

Langzeitverhalten von Starkniederschlägen in Süddeutschland

L. Zimmermann, H. Bartels, B. Dietzer, F.M. Albrecht

Einleitung

Um die großräumigen Aussagen der Klimamodellierungen durch regionale Untersuchungen zu ergänzen und zu differenzieren, bearbeitet der Deutsche Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie gemeinsam mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft und der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg das längerfristig angelegte Kooperationsvorhaben KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“). Eine Teiluntersuchung beschäftigt sich dabei mit dem Langzeitverhalten von extremen Niederschlagsereignissen, den sog. Starkniederschlägen. Diese lösen zum einen als Einzelereignisse oft Hochwasser aus. Extremwertstatistische Auswertungen von Starkniederschlägen stellen zum anderen ferner eine wichtige Bemessungsgrundlage für wasserwirtschaftliche Anlagen (Regenrückhaltebecken, Talsperren, Kanalisation), aber auch für landwirtschaftliche sowie verkehrswirtschaftliche Planungen (Erosion, Drainagen etc.) dar (Bartels et al. 1997).

Mit Starkniederschlag wird ein Niederschlag bezeichnet, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und damit selten auftritt, z.B. im Mittel höchstens zweimal jährlich (DIN 4049, 1994). Damit sind Starkniederschlagshöhen an den einzelnen Niederschlagsstationen über die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens definiert. In der hier vorgelegten Untersuchung werden die jeweiligen Höchstwerte einer Zeitspanne (Jahr, Sommer- und Wintermonate) verwendet. Als Wertebasis erhält man Jahresreihen der Starkniederschlagshöhen, bezogen auf die jeweilige Zeitspanne, die räumlich und zeitlich eine große Variationsbreite aufweisen.

Ein absoluter Spitzenwert in Deutschland seit Beginn der Messungen war der Starkniederschlag von 312 mm/d in Zinnwald-Georgenfeld (Osterzgebirge) am 12.8.2002 (Rudolf u. Rapp (2003)). Die hydrologische Bedeutung der Starkniederschläge leitet sich neben ihrer Intensität (Niederschlagshöhe pro Zeiteinheit) von ihrer räumlichen Ausdehnung ab. So wurde das katastrophale Hochwasser im August 2002 in Sachsen besonders durch die großräumige Verteilung und Ortstreue des Niederschlagsfeldes (11.-14.8.2002: Zinnwald 406 mm/3d) aufgrund von Stau- und Hebungsvorgängen am Erzgebirge verursacht. Die zugehörigen theoretisch größten Niederschlagshöhen, die innerhalb der o.a. Zeitspannen in diesem Gebiet und dieser Jahreszeit physikalisch (durch Maximierung des atmosphärischen Wassergehalts) möglich sind, erreichen rund 350 mm/d bzw. 500 mm/3d (DWD-HM, 1997).

Mit den großen Hochwassern der jüngsten Vergangenheit wurde wieder verstärkt die Frage aufgeworfen, inwieweit sich die Klimaerwärmung schon in einer Zunahme von Starkniederschlägen auswirkt. Hierzu liegen eine Reihe von einzelnen Stationsauswertungen vor, z.B. Günther & Stalman (2002), Malitz & Ertel (2002), Blümel et al. (2001) sowie auch die sehr lange Messreihe (1879–2001) des DWD-Observatoriums Hohenpeißenberg im Voralpenraum. Letztere liefert für Niederschlagstage >30 mm/d eine mittlere Zunahme von 2,8 auf 5,2 Tagen in diesem Zeitraum (Fricke & Kronier

(2001), Süddeutsche Zeitung vom 12.8.2002, Spiegel vom 13.8.2002). Aussagen für einzelne Stationen sind aber räumlich nur eingeschränkt aussagekräftig (in der Regel ca. 25 km² um die Messstation), da insbesondere der Niederschlag eine hohe räumliche Variabilität aufweist. Trends von Einzelstationen können zudem durch Inhomogenitäten - verursacht durch Veränderungen in der Umgebung des Messortes - entstehen. Für den Süden Deutschlands zeigte eine räumlich differenzierte Untersuchung (Rapp & Schönwiese 1995, Sanchez Penzo et al. 1998) eine signifikante Zunahme der Niederschlagshöhen (1891-1990) des hydrologischen Winterhalbjahrs November-April von rd. 10-30% im Gegensatz zum Sommerhalbjahr, die sich entsprechend auch bei einer Jahresbetrachtung bemerkbar machte. Bei einer Zunahme des Jahresniederschlags sind laut IPCC (2001) entsprechende Zunahmen auch in den Starkniederschlägen wahrscheinlich.

Eine deutschlandweite Analyse von Starkniederschlägen (11 Stationen 1901-2000, 54 Stationen 1941-2000) zeigte eine Zunahme der Starkniederschlagstage, wobei im Winter höhere Trendzuwächse auftraten als im Sommer und auch die Signifikanz höher war als für das Jahr oder den Sommer (Grieser & Beck 2003). Diese Zunahme in den Starkniederschlagstagen ist begleitet von einer Zunahme der Starkniederschlagshöhe, so dass auch die Starkniederschlagsintensität für alle untersuchten Zeiträume und Jahreszeiten zunimmt. Auch hier zeigt sich im Winter eine stärkere Zunahme als im Sommer.

In Sachsen ergab sich dagegen für die Häufigkeit von Starkregen (≥ 10 mm), bezogen auf die Zeitreihe 1951-2000, im landesweiten Mittel wenig Änderung, wobei allerdings als regionalem Schwerpunkt im Erzgebirge eine signifikante Zunahme der Häufigkeiten im Frühjahr und Sommer festzustellen war. Dieser positive Trend hat sich in den letzten 30 Jahren in Südsachsen verstärkt und gleichzeitig auch auf die Tieflandsbereiche ausgedehnt. Hier zeigte sich allerdings im Sommer kein Trend bei den jährlichen Niederschlagswerten, während im Winter generell ein positiver Trend bis +20% vorhanden ist (CLISAX 2001). Diese Untersuchung zeigt die Bedeutung regionalspezifischer Trends von hydrometeorologischen Größen, da diese sich von landesweiten Trends unterscheiden können. In eine ähnliche Richtung weist die Untersuchung der Abhängigkeit von Starkniederschlägen (≥ 30 mm) von der Auftretenshäufigkeit von Großwetterlagen in Baden-Württemberg, die ebenfalls regionale Schwerpunkte aufweist (Steinbrich & Uhlenbrook 2003).

Im Rahmen des Untersuchungsprogramms KLIWA wurde im DWD deshalb eine zeireihenstatistische Auswertung der Starkniederschläge mit halbjährlichen und jährlichen Höchstwerten der Dauer von 1 bis 10 Tagen einer großen Anzahl von langen (1931-1998/99) bzw. sehr langer Niederschlagsmessreihen (1901-1998/99) aller verfügbaren Stationen in Bayern und Baden-Württemberg vorgenommen, die in dieser zeitlichen und räumlichen Auflösung in Deutschland bisher einmalig ist. Für die Ergebnisse, die auf dem bestmöglichen geprüften und ergänzten Datenmaterial beruhen, kann somit auch eine räumliche Repräsentanz unterstellt werden.

Datengrundlage

Für die Untersuchung der Niederschlagshöchstwerte wurden 310 DWD-Niederschlagsstationen in Bayern sowie 96 Stationen in Baden-Württemberg mit einer Zeitreihenlänge von 1931-1998/99 („lange Zeitreihen“) herangezogen. Davon sind 56 Zeitreihen aus Bayern sowie 19 Zeitreihen in Baden-Württemberg, die teils bereits 1879 beginnen, aber immer auch den Zeitraum der Jahre 1901-1998/99 abdecken („sehr lange Zeitreihen“) gesondert betrachtet, um eine höhere Aussagekraft hinsichtlich der zeitlichen Abläufe klimatologischer Prozesse durch die unterschiedlichen Wetterlageneinflüsse zu haben.

Der eingangs erläuterten Definition von (selten auftretenden) Starkniederschlagsereignissen folgend, werden zunächst die jährlichen Höchstwerte verschiedener Dauerstufen sowie der Andauer von extremen Nass- und Trockenperioden als Basisdatenmaterial zugrundegelegt. Daneben werden auch die Höchstwerte der Sommermonate Mai-September und die der Wintermonate Oktober-April aus den Zeitreihen gebildet, um eine saisonale Differenzierung zu ermöglichen. Beispielhaft für die verwendete Datenbasis sind die halbjährlichen Höchstwerte der Dauerstufe $D=24$ h der Zeitreihe 1879 bis 1999 für die Station Hohenpeißenberg dargestellt (Abb. 1).

Die Niederschlagsstationen der Zeitreihe 1931-1998/99 decken in ihrer räumlichen Verteilung Bayern und Baden-Württemberg relativ gut ab (Abb. 7a-d). Die sehr langen Zeitreihen (1901-1998/99) sind dagegen etwas ungleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt und können daher nur für einzelne Landesteile als repräsentativ betrachtet werden (Abb. 9). Die betrachteten Stationen repräsentieren in ihrer Höhenverteilung überwiegend die Höhenklassen zwischen 500 bis 1000 m ü. NN. Soweit die Zeitreihenkollektive (1931-1998/99, 1901-1998/99) zeitliche Datenlücken aufwiesen, sind diese sachgerecht entweder durch regionalisierte Niederschlagsverteilungen der Tageswerte (nach 1931) oder durch den Mittelwert aller Höchstwerte (vor 1931) geschlossen worden.

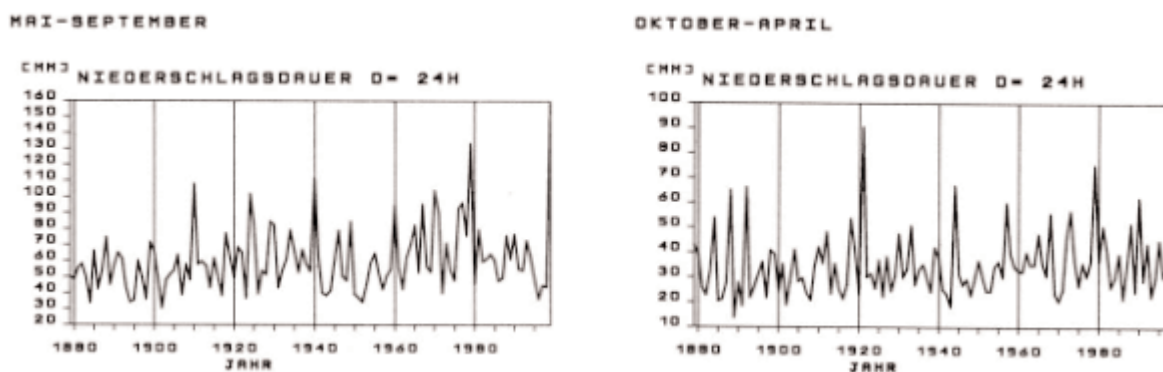


Abb. 1 Jährliche Niederschlagshöchstwerte der Sommer- (Mai-Sept.) und der Wintermonate (Okt.-Apr.) der Dauer $D=24$ h für die Periode 1879-1999, DWD-Station Hohenpeißenberg.

Trendverhalten der Starkniederschlagshöhen

Methodisches Vorgehen

Die nachfolgend beschriebenen statistischen Untersuchungen konzentrieren sich darauf, lineare Trends sowie deren Signifikanz in den Zeitreihen der Höchstwerte von Starkniederschlägen zu ermitteln, bezogen zum einen auf das gesamte Jahr, zum anderen bezogen auf die Sommer- (Mai-September) sowie die Wintermonate (Oktober-April). Da der jährliche Trend die saisonalen Trends verwischt, werden im weiteren die Sommer- und Wintermonate getrennt beleuchtet. Als Niederschlagsdauerstufen wurden $D = 24\text{h}$, 72h , 120h , 240h gewählt. Kürzere Niederschlagsdauern ($D < 24\text{h}$) können nicht ausgewertet werden, da zeitlich höher aufgelöste Niederschlagsmessungen vor 1950 nicht digital verfügbar sind.

Die Trenduntersuchungen wurden zunächst anhand der halbjährlichen Höchstwerte von Starkniederschlägen der Zeitreihe 1931-1998/99 durchgeführt, um ausreichend genaue flächendeckende Aussagen machen zu können. Anschließend wurden sie auch auf die sehr langen Zeitreihen (1901-1998/99) ausgedehnt.

Die verwendete Methodik zum Nachweis von Trends war dabei die Berechnung des linearen Trends nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate und des Trendmaßes Q nach Mann-Kendall. Aus dem absoluten linearen Trend wird die Betragsänderung als Prozentanteil des Mittelwerts der Höchstwerte („relativer Trend“) abgeleitet sowie für die Signifikanzbewertung das Trendmaß Q nach Mann-Kendall berechnet.

Ergebnisse für die Zeitreihen 1931-1998/99

Allgemeiner Trend

Die Auswertung für die Höchstwerte der Wintermonate aus der Zeitreihe 1931-1998/99 (Abb. 2) aller 406 Niederschlagsstationen in Süddeutschland ergibt im Mittel bei allen Dauerstufen ohne Berücksichtigung der Signifikanz einen positiven relativen Trend von rund 20%. Die relativen Trends der Sommermonate liegen dagegen in allen Dauerstufen deutlich niedriger (-0,6 bis 1,5%).

In den Wintermonaten weisen um die 90% aller Stationen einen positiven Trend auf, wohingegen für die Sommermonate nur rund 50% aller Stationen eine Zunahme zeigen (Abb. 3). Damit liefern die Wintermonate bei fast allen Stationen eine deutliche Zunahme, während im Sommer keine ausgeprägte Tendenz für eine Zu- oder Abnahme zu erkennen ist. Dabei ist bei der Betrachtung der Anzahl der Stationen nicht hinsichtlich der Signifikanz des Trends unterschieden. Die in den Abbildungen 2 und 3 nur summarisch oder als Mittelwerte dargestellten Trendergebnisse sind für die Dauerstufe $D=24\text{h}$ detailliert nach den Trendklassen - gekennzeichnet durch die Klassenuntergrenzen - dargestellt (Abb. 4).

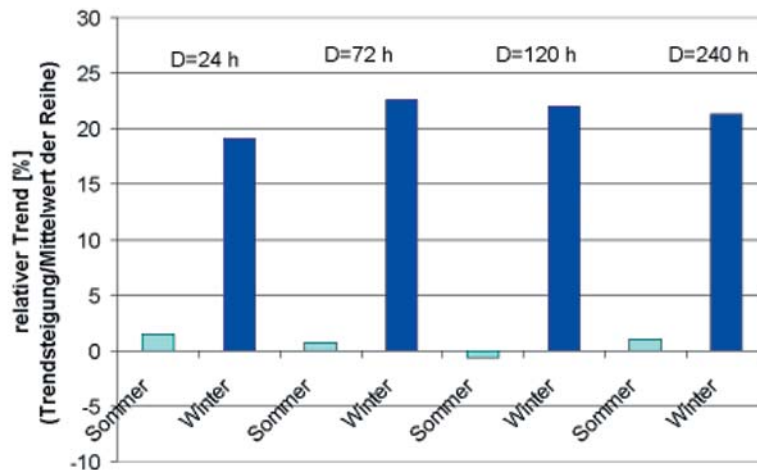


Abb. 2 Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge unterschiedlicher Dauer (24h-240h) in Bayern und Baden-Württemberg aller 406 DWD-Niederschlagsstationen für Sommer (Mai-September) und Winter (Oktober-April), 1931-1998/99 (ohne Berücksichtigung der Signifikanz des Trends).

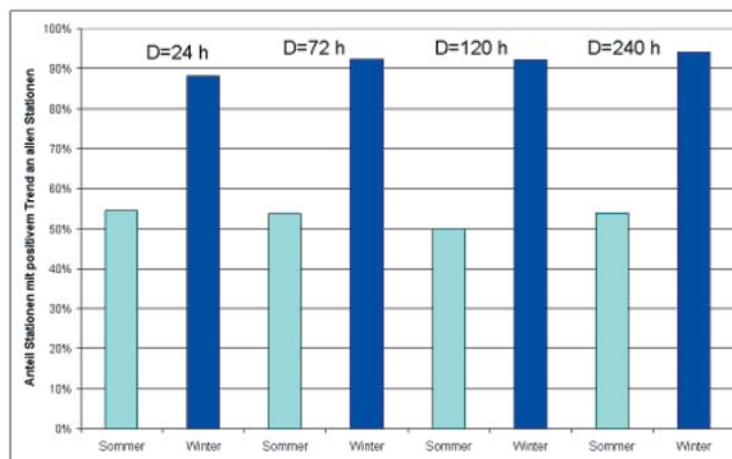


Abb. 3 Anteil der Stationen mit positivem Trend der Starkniederschläge in den einzelnen Dauerstufen, alle 406 Stationen, 1931-1998/99 (ohne Berücksichtigung der Signifikanz des Trends).

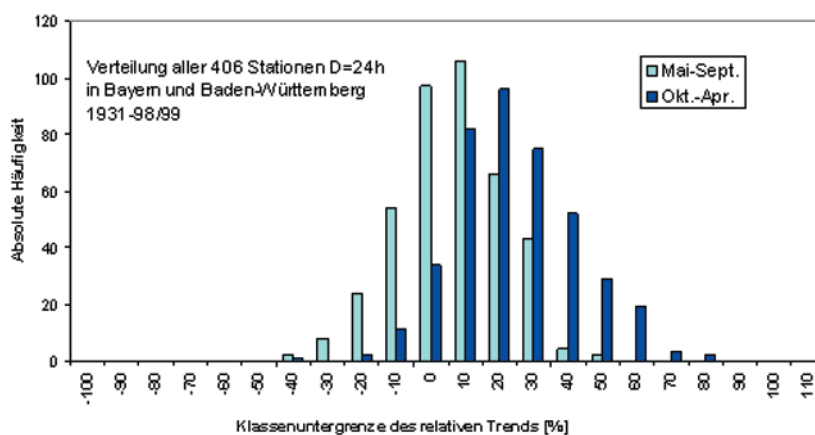


Abb. 4 Absolute Häufigkeit des relativen Trends der Starkniederschläge in den verschiedenen Trendklassen aller 406 Stationen für Winter (Okt.-Apr.) und Sommer (Mai-Sept.), Dauerstufe D = 24h in Bayern und Baden-Württemberg (1931-1998/99) (ohne Berücksichtigung der Signifikanz des Trends).

Signifikante Trends

Wenn nur die deutlich signifikanten Fälle (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$) (Abb. 5) betrachtet werden, verringert sich die Anzahl der zu betrachtenden Stationen (siehe Tab. 1). Dabei verstärkt sich der mittlere positive relative Trend für die Wintermonate (Oktober-April) gegenüber der Betrachtung aller 406 Stationen (Abb. 4). Dabei wird eine mittlere relative Zunahme von 30-35% erreicht (Tab. 1).

Tab. 1 Relative Häufigkeit signifikanter Fälle (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$) im Vergleich von Sommer- und Wintermonaten sowie des mittleren relativen Trends der Starkniederschläge für die Dauerstufen 24 h, 72 h, 120h und 240 h von 406 süddeutschen DWD-Stationen, Zeitreihe 1931-1998/99, alle Angaben in Prozent.

Merkmal/Halbjahr	D=24h	D=72h	D=120h	D=240h
Stationen Mai-Sept.	14% (n=59)	19% (n=77)	18% (n=72)	19% (n=79)
Mittlerer relativer Trend Mai-Sept.	2,6%	2,8%	-0,8%	1,2%
Stationen Okt.-Apr.	41% (n=168)	57% (n=231)	58% (n=237)	61% (n=246)
Mittlerer relativer Trend Okt.-Apr.	34,7%	32,2%	31,0%	30,4%

In den Sommermonaten zeigt sich bei den signifikanten Fällen nur eine geringe mittlere Zunahme mit einer vergleichbaren Verteilung zwischen den Dauerstufen wie schon bei der Betrachtung aller Stationen (Abb. 3).

Deutlich liegt die Gesamtanzahl der signifikanten Fälle in den Wintermonaten über denen der Sommermonate (Tab. 1), was auch an der räumlichen Verteilung erkennbar ist (Abb. 7a-d). In den Wintermonaten nimmt mit zunehmender Dauer die Anzahl der signifikanten Stationen zu (Tab. 1), während dies bei den Sommermonaten mit Ausnahme eines Anstiegs zwischen 24 h und 72 h nicht zu erkennen ist. In rund 40-60% aller süddeutschen Stationen ist in den Monaten Oktober bis April eine signifikante Zunahme der halbjährlichen Niederschlagsexrema im Mittel über alle Dauerstufen wahrscheinlich (Tab. 1). Dabei zeigt die mittlere relative Zunahme für die Dauerstufe D= 24 h bei 99% der 168 signifikanten Stationen Werte von mehr als 20% (Abb. 5).

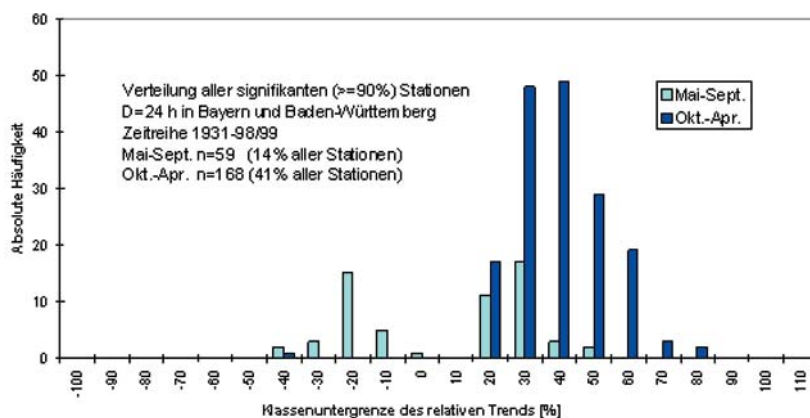


Abb. 5 Absolute Häufigkeit des relativen Trends aller signifikanten Stationen (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$), Dauerstufe D = 24 h, Winter (Okt.-Apr.) und Sommer (Mai-Sept.), 1931-1998/99.

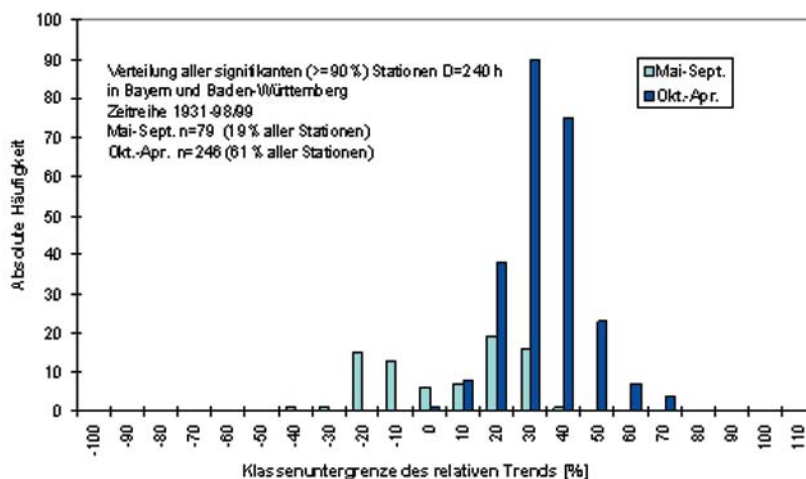


Abb. 6 Absolute Häufigkeit des relativen Trends der Starkniederschläge aller signifikanten Stationen (Signifikanzschwelle $\geq 90\%$), Dauerstufe $D = 240$ h, Winter (Okt.-Apr.) und Sommer (Mai-Sept.), 1931-1998/99.

Die Abb. 7 a-d zeigen die Zunahme (Kreis im Uhrzeigersinn gefüllt) und Abnahme (entgegen dem Uhrzeigersinn gefüllt) der Starkniederschlagshöhen für Bayern (1931-1999) und Baden-Württemberg (1931-1998) in Prozent des vieljährigen Mittelwertes. Die Höhe des Trends entspricht dem ausgefüllten Flächenanteil des Kreises. Die Signifikanz des Trends wird durch die Größe des Kreises ausgedrückt.

Regionale Schwerpunkte für die Zunahme in den Wintermonaten (Abb. 7c) bilden in Bayern besonders Ober- und Mittelfranken, sowie im geringeren Maße die westliche Oberpfalz und das nördliche Schwaben, wobei ein besonderer Schwerpunkt der Raum Nürnberg ist. Mit zunehmender Niederschlagsdauer dehnt sich dieser Bereich nach Süden in den Bayerischen Wald sowie bis in den Alpenraum aus, wobei hier die Zunahmen gering und weniger signifikant sind. In Baden-Württemberg ist eine Zunahme für ca. ein Drittel der Stationen im Bereich des gesamten Schwarzwalds wahrscheinlich. Stationen mit Zunahmen finden sich ferner im Kraichgau, Hohenlohe und auf der Schwäbischen Alb.

Im Vergleich zum Winter sind die Änderungen im Sommer (Mai-September) insgesamt nur gering und deutlich weniger signifikant (Tab. 1). Nur 56% der 59 signifikanten Stationen zeigen bei der Dauerstufe $D=24$ h eine mittlere relative Zunahme von mehr als 20% (Abb. 5), was den eingangs dargestellten geringen mittleren positiven Trend aller Stationen mit erklärt (Abb. 2). Als regionale Schwerpunkte (Abb. 7a) finden sich im Nordwesten Bayerns, d.h. Unterfranken, stärkere Abnahmen mit höherer Signifikanz sowie im nördlichen Schwaben und Oberbayern Zunahmen. In Baden-Württemberg (Abb. 7b) ergeben sich signifikante Zunahmen im mittleren und südlichen Schwarzwald, sowie vereinzelt auf der Schwäbischen Alb. Signifikante Abnahmen finden sich an zwei Stationen im Nordosten des Landes. Hinsichtlich der Signifikanz sind jedoch diese regionalen Schwerpunkte nicht mit denen im Winterhalbjahr zu vergleichen. Insgesamt zeigen die Häufigkeitsverteilungen für die signifikanten Stationen das Übergewicht der Zunahmen in den Wintermonaten (Abb. 5).

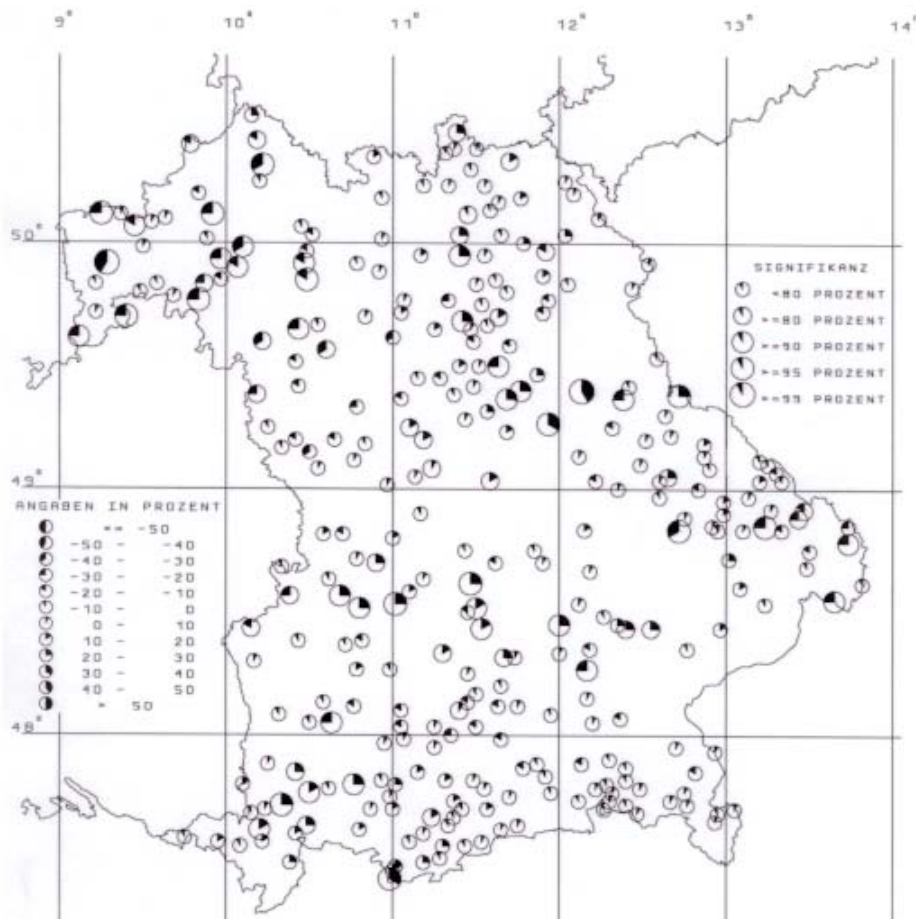


Abb. 7a Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts (Abnahme Füllung linke Kreishälfte, Zunahme Füllung rechte Kreishälfte) sowie Signifikanz (Kreisgröße), 310 bayerische Stationen, 1931-1999, Sommer (Mai-Sept.), Dauer: 24 h, halbjährliche Höchstwerte.

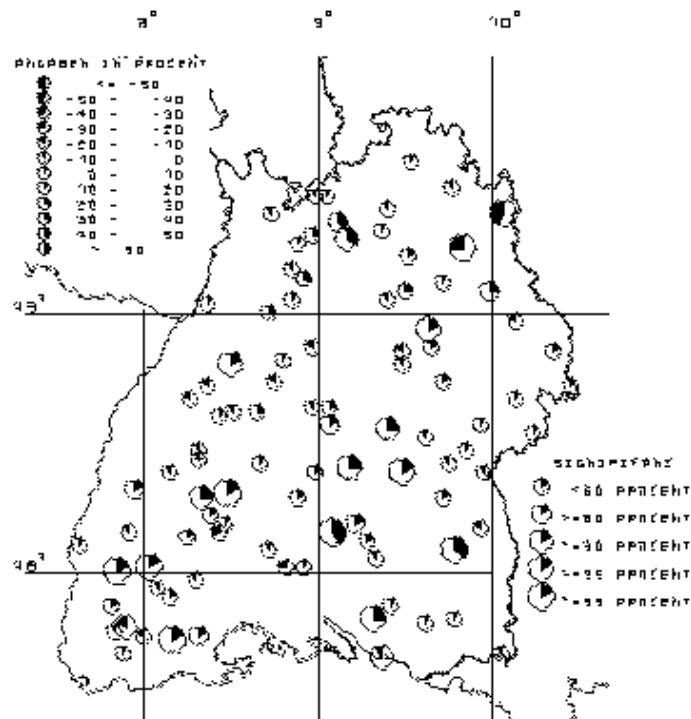


Abb. 7b Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts (Abnahme Füllung linke Kreishälfte, Zunahme Füllung rechte Kreishälfte) sowie Signifikanz (Kreisgröße), 96 baden-württembergische Stationen, 1931-1998, Sommer (Mai-Sept.), Dauer: 24 h, halbjährliche Höchstwerte.

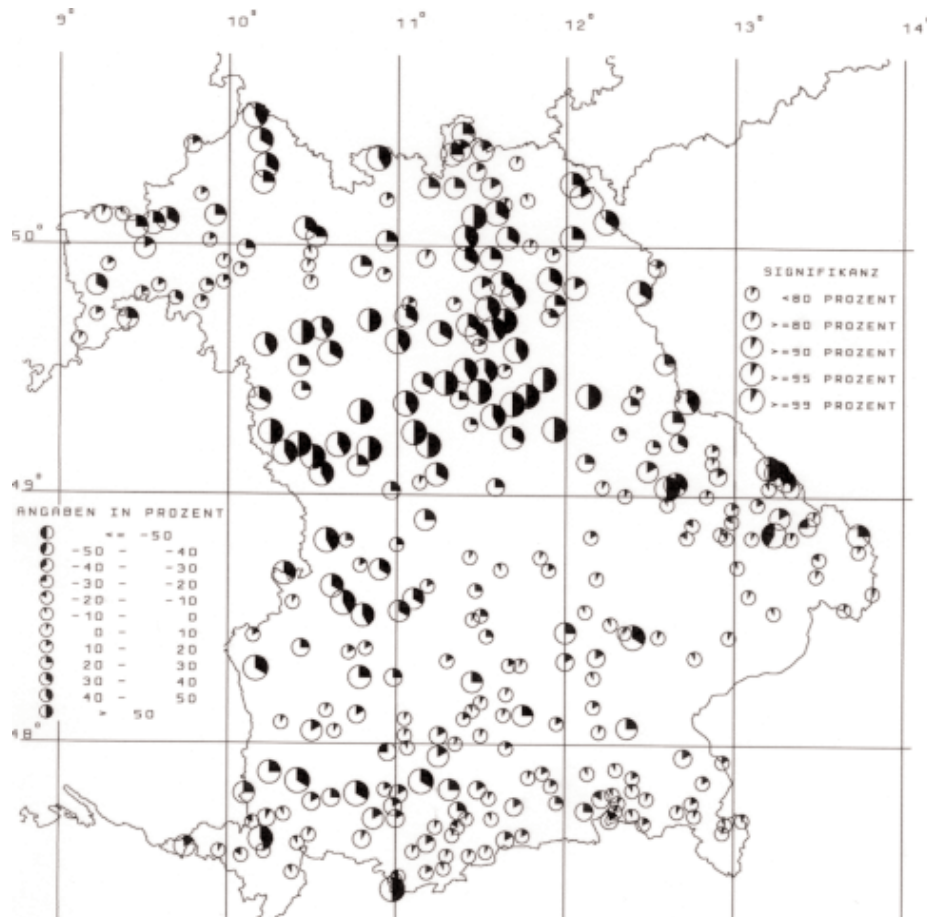


Abb. 7c Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts (Abnahme Füllung linke Kreishälfte, Zunahme Füllung rechte Kreishälfte) sowie Signifikanz (Kreisgröße), 310 bayerische Stationen, 1931-99, Winter (Okt.-Apr.), Dauer: 24 h, halbjährliche Höchstwerte.

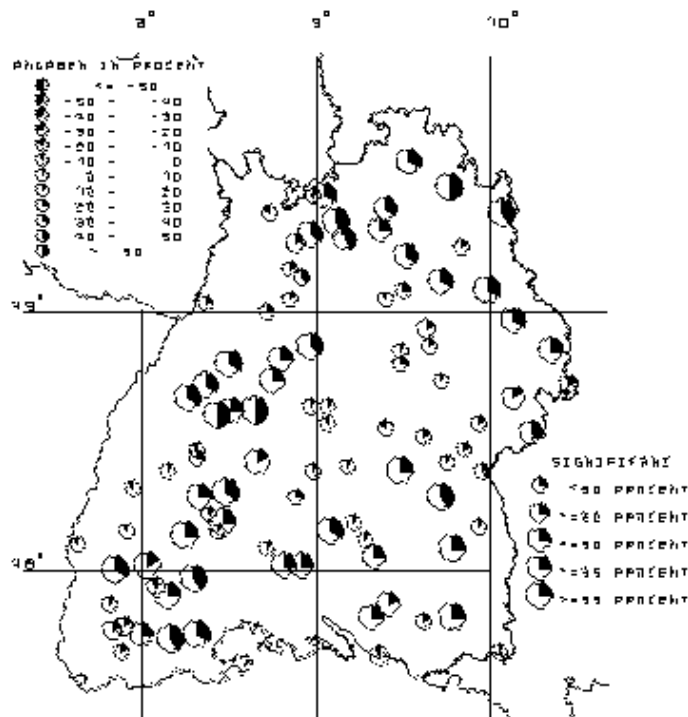


Abb. 7d Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts (Abnahme Füllung linke Kreishälfte, Zunahme Füllung rechte Kreishälfte) sowie Signifikanz (Kreisgröße), 96 baden-württembergische Stationen, 1931-98, Winter (Okt.-Apr.), Dauer: 24 h, halbjährliche Höchstwerte

Mit zunehmender Dauer der Niederschlagshöhen D steigt besonders in den Wintermonaten die Anzahl der signifikanten Stationen an von 168 (41%) mit $D = 24$ h auf 246 (61%) mit $D = 240$ h (Abb. 5, 6), so dass insgesamt auch die statistische Sicherheit der angezeigten flächenhaften Zunahme anwächst. In der Flächenverteilung treten bei der längeren Dauer von $D = 240$ h die schon bei der Dauer von 24 h bestehenden regionalen Schwerpunkte (Schwäbische Alb, Südschwarzwald, Main- und Regnitzgebiet) noch deutlicher hervor bei gleichzeitig wachsender Gebietsausdehnung (nicht dargestellt).

Ergebnisse für die sehr langen Zeitreihen 1901-1998/99

Bei Betrachtung der 75 sehr langen Zeitreihen (1901-1998/99) bestätigt sich der schon bei der Zeitreihe 1931-1998/99 festgestellte Trend, dass im Mittel über alle Dauerstufen in den Wintermonaten (65-80% der Fälle) eine deutlich höhere Anzahl der signifikanten Zunahmen gegenüber den Sommermonaten (28-40%) vorliegt (Tab. 2).

Tab. 2 Relative Häufigkeit signifikanter Fälle (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$) im Vergleich von Sommer und Wintermonaten sowie des mittleren relativen Trends der Starkniederschläge für die Dauerstufen 24 h, 72 h, 120 und 240 h der 75 süddeutschen DWD-Stationen, Zeitreihe 1901-1998/99, alle Angaben in Prozent.

Merkmal/Halbjahr	D=24h [%]	D=72h [%]	D=120h [%]	D=240h [%]
Stationen <i>Mai-Sept.</i>	28	35	39	40
Mittlerer relativer Trend <i>Mai-Sept.</i>	23,0	24,0	21,4	17,9
Stationen <i>Okt.-Apr.</i>	70	80	74	65
Mittlerer relativer Trend <i>Okt.-Apr.</i>	35,3	33,4	31,9	28,2

Im Gegensatz zu dem flächendeckenden Datensatz der Zeitreihe 1931-1998/99 (Tab. 1) zeigt sich für die sehr langen Zeitreihen auch in den Sommermonaten bei den signifikanten Fällen (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$) eine mittlere relative Zunahme von rund 21% (Mittel über alle Dauerstufen) gegenüber der etwas höheren Zunahme von rund 32% in den Wintermonaten. Die Aufteilung in Trendklassen ist in Abb. 8 dargestellt.

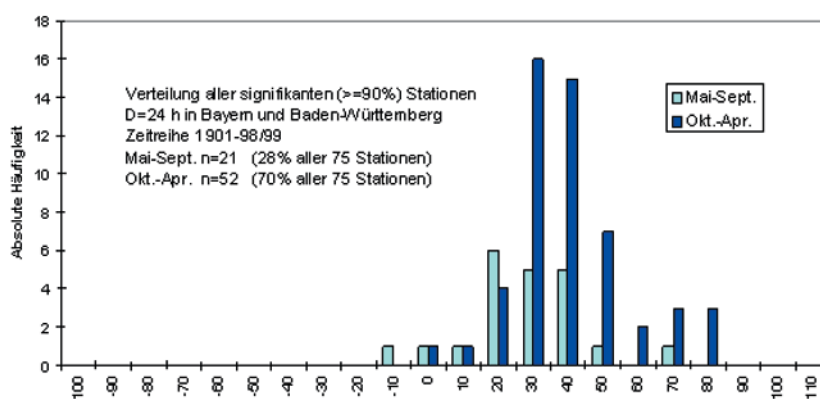


Abb. 8 Absolute Häufigkeit des mittleren Trends der Starkniederschläge aller signifikanten Stationen (Signifikanzschwelle $\geq 90\%$), Dauerstufe $D = 24$ h, Winter (Okt.-Apr.) und Sommer (Mai-Sept.), 1901-1998/99.

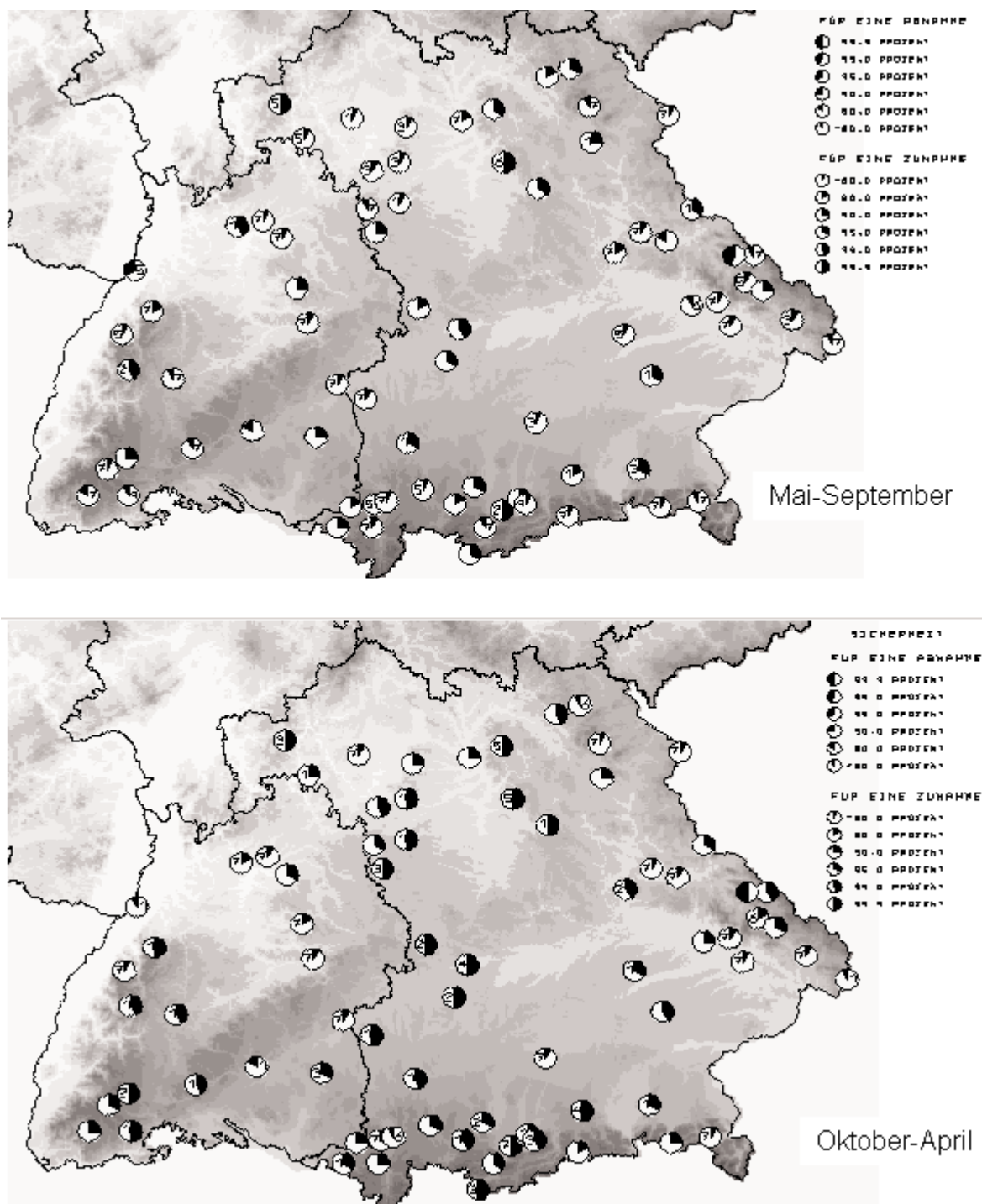


Abb. 9 Signifikanz der Zu- und Abnahme der extremen Niederschlagshöhen in Süddeutschland. Dauer D=24h, Mai-September (oben), Oktober-April (unten), 1901-1998/99. Die Zahl in den Kreisen gibt an, seit wie vielen Jahrzehnten die gezeigten Trendaussagen nachweisbar sind. Hier ist keine Angabe des relativen Trends enthalten.

Bei 28-40% der signifikanten Fälle findet man damit auch in den Sommermonaten eine Zunahme in den Starkniederschlägen (Tab. 2). Hier schlägt sich der zwar zeitlich ausgedehnte, räumlich aber reduzierte Umfang des Datenmaterials in einer Zunahme des relativen Trends nieder. Trends hängen immer aufgrund der unterschiedlichen Wetterlageneinflüsse vom betrachteten Zeitraum und den aufgrund der verfügbaren Messstationen repräsentierten Regionen ab, sodass auch scheinbar widersprüchliche Aussagen auftreten können.

Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die in den Abb. 5 und 8 summarisch für die beiden untersuchten Zeitreihen dargestellte Häufigkeit der signifikanten Zunahmen in den Wintermonaten deutlich größer und der relative Trend auch betragsmäßig höher ist als in den Sommermonaten. Bei den sehr langen Zeitreihen 1901-1998/99 ergibt sich in den Wintermonaten Oktober-April für einen Großteil der Stationen eine Zunahme des Niederschlagstrends mit zum Teil hoher Signifikanz (Abb. 9 unten). In der Abbildung 9 ist keine Angabe zum relativen Trend enthalten, sondern es wird die Anzahl der Jahrzehnte angezeigt, seit dem ein Trend in der Reihe erkennbar ist. Daraus ist zu entnehmen, dass dieser Trend nicht durch herausragende Einzelereignisse verursacht wird.

Für Baden-Württemberg sind - wie bei der kürzeren Zeitreihe (1931-1998) - zunehmende Trends im Schwarzwald und im Nordosten festzustellen. Für die Schwäbische Alb und Oberschwaben kann wegen der geringen Stationsdichte der sehr langen Zeitreihe keine Aussage getroffen werden. In Bayern weisen Franken, Schwaben und der Bayerische Wald ebenfalls identische Trends zur kürzeren Reihe auf, während im Voralpenraum die Signifikanz für eine Zunahme bei den sehr langen Zeitreihen deutlicher wird. In den Sommermonaten ist aufgrund schwacher signifikanter Befunde diese Verteilung wesentlich undeutlicher (Abb. 9 oben, Abb. 7a+b).

Regionalisierte Niederschlagshöhen

In Ergänzung zu den vorstehend dargestellten Untersuchungen wurden die Starkniederschläge auch mit demselben extremwertstatistischen Analyseverfahren (ATV-DVWK, 1985) wie bei KOSTRA in einem 71,5 km²-Raster regionalisiert (Bartels et al. 1997). Mithilfe derartiger Verfahren kann eine Bewertung der innerhalb eines Messzeitraums ausreichender Länge und Repräsentanz (z.B. 30 Jahre) aufgetretenen Starkniederschlagsereignisse vorgenommen werden. Ziel war es, zu prüfen, ob der längere Zeitraum (1931-1998/99) im Vergleich zum KOSTRA-Zeitraum 1951-1980 Hinweise zu einer Neubewertung des extremen Niederschlagsgeschehens enthält. Bei der Interpretation dieses Zeitreihenvergleichs ist zu beachten, dass die räumliche und zeitliche Variabilität sowie der extremwertstatistische Berechnungsansatz aufgrund der natürlichen Klimaschwankungen immer Abweichungen zur Folge haben, die sich innerhalb eines Toleranzbereiches bewegen.

Der flächenverteilte Vergleich der regionalisierten Neuauswertungen der Starkniederschläge in Bayern und Baden-Württemberg mit den Ergebnissen des KOSTRA-Atlas zeigt jedoch bei Wiederkehrzeiten/Jährlichkeiten von $T=1$ a und $T=100$ a, besonders in den Wintermonaten Oktober-April, regionalspezifisch deutliche Abweichungen oberhalb dieses Toleranzbereiches gegenüber den KOSTRA-Werten von 1951-1980. Betroffen davon sind vor allem Franken, der Alpenraum, der Bayerische Wald sowie der Schwarzwald und der Nordosten Baden-Württembergs. Bei den sommerlichen Vergleichszeiträumen kommt es zwar zu Abweichungen, die aber weitaus weniger deutlich ausgeprägt sind, und sich innerhalb des Toleranzbereiches bewegen.

Aufgrund dieser neuen Erkenntnisse wird zur Zeit im DWD eine Fortschreibung des KOSTRA-Atlas vorgenommen. Untersuchungen an einzelnen Niederschlagsstationen mit langen Zeitreihen hatten bisher im Rahmen des angesetzten Toleranzbereiches nur geringfügige Abweichungen vom KOSTRA-Zeitraum gezeigt (Malitz & Ertel, 2002, Günther & Stalman, 2002).

Zusammenfassung

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) wurde unter Federführung des Geschäftsfelds Hydrometeorologie im DWD für die Fläche von Baden-Württemberg und Bayern (ca. ein Drittel der Fläche Deutschlands) das Langzeitverhalten der Starkniederschläge anhand der Messungen von 406 DWD-Niederschlagsstationen für den Zeitraum 1931-1998/99 sowie von 75 Niederschlagsstationen der Zeitreihe 1901-1998/99 untersucht. Damit liegt nun erstmals eine flächenrepräsentative Trendanalyse der Starkniederschläge für eine größere Region in Deutschland vor. In Süddeutschland zeigen die Starkniederschlagshöhen (halbjährliche Höchstwerte im Zeitraum 1931-1998/99) in den Wintermonaten (Oktober bis April) eine deutliche Zunahme, während in den Sommermonaten (Mai bis September) nur geringe Änderungen zu verzeichnen sind.

Diese Zunahme der relativen Häufigkeit von Stationen mit signifikantem Trend im Winter verstärkt sich mit zunehmender Dauer der Starkniederschläge (von 40% bei 24 Stunden auf rd. 60% bei 240 Stunden). Der prozentuale Anteil von Stationen mit signifikantem Trend im Sommer mit einer Zunahme variiert dagegen lediglich zwischen 15 bis 19%. Eine Zusammenfassung dieser ausgeprägt unterschiedlichen halbjährlichen Gegebenheiten zu einer Aussage für das Jahr ist daher wenig zielführend.

Regionale Schwerpunkte für dieses Langzeitverhalten sind in Bayern das Gebiet von Franken sowie Teile des Bayerischen Walds, in Baden-Württemberg der Schwarzwald sowie der Nordosten des Landes.

In den sehr langen Zeitreihen 1901-1998/99 ist das Verhältnis bei der Signifikanz der Trends für die Starkniederschläge zwischen Sommer- und Wintermonaten ebenfalls wiederzufinden. Von den vorhandenen 75 Stationen weisen rund 70% in den Wintermonaten und zwischen 28% und 40% in den Sommermonaten einen signifikanten Trend auf. Weiterhin zeigt sich, dass der mittlere relative Trend auch in den Sommermonaten im Vergleich zur Situation bei den Zeitreihen 1931-1998/99 mit einer Größenordnung von rd. 20% eine deutliche Zunahme aufweist. Diese scheinbar widersprüchliche Aussage ist durch die unterschiedlichen Wetterlageneinflüsse einerseits und durch die unterschiedliche Messnetzdicke andererseits während der beiden Vergleichszeiträume zu erklären. Bestätigt werden diese Ergebnisse der halbjährlichen Niederschlagsextreme zusätzlich durch das Anwachsen von Niederschlagstagen oberhalb des Schwellenwertes von mindestens 10 mm/d.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass eine regionalspezifische Zunahme der Starkniederschlagshöhen in den Wintermonaten Oktober-April statistisch signifikant ist.

Bei Starkniederschlägen (abhängig von der Dauer sowohl als konvektive als auch advective Ereignisse) sowie extremen Nass- und Trockenperioden sind zwar auf Grund des eingeschränkten Datenkollektivs und der sog. „Ausreißer“ eindeutige Trendaussagen grundsätzlich schwieriger aus dem Rauschen ihrer dadurch höheren Variabilität herauszufiltern als z.B. bei mittleren, jährlichen Niederschlagshöhen; wenn sich aber eine markante Veränderung bei so vielen Starkniederschlagszeitreihen ergibt, so kann dies als deutliches Zeichen für eine Klimaveränderung ausgelegt werden. Dieser Befund passt zu Untersuchungen außerhalb von KLIWA, die ebenfalls für den Winter die stärksten Veränderungen im Niederschlagsgeschehen zeigen. Die KLIWA-Untersuchungen liefern also Ergebnisse, die auf deutliche regionale Veränderungen im zeitlichen und intensitätsabhängigen Verlauf von Niederschlagsereignissen hinweisen.

Literatur

- ATV-DVWK (1985): Niederschlag-Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 124.
- Bartels, H., Malitz, G., Asmus, S., Albrecht, F.M., Dietzer, B., Günther, T., Ertel, H. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA). Selbstverlag des DWD, Offenbach.
- Blümel, K., Klämt, A., Malitz, G., Matthäus, H., Rachner, M., Richter, D. (2001): Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem der Klimaveränderungen. Berichte des DWD 219. Eigenverlag, Offenbach 371 S.
- CLISAX (2001): CLISAX-Statistische Untersuchungen regionaler Klimatrends in Sachsen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, durchgeführt vom IHM-Meteorologie, TU-Dresden.
- DIN 4049 (1994): Teil 3: Hydrologie – Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- DWD-Hydrometeorologie (1997): Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. In: DVWK-Mitteilungen 29, Bearbeiter: T. Schmidt.
- Fricke, W. & Kronier, M. (2002): Betrachtungen zum Klimawandel am Hohenpeißenberg. In DWD (2002): Klimastatusbericht 2001. Eigenverlag, Offenbach, 250-257.
- Grieser, J. & C. Beck (2003): Extremniederschläge in Deutschland- Zufall oder Zeichen? In DWD (2002): Klimastatusbericht Eigenverlag, Offenbach, 139-148.
- Günther, T. & Stalman, V. (2002): Hydrometeorologische Untersuchungen zum Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 49,7, 992-997.
- IPCC (2001): Climate change 2001: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by Houghton, J.T. et al., Cambridge Univ. Press, 1032 S.
- Malitz, G. & H. Ertel, H. (2002). Extremwertstatistische Auswertungen von Tageswerten der Niederschlagshöhe. In DWD (2002): Klimastatusbericht 2001. Eigenverlag, Offenbach, 94-99.
- Müller-Westermeier, G. (2002): Klimatrends in Deutschland. In: DWD (2002): Klimastatusbericht 2001. Eigenverlag, Offenbach, 114-123.
- Rapp, J. & Schönwiese, C.D. (1995): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Europa 1891-90. Inst. für Meteorologie und Geophysik der Johann Wolfgang Goethe-Univ., Abt. Meteorolog. Umweltforschung, Frankfurt am Main, Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe B, 5, 253 S..
- Rudolf, B., Rapp, J.(2003): Das Jahrhunderthochwasser der Elbe: Synoptische Weiterentwicklung und klimatologische Aspekte. In DWD (2002): Klimastatusbericht 2002. Eigenverlag, Offenbach, 94-99.
- Sanchez Penzo, S., J. Rapp, C.-D. Schönwiese & G. Luft (1998): Räumliche Strukturen aktueller Trends des Gesamt- und Extremwertniederschlags in Baden-Württemberg. DGM 42 (4), 170-185.
- Spiegel vom 13.8.2002: „Zahl der Starkregentage nimmt stetig zu.“
- Steinbrich, V. & S. Uhlenbrook (2003): Raum-zeitliche Zusammenhänge zwischen Großwetterlagen und Starkniederschlägen in Baden-Württemberg. Tagungsband Tag der Hydrologie in Freiburg.
- Süddeutsche vom 12.8.2002: „Es schüttet immer öfter.“