (1997): Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891-1990. Kluwer, Dordrecht. 228 pp.

SCHÖNWIESE C.-D. & S. TRÖMEL (2006): Mehr extreme Niederschläge in Deutschland? Eine innovative statistische Analyse der Eintrittswahrscheinlichkeiten. Naturwiss. Rdsch. 59, 194-199.

TRÖMEL S. (2005): Statistische Modellierung von Klimazeitreihen. Bericht Nr. 2, Inst. Atmosph. u. Umwelt Univ. Frankfurt/M. 238 pp.

TRÖMEL S. & C.-D. SCHÖNWIESE (2008): Robust trend estimation of observed German precipitation. Theor. Appl. Climatol. 93, 107-115.

*Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese  
Goethe-Universität  
Institut für Atmosphäre und Umwelt  
Postfach 11 19 32 - D-60054 Frankfurt a.M.  
schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de*

*Dr. Silke Trömel  
Meteorologisches Institut - Universität Bonn  
Auf dem Hügel 20 - D-53121 Bonn  
silke.troemel@uni-bonn.de*