



© eyewave – iStockphoto

3.1.7 Veränderung der Starkniederschläge in Deutschland (Tageswerte der Niederschlagshöhe im 20. Jahrhundert)

GABRIELE MALITZ, CHRISTOPH BECK & JÜRGEN GRIESER

Change of heavy precipitation in Germany: Both, moving classical extreme-value analysis as well as direct investigation of observed daily extreme precipitation at German stations are used in order to investigate systematic temporal changes in frequency and intensity of extreme precipitation within the 20th century. The different methods, applied to return periods between a) 1 and 100 years and b) 100 days lead to similar results. The number of extreme precipitation days (return period 100 days) has increased and so has the precipitation sum for return periods of 1 year and more. However, the results strongly depend on the region and season and are most pronounced for the far north of Germany and northern Baden-Württemberg as well as the winter season, where lightly progressive trends have been detected.

Die Bedeutung von Starkniederschlagsereignissen für Natur und Gesellschaft wurde eindrücklich im Sommer 2002 dokumentiert, als ungewöhnlich hohe Niederschlagssummen im Einzugsbereich der Elbe zu katastrophalen Hochwassern führten. Die wohl jedem noch präsenten Bilder aus den Überflutungsgebieten verdeutlichen, dass der Analyse der zeitlichen und räumlichen Verteilungscharakteristika von Starkniederschlägen und deren langzeitlicher Variabilität nicht nur große Bedeutung innerhalb der Erforschung der Veränderungen des Wasserkreislaufs zukommt, sie schafft auch wesentliche Grundlagen für die Konzeption wasserwirtschaftlicher Maßnahmen, wie etwa den Hochwasserschutz.

Aus klimatologischer Sicht ist unter einem Starkniederschlagsereignis ein definierter Niederschlagsabschnitt zu verstehen, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweist und dementsprechend relativ selten auftritt. Im Folgenden werden zum einen für wasserwirtschaftliche Planungen und Entscheidungen besonders relevante Starkniederschlagsereignisse einer Dauerstufe von 24 Stunden mit einer Wiederkehrzeit (Jährlichkeit) von 100 Jahren bezüglich ihrer zeitlichen Veränderungen im 20. Jahrhundert untersucht. Auf Jahresbasis erfolgt hierbei sowohl die extrem-

wertstatistische Analyse 100-jähriger Stationszeitreihen als auch die – durch eine höhere Stationsdichte ermöglichte – Regionalisierung entsprechender Analysen für den Zeitraum 1951–2000. Zum anderen werden ergänzend Untersuchungen zur langzeitlichen Variabilität von Niederschlagsereignissen mit einer Wiederkehrzeit von 100 Tagen vorgestellt, die auf der Grundlage von Einzelstationen in jahreszeitlicher Differenzierung für den Zeitraum 1901–2000 durchgeführt wurden.

Zeitlich gleitende Extremwertstatistik von Starkniederschlagstagen

Im Deutschen Wetterdienst wurden extremwertstatistische Untersuchungen (z.B. Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen unter dem Akronym KOSTRA) mit praxisrelevanten Zielsetzungen für variierende Basiszeiträume vorgenommen. Diese Arbeiten und daraus resultierende Ergebnisse sind im KOSTRA-Atlas (Basiszeitraum 1951–1980; BARTELS et al. 1997), im Hydrologischen Atlas Deutschlands (=HAD) (Basiszeitraum 1961–1990; HAD 2000–2005), in weiteren Beiträgen (z.B. Basiszeitraum 1901–2000; MALITZ & ERTEL 2002) sowie im Rahmen der Fortschreibung als KOSTRA-DWD-2000 (Basis-

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

zeitraum 1951–2000; MALITZ 2005) dokumentiert.

Die genannten Arbeiten dienen in erster Linie als Planungsgrundlage und Entscheidungshilfe, z.B. bei der Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen. Daneben eröffnen sie aufgrund der Verwendung verschiedener, unterschiedlich langer Basiszeiträume aber auch die Möglichkeit, langzeitliche Veränderungen des Starkniederschlagsverhaltens in Deutschland zu analysieren. Im Rahmen solcher extremwertstatistischen Auswertungen finden die stationsbezogen jeweils größten Tagessummen des Niederschlags pro Jahr – die jährliche Serie – Verwendung. Mittels der Anpassung einer Gumbel-Verteilung an die jährliche Serie (was nach einigen Transformationen mit Hilfe einer linearen Regression geschieht, s. *Abb. 3.1.7-1*) ist es möglich, für jede zulässige Wiederkehrzeit einen Schätzwert der zugehörigen Starkniederschlagshöhe (höchste Tagessumme pro Jahr) zu ermitteln. Bei Zugrundelegung verschiedener Basiszeiträume fallen die Resultate dieser Anpassungen aufgrund der ausgeprägten Variabilität des Niederschlags erwartungsgemäß unterschiedlich aus. *Abb. 3.1.7-1* verdeutlicht am Beispiel der Station Lauenstein im Erzgebirge außerdem, wie ein extremer Starkniederschlag (12.08.2002, Dauerstufe 24 Stunden) die Analyseergebnisse beeinflusst.

Die langzeitlichen Veränderungen bezüglich der Starkniederschlagshöhen für verschiedene Wiederkehrzeiten können auf der Grundlage langer Stationsreihen mittels zeitlich gleitender 30-jähriger Analysen untersucht werden. Beispielhaft für die Station Kempten im Allgäu zeigt *Abb. 3.1.7-2* die wie oben beschrieben ermittelten 24-stündigen Starkniederschlagshöhen für Wiederkehrzeiten von einem und 100 Jahren. Hierbei erfolgte die Anpassung zum einen für den Gesamtzeitraum 1901–2000 und zum anderen für alle 30-jährigen Subintervalle des 20. Jahrhunderts. Neben zufälligen Schwankungen zeigen die dargestellten Zeitreihen auch deutliche langzeitliche Trends. So sind für Starkniederschläge mit einer Wiederkehrzeit von einem Jahr für die letzten etwa 20 30-jährigen Basiszeiträume (also etwa für den Zeitraum ab 1951) durchweg Niederschlagshöhen zu verzeichnen, die über dem aus der Anpassung an das gesamte vergangene Jahrhundert resultierenden Wert liegen. Noch ausgeprägter und bereits ab 1941 ist ebenfalls ein höheres Niveau der Starkniederschlagshöhen für Wiederkehrzeiten von 100 Jahren festzustellen. Diese Ergebnisse sind deutliche Indizien für eine Zunahme der täglichen Starkniederschlagssumme an der Station Kempten im Verlauf des 20. Jahrhunderts. Die KOSTRA-Werte und die einschlägigen Werte im HAD spiegeln diese vergleichsweise großen Starkniederschlagshöhen bereits wider.

Der KOSTRA-Atlas und die Starkniederschlags-

karten im HAD gehen über die bloße Auflistung stationsbezogener Ergebnisse weit hinaus. Durch die Entwicklung und Anwendung spezieller Regionalisierungsmethoden gelang die Übertragung der punktuell ermittelten Ergebnisse auf Standorte, für die keine Messwerte vorliegen. Im Rahmen der Untersuchungen der KOSTRA-Fortschreibung wurden die Ergebnisse für die Basiszeiträume 1951–1980 und 1951–2000 miteinander verglichen. Die dabei gefundenen Unterschiede sind in der Karte in *Abb. 3.1.7-3* dargestellt. Sie zeigt, in welchen Regionen Deutschlands die Starkniederschlagshöhen einer Dauer von 24 Stunden zugenommen haben. Es handelt sich vor allem um den Nordwesten Deutschlands und den Norden Baden-Württembergs.

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Starkniederschläge, die in den Monaten Januar bis Dezember auftreten. Separate Untersuchungen sowohl für die sommerliche als auch für die winterliche Jahreshälfte ergaben ein differenzierteres Bild: Winterliche Starkniederschläge nehmen in einigen Regionen Deutschlands zu. Sommerliche Starkniederschläge nehmen tendenziell nicht ab. In Jahren mit trockenem Sommer oder dort, wo sich Trends zu mehr Trockenheit im Sommer abzeichnen (s. Kap 3.1.6), können episodisch gravierende Starkniederschläge auftreten.

Direkte zeitliche Analyse von Starkniederschlagstagen

Aus hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht bedeutsam sind nicht nur die bisher analysierten seltenen Starkniederschlagsereignisse mit Wiederkehrzeiten von einem bis 100 Jahren, sondern auch Starkniederschläge mit kürzeren Wiederkehrzeiten von beispielsweise 100 Tagen, die im Folgenden hinsichtlich ihrer langzeitlichen Variabilität untersucht werden. Dies umfasst die Detektion und statistische Signifikanzprüfung von Änderungen sowohl der Häufigkeit als auch der Intensität solcher Ereignisse in Deutschland im Verlauf des 20. Jahrhunderts.

Die Datenbasis der am Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie des Deutschen Wetterdienstes durchgeführten Untersuchungen (BECK & GRIESER 2003; GRIESER & BECK 2003) bilden 83 Stationen des Deutschen Wetterdienstes, für die tägliche Niederschlagssummen für den Zeitraum 1901 bis 2000 verfügbar sind, wobei Schwerpunkte der räumlichen Stationsverteilung in Nordwest- und vor allem Süddeutschland liegen, während große Bereiche Mittel- und Ostdeutschlands durch nur sehr wenige Stationen repräsentiert sind.

Auf der Grundlage der Definition eines Starknie-

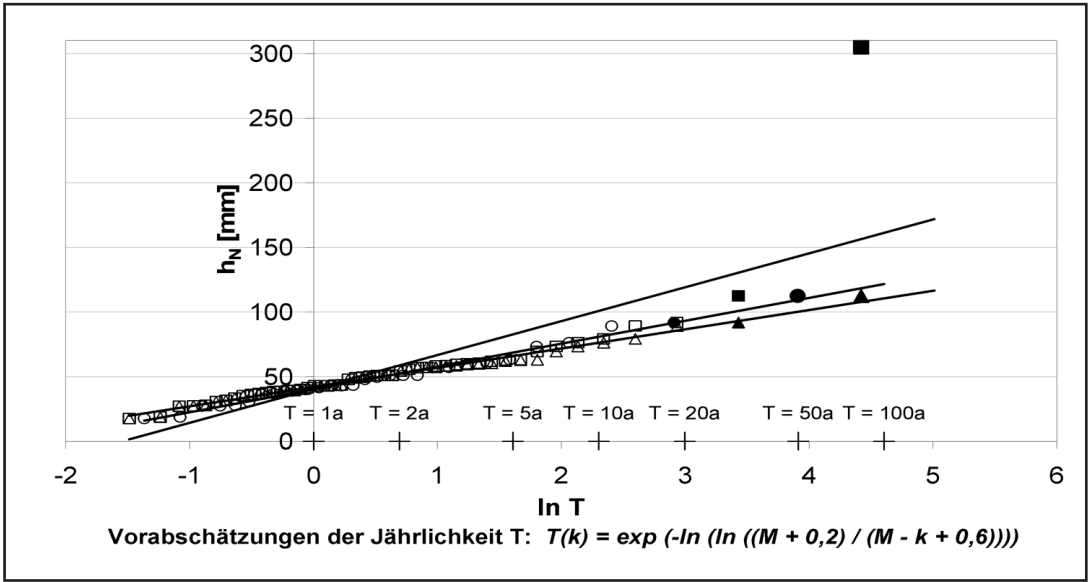


Abb. 3.1.7-1: Grafische Ermittlung des Lage- und Streuparameters einer Gumbel-Verteilung auf der Basis der jährlichen Serie für Niederschlagshöhen h_N einer Dauer von 24 Stunden am Beispiel der Station Lauenstein im Erzgebirge für 1953 bis 2002 ($M = 50$ Jahre, Quadrate), 1951 bis 2000 ($M = 50$ Jahre, Dreiecke), 1951 bis 1980 ($M = 30$ Jahre, Kreise) Nach dem Eintragen (»plotting positions«) der ihrer Größe nach geordneten Serienwerte in das Koordinatensystem (mit dem natürlichen Logarithmus der Vorabschätzungen der Jährlichkeit T auf der Abzisse) wird die Verteilungsfunktion durch eine Regressionsgerade dargestellt. Dabei erhält der größte Wert (mit dem Laufindex $k = 1$) die Position rechts außen. Der Parameter u ergibt sich hier als der Ordinatenabschnitt für $\ln T = 0$, der Parameter w bedeutet die Steigung der Ausgleichsgeraden ($h_N = u + w \cdot \ln T$). Die obere Gerade bezieht sich auf den Zeitraum 1953 bis 2002, der eine herausragende Niederschlagshöhe von mehr als 300 mm pro Tag enthält, und weist daher einen steileren Anstieg auf.

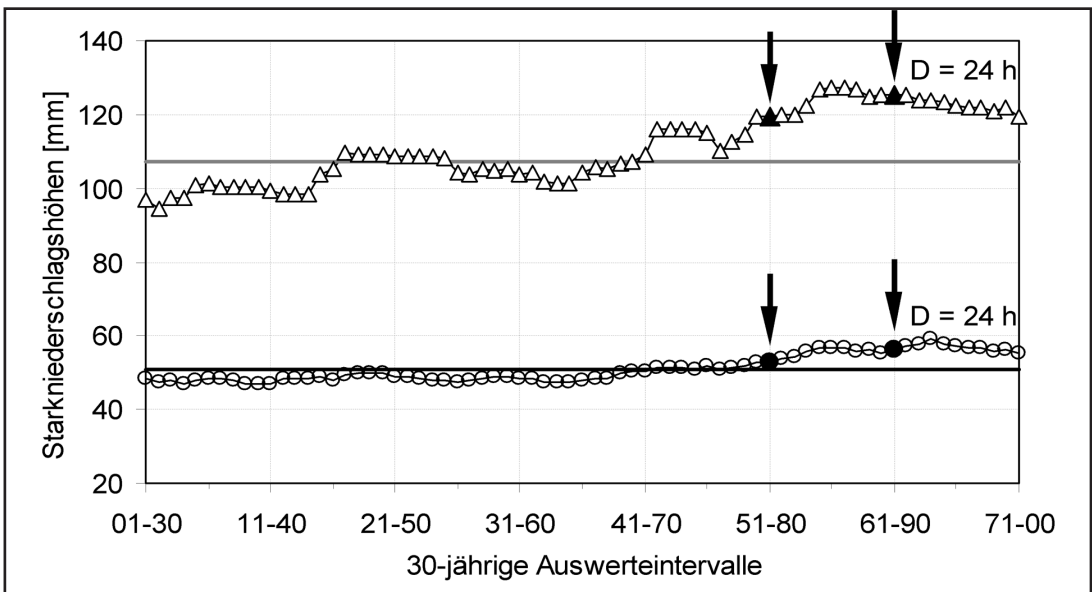


Abb. 3.1.7-2: 30-jährig gleitende Auswertungen der Station Kempton (Wst) für Starkniederschlagshöhen einer Dauer (D) von 24 Stunden bei Wiederkehrzeiten von $T = 1$ a und $T = 100$ a im Zeitraum 1901 bis 2000. Die Pfeile kennzeichnen die beiden speziellen Zeiträume 1951 bis 1980 und 1961 bis 1990.

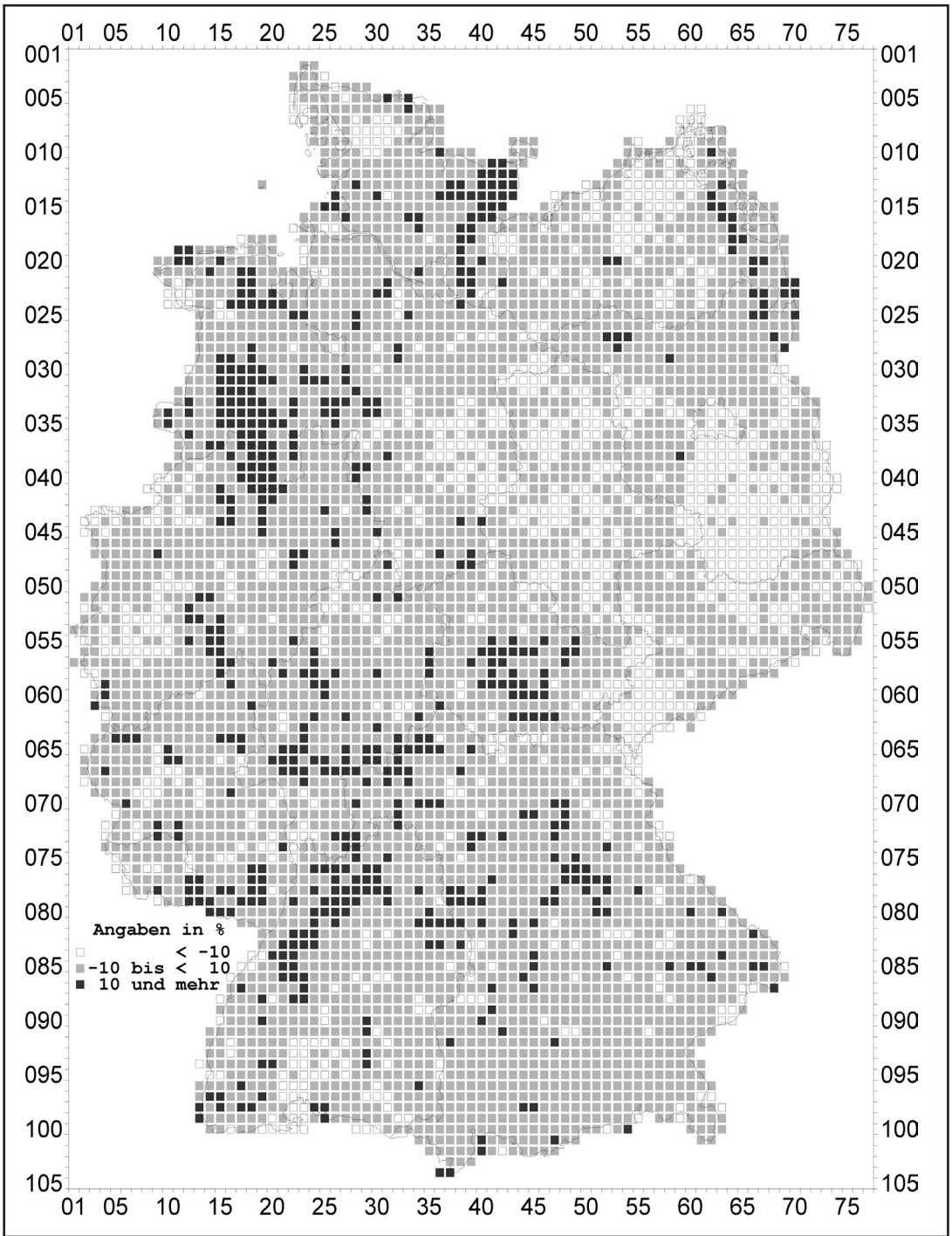


Abb. 3.1.7-3: Prozentuale Abweichungen der für den Zeitraum 1951–2000 extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen von den KOSTRA-Starkniederschlagshöhen für den Zeitraum 1951–1980 (Dauerstufe 24 Stunden).

Tab. 3.1.7-1: Anzahl der positiven und negativen, signifikanten (Signifikanzniveau 90%) und nicht signifikanten Trends der Anzahl der Starkniederschlagstage und der Starkniederschlagsintensität (mittlere Niederschlagssumme an Starkniederschlagstagen) an 83 deutschen Stationen für den Zeitraum von 1901 bis 2000. Signifikante Häufungen (Signifikanzniveau 90%) signifikanter Trends sind **fett** gedruckt.

Variable	negativ		positiv	
	signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	signifikant
Jahr				
Starkniederschlagstage	1	12	38	32
Starkniederschlagsintensität	1	23	48	11
Sommer				
Starkniederschlagstage	2	23	42	16
Starkniederschlagsintensität	5	32	41	5
Winter				
Starkniederschlagstage	0	5	30	48
Starkniederschlagsintensität	2	29	41	11

erschlagsereignisses als ein Tag mit einer Niederschlagssumme, die nur einmal in 100 Tagen – und damit innerhalb jeder der 83 100-jährigen Zeitreihen täglicher Niederschlagssummen 365-mal – auftritt, werden zunächst für jede Station jährliche Zeitreihen der Starkniederschlagshäufigkeit (Anzahl der Starkniederschlagstage) und der Starkniederschlagsintensität (mittlere Niederschlagssumme an Starkniederschlagstagen) ermittelt. Um den saisonalen Unterschieden im Niederschlagsverhalten, sowohl bezüglich des Jahresgangs als auch hinsichtlich langzeitlicher Variabilität (s. hierzu Kap. 3.1.6), gerecht zu werden, erfolgt die Bestimmung der Schwellenwerte für die Ermittlung von Starkniederschlagstagen sowie die Durchführung aller weiterführenden Analysen zum einen für das Gesamtjahr und zum anderen getrennt für die beiden hydrologischen Halbjahre (Winterhalbjahr von November bis April, Sommerhalbjahr von Mai bis Oktober).

Zum Nachweis möglicher langzeitlicher Veränderungen des Starkniederschlagsverhaltens werden zunächst mit Hilfe des Mann-Kendall-Tests alle Stationszeitreihen hinsichtlich Vorzeichen und Signifikanz von Trends analysiert. Aus der Darstellung der Ergebnisse für Starkniederschlagshäufigkeit und –intensität in *Tab. 3.1.7-1* ist ersichtlich, dass nicht nur für beide Variablen und für alle jahreszeitlichen Zusammenfassungen an einer überwiegenden Anzahl von Stationen positive Trends entdeckt wurden, sondern auch – mit Ausnahme der Starkniederschlagsintensität im Sommerhalbjahr – durchweg eine signifikante Häufung von Stationen mit positivem Trend zu konstatieren ist.

In einem weiteren Untersuchungsschritt wird die Größenordnung der festgestellten langzeitlichen Veränderungen quantifiziert. Hierzu erfolgt die Berechnung der relativen Differenzen zwischen den stationsspezi-

fischen Mittelwerten der beiden untersuchten Variablen in den Teilzeiträumen 1901–1950 und 1951–2000.

Als wesentliches Ergebnis kann festgehalten werden, dass – im Mittel über alle Stationen – die Anzahl der Starkniederschlagstage von erster zu zweiter Hälfte des vergangenen Jahrhunderts im Sommer um 13%, im Winter um 49% und auf das Gesamtjahr bezogen um 22% zugenommen hat. Bezüglich der Starkniederschlagsintensität zeigt sich dagegen, sowohl in den beiden Halbjahren als auch bei gesamtjähriger Zusammenfassung, eine nur schwach ausgeprägte Zunahme von etwa 1%.

Schlussbetrachtung

Die Untersuchung von Starkniederschlagstagen mit unterschiedlichen Wiederkehrzeiten zwischen 100 Tagen und 100 Jahren mittels sehr unterschiedlicher Analysemethoden (zeitlich gleitende klassische Extremwertstatistik; direkte Trenduntersuchungen) ergibt ein weitgehend einheitliches Bild der langzeitlichen Variabilität von Starkniederschlagsereignissen in Deutschland im 20. Jahrhundert: eine generelle Zunahme von Starkniederschlägen bei jedoch deutlich ausgeprägter regionaler und jahreszeitlicher Differenzierung. Die stärksten Veränderungen ergeben sich für den Nordwesten Deutschlands und für den Norden Baden-Württembergs sowie für das Winterhalbjahr.

Die Untersuchungen der Starkniederschlagstage mit hunderttägiger Wiederkehrzeit zeigen außerdem, dass weniger die Intensität der Niederschläge einzelner Starkniederschlagstage zugenommen hat als vielmehr die Anzahl der Starkniederschlagstage. Insgesamt ergibt sich hieraus eine deutliche Steigerung des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlagsauf-

kommen.

Ergänzend sei erwähnt, dass zahlreiche der gefundenen Trends (insbesondere im Winter) einen progressiven Charakter aufweisen (hier nicht dargestellt), d.h. sich im Laufe des letzten Jahrhunderts zunehmend verstärkt haben.

Literatur

- BARTELS H., G. MALITZ, S. ASMUS, F. M. ALBRECHT, B. DIETZER, T. GÜNTHER & H. ERTEL (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA-Atlas). Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 82 pp.
- BECK C. & J. GRIESER (2003): Extremniederschläge in Deutschland seit 1900. *Terra Nostra*, 2003/6, 35-39.
- GRIESER J. & C. BECK (2003): Extremniederschläge in Deutschland – Zufall oder Zeichen? Klimastatusbericht 2002, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 142-151.
- HAD (2000/05): Hydrologischer Atlas von Deutschland,

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Atlastafel 2.8 Starkniederschlagshöhen, Offenbach und Berlin (weitere Seiten in Bearbeitung).

MALITZ G. & H. ERTEL (2002): Extremwertstatistische Auswertungen von Tageswerten der Niederschlagshöhe. Klimastatusbericht 2001, Deutscher Wetterdienst, Offenbach. 94-99.

MALITZ G. (2005): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA-DWD-2000). Grundlagenbericht, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 32 pp. www.dwd.de/kostra.

*Dr. Gabriele Malitz
Deutscher Wetterdienst
Abteilung Hydrometeorologie
Lindenberger Weg 24 - 13125 Berlin-Buch
gabriele.malitz@dwd.de*