
Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 1.1.3

*„Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse
in Baden-Württemberg und Bayern“*

KLIWA-Berichte

Heft 8



KLIWA
Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 1.1.3

*„Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse
in Baden-Württemberg und Bayern“*

KLIWA-Berichte

Heft 8



KLIWA
Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

IMPRESSUM

Herausgeber Arbeitskreis KLIWA
(Landesanstalt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz Baden-Württemberg,
Bayerisches Landesamt für Umwelt,
Deutscher Wetterdienst)
www.kliwa.de

Herausgabedatum

April 2006

ISBN

3-88148-412-4
978-3-88148-412-1

Bearbeitung

Dipl.-Met. F. M. Albrecht,
Programm- und Gutachtenservice
ORR Dr. B. Dietzer, Deutscher Wetterdienst,
Abteilung Hydrometeorologie

Redaktionelle Bearbeitung

ORR Dr. G. Malitz,
Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie
OBR H. Straub,
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz Baden-Württemberg
BD H. Weber, Dr. L. Zimmermann,
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Umschlaglayout

Stephan Riedlberger – Graphik Design, München

Druck

Friedrich Bischoff Druckerei GmbH, Frankfurt

Umwelthinweis

Druck auf Recyclingpapier

Bezug über

Deutscher Wetterdienst
Abteilung Hydrometeorologie
Postfach 100465, 63004 Offenbach
Fax : 069 8062 3987
Mail: bernd.dietzer@dwd.de

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung der Herausgeber unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 1.1.3

„Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse an Hand der Niederschlagszeitreihen (Tageswerte) in Baden Württemberg und Bayern“

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	5
1 Einführung	7
2 Datenbasis	10
3 Statistische Grundlagen und methodisches Vorgehen	11
3.1 Definitionen	11
3.2 Statistische Grundlagen	14
3.3 Methodisches Vorgehen	15
3.4 Darstellungsweise von Trendstärke und Trendrichtung	16
4 Analyse des Langzeitverhaltens von Starkniederschlagshöhen	17
4.1 Ergebnisse der Zeitreihenuntersuchungen	17
4.1.1 Vorwärts schreitender Trend	17
4.1.2 Allgemeiner Trend	31
4.1.3 Signifikante Trends	36
4.2 Räumliche Verteilung	40
4.3 Zeitreihenvergleich und Wetterlageneinfluss	43
5 Analyse der Schwellenwertüberschreitung von Niederschlagshöhen	49
6 Analyse des Langzeitverhaltens extremer Trocken- und Nassperioden	57
6.1 Jahreszeitliche Verteilung	57
6.2 Allgemeiner Trend	57
6.3 Signifikante Trends	63
6.4 Zeitliche Verteilung	64
7 Ausblick	65
8 Tabellenverzeichnis	66
9 Abbildungsverzeichnis	67
Die mit einem vorangestellten „A“ gekennzeichneten Abbildungen stehen im Anhang.	
10 Literaturverzeichnis	72
Anhang	

Zusammenfassung

Mit den großen Hochwassern der jüngsten Vergangenheit wurde wieder verstärkt die Frage gestellt, ob extreme Niederschlagsereignisse zugenommen haben und dies nun schon ein Anzeichen des Klimawandels ist. Zu dieser Frage lagen bisher bereits eine Reihe von Auswertungen einzelner Niederschlagsstationen vor, die Zunahmen von Starkniederschlagsereignissen zeigen. Tendaussagen für einzelne Stationen sind jedoch räumlich nur eingeschränkt aussagekräftig, da der Niederschlag eine hohe räumliche Variabilität aufweist. Trends an Einzelstationen können ferner durch Inhomogenitäten - verursacht durch Veränderungen in der Umgebung des Messortes - entstehen und damit klimatische Trends nur vortäuschen.

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) wurde deshalb von der Abteilung Hydrometeorologie im Deutschen Wetterdienst (DWD) in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt das Langzeitverhalten der Starkniederschläge untersucht. Es lagen dabei für den Zeitraum 1931-2000 Messwerte von 415 Niederschlagsstationen und von 92 dieser Stationen Messungen für den längeren Zeitraum 1901-2000 vor. Der Untersuchungsbereich der Länder Baden-Württemberg und Bayern deckt ca. ein Drittel der Fläche Deutschlands ab.

Gegenstand der Untersuchung ist u.a. die Ermittlung von Trends der Starkniederschlagshöhen bestimmter Dauer (1 bis 10 Tage). Als Starkniederschläge werden die jeweiligen Höchstwerte der drei Zeitspannen hydrologisches Jahr (Monate November bis Oktober des darauf folgenden Jahres), hydrologisches Sommerhalbjahr (Monate Mai bis Oktober) und hydrologisches Winterhalbjahr (November bis April) untersucht. Somit war eine große räumliche Repräsentanz und eine solide Datenbasis für die Trenduntersuchung gewährleistet.

Zusätzlich werden die extremen Nass- und Trockenperioden sowie die Tage mit Niederschlagshöhen oberhalb bestimmter Schwellenwerte ausgewertet.

Starkniederschläge sowie extreme Nass- und Trockenperioden treten entsprechend ihren Definitionen selten auf. Tendaussagen für diese Daten sind daher weniger sicher als jene für vieljährige Mittelwerte. Lassen sich jedoch für diese Extremereignisse markante Veränderungen nachweisen, kann dies als deutliches Zeichen für eine Klimaveränderung ausgelegt werden.

Die Untersuchungen zum Langzeitverhalten erbrachten folgende Ergebnisse :

- Im hydrologischen Winterhalbjahr zeigen die Starkniederschlagshöhen des Zeitraums 1931–2000 deutliche Zunahmen. Diese Zunahmen verstärken sich vereinzelt noch mit zunehmender Dauer (von 1 Tag bis 10 Tage) der Starkniederschläge. Regionale Schwerpunkte sind in Bayern die fränkischen Landesteile sowie Teile des Bayerischen Walds, in Baden-Württemberg der Schwarzwald sowie der Nordosten des Landes. Im hydrologischen Sommerhalbjahr ist hingegen kein einheitlicher Trend bei den Starkniederschlägen festzustellen. Regionen mit einer Zunahme (z. B. Ostrand des Schwarzwaldes, Donautal, Teile Mittelfrankens) stehen große Gebiete mit einer Abnahme (z. B. Unterfranken, Südost-Bayern und Teile des Alpenvorlandes) bei insgesamt geringer Signifikanz gegenüber. Eine Zusammenfassung dieser ausgeprägt unterschiedlichen halbjährlichen Ergebnisse zu einer Aussage für das gesamte hydrologische Jahr ist hydrologisch daher nicht sinnvoll.
- Auf der Basis der langen Zeitreihen des Zeitraumes 1901–2000 sind ähnliche Unterschiede zwischen Sommer- und Winterhalbjahr in den Trendanzeigen zu finden. Allerdings vermehren sich hier in den Sommermonaten gegenüber der kürzeren Zeitreihe 1931-



2000 die Anzeichen für eine Zunahme der Starkniederschlagshöhen. Wegen der geringen und teilweise nicht repräsentativen Stationsdichte können regionale Aussagen jedoch nicht abgeleitet werden.

- Für die extremen Nassperioden können regionsspezifisch Zunahmen belegt werden. Allerdings ist hier die Anzahl der signifikanten Befunde deutlich niedriger als im Falle der Starkniederschläge. Die feststellbare Zunahme im Jahr wird auch hier durch die Wintermonate hervorgerufen, da die Dauern der extremen Nassperioden in den Sommermonaten unverändert bis rückläufig sind. Bei den extremen Trockenperioden sind die Änderungen im Vergleich zu den extremen Nassperioden erheblich geringer. Sowohl für die Veränderungen der extremen Nass- wie auch der extremen Trockenperioden finden sich ausgeprägte regionale Schwerpunkte.
- Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlagshöhen oberhalb festgelegter Schwellenwerte nimmt in Süddeutschland im Winterhalbjahr deutlich zu. Dies ist bei den Tagen mit Starkniederschlag ≥ 20 mm/d im Zeitraum 1901-2000 stärker ausgeprägt als in den Jahren 1931-2000. Im Sommerhalbjahr findet man eine Zunahme nur bei der Auswertung des Zeitraumes 1901-2000, nicht aber für den Zeitraum 1931-2000, analog zum weiter oben erwähnten Trendverhalten bei den Starkniederschlägen.
- Die zeitliche Entwicklung der Starkniederschläge zeigt, dass die Starkniederschlagshöhen bis etwa in die Jahre 1985-1990 zunehmen, wie man an Hand der langen Zeitreihe 1901-2000 feststellen kann. Danach nehmen die Niederschlagshöhen bis zum Jahr 2000 wieder ab. Die Zunahme in den ersten 85 Jahren erfolgt nicht gleichmäßig. Es lassen sich drei Zeitabschnitte erkennen, 1901-1930, 1931-1970 und 1971-2000, wobei die Steigerung vom zweiten zum dritten Zeitraum am bedeutsamsten ist, vor allem

ab dem Jahre 1971 bis etwa 1985/1990.

Dieser zeitliche Verlauf der Starkniederschläge hat zur Folge, dass alle Trendberechnungen ab 1901 bzw. 1931 Zunahmen zeigen, wohingegen die Starkniederschlagshöhen zwischen 1971–2000 fast trendfrei sind.

- Die für die Zeiträume 1931–2000 und 1971–2000 berechneten Mittelwerte der Starkniederschlagshöhen übertreffen deutlich (bis +10 %) den Mittelwert des Zeitraums 1951–1980. Dies war der Anlass für eine Überarbeitung der Referenzauswertung „Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA)“, um die geänderten Klimaverhältnisse bspw. für die Hochwasserschutzplanung zu berücksichtigen.

Als Fazit bleibt festzustellen, dass eine regionalspezifische Zunahme der Starkniederschlagshöhen am deutlichsten in den Wintermonaten Oktober-April statistisch nachweisbar ist. Dieser Befund passt zu den Ergebnissen der KLIWA-Untersuchung zum Gebietsniederschlag, die im Winter ebenfalls eine Zunahme der Häufigkeit extremer Werte zeigt. Zur Erklärung dieser Zunahme im Winter bieten sich bei beiden Untersuchungen die Verschiebungen in der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen an. Dadurch verstärken sich die Niederschläge im Winter infolge der größeren Häufigkeit zonaler und gemischter Zirkulationsformen.

Andere Untersuchungen außerhalb von KLIWA zeigen ebenfalls die stärksten Veränderungen im Niederschlagsgeschehen im Winterhalbjahr. Die festgestellten Änderungen bei den Starkniederschlägen können als deutliches Indiz für eine Klimaänderung betrachtet werden.

1 Einführung

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die mittlere globale Temperatur an der Erdoberfläche um $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ angestiegen (IPCC 2001). Dementsprechend haben sich in Deutschland die Mitteltemperaturen im letzten Jahrhundert um etwa $0,6^{\circ}\text{C}$ erhöht, wobei insbesondere die Dekade der 1990er-Jahre einen hohen Beitrag geliefert hat (Müller-Westermeier, 2002). In Bayern und Baden-Württemberg nahmen die Gebietsmitteltemperaturen in den Jahren 1931-2000 zwischen $0,5$ bis $1,2^{\circ}\text{C}$ zu (KLIWA 2005). Für die nächsten hundert Jahre wird mit einer Erhöhung der mittleren globalen Lufttemperatur um $1,4$ bis $5,8^{\circ}\text{C}$ gerechnet (IPCC, 2001). Als Ursachen sind sowohl natürliche als auch anthropogene Einflüsse verantwortlich. Eine wärmere Atmosphäre enthält mehr Energie, über den Ozeanen verdunstet mehr Wasser. Es kann mehr Wasserdampf in den Luftmassen gespeichert werden, so dass der Wasserkreislauf intensiviert wird und höhere Niederschläge fallen können.

Um diese großräumigen Aussagen der Klimamodellierungen durch regionale Untersuchungen zu ergänzen und zu differenzieren, bearbeiten das Bayerische Landesamt für Umwelt und die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst das längerfristig angelegte Kooperationsvorhaben KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“). Eine Teiluntersuchung aus dem Bereich der Langzeitanalysen (Projekt A 1.1.3) beschäftigt sich dabei mit den extremen Niederschlagsereignissen. Zunächst wurden im Projektverlauf Teilberichte für die beiden Länder Baden-Württemberg und Bayern separat erstellt. Die Zusammenfassung dieser Ergebnisse zu den Trends der jährlichen Serien der Niederschlags-höchstwerte sowie der Nass- und Trockenperioden sind auszugsweise publiziert (Zimmermann et al. 2003 a+b). Der vorliegende Bericht fasst die Untersuchungen, inhaltlich und zeitlich erweitert, zusam-

men; er beschreibt nun die Ergebnisse für den gesamten Bereich Süddeutschlands.

Starkniederschlag ist als eine der Hauptursachen für die Hochwasserentstehung von großer Bedeutung. Extremwertstatistische Auswertungen von Starkniederschlägen, wie sie in der Referenzauswertung „Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA)“ verwirklicht wurden (Bartels et al., 1997), stellen damit eine wichtige Bemessungsgrundlage für wasserwirtschaftliche Anlagen (Regenrückhaltebecken, Talsperren, Kanalisation) sowie Verkehrs- und Landwirtschaftsflächen dar.

Mit Starkniederschlag wird ein Niederschlag bezeichnet, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweist und demzufolge selten auftritt – im Mittel höchstens zweimal jährlich (DIN 4049, 1994). Damit sind Starkniederschlagshöhen an den einzelnen Niederschlagsstationen über die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens definiert. In dem hier vorgelegten Bericht werden die jeweiligen Höchstwerte der drei Zeitspannen hydrologisches Jahr (Monate November bis Oktober), hydrologisches Sommerhalbjahr (Monate Mai bis Oktober) und hydrologisches Winterhalbjahr (November bis April) über den zu untersuchenden Zeitraum betrachtet. Daraus resultieren Starkniederschlagshöhen, die räumlich sowie zeitlich eine große Variationsbreite aufweisen.

Um hinsichtlich des Starkniederschlags eine für die gesamte Fläche Deutschlands operationell anwendbare quantitative Angabe auszuweisen, liegt in den Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes der Schwellenwert für "heftigen Starkregen" zurzeit bei mindestens 25 mm in einer Stunde bzw. mindestens 35 mm in sechs Stunden. Ein absoluter Spitzenwert in Deutschland seit Beginn der Messungen wurde mit 312 mm/d in Zinnwald-Georgenfeld (Osterzgebirge) am 12.08.2002 gemessen. Dabei war jeder der vier aufeinander folgenden 6-Stunden-



Werte der Niederschlagshöhe deutlich größer als 50 mm.

Die hydrologische Bedeutung von Starkniederschlägen 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 (vom 11. bis 14.08.2002 wurden in Zinnwald-Georgenfeld 406 mm gemessen) aufgrund von Hebungsvorgängen und Stau am Erzgebirge verursacht. Die theoretisch größten Niederschlagshöhen, die innerhalb der oben genannten Zeitspannen im Raum Zinnwald-Georgenfeld und zu dieser Jahreszeit physikalisch (durch Maximierung des atmosphärischen Wassergehalts) möglich sind, betragen rund 370 mm/d und 520 mm/3d (DVWK, 1997).

Mit den großen Hochwassern der jüngsten Vergangenheit wurde wieder verstärkt die Frage aufgeworfen, inwieweit sich die Klimaänderung in einer Zunahme von Starkniederschlägen auswirkt. Hierzu liegt eine Reihe von Publikationen zu einzelnen Stationsauswertungen vor, z. B. Günther & Stalman (2002), Malitz & Ertel (2002), Blümel et al. (2001). Die Untersuchung der sehr langen Messreihe (1879–2001) des

Observatoriums Hohenpeißenberg im Voralpenraum lieferte für Niederschlagstage mit Niederschlag von mehr als 30 mm/d eine mittlere Zunahme von 2,8 auf 5,2 Tage in diesem Zeitraum (Fricke & Kronier, 2001). Aussagen für einzelne Stationen sind aber regional nur eingeschränkt aussagekräftig, da insbesondere der Niederschlag eine hohe räumliche Variabilität aufweist. Die für Einzelstationen zutreffenden Trends können zudem durch Inhomogenitäten – verursacht durch Veränderungen in der Umgebung des Messortes – entstanden sein.

Ziel der hier dargestellten KLIWA-Untersuchung war es, erstmals für eine größere Region in Deutschland (rund 106.300 km²) eine flächendeckende Trendanalyse zum Langzeitverhalten der Starkniederschläge zu erhalten. Als flankierende Auswertungen werden Untersuchungen extremer Nass- und Trockenperioden sowie eine Auszählung der Tage mit Niederschlagshöhen oberhalb bestimmter Schwellenwerte einbezogen. Mit der Auswertung der arbeits- und kostenintensiv nacherfassten sehr langen Niederschlagsreihen (teils ab 1861) ist es für Süddeutschland gelungen, deutliche Trends im Niederschlagsgeschehen auf der Basis der letzten 100 Jahre (ab 1901) nachzuweisen.

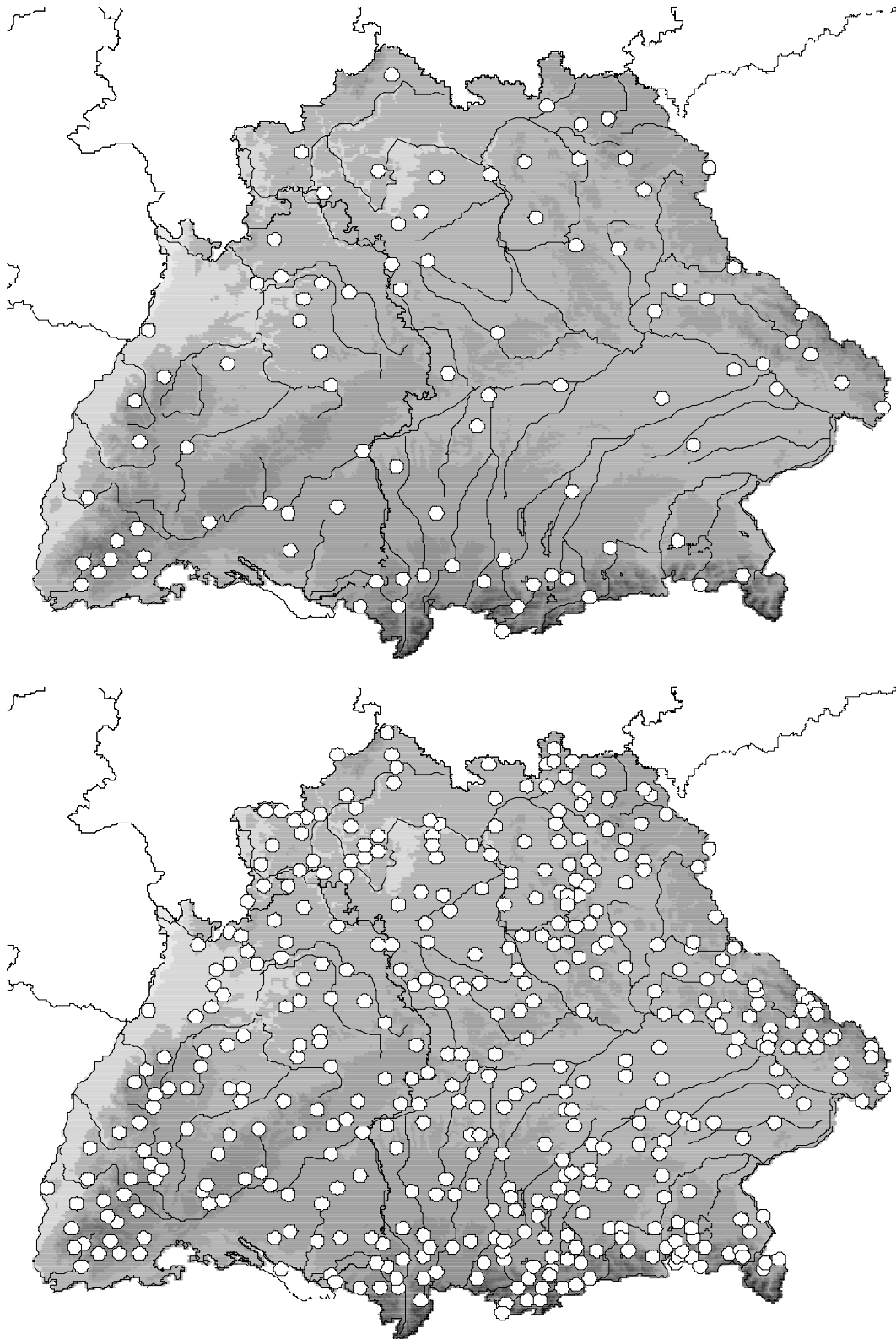


Abb. 2.1: Räumliche Verteilung der 92 Stationen mit Datenreihen 1901–2000 (oben) und der 415 Stationen mit Datenreihen 1931–2000 (unten).



2 Datenbasis

Für die Bewertung der Niederschlagsexrema der Jahre von 1931 bis 2000 wurden insgesamt 415 Niederschlagsstationen (darunter 92 Stationen mit Datenreihen 1901–2000) verwendet: 309 DWD-Niederschlagsstationen (davon 61 mit Datenreihen 1901–2000) in Bayern und 106 Stationen in Baden-Württemberg (davon 31 mit Datenreihen 1901–2000) (siehe Tab. 2.1 im Anhang). Von den Stationen mit den 100-jährigen Zeitreihen gibt es noch längere Datenreihen, die teils bereits 1861 beginnen. In der Untersuchung bilden die Auswertungen des dichteren Stationsnetzes ab dem Jahr 1931 die Basis für die räumliche Repräsentanz der Ergebnisse. Die separat ausgewerteten Datenreihen 1901–2000 dienen zur Stützung der Trendaussagen.

Die Niederschlagsstationen mit Zeitreihen der Jahre 1931–2000 (Abb. 2.1, unten) decken in ihrer räumlichen Verteilung Baden-Württemberg und Bayern recht gut ab. Die 92 Datenreihen 1901–2000 verteilen sich dagegen eher zufällig im Untersuchungsgebiet (Abb. 2.1, oben), so dass sie allenfalls für einzelne Landesteile repräsentativ sein können.

Die Höhenverteilungen dieser Stationen zeigt die Abb. 2.2 im Vergleich zur tatsächlichen Geländehöhe von Bayern und Baden-Württemberg. Zu erkennen ist,

dass im Höhenbereich 600 bis 1.000 m mehr Stationen liegen als es aufgrund der Fläche nötig wäre. Die Gipfelregionen >1.000 m ü. NN und der Bereich 400 bis 500 m ü. NN werden von den verwendeten Stationen unterrepräsentiert. Insgesamt entspricht die Höhenverteilung der 415 Stationen des Zeitraums 1931–2000 eher den Verhältnissen in den Ländern Bayern und Baden-Württemberg als die der 92 Stationen mit Zeitreihen, die mindestens den Zeitraum 1901–2000 umfassen.

Die einzelnen Untersuchungen beziehen sich auf die jährlichen Höchstwerte der Niederschläge für zehn verschiedene Dauerstufen von $D = 24$ h bis $D = 240$ h, auf die Anzahl von Tagen mit Niederschlagshöhen von ≥ 1 mm und ≥ 20 mm sowie auf die Andauer von extremen Nass- und Trockenperioden. Zur Wahrung der Übersicht beschränken sich die Ergebnisdarstellungen für die Niederschlagshöchstwerte und deren Auswertungen jedoch auf die vier Dauerstufen $D = 24$ h, $D = 72$ h, $D = 120$ h und $D = 240$ h. Neben dem hydrologischen Jahr von November bis Oktober werden auch das hydrologische Winterhalbjahr (November bis April) und das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) separat ausgewertet, um eine saisonale Differenzierung zu ermöglichen.

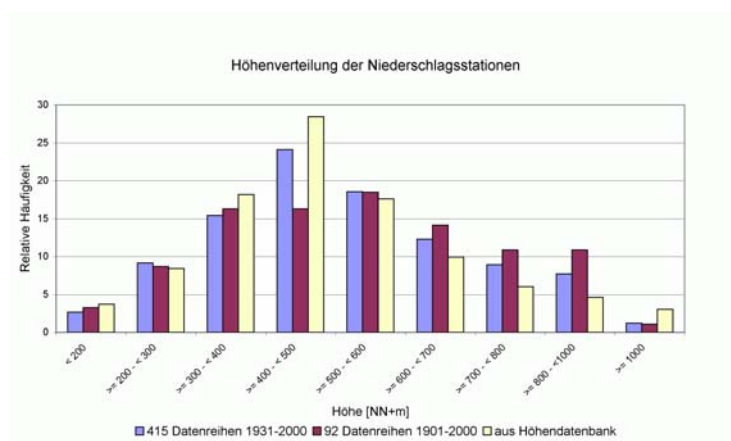


Abb. 2.2: Höhenverteilung der 415 Stationen (1931–2000) und der 92 Stationen (1901–2000) sowie der Auszählung einer Höhendatenbank für Bayern und Baden-Württemberg.

3 Statistische Grundlagen und methodisches Vorgehen

3.1 Definitionen

Zunächst sollen die in den weiteren Auswertungen verwendeten statistischen Begriffe erläutert werden.

Definition der jährlichen Serie:

Eine jährliche Serie ist die Zusammenstellung der Jahreshöchstwerte – z. B. des Niederschlags oder der Trocken- bzw. Nassperioden – pro Messjahr aus einem Zeitraum. Der zweithöchste Wert im Jahr wird nicht berücksichtigt. Ein vergleichsweise niedriger Jahreshöchstwert gehört auch dann zur jährlichen Serie, wenn er in einem anderen Jahr – gegebenenfalls sogar mehrfach – übertroffen wird. Die Anzahl der Serienwerte entspricht damit der Anzahl von Jahren des Messzeitraums. Pro Station und Messzeitraum werden in der vorliegenden Untersuchung jeweils drei jährliche Serien (für das hydrologische Jahr und seine beiden Halbjahre) separat betrachtet.

Definition der partiellen Serie

Eine partielle Serie enthält alle Messwerte eines Zeitraums, die - der Größe nach geordnet - oberhalb eines Schwellenwertes liegen. Der Schwellenwert wird nicht frei gewählt. Er ergibt sich in Abhängigkeit von der Länge der Messreihe derart, dass er von einer bestimmten Anzahl von Messwerten übertroffen wird. Die Anzahl der Werte einer partiellen Serie beträgt das e -fache der Anzahl der Messjahre, wobei e die EULER-Zahl 2,718 ist.

Unterschiede zwischen beiden Extremwertkonzepten:

Die jährliche Serie enthält per Definition pro Jahr genau einen Wert. Somit besteht ein Vorteil der jährlichen Serie in ihrer großen Ähnlichkeit mit einer Zeitreihe (jedoch ohne dass Äquidistanz gegeben wäre). Das erleichtert Visualisierungen und Interpretationen, wie sie bei der Zeitreihenanalyse üblich sind.

Die Abb. 3.1 zeigt – als Beispiel für die in den meisten Untersuchungen verwendeten jährlichen Serien – die jährliche Serie der Niederschlagsmesswerte der Station Hohenpeißenberg für das hydrologische Jahr sowie die hydrologischen Halbjahre.

Definition einer Trockenperiode:

Eine Trockenperiode ist eine Aufeinanderfolge von mindestens elf Tagen, wobei die Niederschlagshöhe an allen Tagen jeweils kleiner oder gleich 1,0 mm sein muss.

Definition einer Nassperiode:

Eine Nassperiode setzt sich aus einer Folge von mindestens acht nassen Tagen (siehe unten) zusammen, wobei ein einzelner trockener Tag (Tag, welcher nicht der Definition eines Nasstages entspricht) die Nassperiode nicht unterbricht.

Definition eines Nasstages:

Ein Tag wird als nass bezeichnet, wenn das linear gewichtete Mittel der Niederschlagshöhen der letzten sieben Tage einen definierten Schwellenwert übersteigt.

- Die Niederschlagshöhe des ersten Tages bekommt das Gewicht 0,1; die des letzten das Gewicht 1,0. Die Gewichte der Tage zwei bis sechs erhält man durch lineare Interpolation. Der Mittelwert ergibt sich als Summe der Produkte aus Niederschlagshöhen und den entsprechenden Gewichten, geteilt durch die Summe der Gewichte.
- Der Schwellenwert weist einen Jahresgang auf mit einem Maximum von 5 mm am 7. Juli und einem Minimum von 1 mm am 7. Januar. Er hat einen sinusförmigen Verlauf mit einer Periodendauer von 365 Tagen.

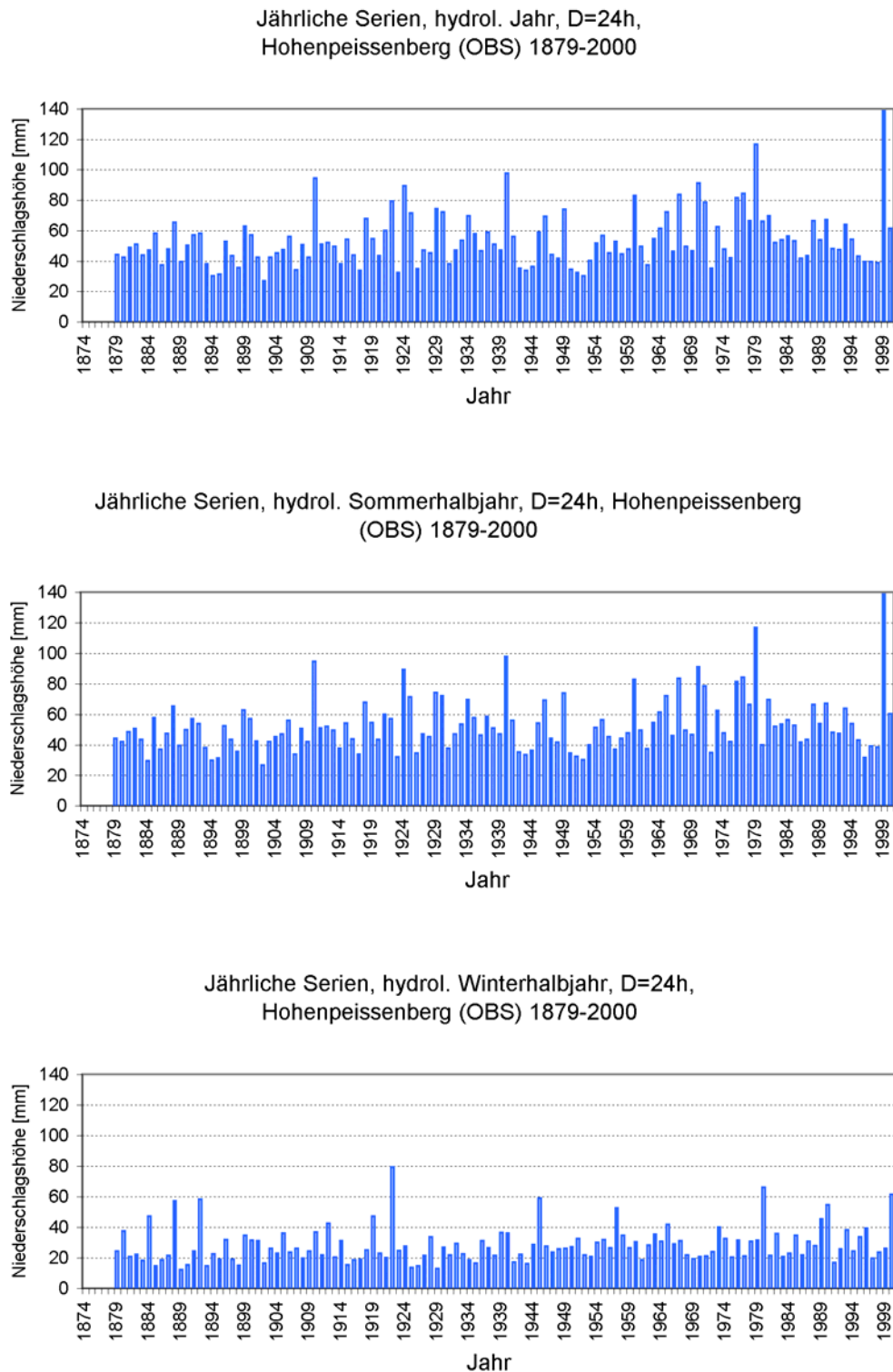


Abb. 3.1: Niederschlagshöchstwerte der Dauer $D = 24$ h, 1879–2000 für das hydrologische Jahr (Nov.-Okt.) sowie das hydrologische Sommer- (Mai-Okt.) und Winterhalbjahr (Nov.-Apr.), DWD-Station Hohenpeissenberg.

Wetterlagenklassifikation nach Hess und Brezowsky:

BAUR definierte die Großwetterlage als "die mittlere Luftdruckverteilung eines Großraumes, mindestens von der Größe Europas während eines mehrtägigen Zeitraumes" (Baur, 1963). HESS und BREZOWSKY legten für diesen Zeitraum eine Mindestdauer von drei Tagen fest (Hess und Brezowsky, 1977). Der Katalog der Großwetterlagen wurde seit den Arbeiten von BAUR mehrfach ergänzt und überarbeitet (Gerstengarbe et al, 1999). Die von einem erfahrenen Meteorologen täglich im Deutschen Wetterdienst anhand der Bodendruck- und Höhendruckverteilung in 500 hPa vorgenommene Klassifikation umfasst 29 Großwetterlagen. Diese lassen sich anhand der für Mitteleuropa vorherrschenden Zirkulationsform in drei Gruppen zusammenfassen (siehe unten). Es handelt sich hierbei um ein subjektives Klassifikationsschema für Mitteleuropa im Gegensatz zur Objektiven Wetterlagenklassifikation nach Dittmann et al. (1995) für einen Ausschnitt, der Deutschland überdeckt.

Als ein Beispiel aus dem Großwetterkatalog nach Hess und Brezowsky wird hier die Beschreibung der „Westlage über Mitteleuropa überwiegend zyklonal“ (WZ) aufgeführt, die das winterliche Starkniederschlagsgeschehen wesentlich bestimmt.

Westlage über Mitteleuropa überwiegend zyklonal

Einzelstörungen wandern mit eingelagerten Zwischenhochdruckgebieten oder -keilen in einer in normaler Lage befindlichen Frontalzone zwischen 50° und 60° N vom Seegebiet westlich Irland über die Britischen Inseln, Nord- und Ostsee hinweg nach Osteuropa und biegen dann, besonders im Winter, nach Nordosten um. Das steuernde Zentraltief liegt meist nördlich von 60° N, so dass über dem Nordatlantik und dem europäischen Nordmeer tiefer Luftdruck herrscht. Das in normaler Lage befindliche Azorenhoch reicht meist mit einem Ausläufer bis nach Südfrankreich oder sogar bis in den Alpenraum. Oberitalien bleibt meistens antizyklonal beeinflusst.

Zirkulationsformen (ZF):

Die unterschiedlichen Großwetterlagen können in drei so genannte Zirkulationsformen eingeteilt werden. Die zonale Zirkulation (Strömung entlang Breitenkreis) herrscht dann, wenn zwischen einem hochreichenden subtropischen Hochdruckgebiet in Normallage über dem Nordatlantik und einem gleichfalls hochreichenden System tiefen Luftdrucks im subpolaren Raum eine mehr oder weniger glatte West-Ost-Strömung besteht, in der einzelne Tiefdruckgebiete mit ihren Frontensystemen von West nach Ost, vom östlichen Nordatlantik zum europäischen Festland wandern. Hierzu zählen alle Westlagen.

Charakteristisch für die meridionale Zirkulationsform (Strömung entlang Längengrad) sind stationäre, blockierende Hochdruckgebiete zwischen 50 und 65 Grad nördl. Breite. Auch alle Troglagen mit nordsüdlicher Achsenrichtung werden dieser Zirkulationsform zugeordnet. Je nach Lage der Steuerungszentren und der nach Mitteleuropa gerichteten Strömungen sprechen wir von Nord-, Ost- oder Südlagen. Einen Grenzfall bilden die Nordost- und die Südostlagen. Es könnte zunächst naheliegend erscheinen, diese Lagen denen der gemischten Zirkulation zuzurechnen. Da sie jedoch allgemein mit einem blockierenden nord- oder osteuropäischen Hoch verbunden sind, gehören sie zur meridionalen Zirkulationsform, zumal keine langgestreckten Frontalzonen von Nordost nach Südwest bzw. Südost nach Nordwest auftreten.

Bei der gemischten Zirkulation sind die zonalen und meridionalen Strömungskomponenten etwa gleich groß, d.h. der Austausch von Luftmassen verschiedener geographischer Breiten erfolgt nicht auf dem kürzesten (meridionalen) Weg, sondern mit einem deutlichen zonalen Strömungsanteil. Typische Beispiele für Lagen der gemischten Zirkulation sind die Südwest- und Nordwestlagen mit entsprechend gerichteten langgestreckten Frontalzonen. Die antizyklonalen Steuerungszentren sind gegenüber den Westlagen



nordwärts bis etwa 50 Grad nördl. Breite verschoben, und zwar über dem Ostatlantik (Nordwestlage), Mitteleuropa (Hoch Mitteleuropa) oder über Osteuropa (Südwestlage). Wegen der recht wechselnden Strömungskomponenten wurde auch die Großwetterlage "Tief Mitteleuropa" zur gemischten Zirkulation gerechnet.

3.2 Statistische Grundlagen

Die Berechnungen basieren auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Die Trendgerade einer Größe x – hier z.B. der extremen Niederschlagshöhe – wird in ihrer Abhängigkeit von der Zeit t durch folgende Gleichung beschrieben:

$$(1) \quad x(t) = a + b \cdot t$$

Darin sind a und b die Koeffizienten der Trendgeraden, die nach der GAUSS'schen Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen sind. Die Datenkollektive der extremen Niederschlagshöhen (bzw. der Nass- und Trockenperioden, der Tage mit Niederschlagshöhen oberhalb eines Schwellenwerts) weisen beispielsweise im Vergleich zu Temperaturreihen einen relativ hohen Schwankungsbereich auf; so genannte Ausreißer sind möglich, welche infolge des quadratischen Abweichungsmaßes einen relativ hohen Einfluss auf die Abweichungsquadratsumme und damit auf die Größe der Trendkoeffizienten in Gleichung 1 haben könnten.

Der (absolute) Trend T der Größe x ergibt sich nach der linearen Beziehung (Gl. 1) als Differenz zwischen dem Endwert x_n zum Zeitpunkt t_n und dem Anfangswert x_1 zum Zeitpunkt t_1 :

$$(2) \quad T = x_n(t_n) - x_1(t_1)$$

Im Fall der Starkniederschläge stellt der Trend eine Niederschlagsdifferenz dar, die in der Dimension $\text{mm} (\text{l/m}^2)$ anzugeben ist. Für die Nass- und Trockenperioden sowie für die Anzahl der Tage mit Niederschlagshöhen oberhalb eines Schwellenwerts entspricht der Trend einer Andauerdifferenz mit der Dimension Tage (d).

Aus der Herleitung der Koeffizienten in Gl. 1 bzw. des Trends in Gl. 2 folgt, dass Trendangaben ausschließlich für das jeweils bearbeitete Zeitintervall gültig sind. Trendangaben weisen somit in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Zeitreihe eine gewisse Zufälligkeit in der Aussage zum Langzeitverhalten der betreffenden Größe auf. Insbesondere durch einzelne, bezüglich der untersuchten Größe extreme Jahre, die – zufällig – zu Beginn oder Ende der bearbeiteten Reihe auftreten, können Trendergebnisse deutlich beeinflusst werden.

Eine Methode, Zufälligkeiten in den Trendaussagen für vorgegebene Zeitreihen auszuschließen bzw. zu bewerten, ist die Prüfung der Stabilität der Trends in der Untersuchungsperiode, die anhand so genannter vor- und rückwärts schreitender Trends vorgenommen werden kann. Dabei wird untersucht, wie empfindlich ein Trend auf eine Veränderung der Länge des untersuchten Zeitraums reagiert. Als besonders sicher und aussagefähig gilt die Trendaussage, wenn sich die Richtung und Signifikanz eines Trendwertes trotz der Veränderungen des Bezugszeitraumes nur wenig ändert.

Beim rückwärts schreitenden Trend werden die Berechnungen für Teilreihen aus der gesamten Untersuchungsperiode durchgeführt, die mit einem festem Zeitreihenende im Jahr 2000, jeweils am Zeitreihenanfang sukzessive um einen Wert in die Vergangenheit verlängert werden. Beim vorwärts schreitenden Trend wird bei einem festen Zeitreihenanfang, also dem Jahr 1901 bzw. 1931, jeweils am Ende der Teilreihen ein Wert hinzugefügt, bis die Gesamtreihe der Untersuchungsperiode erreicht ist.

Als minimale Länge der Zeitreihen wurde hierbei ein Zeitraum von 30 Jahren vorgegeben, um den Trendhinweisen eine ausreichende zeitliche Absicherung zu geben.

Die vorgenommenen Trenduntersuchungen wurden im Wesentlichen mit dem Mann-Kendall-Trendtest durchgeführt.

Der Mann-Kendall-Testwert berechnet sich aus den Niederschlagsextremen X einer jährlichen Serie mit der Länge n nach den Gleichungen 3 bis 4.

$$(3) \quad C = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j)$$

Es gilt $\text{sign}(y)$: $-1, 0, +1$,
wenn $y < 0, y = 0, y > 0$

S - Testsumme
 n - Serienlänge

Unter der Nullhypothese einer zufälligen Verteilung der Differenzen gelten für den Mittelwert und die Varianz die Erwartungswerte:

$$(4) \quad \mu_S = 0, \quad \sigma^2_S = n(n-1)(2n+5) / 18$$

μ_S - Mittelwert
 σ^2_S - Varianz
 n - Serienlänge

Der Quotient Z aus der Testsumme S und der Quadratwurzel des Erwartungswerts der Varianz σ^2_S wird anhand der tabellierten Schrankenwerte z der Normalverteilung bewertet.

Der Trendtest nach Mann-Kendall ist ein geeignetes Verfahren zur Abschätzung der Signifikanz, ohne dass eine Normalverteilung der Daten oder die Linearität des Trends vorausgesetzt wird. Der Test bewertet ein relatives Ansteigen oder Abfallen der Reihenwerte, woraus keine Informationen über den zeitlichen Verlauf der Änderungen abgeleitet werden können. Allerdings werden in einem einzigen Analyseschritt alle möglichen in der Zeitreihe vorkommenden Trends erfasst. Die Signifikanzaussage darf deshalb nicht auf die Höhe des linearen Trend bezogen werden, der streng genommen die Normalverteilung voraussetzt.

Aus der absoluten Höhe des Mann-Kendall-Testwertes Z kann entsprechend der Tabelle 3.1 auf die Signifikanz der Trendhinweise geschlossen.

Tabelle 3.1: Signifikanz und Irrtumswahrscheinlichkeit (Alpha) des Mann-Kendall-Testwertes Z (aus [Rapp&Schönwiese 1996])

Signifikanz	ALPHA	Betrag (Z)
> 80 %	< 0,2	> 1,282
> 90 %	< 0,1	> 1,645
> 95 %	< 0,05	> 1,960
> 99 %	< 0,01	> 2,576
> 99,9 %	< 0,001	> 3,290

In dieser Arbeit werden im Folgenden Signifikanzwerte ≥ 90 % als „signifikant“ bezeichnet.

3.3 Methodisches Vorgehen

Fast alle vorliegenden Niederschlagszeitreihen enthalten mehr oder weniger große Lücken. Ab 1931 wurden fehlende Tageswerte durch die regionalisierten Niederschlagshöhen nach (Albrecht, 1995) für den Stationsort aufgefüllt. Fehlende Jahre in den jährlichen Serien vor 1931 wurden durch den Reihenmittelwert bis zur Fehlstelle ergänzt.

Da der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den (einheitlich) langen Datenreihen 1931–2000 liegt und ein besonderes Interesse an den Niederschlagsvariationen in den letzten Jahrzehnten besteht, wird die Berechnung vorwärts schreitender Trends favorisiert. Hierbei werden – wie bereits weiter oben ausgeführt – die jährlichen Serien nach Trend und Signifikanz so ausgewertet, dass das Startjahr festgehalten wird (z. B. 1931) und das Endjahr (mindestens Startjahr plus 30 Jahre) jeweils um ein Jahr verlängert wird. Damit erhält man eine Zeitreihe des Trends und der Signifikanz auf der Basis zunehmend längerer Einzelzeiträume, z. B. 1931–1960, 1931–1961, 1931–1962 bis 1931–2000. Mit dieser Methode werden Veränderungen der Trendanzeigen in Abhängigkeit von der Länge der Zeitreihe und des Zeitraums selbst sichtbar.



Erkennbar wird dadurch, ob sich ein Trend im Laufe der Zeit verstärkt oder abgeschwächt hat, gleich geblieben ist oder sogar seine Richtung geändert hat.

Da die berechneten vorwärts schreitenden Trends den Betrachter mit Details für Dutzende von Stationen überfordern, werden diese Auswertungen in Häufigkeitsstatistiken zusammengefasst. Die vollständigen Auswertungen sind auf der Daten-CD zum Projektabschlussbericht gespeichert.

Die in den Kapiteln 4 und 6 auch präsentierten Ergebnisse rückwärts schreitender Trends (hier wird das Endjahr der Zeitreihe festgehalten und das Startjahr jeweils um ein Jahr zurückverlegt) vervollständigen das Bild über die zeitlichen Variationen der betrachteten Variablen.

Für die sehr langen Datenreihen (jedoch mit individuellem Startzeitpunkt) wird meist der Auswertebeginn 1901 gewählt. Dies reduziert zwar diese Datenbasis, stellt aber die Vergleichbarkeit innerhalb der vorgenommenen Auswertungen sicher. In verschiedenen Diagrammen wird sichtbar, dass es nur geringe Unterschiede in den Aussagen für den Gesamtzeitraum (Messbeginn liegt vor 1901 und reicht bis 2000) und dem Zeitraum 1901–2000 gibt.

Ebenfalls gezeigt werden einfache Auszählungen, z. B. der Anzahl von Tagen mit Niederschlagshöhen ≥ 1 oder 20 mm oder die Verteilung der partiellen Extremwertserien auf fünfjährige Intervalle, wodurch die Trendergebnisse für die Niederschlagsex-

treme nochmals abgesichert werden können.

3.4 Darstellungsweise von Trendstärke und Trendrichtung

In den Karten erfolgt die Darstellung der Trendstärken und Trendrichtungen durch die Verwendung von symbolischen Uhren. Dabei wird das Zifferblatt zu einer mehr oder weniger ausgefüllten Kreisfläche. Die zunehmende Auffüllung der linken Seite bezieht sich auf die Klassen für den fallenden Trend, die zunehmenden Auffüllung der rechten Seite bezieht sich auf die Klassen für den steigenden Trend. Für eine bessere Übersicht werden beide Trendrichtungen zusätzlich farblich unterschieden. Die rote Farbe steht für einen fallenden Trend, die blaue Farbe für einen ansteigenden Trend.

Die benachbarten Klassen des schwächsten fallenden Trends (gefüllt von 11 bis 12 Uhr) und des schwächsten ansteigenden Trends (gefüllt von 00 bis 01 Uhr) weisen jeweils den geringsten Füllungsgrad auf. Das Vorliegen eines stark fallenden Trends wird durch eine vollständig (rot) ausgefüllte linke Hälfte (d. h. von 06 bis 12 Uhr) des symbolischen Zifferblatts dargestellt.

Die Information zur Signifikanz der Ergebnisse wird über den Durchmesser der Kreise vermittelt. Je größer der Kreis, desto signifikanter ist der Trend.

4 Analyse des Langzeitverhaltens von Starkniederschlagshöhen

4.1 Ergebnisse der Zeitreihenuntersuchungen

4.1.1 Vorwärts schreitender Trend

Jeweils drei Beispiele pro Bundesland für die berechneten vorwärts schreitenden Trends von Stationen mit unterschiedlichem saisonalen Trendverhalten zeigen die Abb. 4.1a/b bis 4.3a/b. Die Ergebnisse für das hydrologische Sommerhalbjahr (hydrologische Winterhalbjahr) stehen jeweils in der linken (rechten) Hälfte der Abbildungen. Die Datenreihen werden in allen Fällen ab 1931 ausgewertet, so dass bei einer Mindestlänge der jährlichen Serien von 30 Jahren die ersten Trendangaben (blaue Linien) und ihre Signifikanzbewertungen (rote Linien) für 1960 eingetragen sind. Für die umfangreichste Gruppe von Standorten mit einer starken Zunahme der Niederschlagshöhen im hydrologischen Winterhalbjahr, verbunden mit keinen oder nur geringen Änderungen im hydrologischen Sommerhalbjahr, stehen stellvertretend die Stationen Bayerisch Eisenstein (91301) (Abb. 4.1a) und Mengen, Kr. Sigmaringen (90152) (Abb. 4.1b). Für die Gruppe mit signifikanten Zunahmen der Niederschlagshöhen in beiden Halbjahren stehen die Stationen Biberbach (90492) (Abb. 4.2a) und Titisee-Neustadt-Titisee (70204) (Abb. 4.2b). Abschließend sind zwei Beispiele für Standorte ohne Änderungen des Niederschlagsgeschehens im Sommer- und Winterhalbjahr angegeben: die Station Weisenburg/Bay. (73214) (Abb. 4.3a) und die Station Göppingen-Hohenstaufen (71145) (Abb. 4.3b).

Eine zusammenfassende Darstellung der Auswertung vorwärts schreitender Trends für alle 415 langen Datenreihen für das hydrologische **Winterhalbjahr** über verschieden lange Zeiträume hinweg enthält die Abb. 4.4. Es sind hier signifikante Trendanzeigen ($\geq 90\%$) für bis zu etwa 70 Prozent aller Stationen erkennbar. Diese Hinweise verstärken sich mit der Andauer der betrachteten Niederschläge. Außer-

dem ist eine monotone Zunahme der Anzahl der betroffenen Standorte erkennbar, je weiter der betrachtete Zeitraum ab dem Anfangsjahr 1931 bis in die Gegenwart reicht. Dies steht in Kontrast zu den Ergebnissen für das hydrologische **Sommerhalbjahr** (Abb. 4.5) mit ansteigenden Niederschlagstrends für deutlich unter 10 % aller Stationen. Hier deutet sich sogar eine Trendumkehr ab etwa dem Jahr 1980 an.

In der Betrachtung für das hydrologische **Jahr** (Abb. 4.6) werden ein ungebrochener Anstieg im Zeitverlauf und eine Steigerung mit zunehmender Niederschlagsdauer deutlich. Die Häufigkeiten der einbezogenen Standorte bleiben jedoch unter 45 %.

Die Abbildungen 4.7 bis 4.9 stellen die Auswertungsergebnisse der vorwärts schreitenden Trenduntersuchungen für die 92 Stationen dar, deren Messbeginn im Jahr 1901 und früher liegt.

Im hydrologischen **Winterhalbjahr** (Abb. 4.7) zeigen die Trendergebnisse eine ähnliche Struktur, wie sie bei den Stationen mit kürzeren Zeitreihen (Abb. 4.4) vorliegt. Darüber hinaus zeigen bereits die Auswertungen ab 1901–1950 eine durchweg zunehmende Häufigkeit ansteigender relativer Trendhinweise. Die Anzahl der hier einbezogenen Standorte hat sich für alle Dauerstufen seither um einen Faktor sechs bis sieben erhöht. Sogar auf einem Signifikanzniveau von 99 % weisen noch 30 % (D = 24 h) bis 45 % (D = 240 h) aller Stationen bei der Auswertung des gesamten letzten Jahrhunderts (1901–2000) einen steigenden Trend bei den Starkniederschlagshöhen auf.



Abb. 4.1a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Bayerisch Eisenstein, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.

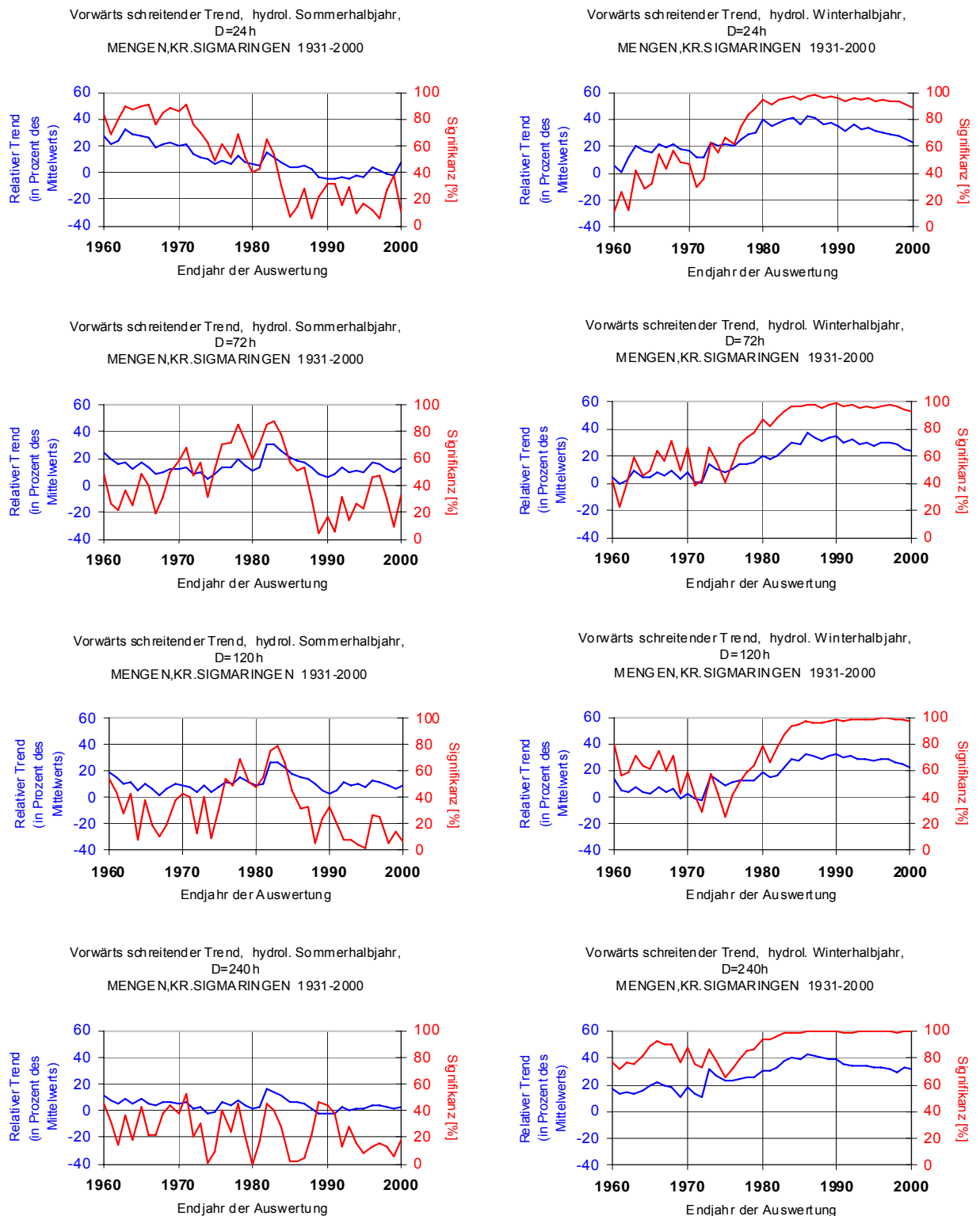


Abb. 4.1b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Mengen, Kr. Sigmaringen, 1931–2000, Dauerstufen D = 24 h, 72 h, 120 h und 240 h.

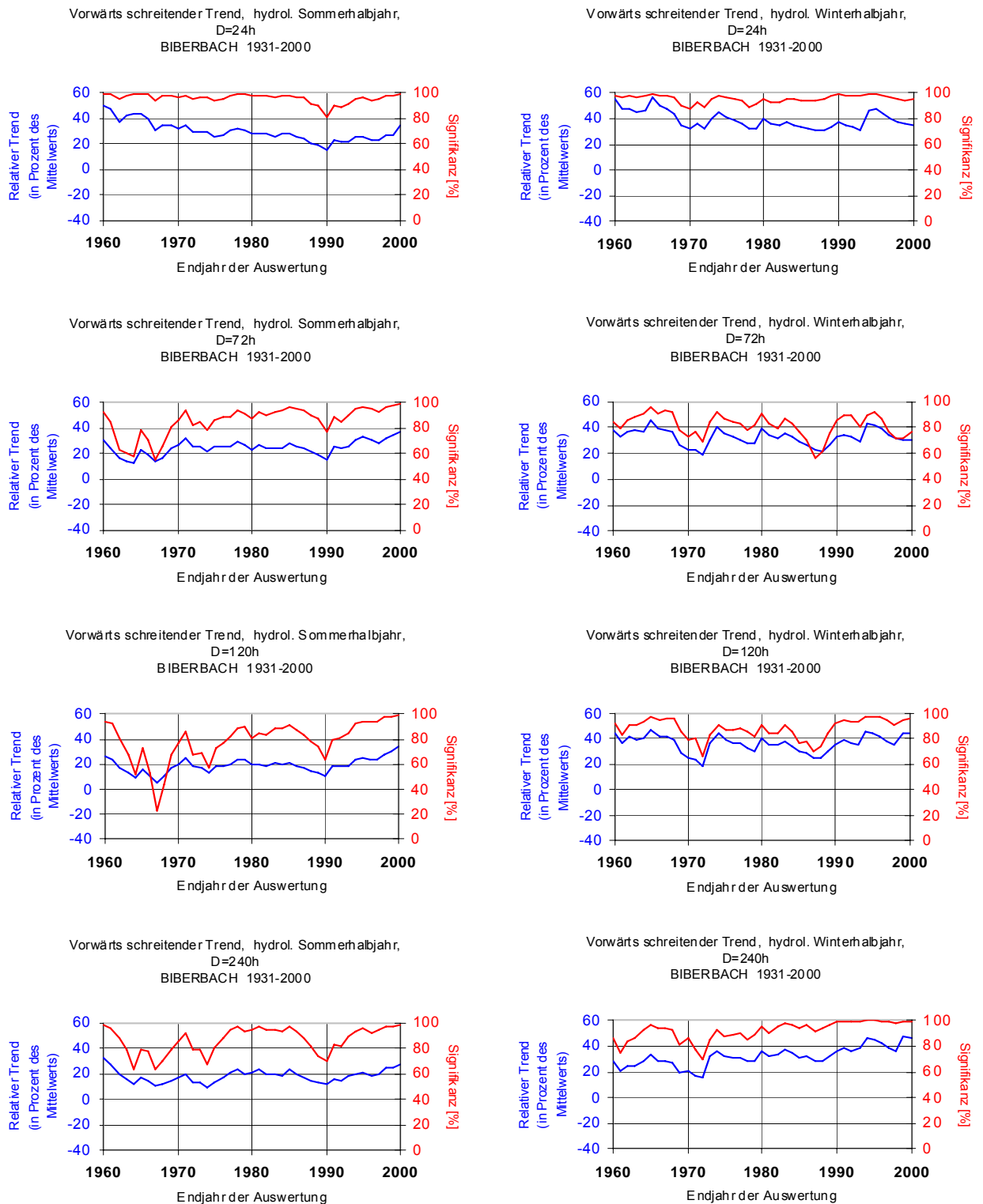


Abb. 4.2a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Biberbach, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.

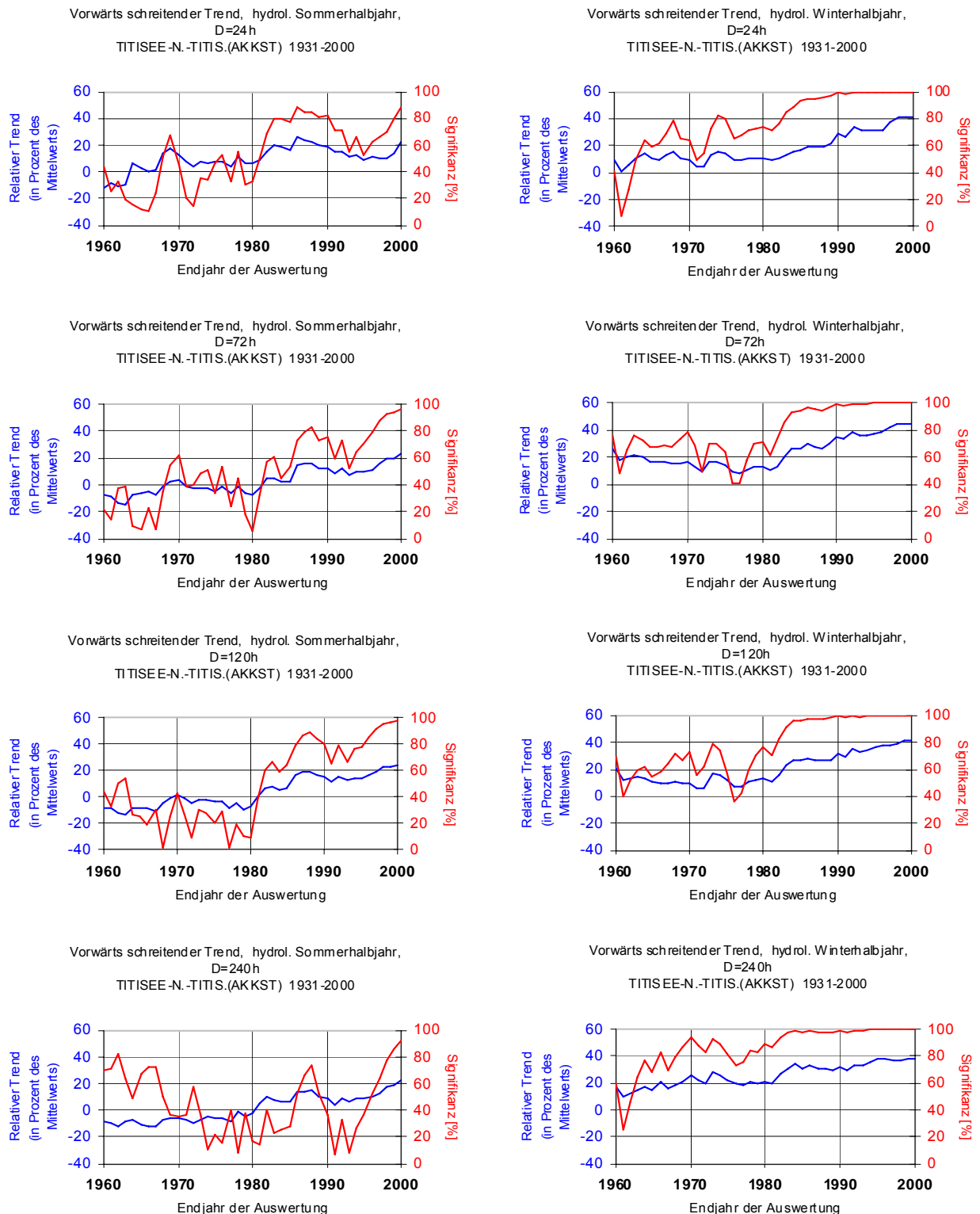


Abb. 4.2b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Titisee-Neustadt-Titisee (AKKST), 1931–2000, Dauerstufen D = 24 h, 72 h, 120 h und 240 h.

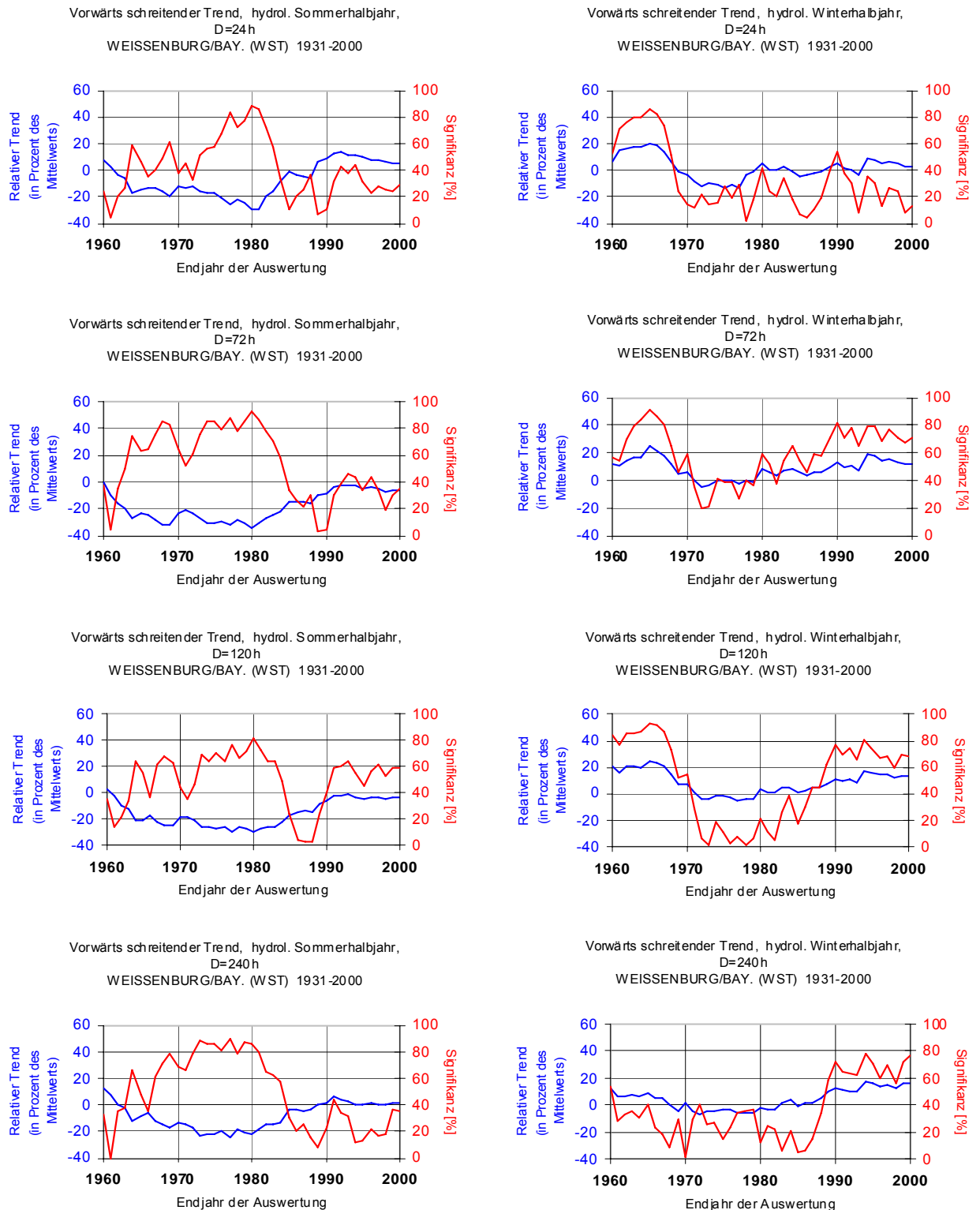


Abb. 4.3a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Weissenburg/Bay. (WST), 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.

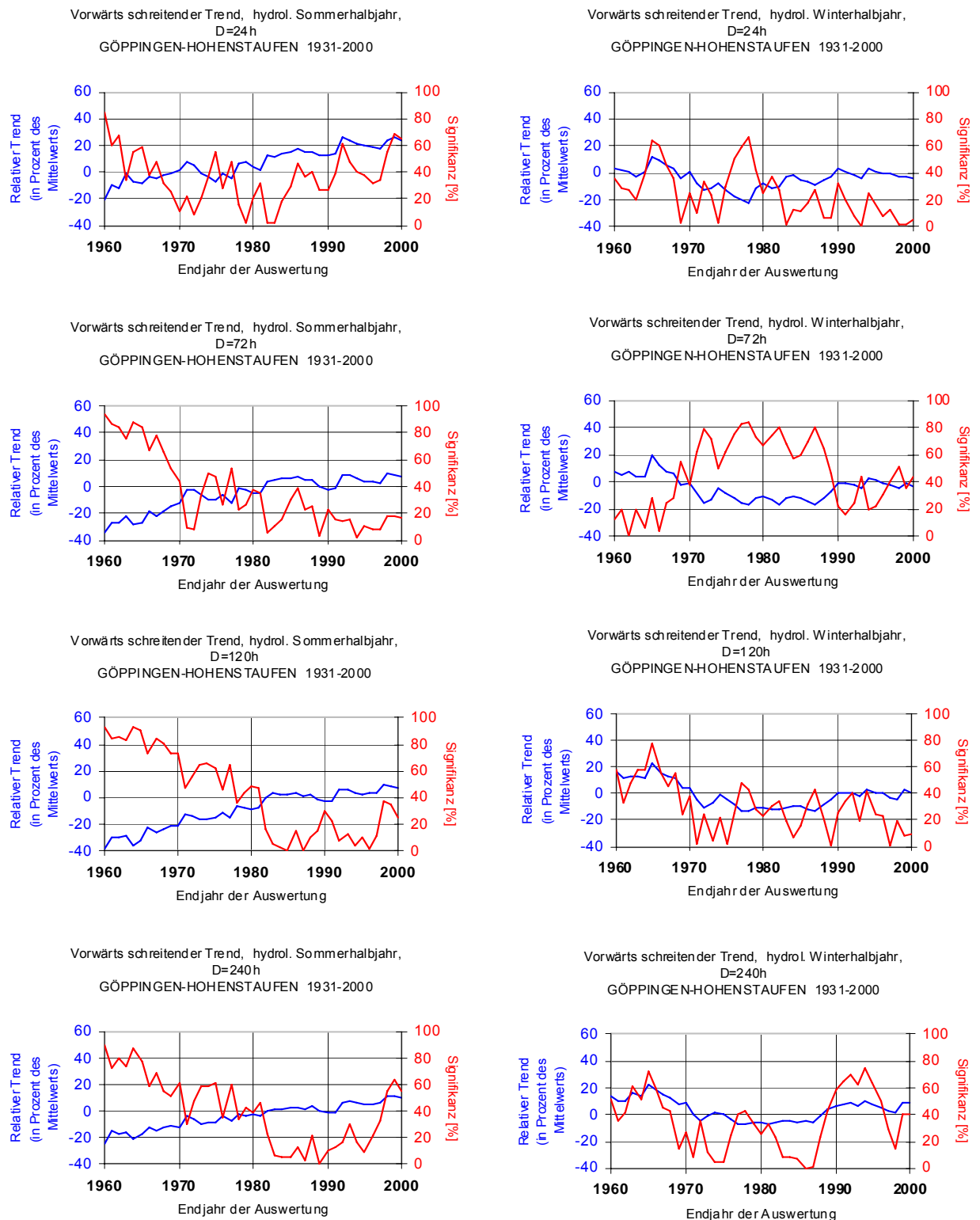


Abb. 4.3b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten), Station Göppingen-Hohenstaufen, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24 \text{ h}$, 72 h , 120 h und 240 h .

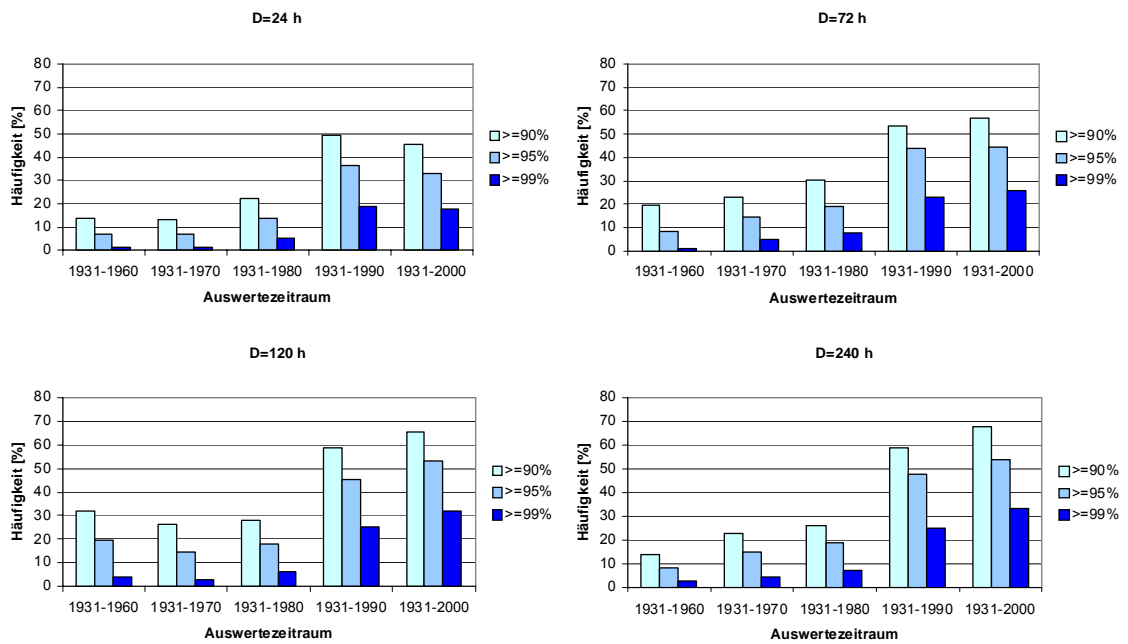


Abb. 4.4: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Winterhalbjahr.

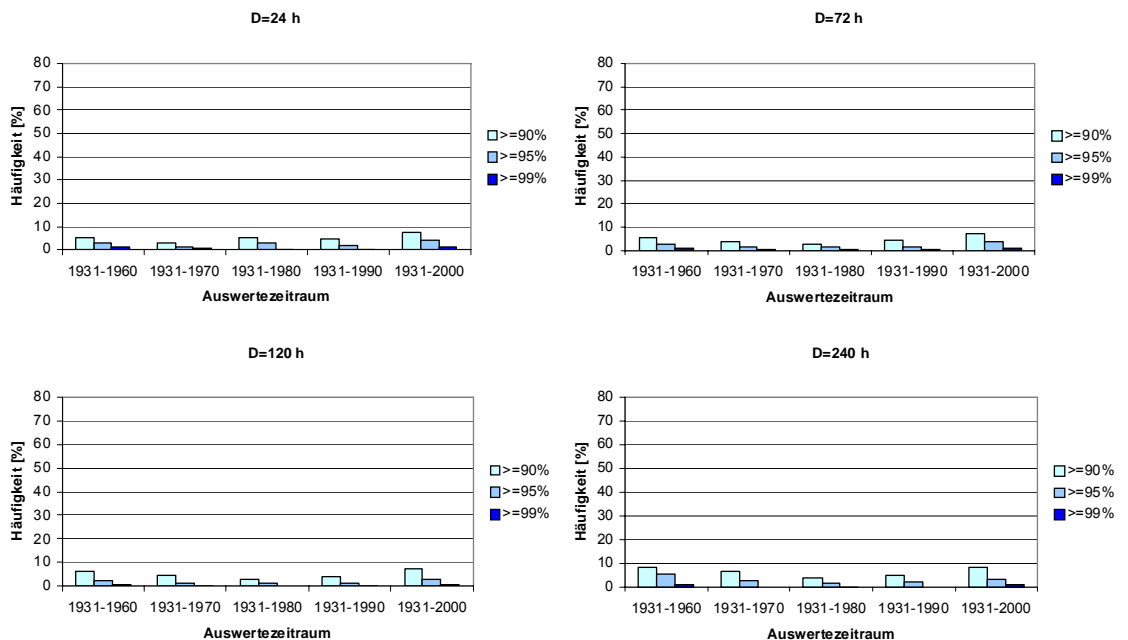


Abb. 4.5: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr.

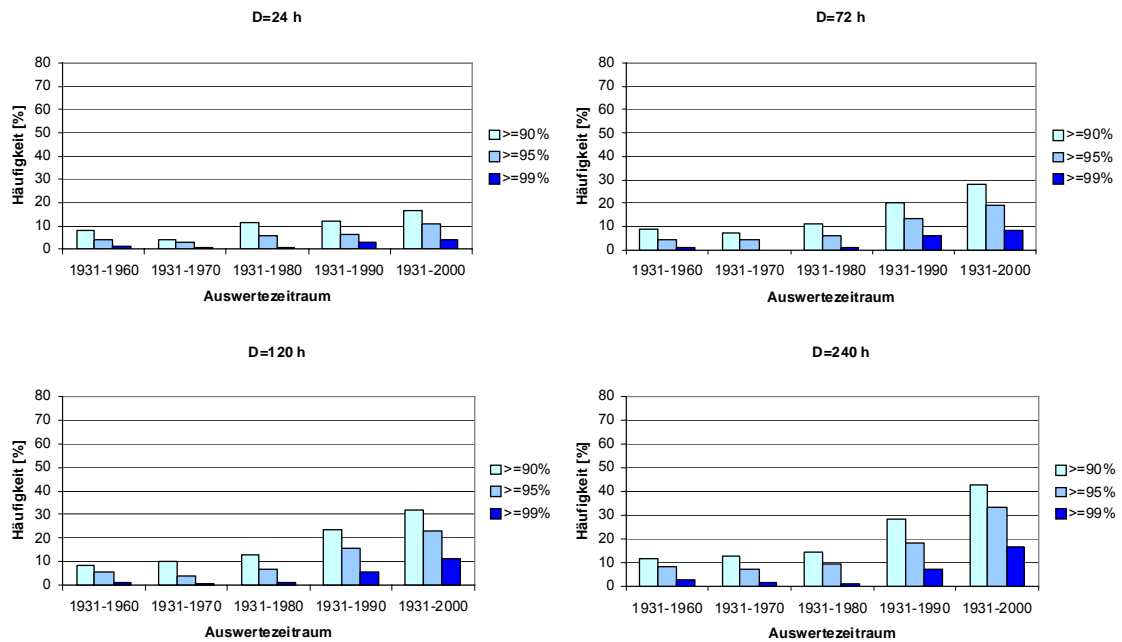


Abb. 4.6: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Jahr.

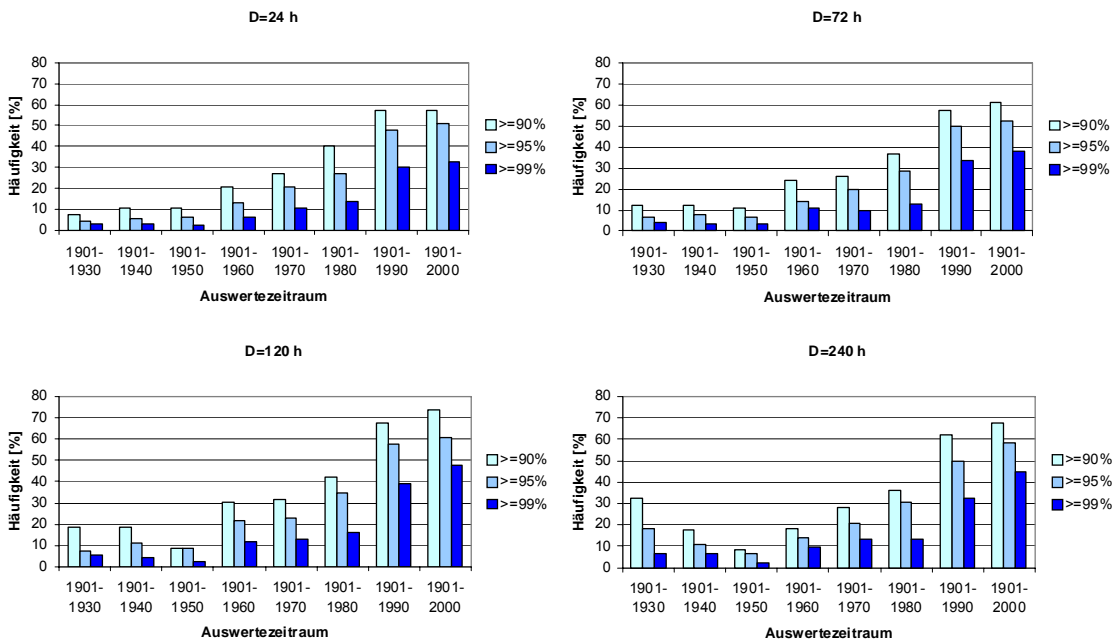


Abb. 4.7: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Winterhalbjahr.

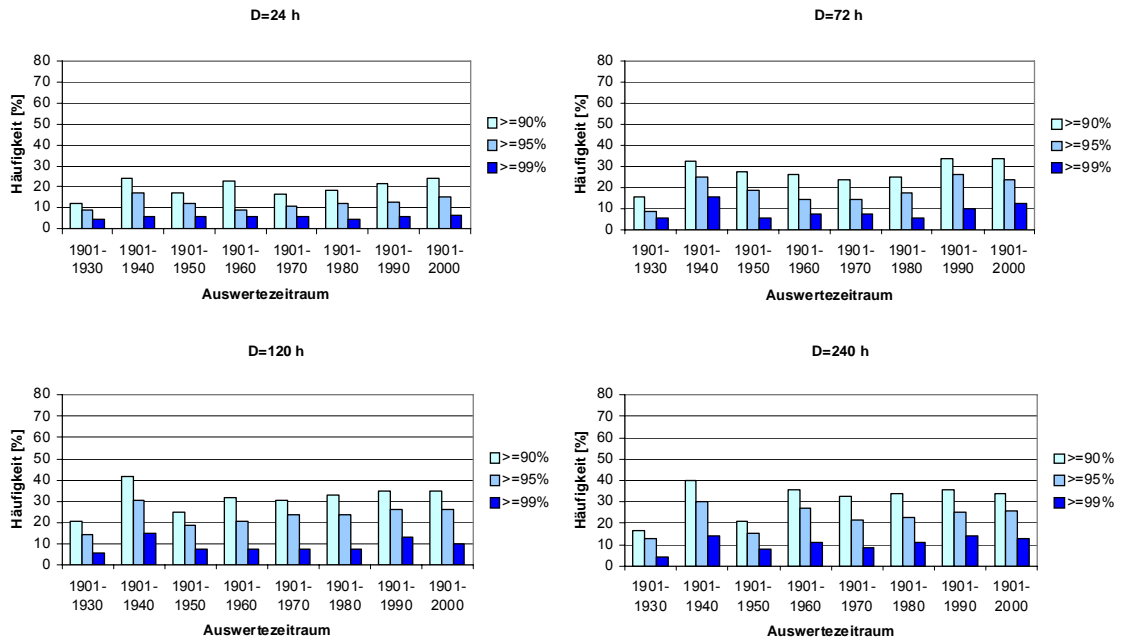


Abb. 4.8: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr.

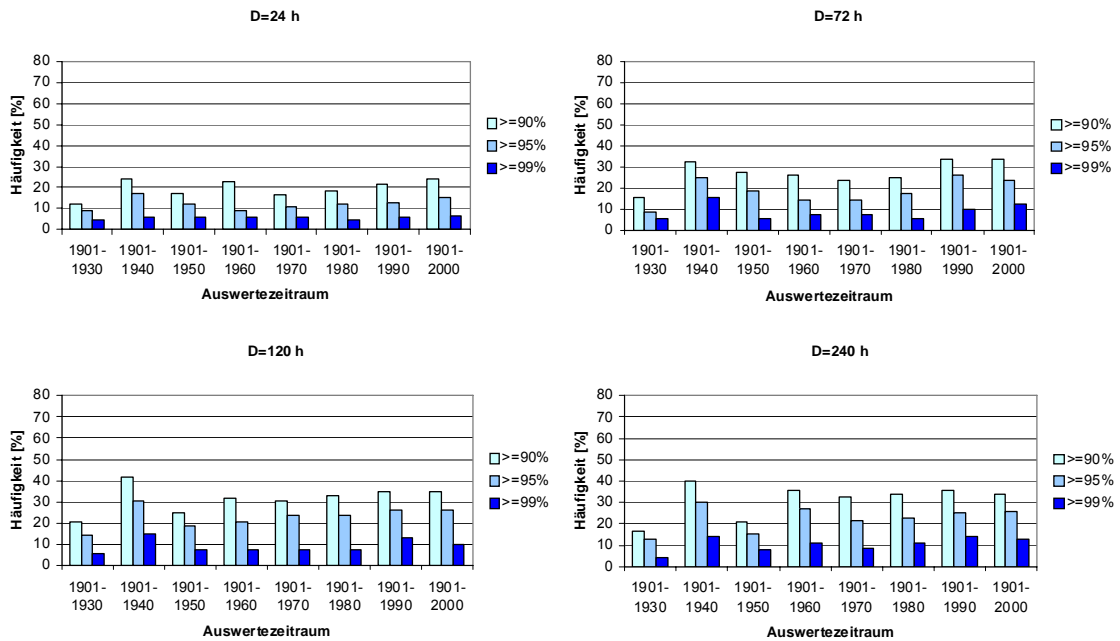


Abb. 4.9: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Jahr.

Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** (Abb. 4.8) fällt auf, dass der Zeitraum 1901–1940 bei allen Dauerstufen das Häufigkeitsmaximum mit signifikant ansteigenden Trendhinweisen über alle Auswerteziträume hinweg aufweist. Für die folgenden Zeiträume bis etwa 1970 nimmt die Anzahl der Stationen wieder etwas ab, um dann bis zum Zeitraum 1901–2000 erneut auf das Niveau des Zeitraumes 1901–1940 anzusteigen. Allerdings stagniert hier die Anzahl der betroffenen Stationen seit dem Jahr 1990.

Die Bewertung der Verhältnisse des hydrologischen **Jahres** (Abb. 4.9) wird eindeutig von den Resultaten der Wintermonate November bis April geprägt. Auch hier wird spätestens mit den Auswertungen der Jahre 1901–1950 (für $D = 24$ h bereits ab 1901–1930) beginnend und bis in die aktuellste Auswertung reichend, eine Zunahme der ansteigenden relativen Niederschlagstrends sichtbar.

In den Abb. 4.10a bis 4.12a (Abb. A4.10b bis A4.12b im Anhang) sind für die Dauerstufe $D = 24$ h ($D = 240$ h) die Auswertungen der vorwärts schreitenden Trendberechnungen in ihrer **räumlichen** Verteilung dargestellt. Die Stationen, die im betreffenden Zeitraum einen signifikant ansteigenden Trend (≥ 90 % Sicherheit) der Starkniederschlagshöhen zeigen, sind rot markiert.

Lassen sich zwischen den Auswertergebnissen für die Zeiträume 1931–1960 und 1931–1970 in allen Abbildungen noch größere Umstellungen erkennen (die Anzahl der betroffenen Stationen variiert, lediglich am Ostrand des Schwarzwaldes und in Teilen des Neckar-Einzugsgebietes und des Alpenvorlandes bleiben die Stationen gleich), so erfassen ab diesem Zeitpunkt die Hinweise auf zunehmende Niederschlagstrends im hydrologischen **Winterhalbjahr** weite Teile beider Bundesländer. Dies reduziert sich etwas in den Jahren 1931–2000. Ebenfalls klar erkennbar ist die bereits oben angesprochene Zunahme der Trendanzeigen mit zunehmender Niederschlagsdauer.

Für das hydrologische **Sommerhalbjahr** (Abb. 4.11) sind von ansteigenden Niederschlagstrends nur vereinzelte Standorte betroffen. Dies führt in der Zusammenfassung für das hydrologische **Jahr** (Abb. 4.12) zu einer gegenüber dem Winterhalbjahr merklichen Reduzierung der Anzahl an Trendhinweisen. Dies zeigt erneut, dass die Betrachtung des gesamten hydrologischen Jahres die unterschiedlichen Trend-Tendenzen der hydrologischen Halbjahre in unzulässiger Weise mittelt.

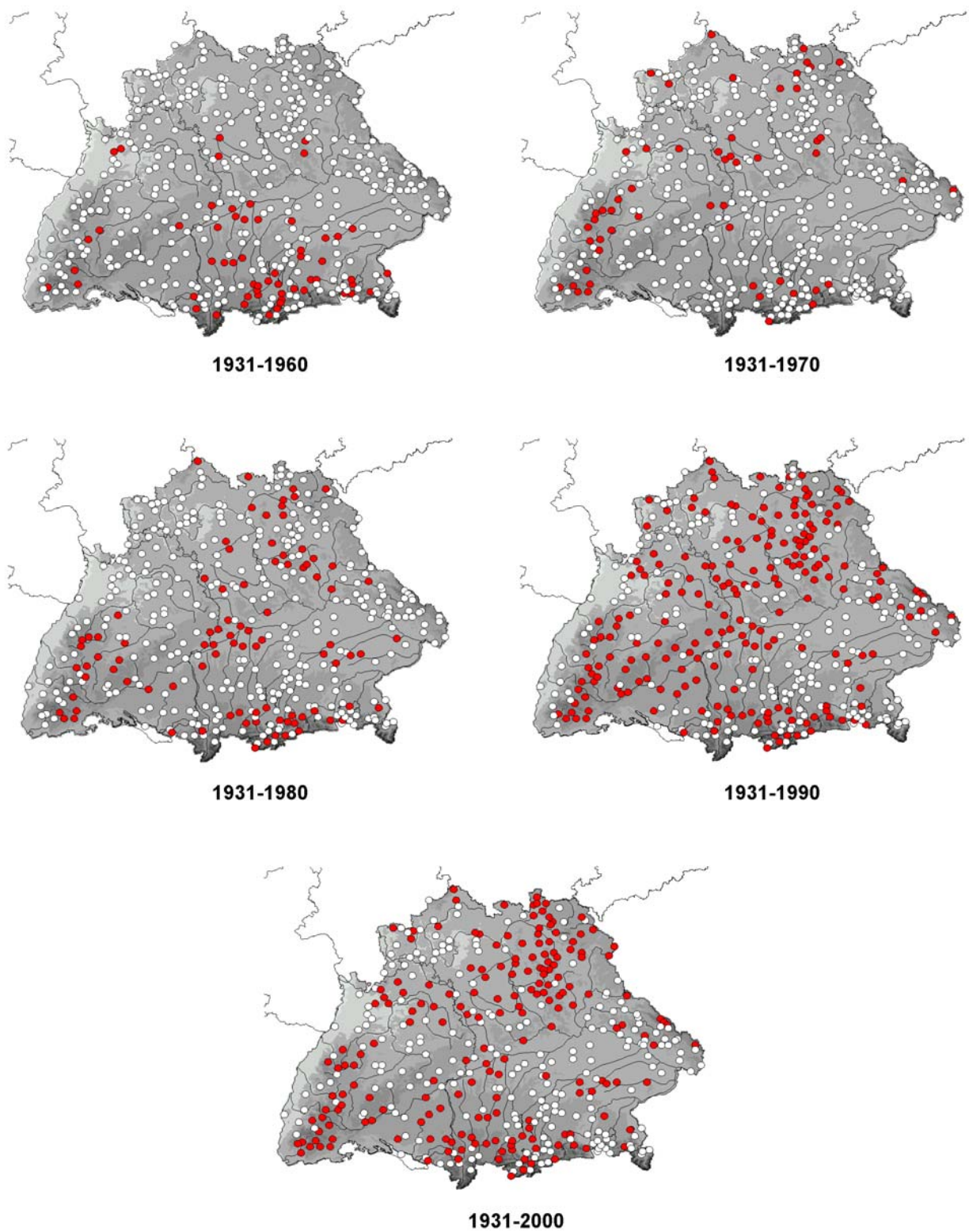


Abb. 4.10a: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Winterhalbjahr.

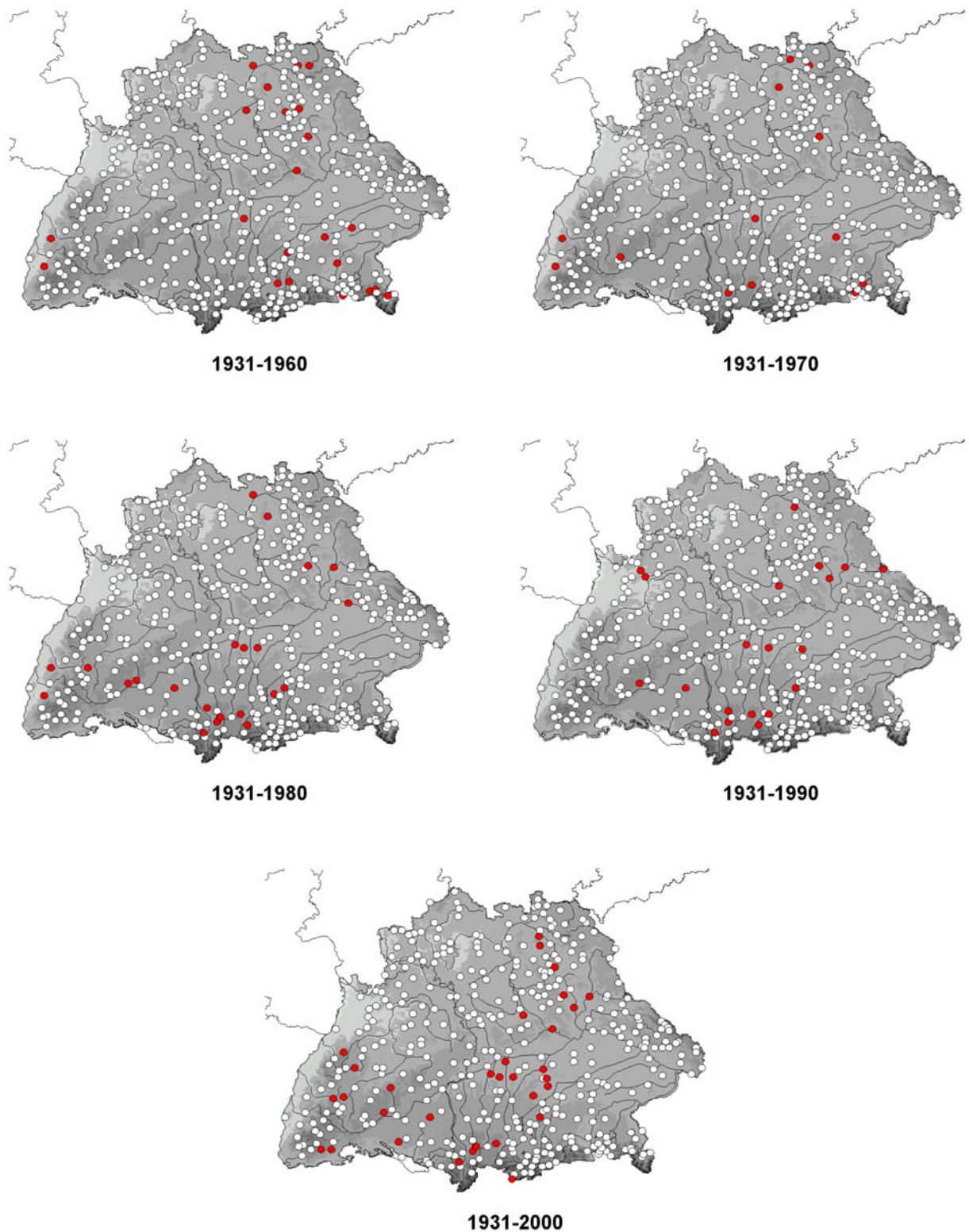


Abb. 4.11a: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Sommerhalbjahr.

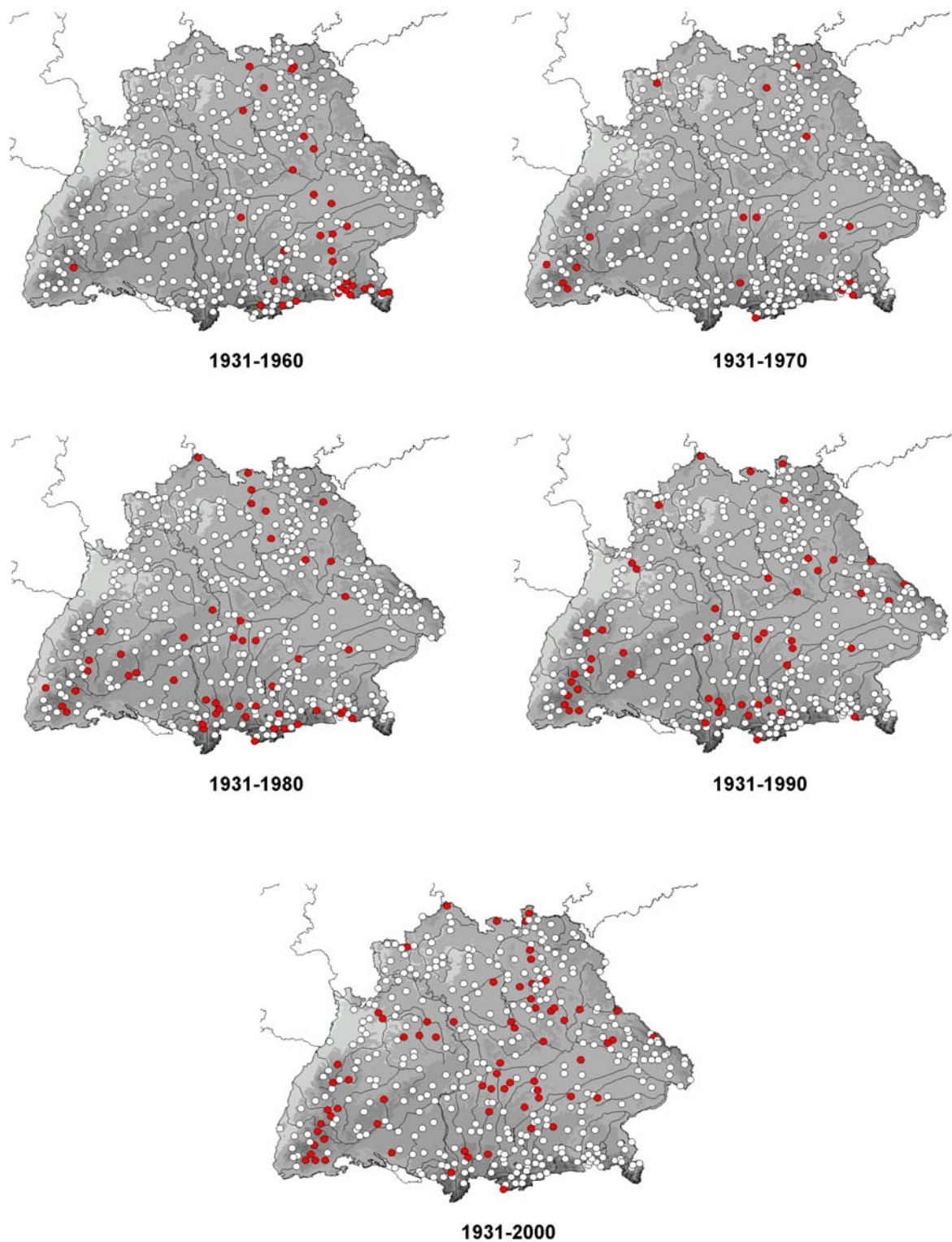


Abb. 4.12a: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Jahr.

4.1.2 Allgemeiner Trend

Bisher wurden die Trendanzeigen nur nach ihrer Richtung, ansteigend oder fallend, unterschieden. Jetzt interessieren auch die Beträge dieser Trendhinweise. Hierzu werden Trendgeraden an die jährlichen Serien der Starkniederschlagshöhen angepasst. Die absolute Steigung dieser Geraden (Wert am Ende der Zeitreihe minus Wert am Anfang) ergibt die lineare Zunahme im betrachteten Zeitraum. Da diese vom allgemeinen Niveau der Starkniederschlagshöhen abhängt – Stationen mit hohen Niederschlägen, z. B. in den Gipfellagen der Mittelgebirge, haben auch hohe Nettoänderungen – werden die absoluten Änderungen mit den Mittelwerten der Zeitreihen skaliert. Man erhält so die relativen Trends in Prozent bezogen auf die Mittelwerte der Stationsreihe. Dies gewährleistet eine Vergleichbarkeit der Trendhinweise aller Stationen, unabhängig von ihrer Höhenlage.

In der Abbildung 4.13 sind die über alle Stationen und unabhängig von der Signifikanz gemittelten relativen Trends für die hydrologischen Halbjahre und die verschiedenen Dauerstufen dargestellt. Für die Zeitreihe 1931–2000 und alle 415 Niederschlagsstationen in Süddeutschland ergibt sich für die Wintermonate ein mittlerer positiver relativer Trend von 20 % bis 25 %, wobei ein linearer Anstieg mit der Zunahme der Niederschlagsdauer festzustellen ist. Die relativen Trends der Sommermonate liegen in allen Dauerstufen demgegenüber mit +2 bis +4 % deutlich niedriger als in den Wintermonaten.

Die Abbildung 4.14 zeigt die Prozentanteile der hiervon betroffenen Stationen. In den Wintermonaten weisen über 90 bis 98 % (mit zunehmender Andauer) aller Stationen einen positiven Trend auf, wohingegen im Sommer nur zwischen 50 bis 60 % aller Stationen insgesamt eine Zunahme zeigen.

Die Streubreite dieser relativen Trends ist in der Abb. 4.15 am Beispiel der Dauerstufe $D = 24$ h dargestellt. Sie stellt eine Verteilung der relativen Trendbeträge dar, die

in Abb. 4.13 nur als Mittelwerte angegeben sind. In den Sommermonaten streuen diese Angaben von -40 % bis +40 % nahezu symmetrisch um den Nullpunkt. In den Wintermonaten hingegen liegt der Gipfelpunkt der Änderungen zwischen +20 und +30 %, die Spannweite variiert hier zwischen -40 % und +70 %.

Werden die gleichen Auswertungen für die 92 Stationen und den Zeitraum 1901–2000 durchgeführt (Abb. 4.16), ergibt sich ein mittlerer positiver relativer Trend im hydrologische Winterhalbjahr (ohne Unterscheidung der Signifikanz) von ca. 25 bis 28 %. Diese mittleren Werte liegen damit nur geringfügig höher als bei den 415 Stationen im Zeitraum 1931–2000. Im hydrologischen Sommerhalbjahr hingegen vervierfacht sich der Trendbetrag aus der Reihe 1931–2000 und erreicht 12 bis 14 %. Die Anzahl der in diesen Monaten hiervon betroffenen Stationen liegt immer klar über 80 % (Abb. 4.17). In den Wintermonaten sind fast alle Standorte betroffen. Die genauere Aufschlüsselung der Trendbeträge und ihrer Häufigkeiten in Abb. 4.18 für das hydrologische Sommerhalbjahr zeigt eine eingipflige Häufigkeitsverteilung mit einem Modalwert in der Trendklasse 10–20 %. Die relativen Trends und ihre Häufigkeiten für das hydrologische Winterhalbjahr weisen demgegenüber drei Schwerpunkte mit 0–10 % (22 Stationen), 20–30 % (24 Stationen) und 40–50 % (13 Stationen) auf. Gleichzeitig zeigen zwei Standorte positive relative Trends bis 70–80 % bzw. 80–90 %.



Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge

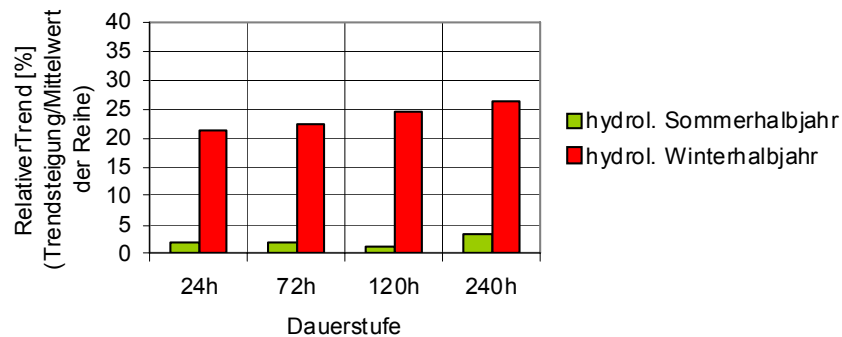


Abb. 4.13: Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge unterschiedlicher Dauer (24 h bis 240 h) in Bayern und Baden-Württemberg aller 415 Niederschlagsstationen für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Zeitraum 1931–2000.

Anteil der Stationen mit positivem Trend

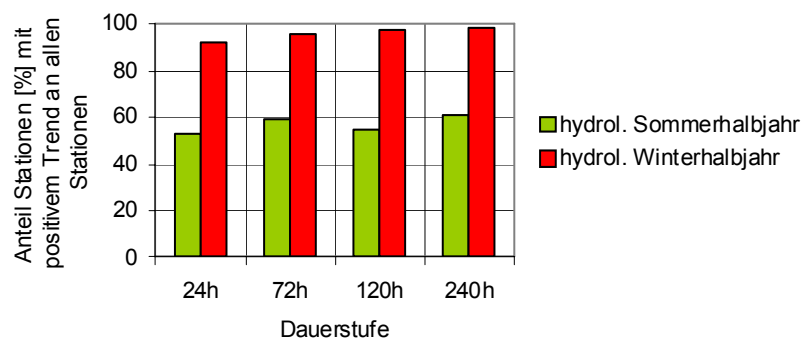


Abb. 4.14: Anteil der Stationen mit positivem Trend der Starkniederschläge in den einzelnen Dauerstufen, alle 415 Stationen, Zeitraum 1931–2000.

Absolute Häufigkeit der relativen Trends für D=24h

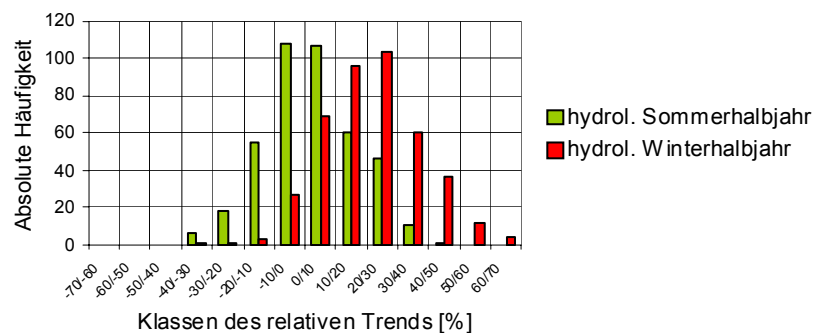


Abb. 4.15: Absolute Häufigkeit des relativen Trends aller 415 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauer D = 24 h, Zeitraum 1931–2000.

Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge

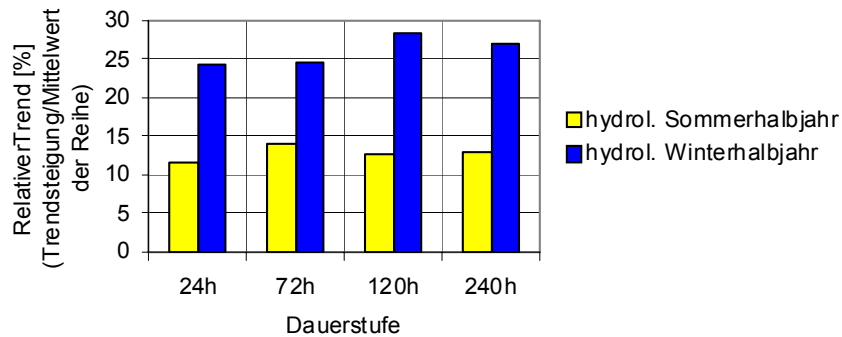


Abb. 4.16: Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge unterschiedlicher Dauer (24 h bis 240 h) in Bayern und Baden-Württemberg aller 92 Niederschlagsstationen für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Zeitraum 1901–2000.

Anteil der Stationen mit positivem Trend

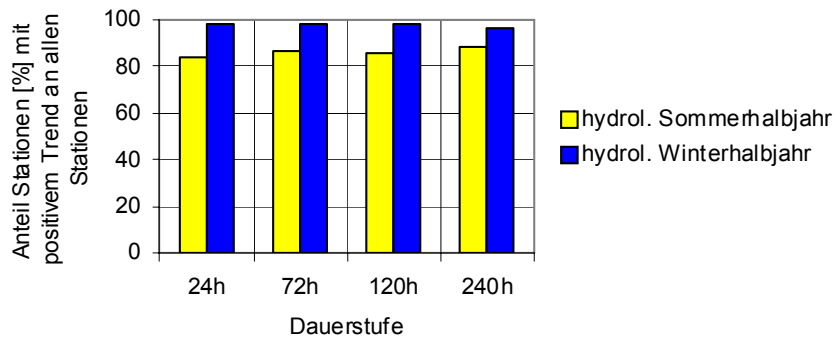


Abb. 4.17: Anteil der Stationen mit positivem Trend der Starkniederschläge in den einzelnen Dauerstufen, alle 92 Stationen, Zeitraum 1901–2000.

Absolute Häufigkeit der relativen Trends für D=24h

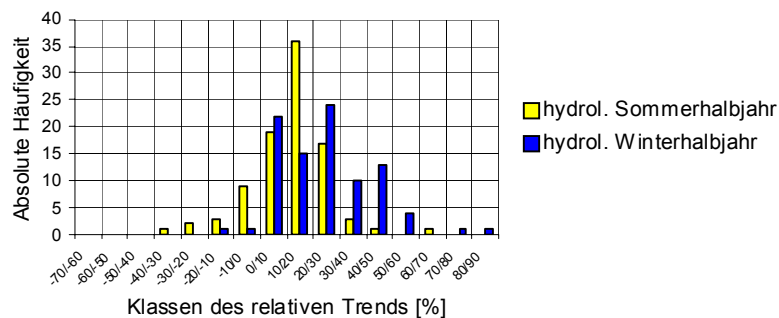


Abb. 4.18: Absolute Häufigkeit des relativen Trends aller 92 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauer D = 24 h, Zeitraum 1901–2000.



4.1.3 Signifikante Trends

Die in 4.1.2 durchgeführten Analysen werden im Folgenden auf die Stationen angewandt, deren Trends entsprechend dem Mann-Kendall'schen Trendwert eine Signifikanz von mehr als 90 % aufweisen. In der Abbildung 4.19 ist der mittlere relative Trend (signifikanter Stationen) und die Anzahl der betroffenen Stationen dargestellt, diesmal nach den beiden Bundesländern Baden-Württemberg und Bayern getrennt.

Für den Zeitraum 1931–2000 ist im hydrologischen Winterhalbjahr der mittlere relative Trend in beiden Bundesländern für die vier Dauerstufen sehr ähnlich (Abb. 4.19 oben). Im hydrologischen Sommerhalbjahr erreichen die relativen Trends in Baden-Württemberg 15–25% und damit ca. 50 bis 80% der Werte im Winter. Im Freistaat Bayern bleiben diese Zunahmen im Sommer meist deutlich unter einem relativen Trendwert von <5% und erreichen erst für die Dauerstufe $D = 240$ h mehr als 10 %.

Ein Blick auf die relative Häufigkeit der betroffenen Stationen (Abb. 4.19 unten) zeigt im hydrologischen Winterhalbjahr in beiden Ländern eine etwa gleiche Anzahl mit einem Zuwachs mit zunehmender Niederschlagsdauer von ca. 45 % auf knapp 70 %. Im Sommerhalbjahr ist die Anzahl der betroffenen Stationen in beiden Bundesländern über alle Dauerstufen nahezu gleich, liegt aber nur bei etwa 10 %.

Die gleichen Auswertungen wurden auch für die 92 Stationen der Zeitreihe 1901–2000 durchgeführt und die Ergebnisse in Abb. 4.20 dargestellt. Im hydrologischen Winterhalbjahr sind die mittleren relativen Niederschlagstrends und die Zahl der Stationen mit signifikantem Trend in beiden Bundesländern sehr ähnlich den Ergebnissen der Auswertungen für den Zeitraum 1931–2000. Eine Zunahme der Werte mit ansteigender Niederschlagsdauer ist allerdings nur noch bei der Stationsanzahl in Baden-Württemberg festzustellen. In Bayern ist nur ein Anstieg bis zur Dauerstufe $D = 120$ h festzustellen. Die mittleren relativen Starkniederschlagstrends liegen für

den Zeitraum 1901–2000 in Bayern sogar etwas über den Werten der Zeitreihe 1931–2000.

Deutliche Unterschiede zur Auswertung 1931–2000 findet man dagegen im hydrologischen Sommerhalbjahr. Der mittlere relative Trend im Zeitraum 1901–2000 ist in Bayern in der Dauerstufe $D = 24$ h fast 6-mal so groß wie bei den Berechnungen des Zeitraumes 1931–2000. Die Anzahl der betroffenen Stationen ist etwa 3-mal so groß. Im hydrologischen Sommerhalbjahr ist der mittlere relative Starkniederschlagstrend in Baden-Württemberg im Zeitraum 1901–2000 deutlich niedriger als im Zeitraum 1931–2000. Die Zahl der betroffenen Stationen hat sich dagegen verdreifacht.

In der Tabelle 4.1 sind die Auswertungen signifikanter Trends für die beiden Auswertungszeiträume 1901–2000 und 1931–2000 nochmals für beide Bundesländer zusammengefasst dargestellt. Die Unterschiede im Sommerhalbjahr zwischen den beiden Auswertungszeiträumen werden jetzt noch deutlicher. Im Winterhalbjahr sind dagegen wesentlich geringere bis keine Veränderungen festzustellen.

In den Abbildungen 4.21 und 4.22 sind die Beträge der signifikanten Trends für die beiden Zeiträume 1901–2000 und 1931–2000 und ihre absoluten Häufigkeiten aufgetragen (Anzahl der Stationen). Man erkennt, dass im Sommerhalbjahr bei der Dauerstufe $D = 24$ h im Zeitraum 1901–2000 nur noch eine Station einen signifikant abnehmenden Trend hat gegenüber ca. 20 Stationen im Zeitraum 1931–2000. Auch die Zahl der Stationen mit sehr großen positiven Trendbeträgen hat sich deutlich erhöht. Im Zeitraum 1901–2000 ist sogar die Klasse 70–80 % mit einer Station belegt. Der betrachtete Zeitraum spielt also für die Signifikanz und den Trendbetrag eine nicht unerhebliche Rolle.

In einer weiteren Untersuchung wurde daher geprüft, wie sich die Signifikanz verändert, wenn unterschiedlich lange Zeiträume bei gleichem Endzeitpunkt (2000) ausgewertet werden. Ausgehend von den Stationen mit Zeitreihen, die vor 1901

beginnen, wurden von den Stationen mit positivem Trend im Zeitraum 1931–2000 die Zeiträume Messbeginn bis 2000, 1901–2000, 1931–2000 und 1971–2000 nach der Signifikanz der ansteigenden Trends untersucht. In den Abbildungen 4.23 (hydrologisches Winterhalbjahr), 4.24 (hydrologisches Sommerhalbjahr) und 4.25 (hydrologisches Jahr) sind die absoluten Häufigkeiten der Stationen mit unterschiedlichem Signifikanzniveau der Starkniederschlagstrends aufgetragen. Die Aussage dieser drei Abbildungen ist ein-

deutig: Je länger der untersuchte Zeitraum ist, der den Trendberechnungen zugrunde gelegt wird, desto größer ist die Anzahl der Standorte mit signifikanten Trends. Bemerkenswert ist, dass im Winterhalbjahr für den Zeitraum 1971–2000 mehr als 2/3 aller Stationen keinen signifikanten Trend mehr zeigen ($S < 80\%$). Im Sommerhalbjahr bilden sich zwei Gruppen; die Zeiträume 1931–2000 und 1971–2000 zeigen ein anderes Verhalten als die Zeiträume Messbeginn bis 2000 und 1901–2000. Dieser Aspekt ist auch in den Abbildungen 4.19 und 4.20 erkennbar.

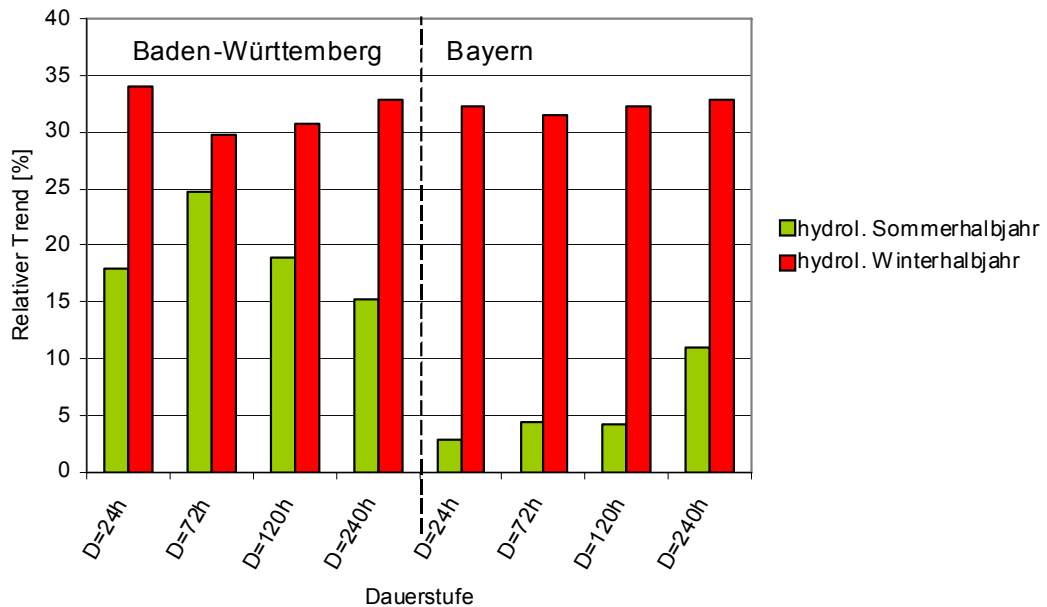
Tabelle 4.1: Häufigkeiten [%] positiver Trends (Signifikanzschwelle $S \geq 90\%$) und die damit verbundenen mittleren relativen Trends [%] für vier Dauerstufen.
 Datenbasis: 92 Datenreihen des Zeitraums 1901–2000 (obere Zeilen),
 415 Datenreihen des Zeitraums 1931–2000 (untere Zeilen).

Hydrologisches Sommerhalbjahr		D = 24 h	D = 72 h	D = 120 h	D = 240 h
Betroffene	1901 - 2000	29,3 %	39,1 %	40,2 %	38,0 %
Standorte	1931 - 2000	12,3 %	9,9 %	10,4 %	10,6 %
Mittlerer	1901 - 2000	23,3 %	22,7 %	22,5 %	21,7 %
rel. Trend	1931 - 2000	6,3 %	9,3 %	7,3 %	11,8 %

Hydrologisches Winterhalbjahr		D = 24 h	D = 72 h	D = 120 h	D = 240 h
Betroffene	1901 - 2000	62,0 %	65,2 %	78,3 %	71,7 %
Standorte	1931 - 2000	46,3 %	57,1 %	65,5 %	68,0 %
Mittlerer	1901 - 2000	32,8 %	31,3 %	31,5 %	31,6 %
rel. Trend	1931 - 2000	32,8 %	31,3 %	31,9 %	32,9 %



Mittlere relative Niederschlagstrends (Signifikanz $\geq 90\%$) in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen



Relative Häufigkeit der Stationen mit Niederschlagstrends (Signifikanz $\geq 90\%$) in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen

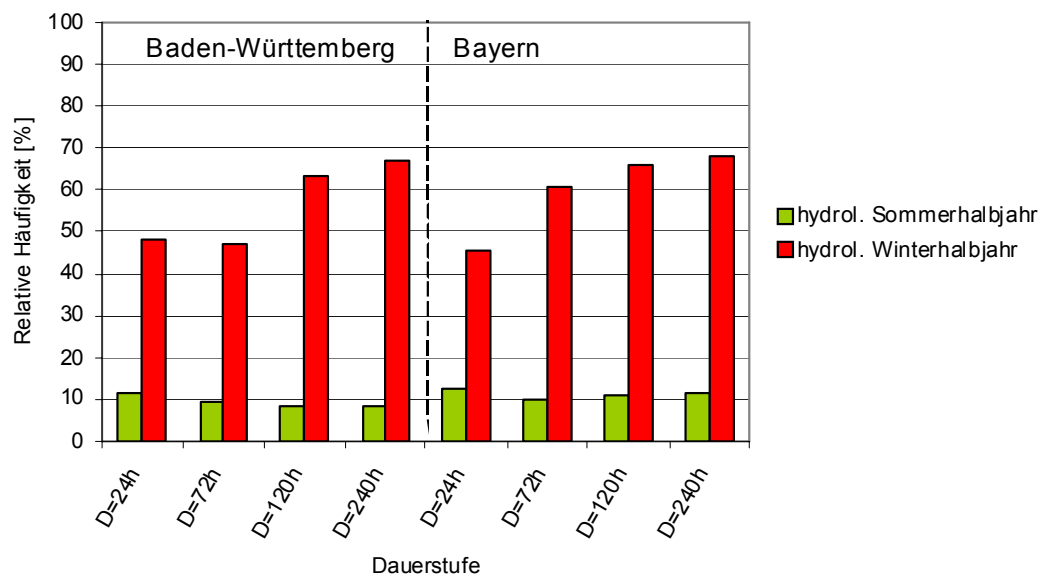
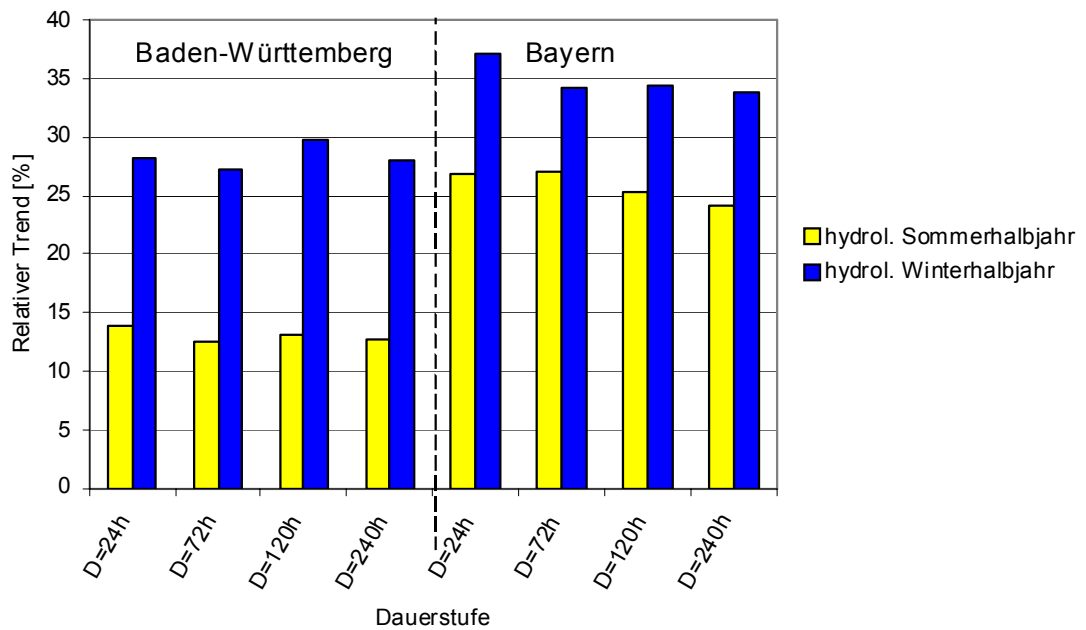


Abb. 4.19: Mittlere relative Trends (Signifikanz $\geq 90\%$) und relative Häufigkeit der betroffenen Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen. Datenbasis: 415 Stationen, Zeitraum 1931–2000.

Mittlere relative Niederschlagstrends (Signifikanz $\geq 90\%$) in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen



Relative Häufigkeit der Stationen mit Niederschlagstrends (Signifikanz $\geq 90\%$) in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen

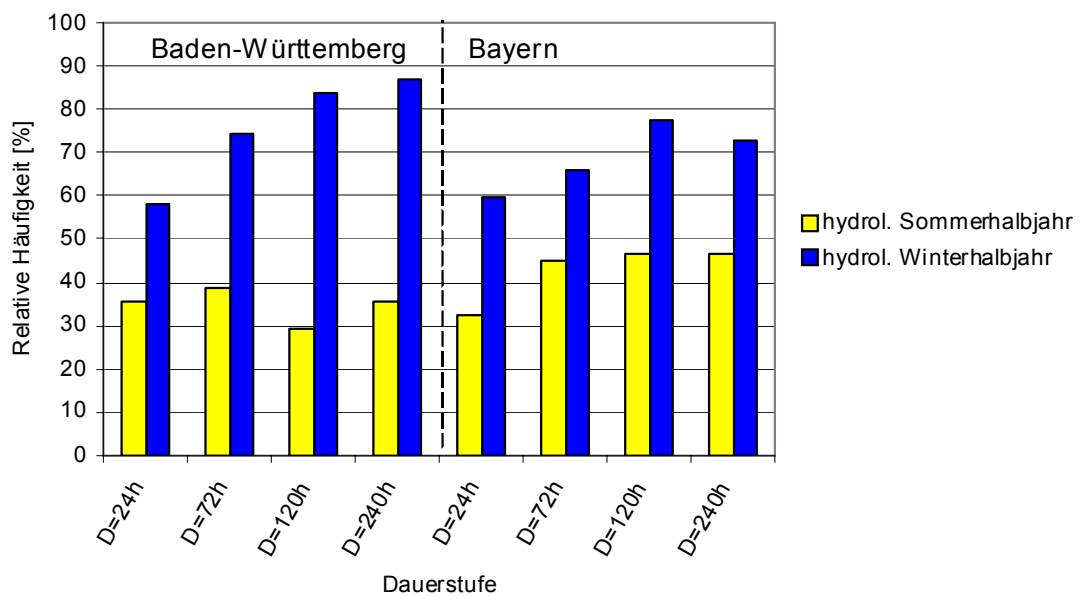


Abb. 4.20: Mittlere relative Trends (Signifikanz $\geq 90\%$) und relative Häufigkeit der betroffenen Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen. Datenbasis: 92 Stationen, Zeitraum 1901–2000.

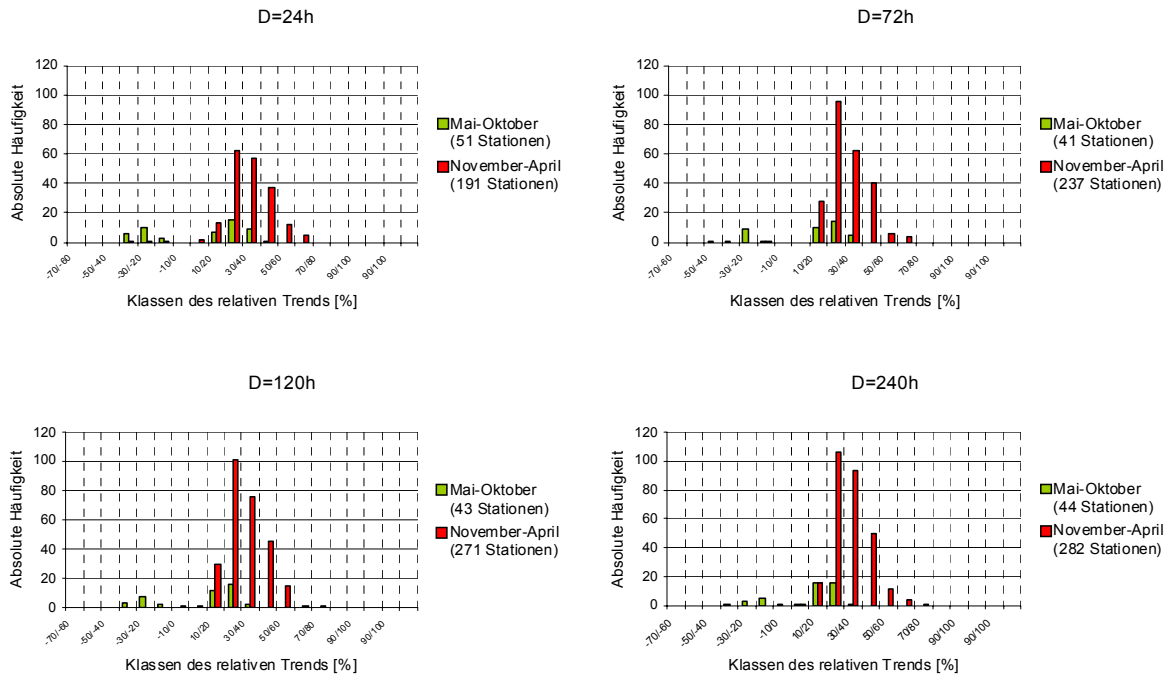


Abb. 4.21: Absolute Häufigkeit signifikanter Trends ($\geq 90\%$) aus allen 415 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauerstufe $D = 24\text{ h}$, 72 h , 120 h und 240 h , Zeitraum 1931–2000.

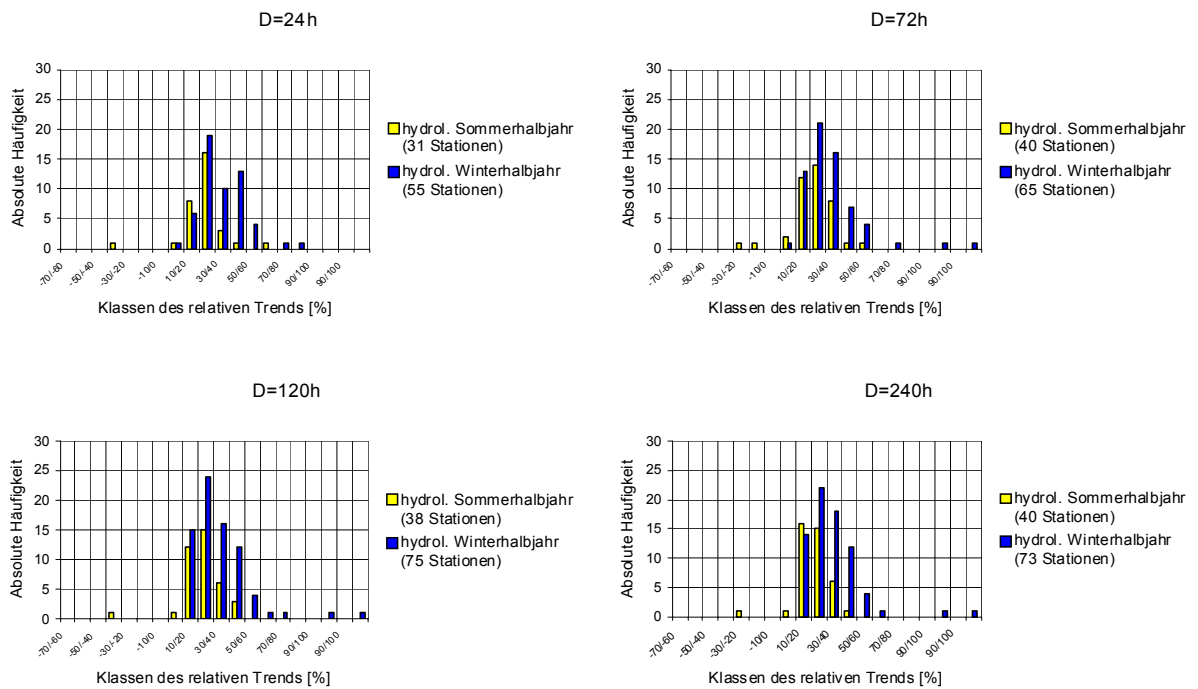


Abb. 4.22: Absolute Häufigkeit signifikanter Trends ($\geq 90\%$) aus allen 92 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauerstufe $D = 24\text{ h}$, 72 h , 120 h und 240 h , Zeitraum 1901-2000.

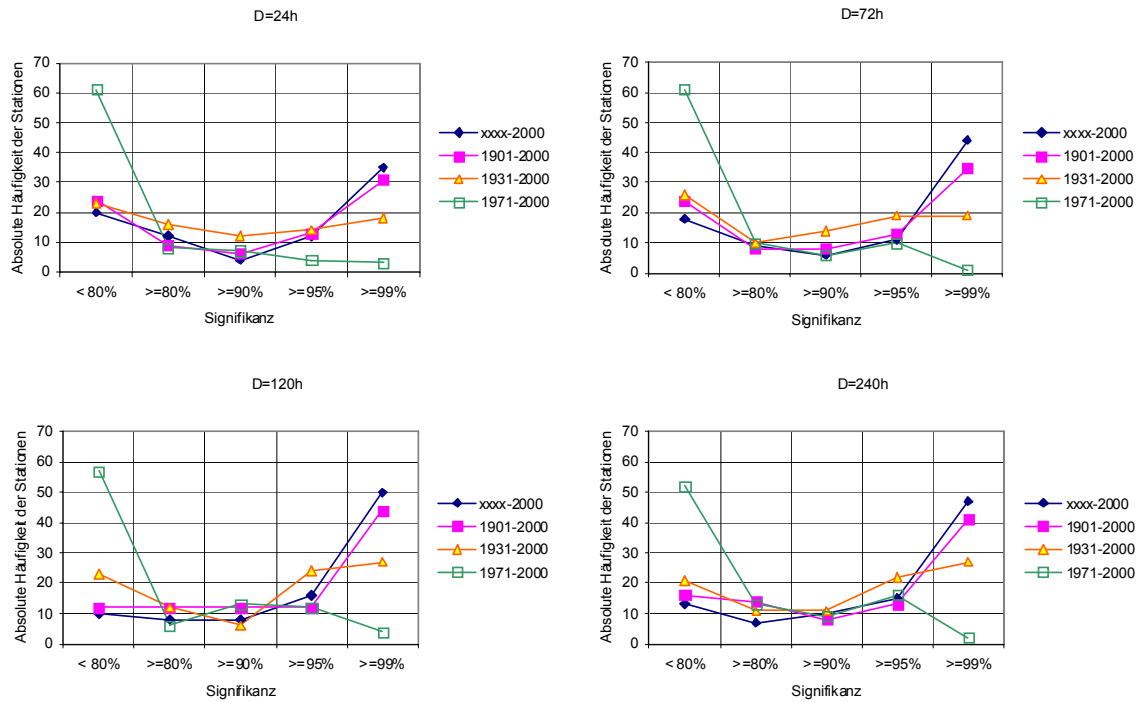


Abb. 4.23: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Winterhalbjahr.

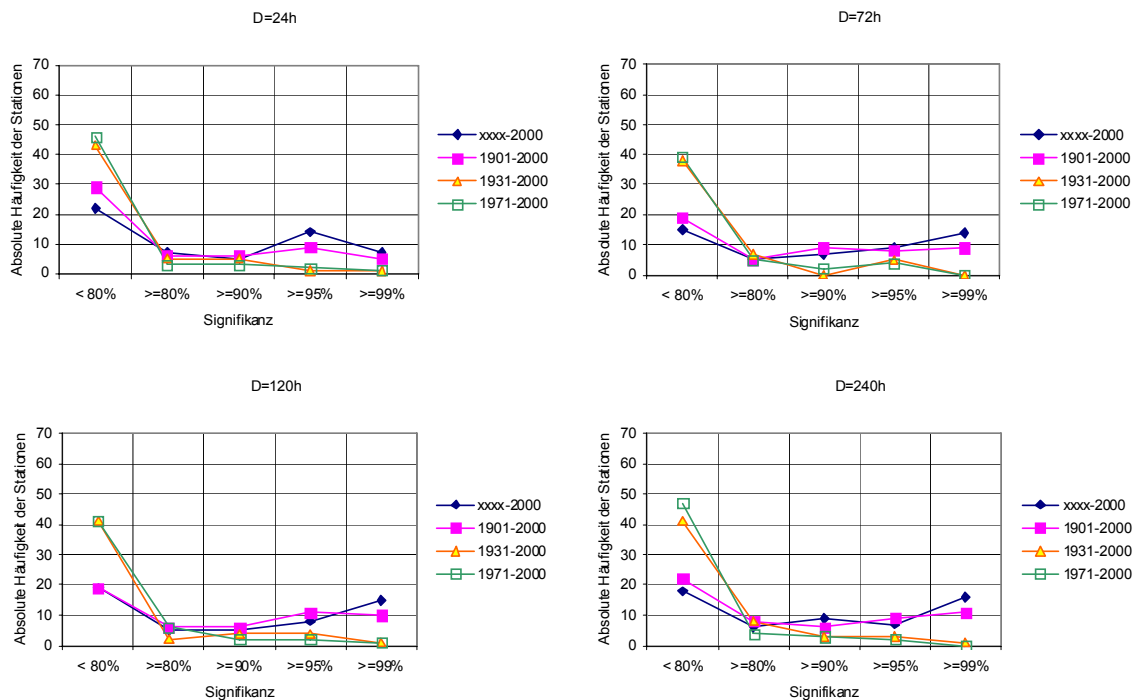


Abb. 4.24: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Sommerhalbjahr.

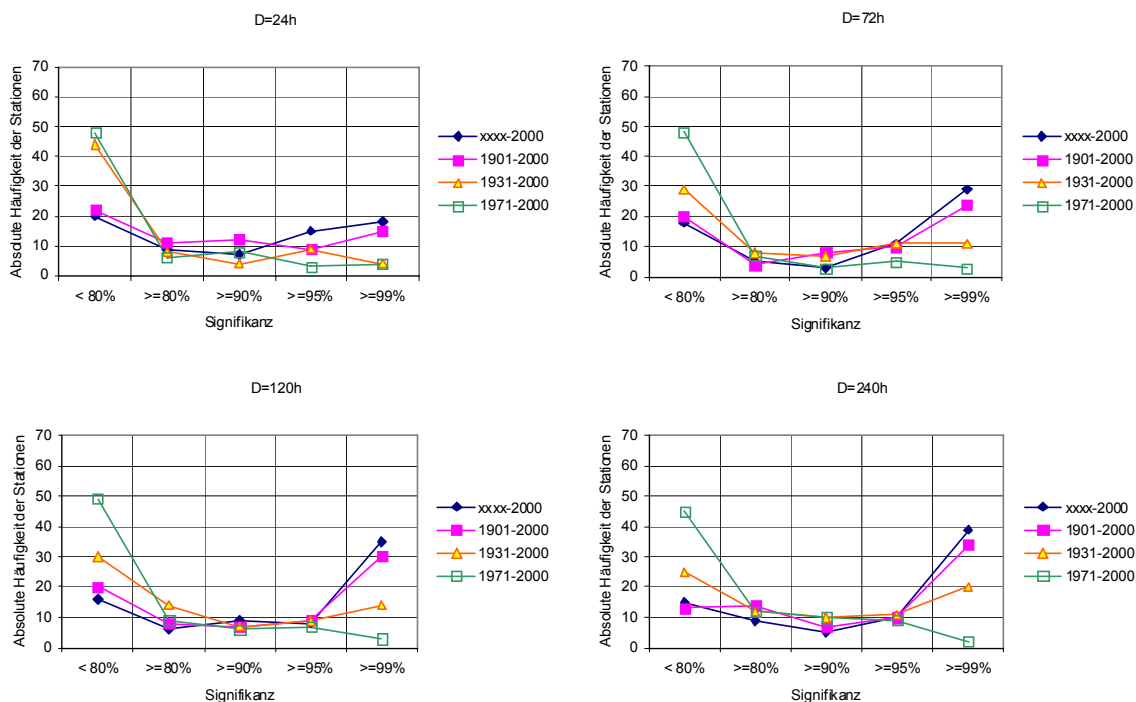


Abb. 4.25: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Jahr.

4.2 Räumliche Verteilung

Die Abbildungen 4.26a-h (Abb. 4.26c-h im Anhang) zeigen Stationsweise die relativen Trends und ihre Signifikanz für das hydrologische Sommerhalbjahr, die Abbildungen 4.27a-h (Abb. 4.27c-h im Anhang) die entsprechenden Angaben für das hydrologische Winterhalbjahr, jeweils auf der Basis von 92 Stationen (oben, 1901–2000) und 415 Stationen (unten, 1931–2000). Dargestellt sind die Ergebnisse für die Dauerstufen $D = 24 \text{ h}$, 72 h , 120 h und 240 h . Die Klasseneinteilung für die relativen Trendanzeigen reicht von $\leq -50 \%$ (linker Halbkreis vollständig gefüllt) bis $> +50 \%$ (rechter Halbkreis ist vollständig gefüllt).

Im Folgenden soll die räumliche Verteilung näher betrachtet werden. Wegen der geringeren Anzahl an Stationen im Zeitraum 1901–2000 werden für diese Auswertung eher Landkreise als ganze Regionen angesprochen.

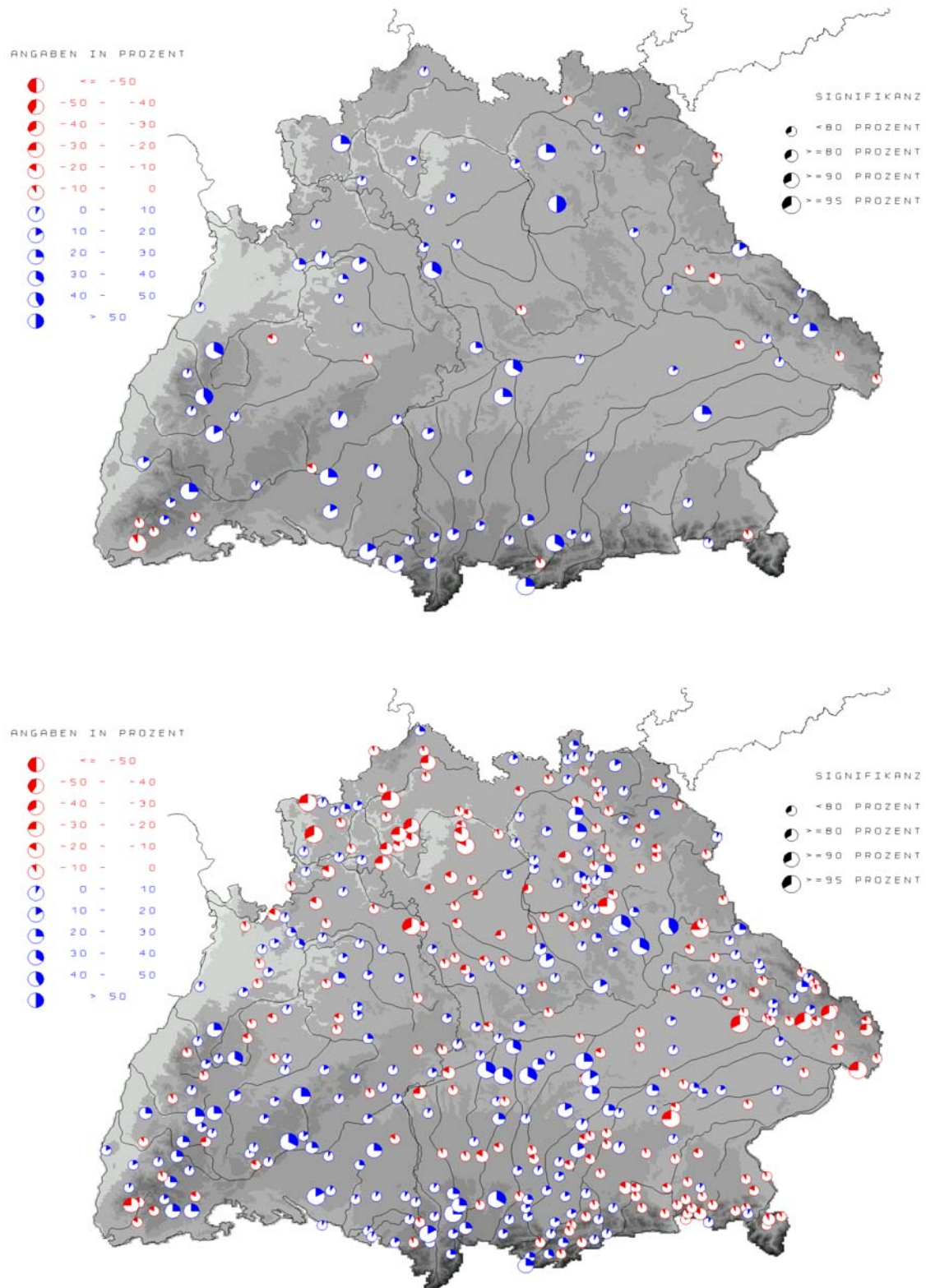


Abb. 4.26a-b: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts; hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 24 h.
Oben: 92 Stationen, 1901–2000
Unten: 415 Stationen, 1931–2000

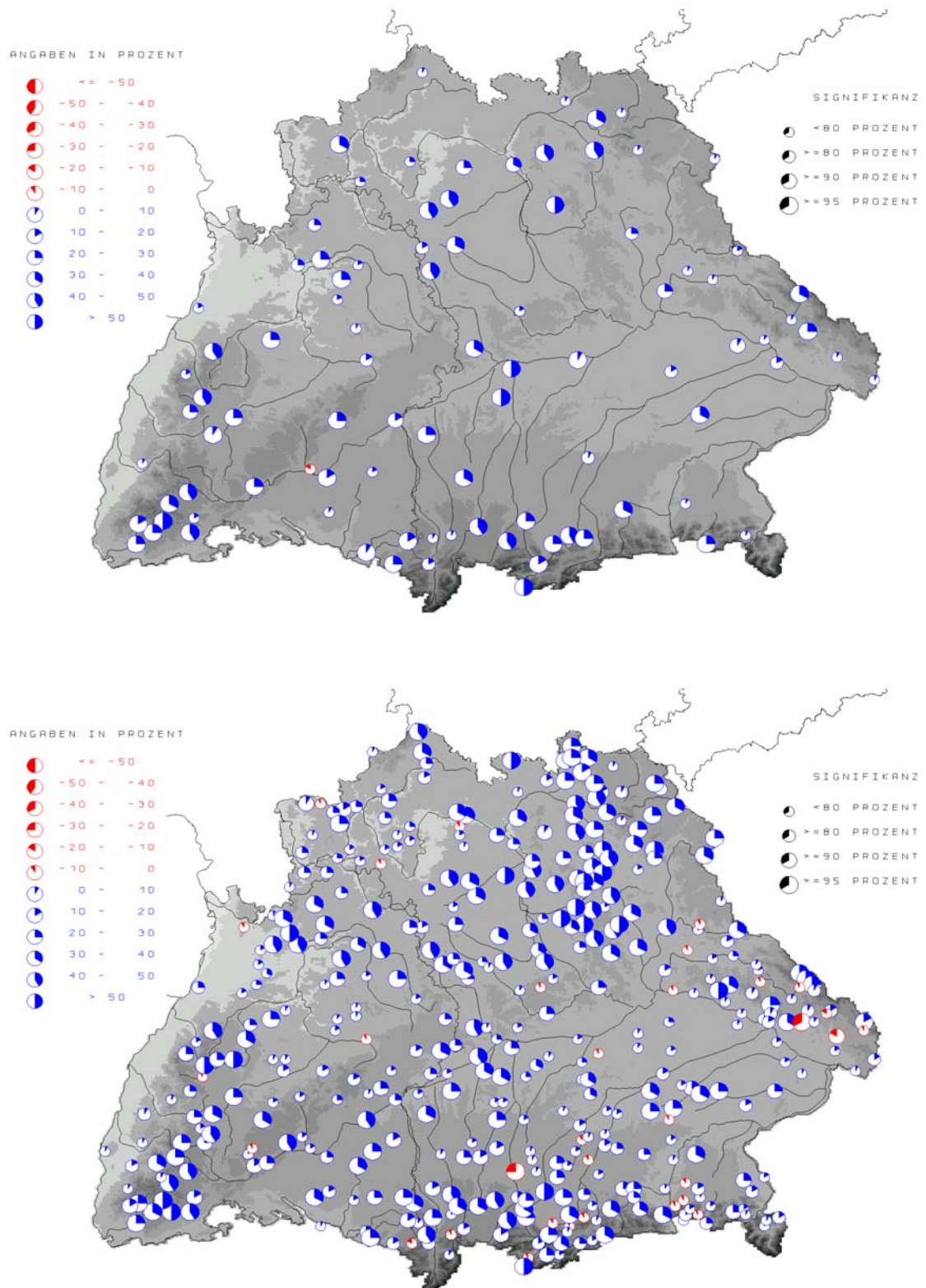


Abb. 4.27a-b: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts; hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 24$ h.
oben: 92 Stationen, 1901–2000
unten: 415 Stationen, 1931–2000

Hydrologisches Sommerhalbjahr

Die räumliche Verteilung der relativen Trends der Starkniederschläge im Sommerhalbjahr ist im Zeitraum 1931-2000 (Abb. 4.26a-b unten) sehr uneinheitlich, sowohl bezüglich der Trendrichtung als auch der Signifikanz. Stationen mit signifikant zunehmenden Trends liegen oft nahe an Stationen mit signifikant abnehmenden Trends. Größere zusammenhängende Gebiete mit zunehmenden Trends sind am Südrand des Schwarzwaldes, an der mittleren Donau sowie in Oberbayern zu finden. Fallende relative Trends treten verstärkt in Unter- und Mittelfranken, in Niederbayern und im östlichen Bayerischen Wald auf.

Im Zeitraum 1901-2000 (Abb. 4.26a-b oben) findet man an den räumlich ungleichmäßig verteilten Stationen fast ausschließlich geringe zunehmende Trends, wobei aber nur wenige signifikant sind. Geringe abnehmende Trends scheinen noch am ehesten im Südschwarzwald aufzutreten.

Dieses Bild ändert sich mit wachsender Andauer der Starkniederschläge nur unwesentlich (Abb. 4.26 c-h im Anhang).

Hydrologisches Winterhalbjahr

Räumlich wesentlich einheitlicher sind die Trends dagegen im Winterhalbjahr. Die Gesamtzahl der signifikanten Fälle liegt in den Wintermonaten 1931-2000 (Abb. 4.27a-b unten) deutlich über denen der Sommermonate (Abb. 4.26a-b, unten). Gleichzeitig ist eine markante Zunahme der Trendhinweise und ihrer Signifikanz mit der Niederschlagsdauer zu verzeichnen. Betroffen sind jetzt die ganze Westhälfte und der Norden Baden-Württembergs, ebenso Bayern (mit Ausnahme des westlichen Unterfrankens) in einem breiten Gürtel von Nürnberg bis Regensburg, Schwaben, Oberbayern und Niederbayern. Im Voralpen- und Alpenraum variieren die Signifikanzbewertungen regional, die Vorzeichen der Veränderungen bleiben jedoch überwiegend positiv. Diese Trendhinweise sind zum Teil mit sehr hohen Zunahmen der Starknieder-

schläge verbunden (oft > 50 % vom Mittelwert), die über alle Dauerstufen auf hohem Niveau nahezu unverändert bleiben (Abb. 4.27c-h im Anhang).

Ein sehr ähnliches Bild liefert auch die Auswertung des Zeitraumes 1901-2000 (Abb. 4.27a-b, oben; weitere Abb. im Anhang). Jeweils nur eine Station zeigt eine nichtsignifikante geringe Abnahme. Signifikanz und relative Zunahmen sind eher noch etwas höher als im Zeitraum 1931-2000.

4.3 Zeitreihenvergleich und Wetterlageneinfluss

In diesem Abschnitt wird der Wetterlageneinfluss auf die jeweils 50 größten Niederschlagshöhen jeder Station (die "Spitzengruppe" der Starkniederschläge) in der Zeitreihe 1931-2000 näher untersucht. Hierzu werden die Häufigkeiten der Großwetterlagen (GWL) insgesamt entsprechend der Zirkulationsform (ZF) den entsprechenden Häufigkeiten für die Termine der 50 größten Niederschlagshöhen der Dauerstufe $D = 24$ h gegenübergestellt. Zur Glättung kurzzeitiger Variationen werden 10-jährig gleitende Auszählungen dieser Häufigkeiten verwendet.

Die folgenden 11 von insgesamt 29 – nach ihrer Zirkulation geordneten – Großwetterlagen haben für die Interpretation des Starkniederschlagsgeschehens besondere Bedeutung :

zonalen Zirkulationsform :

- Westlage, zyklonal
- Südliche Westlage
- Winkelförmige Westlage

gemischte Zirkulationsform :

- Südwestlage, zyklonal
- Nordwestlage, zyklonal
- Hochdruckbrücke (Rücken)
- Mitteleuropa



meridionale Zirkulationsform :

- Nordlage, zyklonal
- Trog Mitteleuropa
- Nordostlage, zyklonal
- Trog Westeuropa

Die Abb. 4.28 zeigt zunächst die Häufigkeiten der Großwetterlagen (in Form 10-jährig gleitender Mittel) getrennt nach den Zirkulationsformen zonal, gemischt und meridional für die hydrologischen Halbjahre des Gesamtzeitraums 1931–2000 für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr. Berücksichtigt werden in diesen Abbildungen zunächst alle Tage mit den entsprechenden Zirkulationsformen, ob es sich hierbei um Starkniederschlagstermine handelt oder nicht.

Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** wird der dominierende Einfluss der meridionalen GWL erkennbar (blau). Nur in wenigen Jahren wird ihre Häufigkeit von der gemischten Zirkulationsform (rot) nahezu erreicht bzw. knapp übertroffen. Die zonale Zirkulationsform (grün) steht an dritter Stelle, wobei ab den Jahren 1940–1949 eine bis ins Jahr 2000 anhaltende Abnahme erkennbar ist.

Im hydrologischen **Winterhalbjahr** ist in den Jahren 1970–1979 eine Umstellung der Zirkulation erkennbar. Vor diesem Zeitpunkt dominieren auch hier die GWL der meridionalen Zirkulationsform, gefolgt von den GWL der gemischten und zonalen Zirkulationsform. Ab den Jahren 1970–1979 fällt der Anteil der meridionalen Zirkulationsform von rund 45 % auf zeitweise 30 %, gleichzeitig steigen die gemischten und zonalen Anteile (diese bereits ab den Jahren 1955–1964) merklich an. In den Jahren 1991–2000 stellt sich die frühere Abfolge der Häufigkeiten wieder ein, jedoch jetzt mit Häufigkeitsdifferenzen von lediglich noch 5 bis 10 %.

Es wird nun untersucht, welche Großwetterlage beim Auftreten der 50 größten täglichen Niederschlagshöhen jeder Stationen der Zeitreihe 1931–2000 geherrscht hat. In Abbildung 4.29 zeigt diese Auszählung für das hydrologische **Sommerhalbjahr** eine Zunahme der Häufigkeit der

GWL der meridionalen Zirkulationsform. Ab etwa den Jahren 1961–1970 steigt diese Häufigkeit fast sprunghaft an. Etwa 1978 erfolgt ein Rückgang und etwa 1984 wieder ein Anstieg auf das Niveau der 1970er-Jahre. Gleichzeitig bleibt der Anteil der zonalen und gemischten ZF seit etwa 1961–1970 immer unter 30 %.

Für das hydrologische **Winterhalbjahr** zeigt sich seit 1931–1940 ein sägezahnförmiger Zuwachs des Anteils der zonalen Zirkulationsform, kombiniert mit einer Abnahme der meridionalen Zirkulationsform ab etwa 1952–1961. Bis zu diesem Zeitpunkt sinkt der Anteil der gemischten ZF nahezu linear, ab diesen Jahren folgt bis 1970–1979 eine Phase geringer Variation, daran anschließend eine starke Zunahme bis auf knapp 40 %. Dieser Anteil sinkt nochmals merklich ab und erreicht in den Jahren 1991–2000 wieder etwa 30 %.

Interessant ist auch die in Abb. 4.30 gezeigte Relation dieser Häufigkeiten zu den Gesamthäufigkeiten, also der Vergleich der Auszählergebnisse aus den Abb. 4.28 und 4.29. Die Angabe „0 %“ steht hierbei für eine direkt proportionale Änderung der Häufigkeiten der Zirkulationsformen an den Starkniederschlagsterminen und an allen Tagen dieser Jahre. Positive (negative) Prozentangaben kennzeichnen demnach überproportionale (unterproportionale) Änderungen der Häufigkeiten der Großwetterlagen an den Starkniederschlagsterminen verglichen mit den sich insgesamt ändernden Häufigkeiten dieser Großwetterlagen.

Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** wächst der Anteil der meridionalen Zirkulationsform seit 1931–1940 stetig an und liegt jetzt für die Niederschlags-extremwerte bei einem Überschuss gegenüber dem allgemeinen Auftreten meridionaler Zirkulationsformen von +40 %. Im Gegenzug sinken die Anteile der gemischten und zonalen ZF und sind aktuell unterproportional häufig. Bemerkenswert ist das absolute Maximum der zonalen ZF in den Jahren 1952–1961 bis 1964–1973.

Im hydrologischen **Winterhalbjahr** ist die zonale ZF immer überproportional beim

Auftreten von Niederschlagsextremwerten vertreten, erreicht jedoch bereits in den Jahren 1955–1964 ihr Maximum mit einem Häufigkeitsplus von +160 % gegenüber der Gesamtzählung (Abb. 4.30). Mit starken Schwankungen sinkt diese Relation bis in die Gegenwart und liegt 1991–2000 bei etwa +90 %. Die Anteile der gemischten und meridionalen ZF sinken seit 1931–1940 kontinuierlich bis etwa 1970–1979 für die gemischte ZF (mit einem auffälligen relativen Maximum 1975–1984) bzw. bis 1979–1988 für die meridionale Zirkulationsform.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass erwartungsgemäß die zunehmenden Trends der Starkniederschläge im hydrologischen **Winterhalbjahr** durch eine Zunahme der Großwetterlagen der zonalen Zirkulationsform verursacht werden, verbunden mit sinkenden Anteilen der GWL meridionaler Zirkulationsform am Starkniederschlagsgeschehen. Der für den Hauptanteil der Starkniederschläge verantwortliche zonale Anteil war und ist jedoch nicht in einer festen Relation an die Häufigkeit der zonalen ZF insgesamt gekoppelt. Erst ab etwa den Jahren 1980–1989 sind diese nahezu konstant mit fast +90 % überproportional – also nahezu doppelt so häufig wie in der Gesamtheit – für das Auftreten extremer Starkniederschlagshöhen verantwortlich. Im Zeitraum davor (ab Beginn der 1950er-Jahre) wurden bereits fast +160% erreicht, dies war jedoch verbunden mit sehr großen zeitlichen Variationen um bis zu 80 Prozent in den Jahren zwischen Mitte der 1950er-Jahre und Ende der 1960er-Jahre. In den anschließenden Jahren wiederholt sich dies mit etwas reduzierten Beträgen nochmals. In ihrer nahezu zeitlichen Konstanz ist die oben bereits angesprochene überproportionale Kopplung (+90%) zwischen dem Auftreten der Starkniederschläge und der Häufigkeit der zonalen Zirkulationsform in den aktuell zurückliegenden Jahren bemerkenswert.

Das für die gemischten Zirkulationsformen gefundene relative Maximum um die Jahre 1975–1984 ist möglicherweise für die interessante zeitliche Verteilung der Starkniederschlagshöhen im Süden Deutsch-

lands – mit ansteigenden Trends bis in das Jahr 1985 hinein – prägend. Dies ist in der Abb. 4.4 besonders deutlich für die Dauerstufe D=24h erkennbar, wo die häufigsten Trendanzeigen für die Jahre 1931–1990 verzeichnet werden. Für die übrigen Dauerstufen ist zumindest eine - gegenüber der starken Zunahme zwischen 1931–1980 und 1931–1990 – wesentlich verlangsamte Zunahme erkennbar.

Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** steigt der Anteil der meridionalen ZF am Starkniederschlagsgeschehen – auch in Relation zu den Häufigkeiten insgesamt – eindeutig an und zwar zu Lasten der Häufigkeiten der gemischten und zonalen Zirkulationsformen.

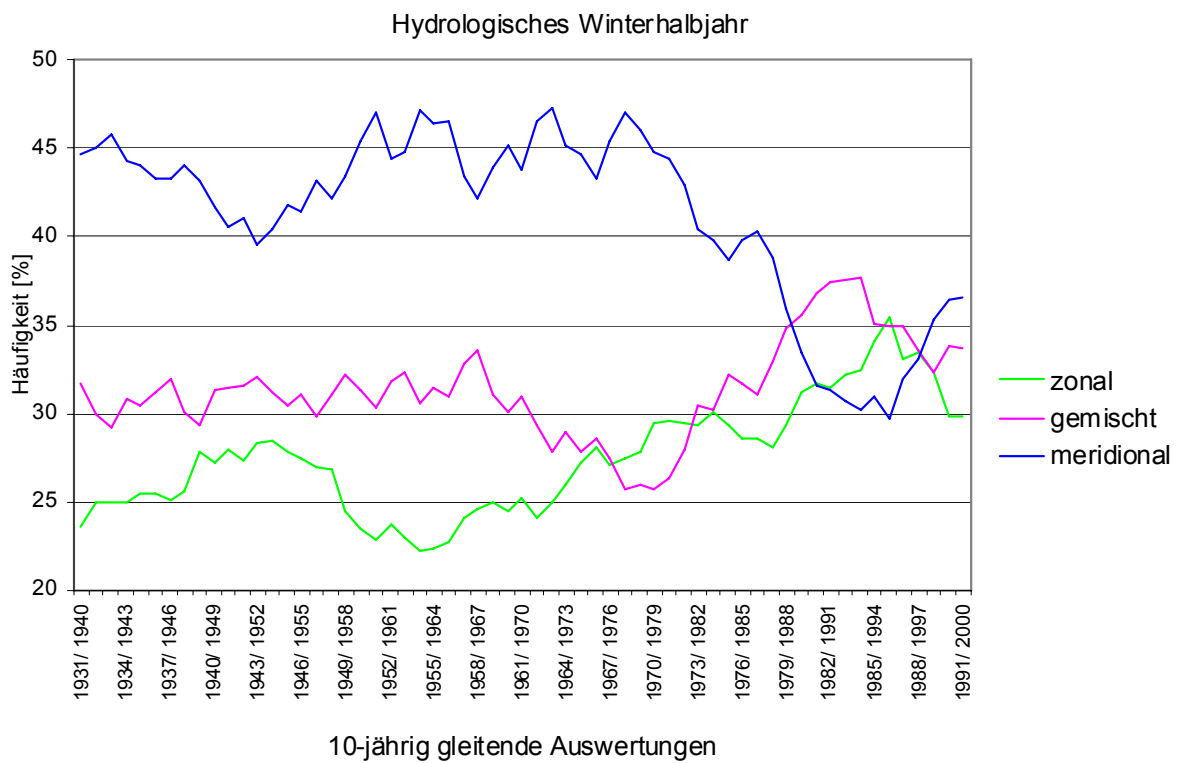
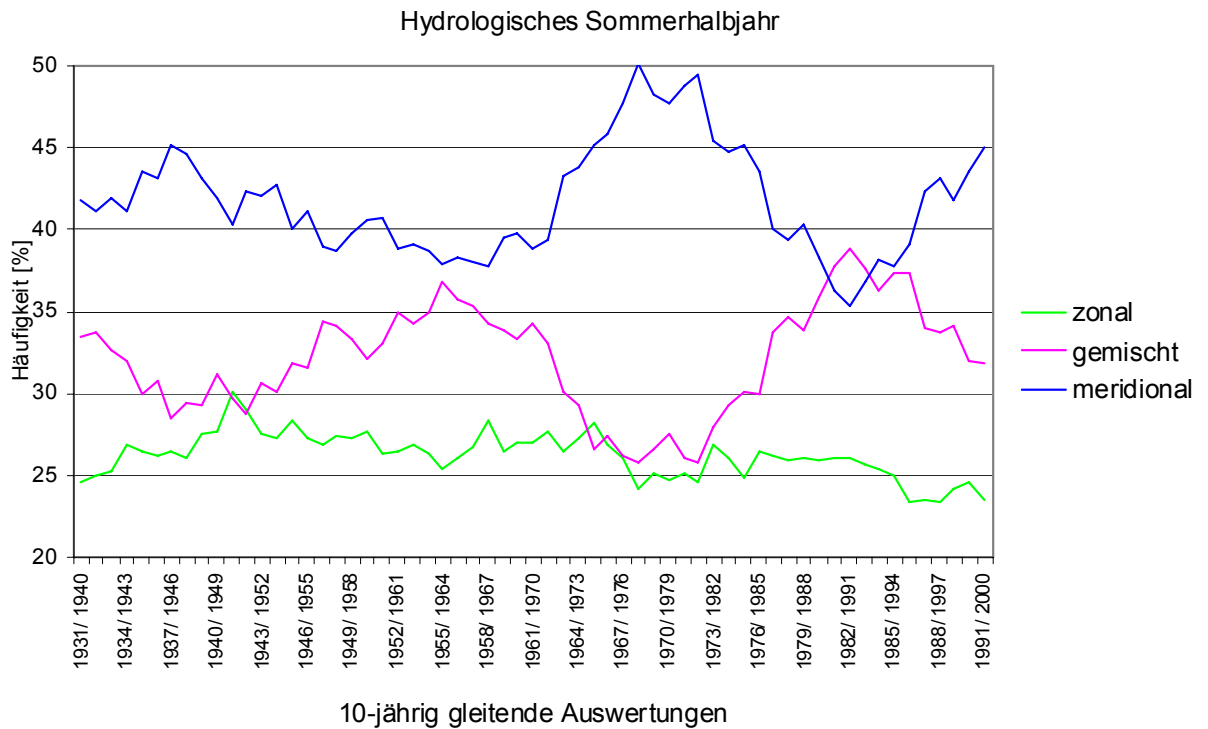


Abb. 4.28: Häufigkeiten der Zirkulationsformen „zonal“, „gemischt“ und „meridional“ insgesamt für das hydrologische Sommerhalbjahr (oben) und Winterhalbjahr (unten).

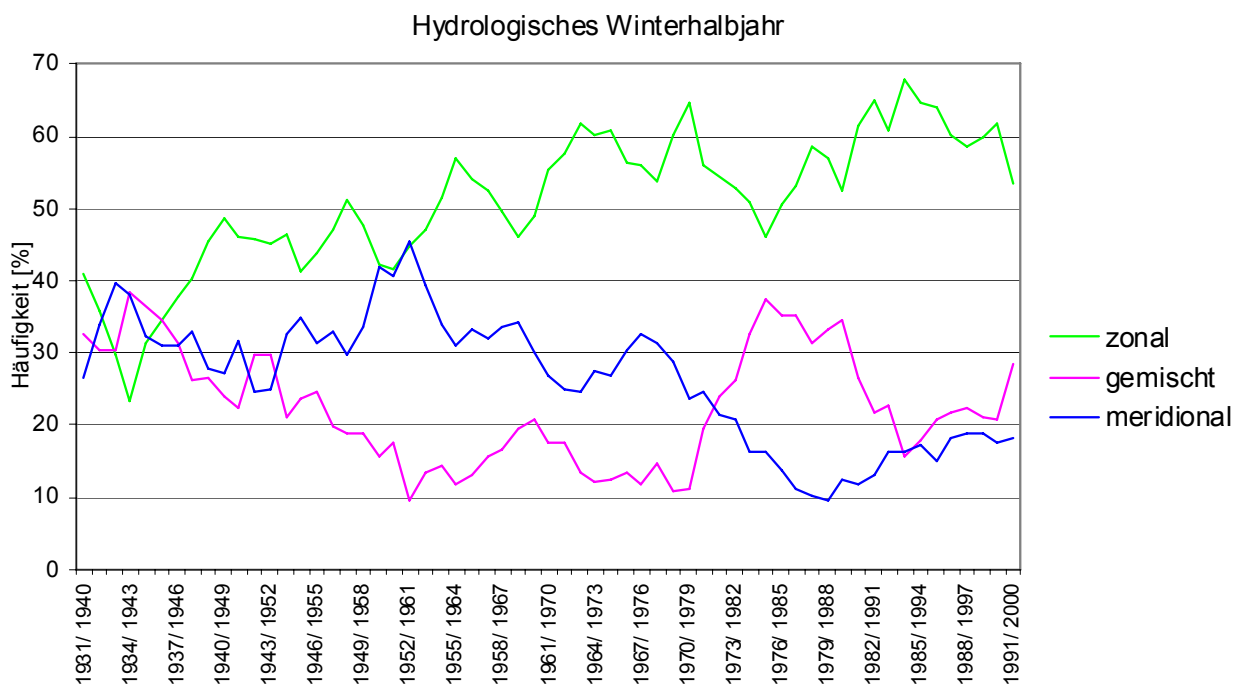
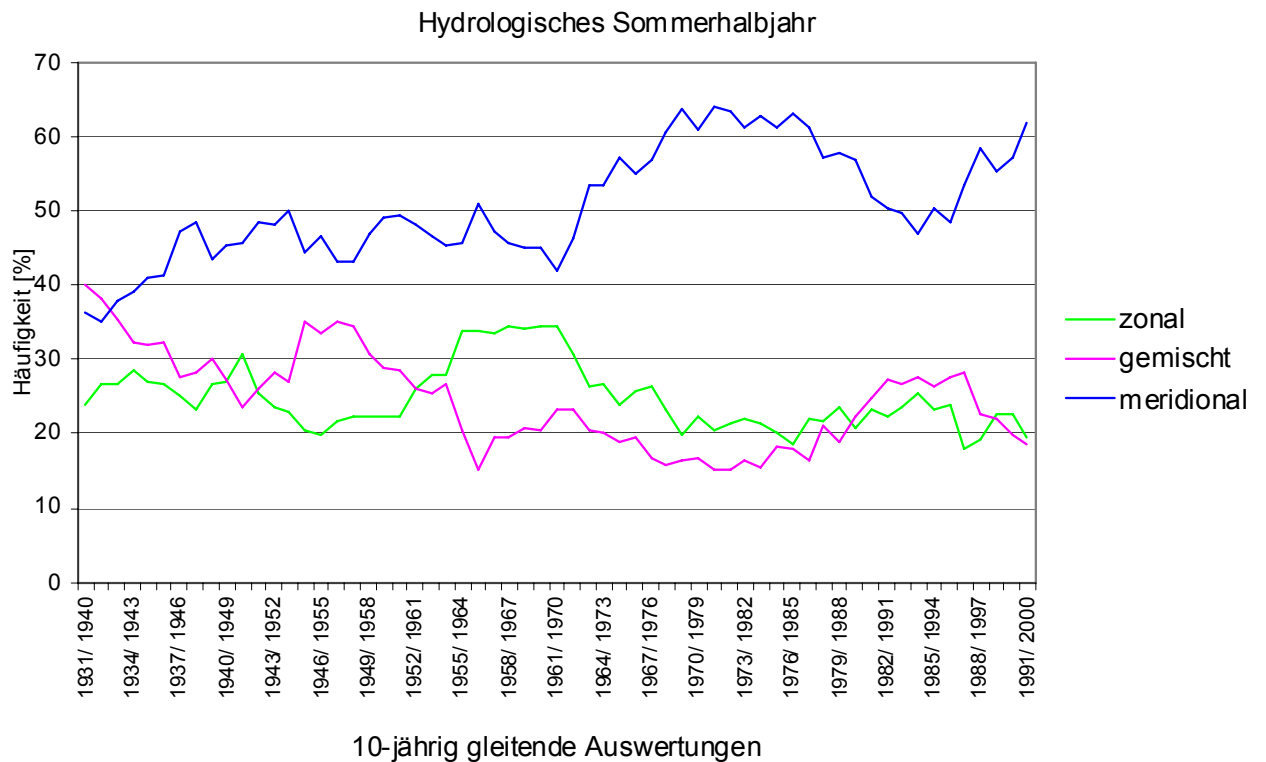


Abb. 4.29: Häufigkeiten der Zirkulationsformen für die 50 größten Niederschlagshöhen $D = 24$ h, Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr (oben) und Winterhalbjahr (unten).

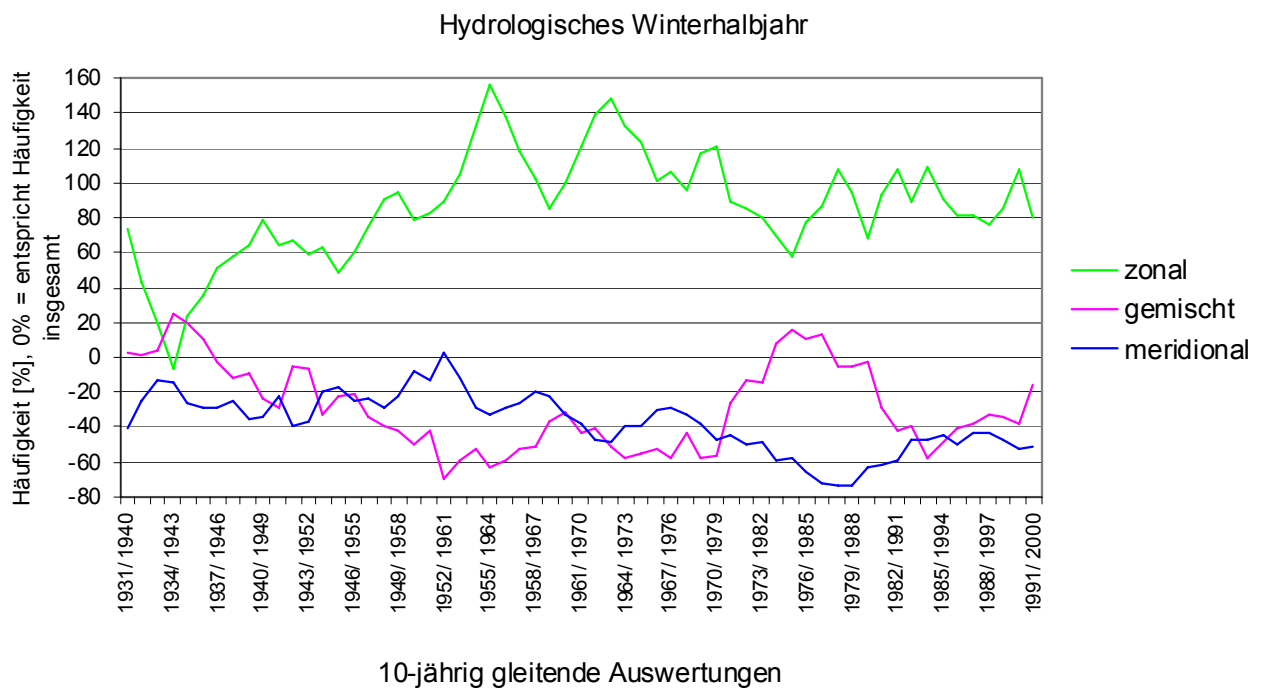
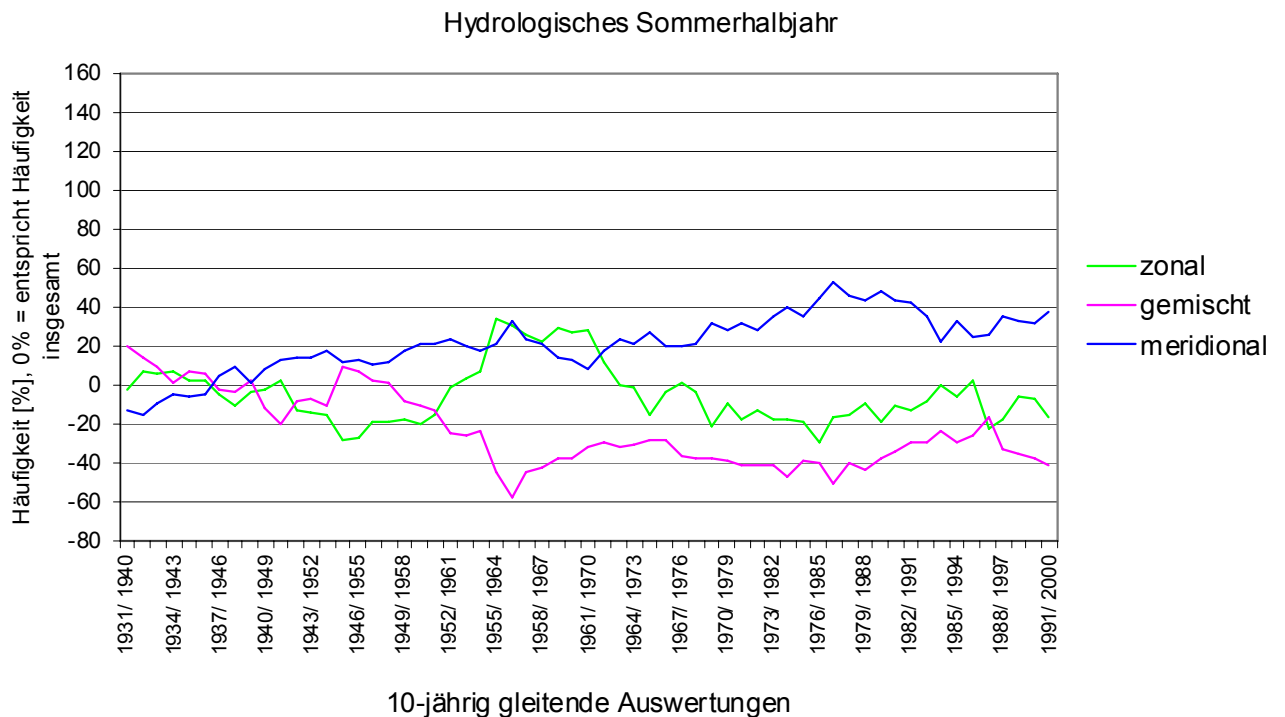


Abb. 4.30: Abweichung der Häufigkeiten der Zirkulationsformen für die 50 größten Niederschlagshöhen $D = 24$ h gegenüber deren Häufigkeit insgesamt. Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr (oben), hydrologisches Winterhalbjahr (unten)

5 Analyse der Schwellenwertüberschreitung von Niederschlagshöhen

Für beide Datenkollektive (92 Datenreihen 1901–2000, 415 Datenreihen 1931–2000) wurden auch die zeitlichen Änderungen der Auftretshäufigkeiten für Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm/d und ≥ 20 mm/d auf mögliche Trendanzeichen hin untersucht und klassifiziert. Die erste Auszählung dient als Vergleichsauswertung, da sie das gesamte Niederschlagsgeschehen erfasst. Die zweite Auszählung zielt auf die möglichen Veränderungen des extremen Niederschlagsgeschehens.

Die Abbildungen 5.1 und 5.2 zeigen für beide Datenkollektive die ermittelten Veränderungen auf dem Signifikanzniveau ≥ 90 % für die Klassen ansteigend (+), etwa gleich bleibend (+/-) und fallend (-). Im oberen Teil sind die Auswertungen für Baden-Württemberg, in der Mitte für Bayern und unten für beide Bundesländer zusammen dargestellt.

Auch bei diesen Auswertungen findet man wieder deutliche Unterschiede zwischen dem Zeitraum 1901–2000 und 1931–2000. Betrachtet man die mit Daten gut belegten Jahre 1931–2000 (Abb. 5.2), so zeigen sich im **Sommerhalbjahr** so gut wie keine Veränderungen: an mehr als 80 % aller Stationen bleibt die Anzahl der Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm/d und ≥ 20 mm/d unverändert. Im **Winterhalbjahr** dagegen zeigt die Hälfte der Stationen eine Zunahme, wobei die Anzahl der Tage ≥ 1 mm/d deutlich stärker zunimmt, als die Anzahl der Tage ≥ 20 mm/d. Es finden sich so gut wie keine Stationen mit Abnahmen. Die genannten Veränderungen sind auch in beiden Bundesländern etwa gleich.

Anders dagegen, wenn der Zeitraum 1901–2000 ausgewertet wird (Abb. 5.1): im hydrologischen **Sommerhalbjahr** sind jetzt an mehr als 30 % der Stationen bei den Tagen mit Niederschlag ≥ 20 mm/d Zunahmen zu verzeichnen, wobei in Bayern fast doppelt so viele Stationen davon betroffen sind, als in Baden-Württemberg. Im **Winterhalbjahr** ist die Zunahme der Anzahl der Tage ≥ 20 mm/d noch stärker

ausgeprägt, als im Zeitraum 1931–2000: an fast 70 % der Stationen findet man jetzt eine signifikante Zunahme, bei den Tagen mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm/d sind es dagegen nur 40 %. Auch im Winterhalbjahr sind die Unterschiede zwischen den beiden Bundesländern nicht besonders groß.

Das Ergebnis für das Sommerhalbjahr stützt die im vorherigen Kapitel festgestellte stärkere Zunahme der Starkniederschlagshöhen, wenn man den langen Zeitraum 1901–2000 gegenüber 1931–2000 betrachtet. Offenbar traten im Zeitraum 1901–1930 deutlich weniger Tage mit Starkniederschlagshöhen auf, so dass die Trendberechnungen von einem wesentlich niedrigeren Niveau ausgehen, als wenn man die Zeitreihe erst ab 1931 auswertet,

Betrachtet man die **räumliche Verteilung** der Veränderungen so findet man im **Sommerhalbjahr** in Süddeutschland für die Anzahl der Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm/d im Zeitraum 1931–2000 fast flächendeckend eine geringe Abnahme, allerdings selten signifikant (Abb. 5.3 unten). Für die Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 20 mm (Abb. 5.4 unten) überwiegen zwar die Abnahmen ebenfalls leicht, am Ostrand des Schwarzwaldes und in den mittleren bis nordöstlichen Teilen Bayerns nehmen diese Starkniederschlagstage jedoch zu. Sowohl bei den Zunahmen als auch bei den Abnahmen treten signifikante Werte auf, die teilweise > 25 % vom Mittelwert betragen.

Im Zeitraum 1901–2000 überwiegen bei Tagen mit Niederschlag ≥ 20 mm die Zunahmen in ganz Süddeutschland (Abb. 5.4 oben). Für die Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm/d (Abb. 5.3 oben) kann man kaum zusammenhängende Regionen mit einheitlichen Veränderungen erkennen. Wie schon bei den Starkniederschlagsauswertungen liegen oft Stationen mit (signifikanter) Zunahme ganz in der Nähe von Stationen mit (signifikanter) Abnahme.



Im hydrologischen **Winterhalbjahr** (Abb. 5.5 und 5.6) dominiert fast im gesamten Untersuchungsgebiet sowohl die Zunahme der Tage mit Niederschlag ≥ 1 mm/d, als auch mit ≥ 20 mm/d. Besonders bei den Starkniederschlagstagen ≥ 20 mm betragen die Zunahmen fast immer 25 % und mehr. Es gibt auch kaum Unterschiede in den Auswertungen der beiden Zeitspannen 1901–2000 und 1931–2000.

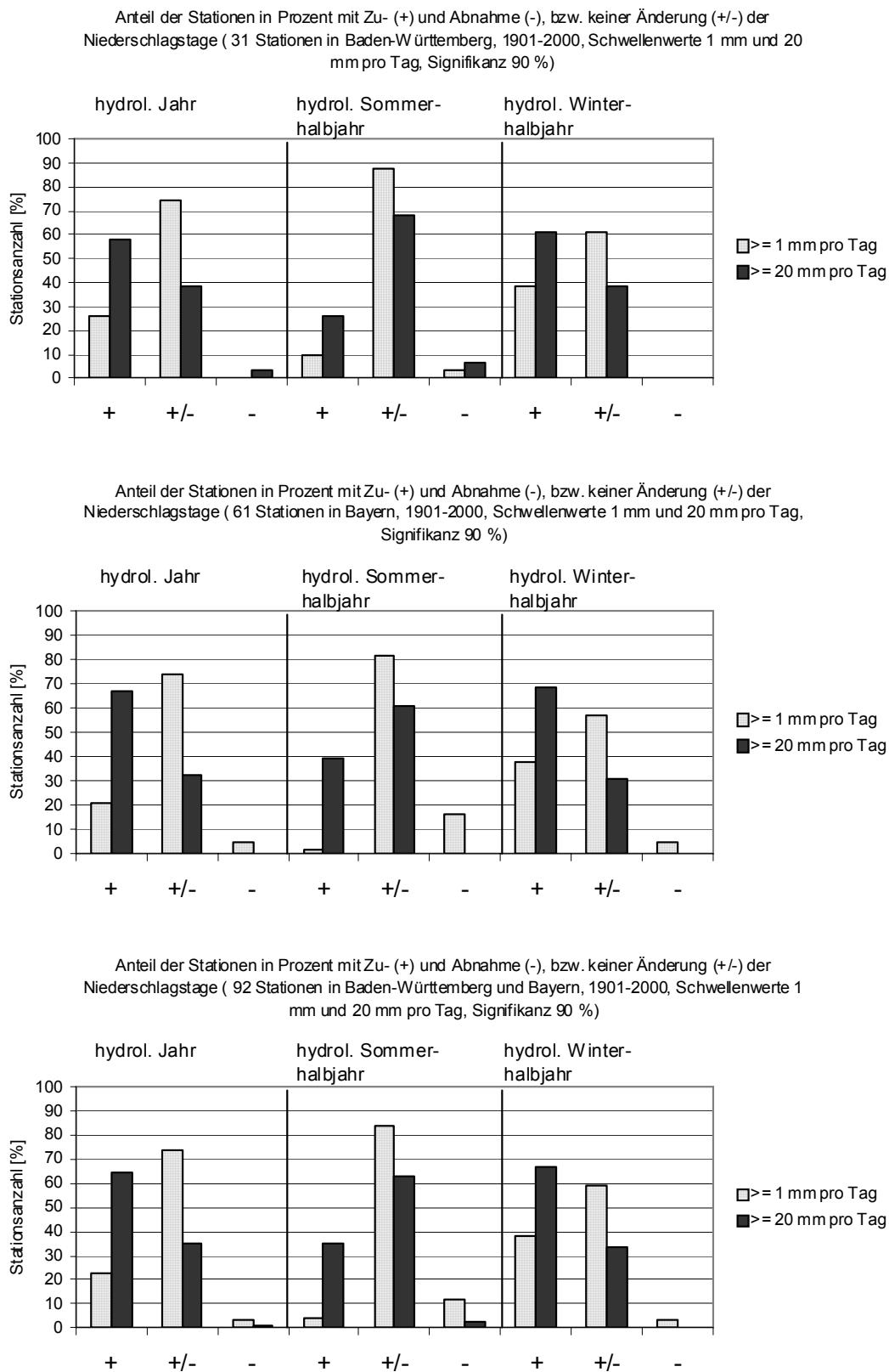


Abb. 5.1: Auszählung der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag und ≥ 20 mm pro Tag für die 415 Datenreihen 1901–2000.

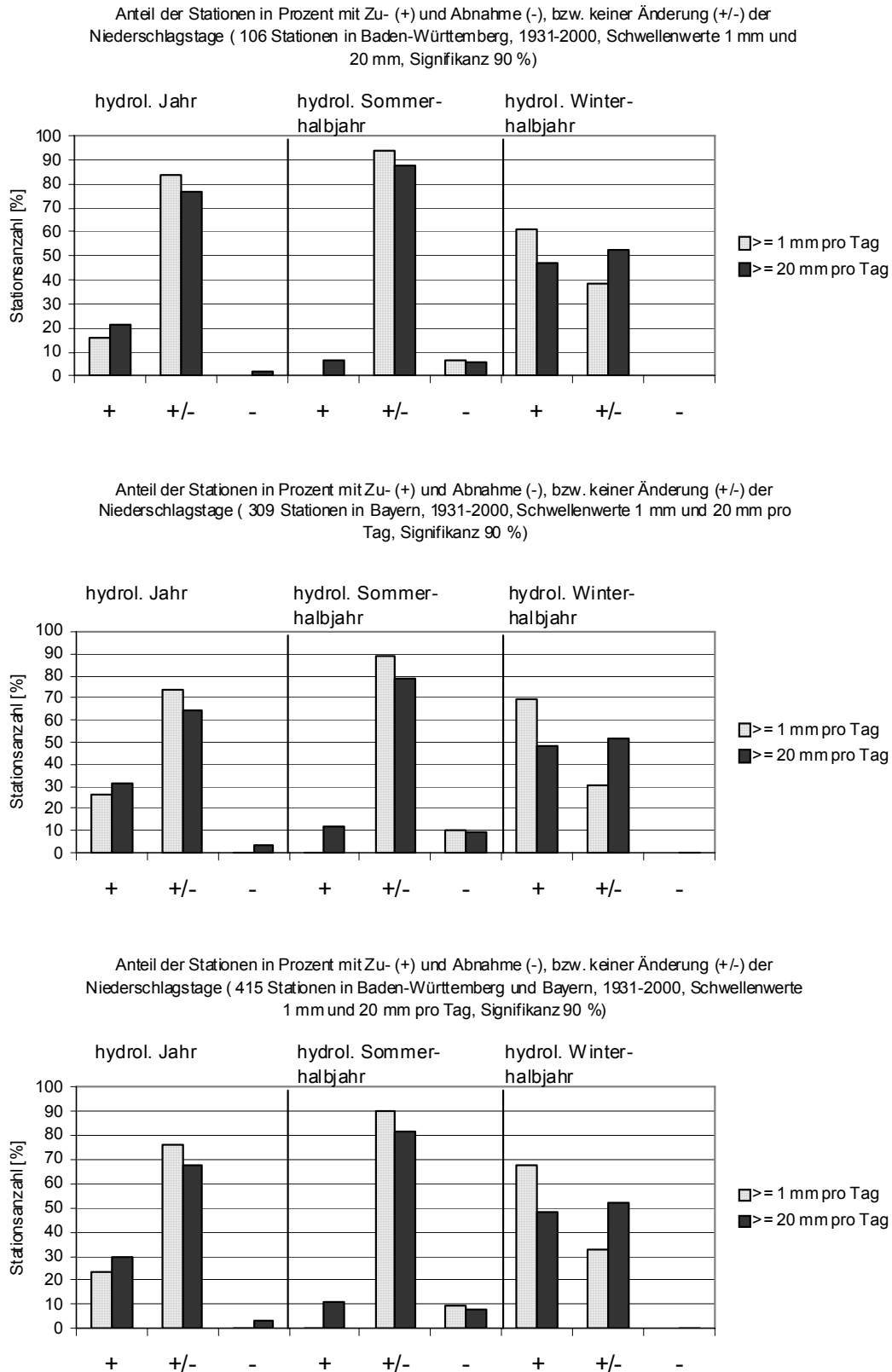


Abb. 5.2: Auszählung der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag und ≥ 20 mm pro Tag für die 415 Datenreihen 1931–2000.

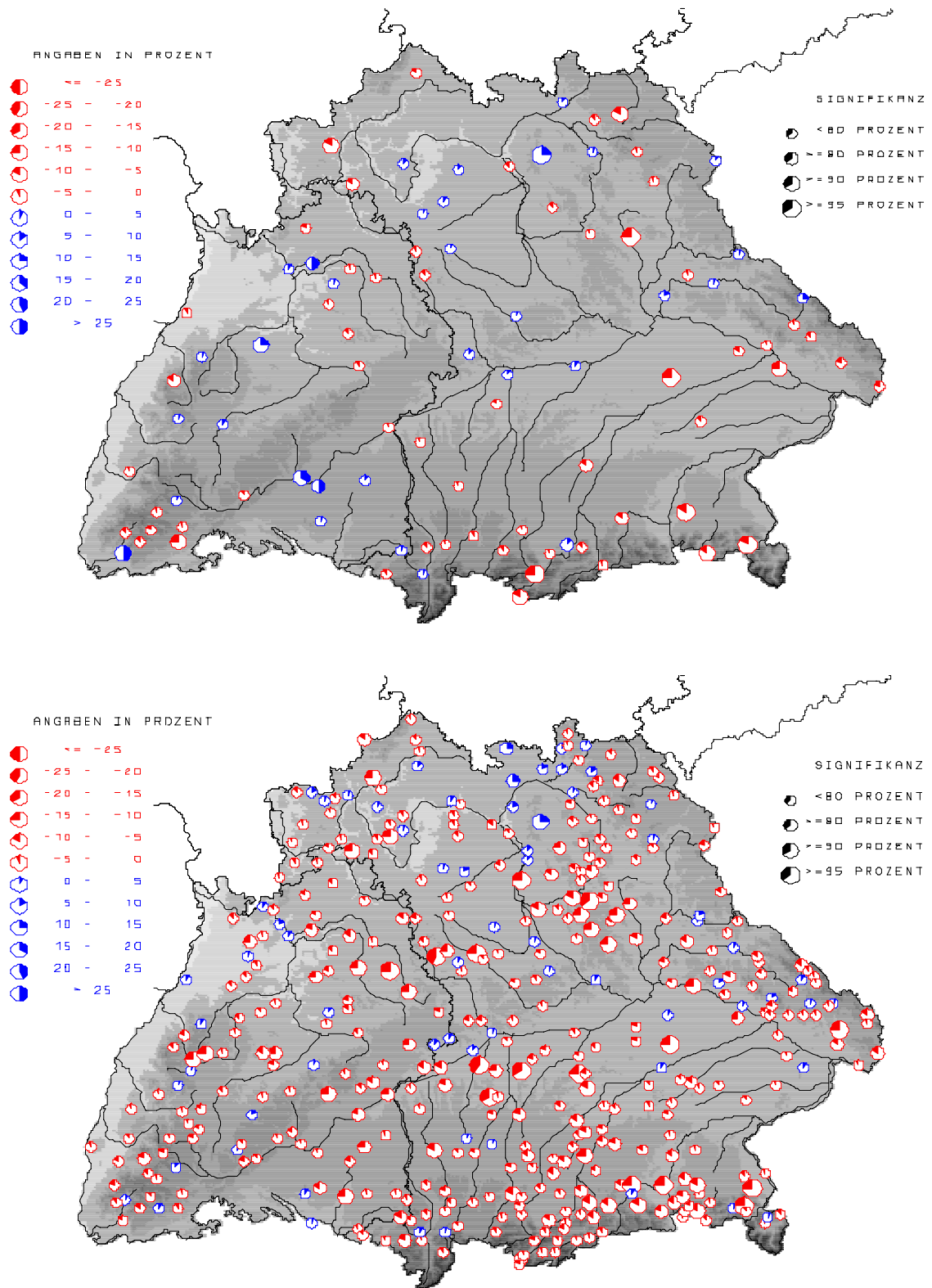


Abb. 5.3: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Sommerhalbjahr. oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

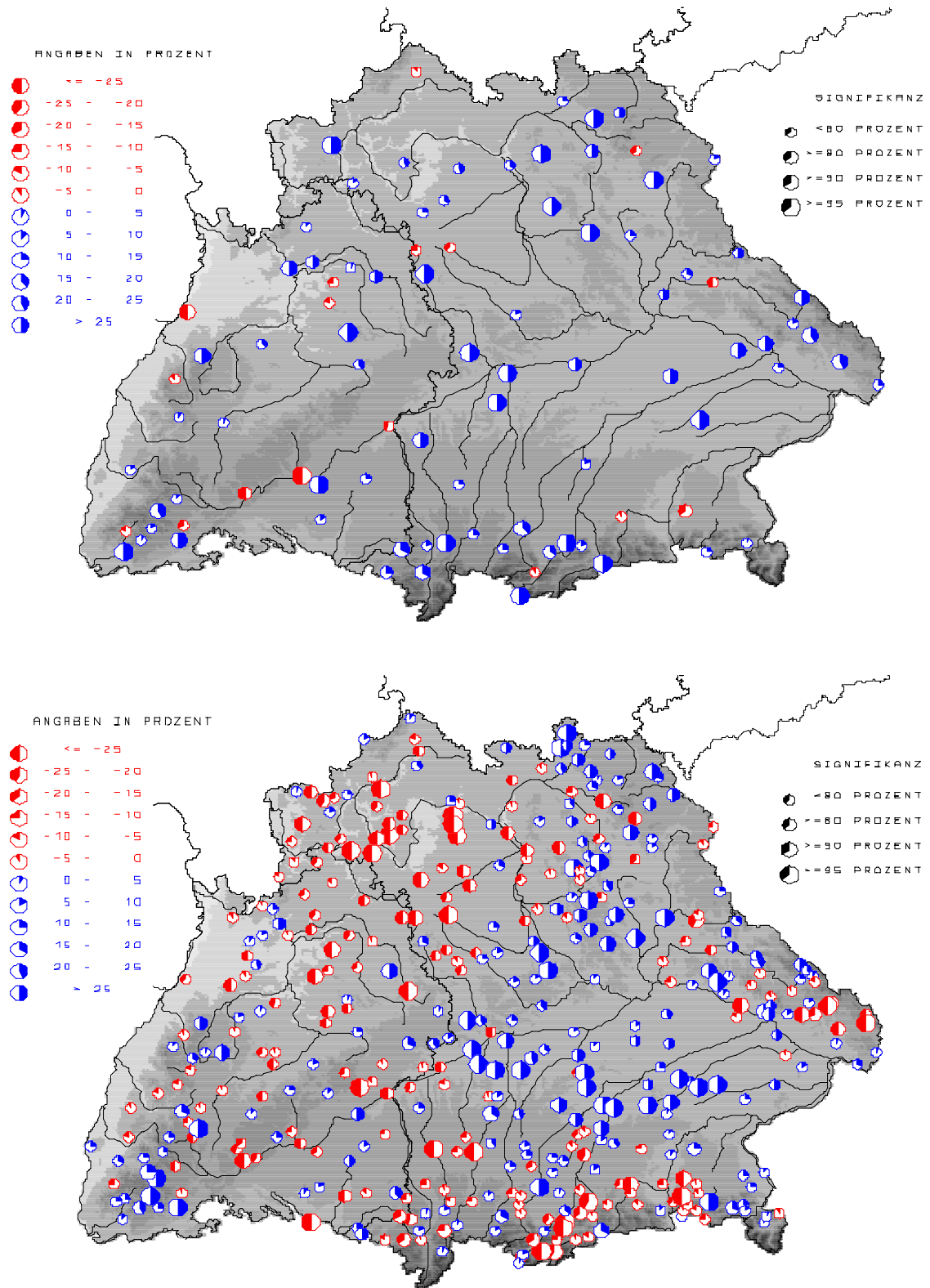


Abb. 5.4: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 20 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Sommerhalbjahr. oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

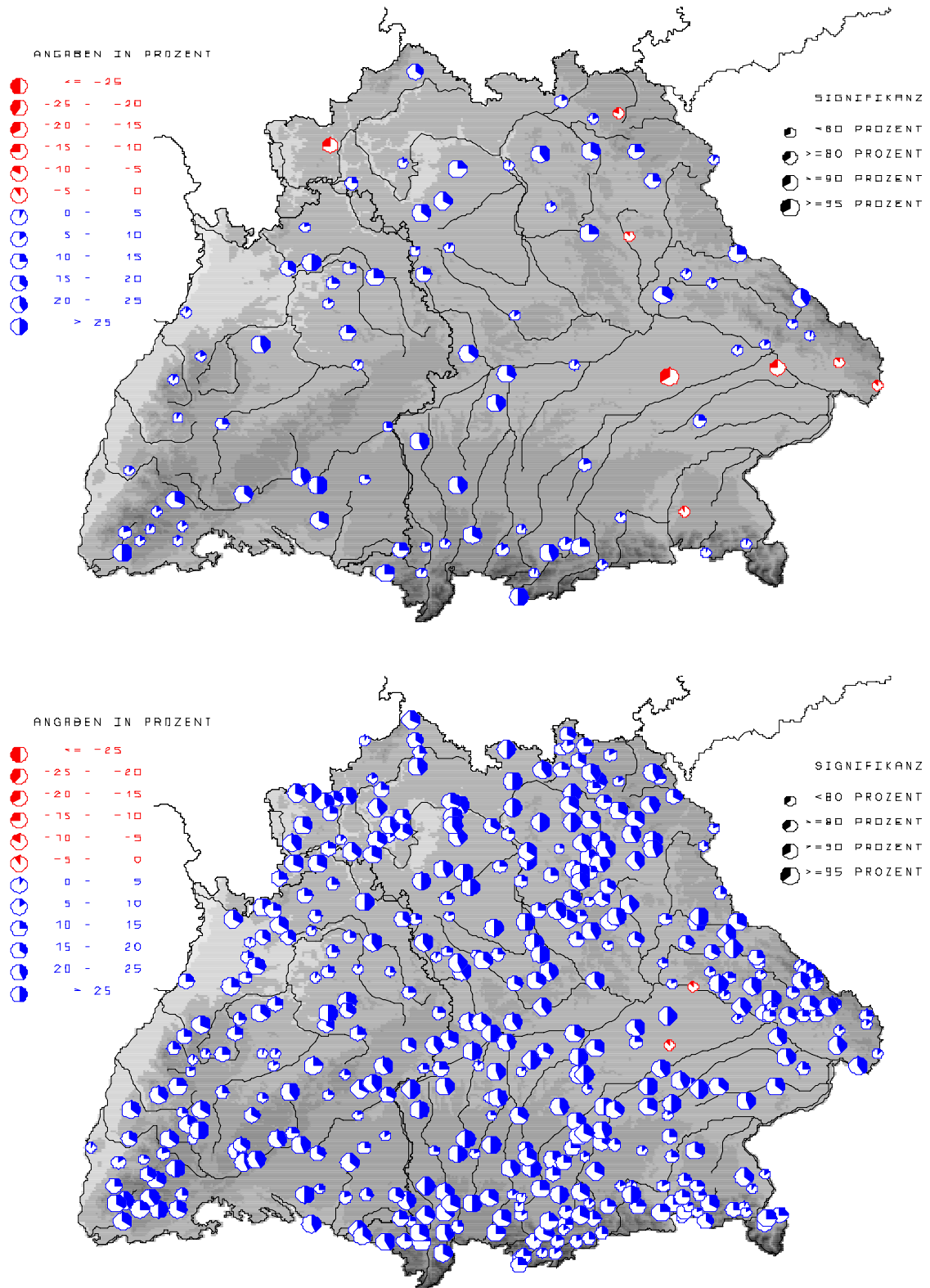


Abb. 5.5: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Winterhalbjahr. oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

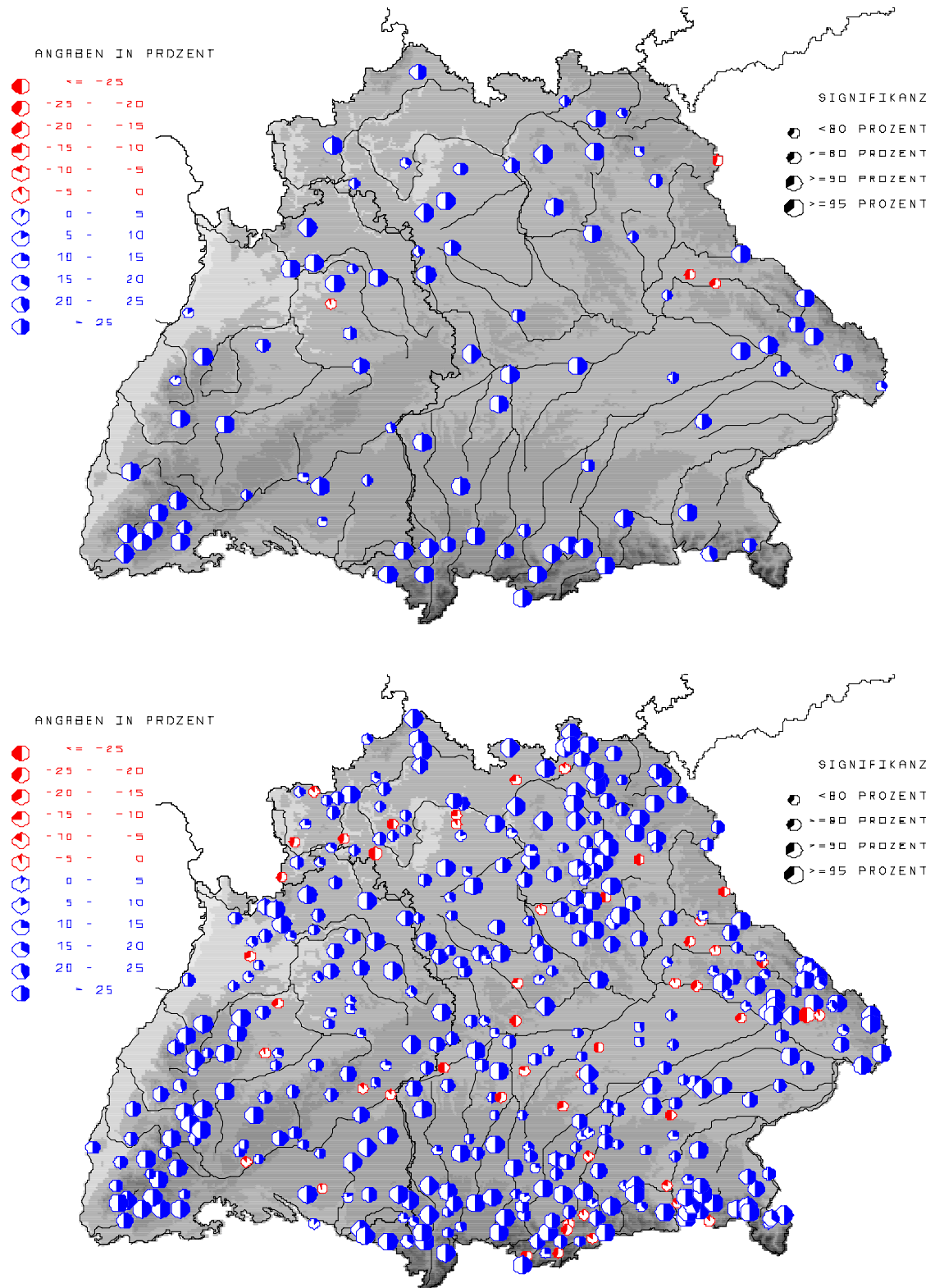


Abb. 5.6: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 20 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Winterhalbjahr. oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

6 Analyse des Langzeitverhaltens extremer Trocken- und Nassperioden

Nicht in jedem Jahr lassen sich Trocken- und Nassperioden finden, die der Definition aus Kapitel 3 genügen. Dies führt zu Lücken in den entsprechenden jährlichen Serien. In diesen Jahren wurden die hier ausgewerteten jährlichen Serien der Trocken- und Nassperioden durch den Mittelwert der Reihen ergänzt. Dies erfolgt jedoch selbstverständlich nicht für die Auszählungen zum Jahresgang und für die Ermittlung der Verteilung der Trocken- und Nassperioden über den Gesamtzeitraum.

Die Tabelle 6.1 zeigt den prozentualen Anteil fehlender Trocken- und Nassperioden am Beispiel der 92 Datenreihen des Zeitraumes 1901-2000. Im hydrologischen Sommerhalbjahr sind im Fall der Nassperioden für mehr als 20 % der Stationsjahre die oben angesprochenen Ergänzungen der jährlichen Serien erforderlich.

6.1 Jahreszeitliche Verteilung

Den Jahresgang der Trocken- und Nassperioden für die Datenreihen der Jahre 1931–2000 und 1901–2000 zeigt die Abbildung 6.1. Die Auszählung ordnet die Anzahl der Ereignisse (gewichtet mit ihrer Länge) jeweils dem Endmonat der Trocken- und Nassperioden zu.

Die **Trockenperioden** besitzen eine im Jahresverlauf deutlich variierende Häufigkeitsverteilung mit dem Hauptmaximum im Monat Oktober („goldener Oktober“) und einem Nebenmaximum der Häufigkeit im Monat März. Der Jahresgang der **Nassperioden** ist ebenfalls zweigipflig, es dominiert jedoch das Hauptmaximum im Monat Januar, wohingegen sich das Nebenmaximum im Monat Juli nur unwesentlich aus den „trockenen“ Monaten von März bis Oktober heraushebt. Die Unterschiede bei der Auswertung der beiden Zeiträume 1901–2000 und 1931–2000 sind gering.

6.2 Allgemeiner Trend

Die räumliche Struktur sowie die Signifikanz der Trendanzeigen auf der Basis von 70 bzw. 100 Jahren für die hydrologischen Halbjahre enthalten die Abbildungen 6.2 und 6.3 für die Nassperioden und die Abbildungen 6.4 und 6.5 für die Trockenperioden. Gezeigt werden wieder sowohl die relativen Trends (der Nettotrend bezogen auf den Mittelwert) als auch die statistische Signifikanz dieser Angaben.

Die extremen **Nassperioden** nehmen im **Winterhalbjahr** im gesamten süddeutschen Raum massiv - und statistisch hoch signifikant bewertet - zu (Abb. 6.3). Im **Sommerhalbjahr** dagegen nehmen die Nassperioden verbreitet ab (Abb. 6.2), wobei Zunahmen gegen diesen Trend noch am ehesten in Niederbayern und in der Oberpfalz zu finden sind. Es gibt qualitativ keine großen Unterschiede zwischen den Auswertungen der Zeitreihe 1901-2000 und 1931-2000.

Die extremen **Trockenperioden** nehmen in Bayern und Baden-Württemberg dagegen im **Sommerhalbjahr** fast überall zu, allerdings sind die Trends selten signifikant (Abb. 6.4). Abnahmen findet man im Norden der beiden Bundesländer. Im **Winterhalbjahr** (Abb. 6.5) treten stark signifikante Zunahmen bei den Trockenperioden im gesamten Alpenraum und Alpenvorland auf. Im Bayerischen Wald nehmen sie dagegen deutlich und auch meist signifikant ab. In den übrigen Teilen Süddeutschlands sind die Trendrichtungen unterschiedlich und meist nur wenig stark ausgeprägt. Auch bei den Trockenperioden findet man keine großen Unterschiede, wenn man die Auswertungen der Zeiträume 1901-2000 mit denen von 1931-2000 vergleicht.



Tabelle 6.1: Prozentualer Anteil der Jahre ohne Trocken- oder Nassperioden für die 92 Datenreihen 1901-2000.

	Hydrologisches Jahr	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr
Trockenperioden	1,8%	13,4%	8,3%
Nassperioden	0,9%	21,7%	1,8%

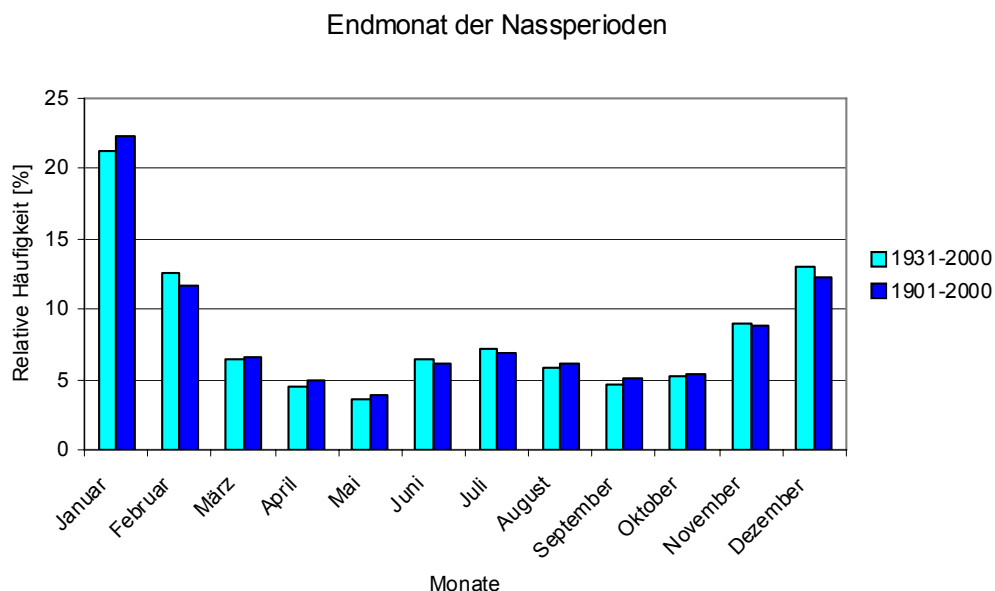
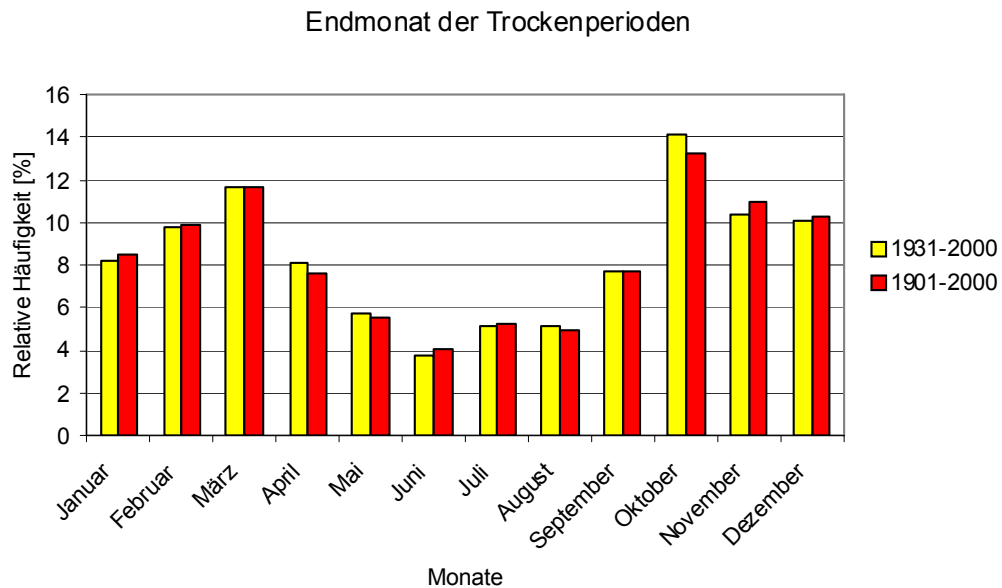


Abb. 6.1: Jahrgang der Trocken- und Nassperioden auf der Basis der 92 Datenreihen 1901–2000 und der 415 Datenreihen 1931–2000. Die dargestellten relativen Häufigkeiten ergeben sich durch die Gewichtung der Anzahl der Perioden in den einzelnen Monaten mit der Länge der jeweiligen Trocken- oder Nassperioden.

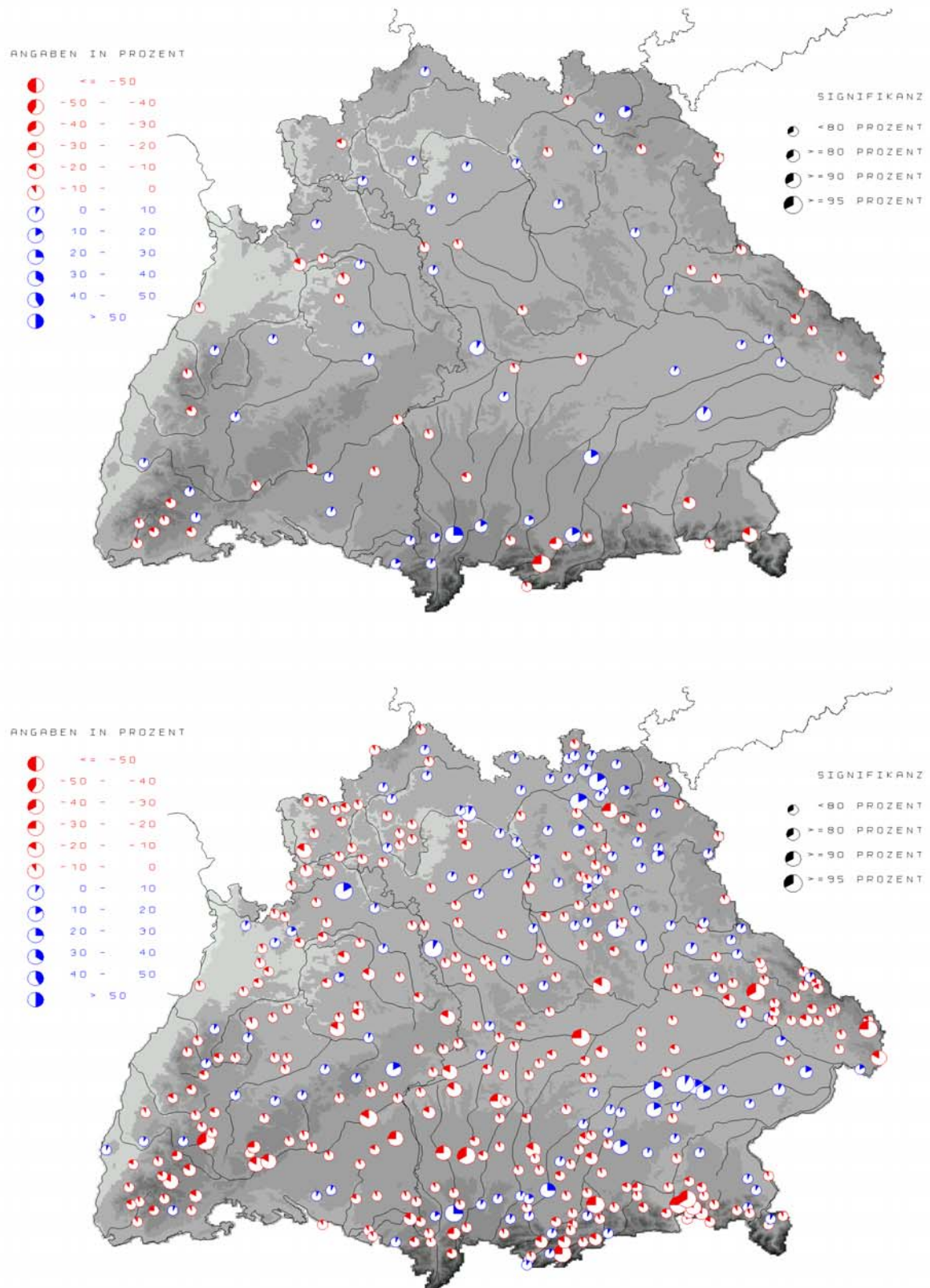


Abb. 6.2: Extreme Nassperioden, relativer Trend und Signifikanz, hydrologisches Sommerhalbjahr, oben: 92 Datenreihen 1901–2000, unten: 415 Datenreihen 1931–2000.

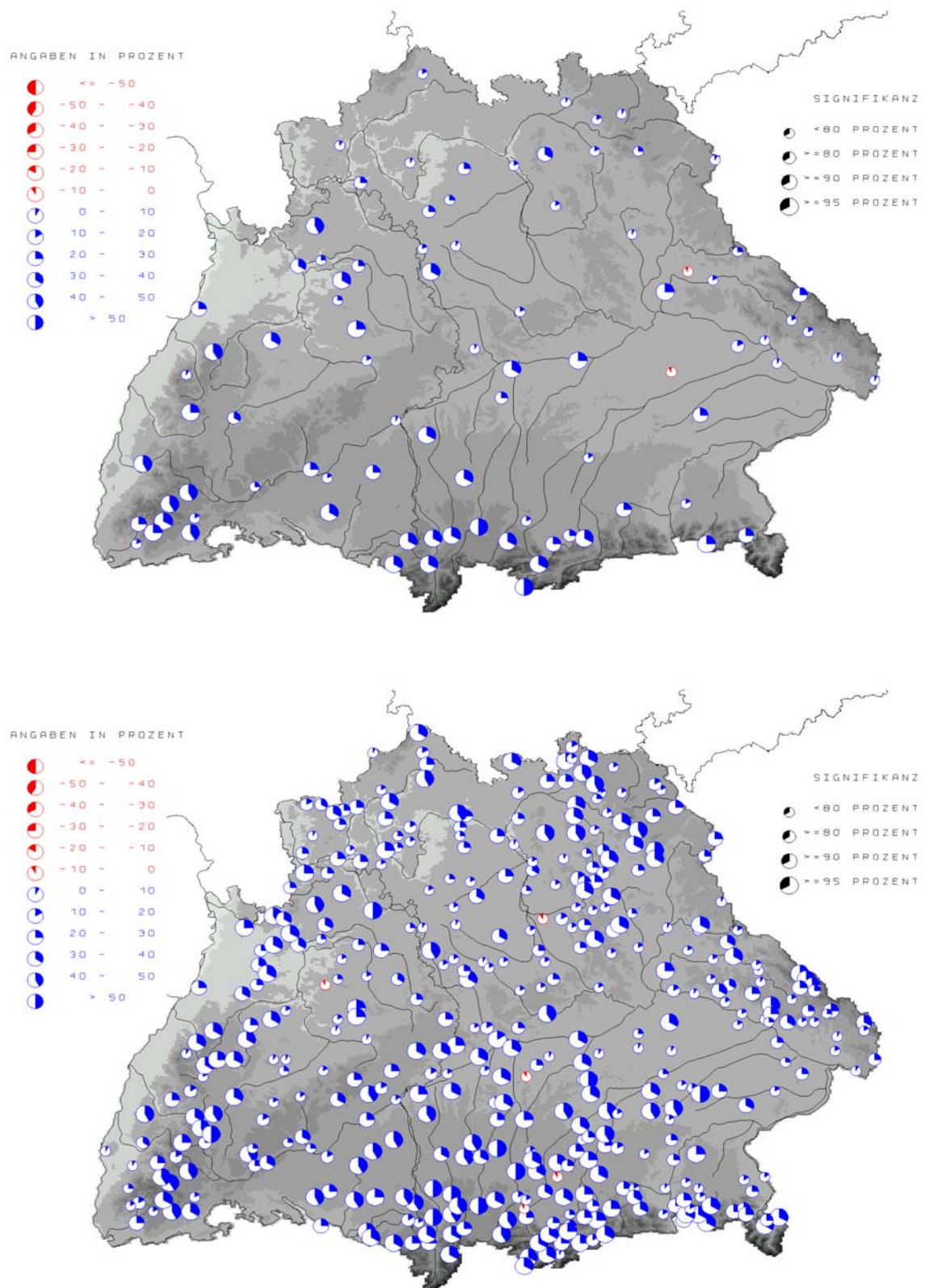


Abb. 6.3: Extreme Nassperioden, relativer Trend und Signifikanz, hydrologisches Winterhalbjahr, oben: 92 Datenreihen 1901–2000, unten: 415 Datenreihen 1931–2000.

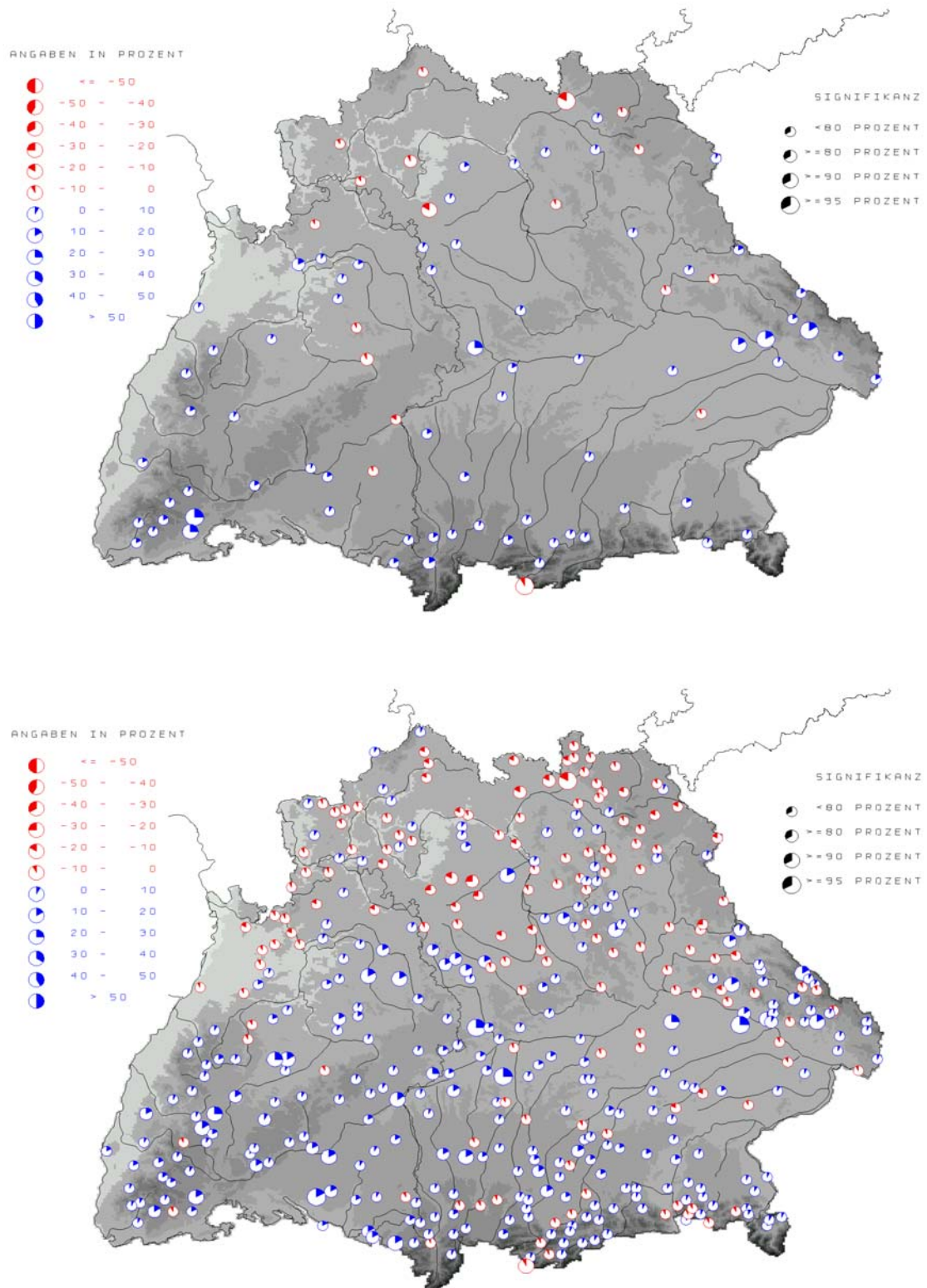


Abb. 6.4: Extreme Trockenperioden, relativer Trend und Signifikanz, hydrologisches Sommerhalbjahr, oben: 92 Datenreihen 1901–2000, unten: 415 Datenreihen 1931–2000.

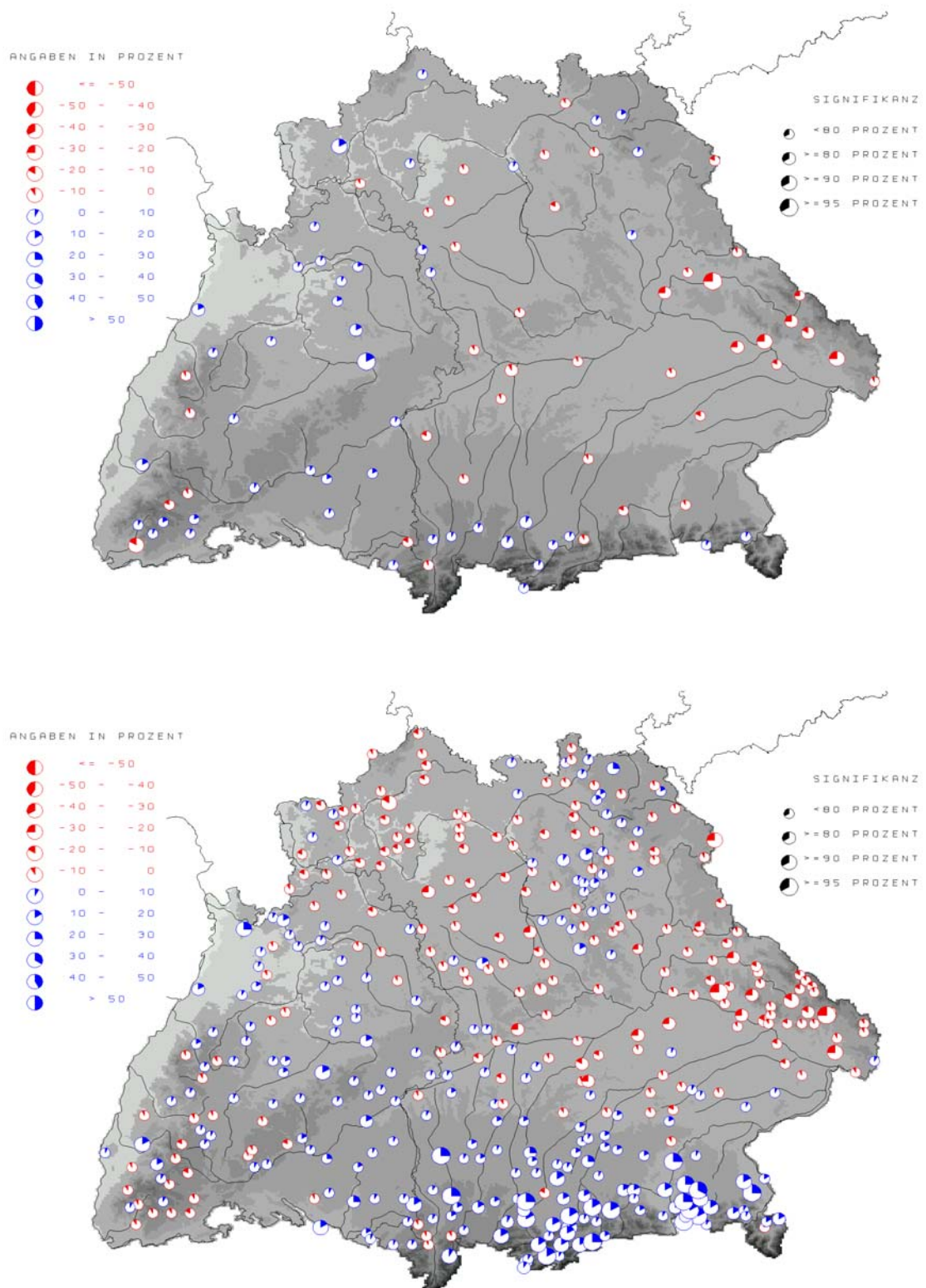


Abb. 6.5: Extreme Trockenperioden, relativer Trend und Signifikanz, hydrologisches Winterhalbjahr, oben: 92 Datenreihen 1901–2000, unten: 415 Datenreihen 1931–2000.

6.3 Signifikante Trends

In den Abbildungen 6.6 und 6.7 (oben) wird der mittlere relative Trend der Nass- und Trockenperioden (Trendbetrag bezogen auf den Mittelwert) aller Stationen mit signifikanten Trendanzeigen ($S \geq 90\%$) für die beiden Zeitreihen 1901–2000 und 1931–2000 dargestellt. Das jeweils untere Diagramm zeigt die Zahl der Stationen (bezogen auf die Gesamtzahl der im Zeitraum vorliegenden Stationen) mit signifikantem Trendsignal.

In beiden Bundesländern findet man bei den Nassperioden im hydrologischen Winterhalbjahr einen mittleren Trend von ca. 35%. Es gibt keinen Unterschied bei den Auswertungen der beiden Zeiträume. Dagegen sind die mittleren Trends im Sommerhalbjahr zwischen der Zeitreihe 1901–2000 und 1931–2000 deutlich anders: Liegt dieser Wert in Baden-Württemberg (Bayern) im Zeitraum 1931–2000 bei -15% (-7% in Bayern), so steigt er im Zeitraum 1901–2000 auf 0% (+4% in Bayern)

Die Zahl der Stationen mit signifikantem Trend ist im Winterhalbjahr in Bayern deutlich geringer als in Baden-Württemberg, wobei in Bayern im Zeitraum 1901–2000 gegenüber 1931–2000 die Zahl niedriger und in Baden-Württemberg höher ist.

Noch größer sind die Unterschiede bei den Trockenperioden, sowohl zwischen den beiden Bundesländern als auch innerhalb der zwei Zeitreihen (Abb. 6.7). Da aber deutlich weniger Stationen als bei den Nassperioden in die Auswertungen eingehen (nur ca. 10% der Stationen haben signifikante Trendanzeigen), sollten die Unterschiede nicht überbewertet werden. Insgesamt sind sowohl im hydrologischen Winter- wie auch Sommerhalbjahr die Trendbeträge bei den Trockenperioden in Bayern niedriger als in Baden-Württemberg.

Für den Zeitraum 1901–2000 zeigt sich in Bayern sogar eine mittlere Abnahme von 15%. Die Anzahl der signifikanten Stationen ist in Bayern jedoch eher höher.

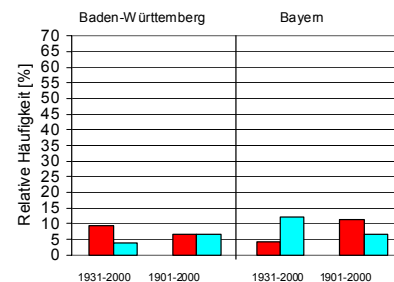
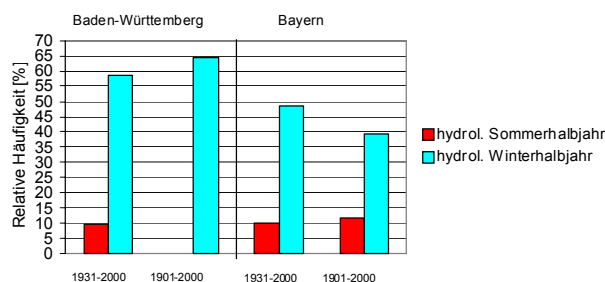
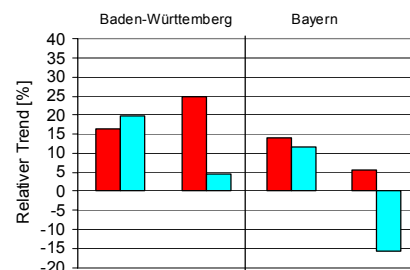
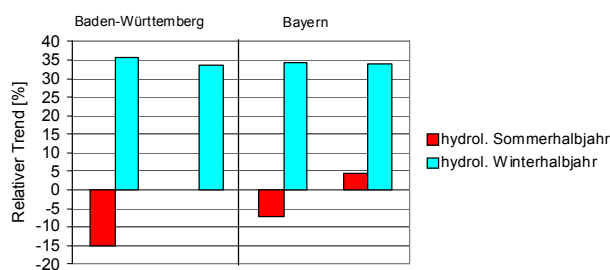


Abb. 6.6: Relativer Trend der Nassperioden (Signifikanz $\geq 90\%$, oben) und relative Häufigkeit signifikanter Stationen (unten).

Abb. 6.7: Relativer Trend der Trockenperioden (Signifikanz $\geq 90\%$, oben) und relative Häufigkeit signifikanter Stationen (unten).



6.4 Zeitliche Verteilung

Die Häufigkeit des Auftretens von Trocken- und Nassperioden ab 1901 bzw. 1931 zeigt die Abbildung A6.8 (im Anhang). Dargestellt sind die relativen Häufigkeiten bei Auszählung der partiellen Serien in 5-jährigen Intervallen. Die Übereinstimmung der Aussagen beider Datenkollektive (Zeiträume 1901–2000 und 1931–2000) ist unübersehbar.

Für die **Nassperioden** lässt sich beispielsweise die Abfolge der relativen Häufigkeiten der Datenreihen 1931–2000 (oben rechts) ab dem markant herausragenden Intervall 1936–1940 (Mai bis Oktober) als Anlegemarke in die Auswertung der 92 Datenreihen 1901–2000 (oben links) einpassen. Gleiches gilt für die Auswertungen der **Trockenperioden** (unten) mit einer zweigeteilten, sägezahnartigen Struktur mit Spitzenhäufigkeiten in den Intervallen 1946–1950 und 1971–1975. Die mittleren Ordinatenwerte unterscheiden sich hier lediglich wegen der unterschiedlichen Anzahl an 5-jährigen Intervallen ab 1901 bzw. 1931.

Die relative Häufigkeit der **Nassperioden** steigt vom Anfang der langen Zeitreihe (1901) im hydrologischen **Winterhalbjahr** von ca. 4,3 % pro Pentade auf über 6 % in den 1980er Jahren, jedoch mit einer Abnahme in den letzten zehn Jahren vor dem Jahr 2000. Die Entwicklung der relativen Häufigkeiten ist hierbei zwischen 1936–1940 und 1971–1975 uneinheitlich. Auch im hydrologischen **Sommerhalbjahr** erhöht sich der Anteil von 4,5 % in der Pentade 1901–1905 auf 5,9 % in 1996–2000 etwa gleichartig. Die Schwankungen sind hier aber wesentlich größer. Das Maximum mit 6,8 % zwischen 1936–1940 liegt dicht am Minimum von 3,3 % in 1946–1950.

Das Auftreten der **Trockenperioden** innerhalb der betrachteten Zeitspanne ist noch unregelmäßiger als im Fall der Nassperioden. Ein Maximum (1971–1975), sowohl für das Sommer als auch Winterhalbjahr, liegt dicht am absoluten

Minimum (1966–1970). Das absolute Maximum tritt zwischen 1946 und 1950 auf, wohingegen zum Ende des Zeitraumes die relativen Häufigkeiten in beiden Halbjahren merklich abnehmen (ab 1986–1990).

Die Verteilung der absoluten Spitzenwerte der Nass- und Trockenperioden pro Station auf die Zeiträume 1901–2000 bzw. 1931–2000 ist in den Abbildungen A6.9 und A6.10 im Anhang enthalten. Die Verteilung der **Nassperioden** in beiden Zeiträumen wird dominiert durch eine Häufung im Jahre 1966 mit einem Anteil an den Spitzenwerten von etwa 45 %. Auf den nächsten beiden Plätzen werden in den Jahren 1948 und 1992 nur etwa Anteile von 10 % erreicht.

Die Verteilung der **Trockenperioden** wird im Zeitraum 1901–2000 durch die Jahre 1920 (Anteil 27 %), 1953 (Anteil 22 %), 1908 (Anteil 13 %) und 1943 (Anteil 9 %) geprägt. Sie konzentriert sich im Zeitraum 1931–2000 stärker auf die beiden Jahre 1953 (Anteil 38 %) und 1943 (Anteil 25 %).

Die aufgezeigten zeitlichen Variationen der Längen der extremen Nass- und Trockenperioden können jedoch nur bedingt als Beweis für eine Änderung des Klimas in Süddeutschland dienen. Die absolut größten Dauern dieser Perioden sind sehr viel größer als die Medianwerte dieser Variablen. Die Spitzenwerte kommen damit nur sehr selten vor. Die Trendergebnisse anhand der zeitlichen Abfolge dieser Spitzenwerte haben daher nur sehr eingeschränkt etwas zu tun mit dem Großteil dieser Perioden, da entsprechende Veränderungen in der Gesamtverteilung (repräsentiert durch die Kenngröße des Median- oder Halbwerts) nicht zu finden sind.

7 Ausblick

Die Langzeituntersuchungen von Starkniederschlagshöhen einerseits und extremen Trocken- und Nassperioden andererseits brachten eine Vielzahl neuer Detailergebnisse. Als Fazit bleibt festzustellen, dass eine regionalspezifische Zunahme der Starkniederschlagshöhen am deutlichsten in den Wintermonaten Oktober-April statistisch nachweisbar ist. Dieser Befund passt zu den Ergebnissen der KLIWA-Untersuchung zum Gebietsniederschlag (KLIWA 2005c), die auch eine Zunahme der Häufigkeit extremer Werte im Winter zeigten, während im Sommer weniger extreme Niederschläge auftraten. Bei beiden Untersuchungen bieten sich zur Erklärung Verschiebungen in der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen an, da beispielsweise die Verstärkung der Gebietsniederschläge im Winter mit einer höheren Häufigkeit der zonalen und gemischten Zirkulationsformen verknüpft ist. Auch andere Untersuchungen außerhalb von KLIWA zeigen ebenfalls für den Winter die stärksten Veränderungen im Niederschlagsgeschehen.

Die meteorologischen Voraussetzungen für zunehmende Hochwassergefährdung haben sich im vergangenen Jahrhundert nicht nur durch die oben beschriebenen Zunahmen von Starkniederschlägen und von Nassperioden verändert. Die signifikanten Zunahmen der Lufttemperaturen im Winterhalbjahr führen dazu, dass – zumindest in Gebietslagen bis etwa 500 m ü. NN – ein zunehmender Anteil dieses Niederschlages nicht in einer Schneedecke zwischengespeichert wird, sondern in flüssiger Form fällt und somit direkt zum Abfluss gelangen kann. Höhere Lufttemperaturen und höhere Niederschläge spielen dabei auch insofern eine Hochwasser begünstigende Rolle, weil durch verstärkte Infiltration bis zur Sättigung des Bodenspeichers eine hohe Vorfeuchte für Hochwasserereignisse entsteht.

Nicht nur unter dem Aspekt der meteorologischen Voraussetzungen für Hochwasser, sondern auch im Hinblick auf den mittleren Wasserhaushalt sind im vergangenen Jahrhundert markante Änderungen

bei relevanten hydrometeorologischen Größen zu verzeichnen, deren Langzeituntersuchungen (KLIWA 2005a-c) bereits publiziert wurden bzw. für die Publikation vorgesehen sind (Globalstrahlung und Verdunstung).

Auf Grund der Erkenntnisse aus dem Langzeitverhalten der hydrometeorologischen Größen in Süddeutschland hat der DWD eine Fortschreibung des im Jahre 1997 publizierten KOSTRA-Atlas „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“, basierend auf dem Zeitraum 1951-1980, durch eine Verlängerung des Zeitraums auf 1951 – 2000 vorgenommen (KOSTRA-DWD-2000 2005).



8 Tabellenverzeichnis

Die mit einem vorangestellten „A“ gekennzeichneten Abbildungen stehen im Anhang.

- Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen. Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.
- Tabelle 3.1: Signifikanz und Irrtumswahrscheinlichkeit (Alpha) des Mann-Kendall-Testwertes Z (aus [Rapp&Schönwiese 1996])
- Tabelle 4.1: Häufigkeiten [%] positiver Trends (Signifikanzschwelle $S \geq 90$ %) und die damit verbundenen mittleren relativen Trends [%] für vier Dauerstufen. Datenbasis: 92 Datenreihen des Zeitraums 1901–2000 (obere Zeilen), 415 Datenreihen des Zeitraums 1931–2000 (untere Zeilen).
- Tabelle 6.1: Prozentualer Anteil der Jahre ohne Trocken- oder Nassperioden für die 92 Datenreihen 1901–2000.

9 Abbildungsverzeichnis

Die mit einem vorangestellten „A“ gekennzeichneten Abbildungen stehen im Anhang.

- Abb. 2.1: Räumliche Verteilung der 92 Stationen mit Datenreihen 1901–2000 (oben) und der 415 Stationen mit Datenreihen 1931–2000 (unten).
- Abb. 2.2: Höhenverteilung der 415 Stationen (1931–2000) und der 92 Stationen (1901–2000) sowie der Auszählung einer Höhendatenbank für Bayern und Baden-Württemberg.
- Abb. 3.1: Niederschlagshöchstwerte der Dauer $D = 24$ h, 1879–2000 für das hydrologische Jahr (Nov.-Okt.) sowie das hydrologische Sommer- (Mai-Okt.) und Winterhalbjahr (Nov.-Apr.), DWD-Station Hohenpeißenberg.
- Abb. 4.1a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Bayerisch Eisenstein, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.1b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Mengen, Kr. Sigmaringen, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.2a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Biberbach, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.2b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Titisee-Neustadt-Titisee (AKKST), 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.3a: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Weissenburg/Bay. (WST), 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.3b: Vorwärts schreitender relativer Trend (bezogen auf den Mittelwert) für das hydrologische Sommer- (links) und Winterhalbjahr (rechts), Station Göppingen-Hohenstaufen, 1931–2000, Dauerstufen $D = 24$ h, 72 h, 120 h und 240 h.
- Abb. 4.4: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 4.5: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 4.6: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 415 Datenreihen 1931–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Jahr.



- Abb. 4.7: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 4.8: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 4.9: Relative Häufigkeit ansteigender Niederschlagstrends und ihre Signifikanz auf der Basis vorwärts schreitender Trends. 92 Datenreihen 1901–2000 für Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Jahr.
- Abb. 4.10a: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Winterhalbjahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. A4.10b: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Winterhalbjahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. 4.11a: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Sommerhalbjahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. A4.11b: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Sommerhalbjahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. 4.12a: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 24$ h, hydrologisches Jahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. A4.12b: Signifikante Niederschlagstrends, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Jahr, Sicherheit $S \geq 90$ Prozent.
- Abb. 4.13: Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge unterschiedlicher Dauer (24 h bis 240 h) in Bayern und Baden-Württemberg aller 415 Niederschlagsstationen für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, 1931–2000.
- Abb. 4.14: Anteil der Stationen mit positivem Trend der Starkniederschläge in den einzelnen Dauerstufen, alle 415 Stationen, 1931–2000.
- Abb. 4.15: Absolute Häufigkeit des relativen Trends aller 415 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauer $D = 24$ h, 1931–2000.
- Abb. 4.16: Mittlerer relativer Trend der Starkniederschläge unterschiedlicher Dauer (24 h bis 240 h) in Bayern und Baden-Württemberg aller 92 Niederschlagsstationen für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, 1901–2000.
- Abb. 4.17: Anteil der Stationen mit positivem Trend der Starkniederschläge in den einzelnen Dauerstufen, alle 92 Stationen, 1901–2000.
- Abb. 4.18: Absolute Häufigkeit des relativen Trends aller 92 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauer $D = 24$ h, 1901–2000.
- Abb. 4.19: Mittlere relative Trends (Signifikanz ≥ 90 %) und relative Häufigkeit der betroffenen Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen. Datenbasis: 415 Stationen, 1931–2000.

- Abb. 4.20: Mittlere relative Trends (Signifikanz $\geq 90\%$) und relative Häufigkeit der betroffenen Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für vier Dauerstufen. Datenbasis: 92 Stationen, 1901–2000.
- Abb. 4.21: Absolute Häufigkeit signifikanter Trends ($\geq 90\%$) aus allen 415 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauerstufe D = 24 h, 72 h, 120 h und 240 h, 1931–2000.
- Abb. 4.22: Absolute Häufigkeit signifikanter Trends ($\geq 90\%$) aus allen 92 Stationen in Baden-Württemberg und Bayern für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr, Dauerstufe D = 24 h, 72 h, 120 h und 240 h, 1901–2000.
- Abb. 4.23: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Jahr.
- Abb. 4.24: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 4.25: Absolute Häufigkeit und Signifikanz ansteigender Niederschlagstrends, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 4.26a-b: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 24 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 24 h.
- Abb. A4.26c-d: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 72 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 72 h.
- Abb. A4.26e-f: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 120 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 120 h.
- Abb. A4.26g-h: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 240 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 240 h.
- Abb. 4.27a-b: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 24 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 24 h.
- Abb. A4.27c-d: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 72 h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 72 h.



- Abb. A4.27e-f: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 120$ h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 120$ h.
- Abb. A4.27g-h: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 240$ h. Unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 240$ h.
- Abb. 4.28: Häufigkeiten der Zirkulationsformen „zonal“, „gemischt“ und „meridional“ insgesamt für das hydrologische Sommerhalbjahr (oben) und Winterhalbjahr (unten). Siehe Text.
- Abb. 4.29: Häufigkeiten der Zirkulationsformen für die 50 größten Niederschlagshöhen $D = 24$ h, Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommer- (oben) und Winterhalbjahr (unten).
- Abb. 4.30: Abweichung der Häufigkeiten der Zirkulationsformen für die 50 größten Niederschlagshöhen $D = 24$ h gegenüber deren Häufigkeit insgesamt. Baden-Württemberg und Bayern, hydrologisches Sommerhalbjahr (oben), hydrologisches Winterhalbjahr (unten).
- Abb. 5.1: Auszählung der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag und ≥ 20 mm pro Tag für die 92 Datenreihen 1901–2000.
- Abb. 5.2: Auszählung der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag und ≥ 20 mm pro Tag für die 415 Datenreihen 1931–2000.
- Abb. 5.3: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 5.4: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 20 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 5.5: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 1 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 5.6: Zu- und Abnahme der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen ≥ 20 mm pro Tag in Prozent des Mittelwerts. Oben: 92 Stationen, 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, unten: 415 Stationen, 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 6.1: Jahresgang der Trocken- und Nassperioden auf der Basis der 92 Datenreihen 1901–2000 und der 415 Datenreihen 1931–2000. Die dargestellten relativen Häufigkeiten ergeben sich durch die Gewichtung der Anzahl der Perioden in den einzelnen Monaten mit der Länge der jeweiligen Trocken- oder Nassperioden.

- Abb. 6.2: Extreme Nassperioden, relativer Trend und Signifikanz. Oben: 92 Datenreihen 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, unten: 415 Datenreihen 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 6.3: Extreme Nassperioden, relativer Trend und Signifikanz. Oben: 92 Datenreihen 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, unten: 415 Datenreihen 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 6.4: Extreme Trockenperioden, relativer Trend und Signifikanz. Oben: 92 Datenreihen 1901–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr, unten: 415 Datenreihen 1931–2000, hydrologisches Sommerhalbjahr.
- Abb. 6.5: Extreme Trockenperioden, relativer Trend und Signifikanz. Oben: 92 Datenreihen 1901–2000, hydrologisches Winterhalbjahr, unten: 415 Datenreihen 1931–2000, hydrologisches Winterhalbjahr.
- Abb. 6.6: Relativer Trend der Nassperioden (Signifikanz $\geq 90\%$, oben) und relative Häufigkeit (unten).
- Abb. 6.7: Relativer Trend der Trockenperioden (Signifikanz $\geq 90\%$, oben) und relative Häufigkeit (unten).
- Abb. A6.8: Relative Häufigkeit der Trocken- und Nassperioden der 92 Stationen (1901–2000, links) und 415 Stationen (1931–2000, rechts) für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr bei Auszählung in 5-jährigen Intervallen ab 1901 bzw. 1931.
- Abb. A6.9: Verteilung der längsten extremen Nassperioden im Zeitraum 1901–2000 (oben) und 1931–2000 (unten).
- Abb. A6.10: Verteilung der längsten extremen Trockenperioden im Zeitraum 1901–2000 (oben) und 1931–2000 (unten).



9 Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK, 1985: Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 124.
- Albrecht, F. M., 1995: Entwicklung von Methoden zur Regionalisierung der mittleren Niederschlagshöhe als Eingangsgröße zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz (REGNIE), Werkvertrag, DWD, Offenbach.
- Albrecht, F.M., 2003: Extremwertstatistische Auswertungen der langen Dauerstufen von D = 24 h bis D = 72 h für Januar-Dezember, Mai-September und Oktober-April, Werkvertrag, DWD, Offenbach.
- Bartels, H., G. Malitz, S. Asmus, F. M. Albrecht, B. Dietzer, T. Günther, H. Ertel, 1997: Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA). Selbstverlag des DWD, Offenbach.
- Baur, F., 1963: Großwetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage. Frankfurt 1963.
- Blümel, K., A. Klämt, G. Malitz, H. Matthäus, M. Rachner, D. Richter, 2001: Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem der Klimaveränderungen. Berichte des DWD 219. Eigenverlag, Offenbach, 371 S.
- DIN 4049, 1994: Teil 3: Hydrologie – Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- Dietzer, B., Th. Günther, A. Klämt, H. Matthäus, T. Reich, 2002: Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. In DWD (2002): Klimastatusbericht 2001. Eigenverlag, Offenbach, 67-85.
- Dittmann, E., S. Barth, J. Lang, G. Müller-Westermeier, 1995: Objektive Wetterlagenklassifikation. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 197, Offenbach/Main
- DVWK, 1997: Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. DVWK-Mitteilungen, Heft 29, Bonn, 1997, 112 S.
- Fricke, W. & Kronier, M., 2002: Betrachtungen zum Klimawandel am Hohenpeißenberg. In DWD (2002): Klimastatusbericht 2001. Eigenverlag, Offenbach, 250-257.
- Gerstengarbe, F.-W. et al., 1999: Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky, 5. verb. Aufl., Postdam, Offenbach a.M.
- Günther, T. & Stalman, V., 2002: hydrometeorologische Untersuchungen zum Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 49,7, 992-997.
- Hess, P., Brezowsky, H. 1977: Katalog der Großwetterlagen Europas 1881-1976. 3. Auflage, Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113, Offenbach a.M.
- IPCC, 2001: Climate change 2001: contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed.
- KLIWA (Hrsg.), 2005a: Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Heft 5, 76 S.
- KLIWA (Hrsg.) 2005b: Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Heft 6, 88 S.

- KLIWA (Hrsg.) 2005c: Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Heft 6, 160 S.
- KOSTRA-DWD-2000, 2005: Starkniederschlagshöhen für Deutschland, Fortschreibungsbericht und Grundlagenbericht. www.dwd.de/KOSTR-DWD-2000.
- Malitz, G. & 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 (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990, Frankfurter Geowiss. Arb. Serie B, Bd. 5, 255 S.
- Zimmermann, L., Bartels, H., Dietzer, B. u. F.M. Albrecht (2003a): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Bayern und Baden-Württemberg. Forum für Hydrologie+Wasserbewirtschaftung, Heft 4-03, 71-74.
- Zimmermann, L., Bartels, H., Dietzer, B. u. F.M. Albrecht (2003b): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Süddeutschland. DWD-Klimastatusbericht 2002, 152-165.



Anhang

Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

	Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
	1	70111	47 37 6	9 43 33	513	ACHBERG-ESSERATSWEILER	BW
	2	71645	49 24 27	9 23 33	260	ADELSHEIM	BW
	3	92240	48 36 0	13 5 0	325	ALDESBACH	BY
	4	73312	49 23 15	11 22 19	423	ALTDORF	BY
	5	71319	48 37 5	8 39 4	594	ALTENSTEIG-WART	BW
	6	71329	48 44 13	8 45 1	530	ALTHENGSTETT-OTTENBRONN	BW
	7	90268	47 47 41	10 6 0	736	ALTUSRIED-MUTHMANNSHOFEN	BY
	8 L	91252	49 28 0	11 51 0	383	AMBERG-UNTERAMMERSRICTH	BY
	9	92431	47 45 53	12 19 12	620	ASCHAU	BY
	10	92424	47 41 57	12 16 23	740	ASCHAU-SACHRANG	BY
	11	92426	47 43 42	12 17 59	680	ASCHAU-STEIN	BY
	12	73265	49 42 8	11 37 32	418	AUERBACH/OPF.	BY
	13	91101	49 48 37	12 26 23	610	BAERNAU	BY
	14	71009	48 4 13	8 46 9	710	BALGHEIM	BW
	15	71043	48 16 42	8 53 4	571	BALINGEN-HESELWANGEN	BW
	16 L	73476	49 52 50	10 54 54	239	BAMBERG (WST)	BY
	17 L	73723	50 24 45	10 10 46	312	BASTHEIM-SIMONSHOF	BY
	18 L	91301	49 7 15	13 12 1	710	BAYERISCH EISENSTEIN	BY
	19	92106	47 42 34	11 0 49	812	BAYERSOIEN,BAD	BY
	20 L	73029	49 57 26	11 33 12	330	BAYREUTH	BY
	21 L	92054	47 42 26	11 24 55	630	BENEDIKTBEUERN	BY
	22	71246	48 51 3	9 29 21	402	BERGLEN-BIRKENWEISSBUCH	BW
	23 L	73561	49 53 50	10 4 19	273	BERGTHEIM	BY
	24	92434	47 49 28	12 24 3	522	BERNAU,KR.ROSENHEIM	BY
	25 L	70232	47 48 58	8 1 35	928	BERNAU-GOLDBACH	BW
	26	73004	50 3 22	11 39 14	363	BERNECK,BAD	BY
	27	73271	49 40 52	11 25 7	501	BETZENSTEIN	BY
	28 L	90174	48 5 38	9 46 34	535	BIBERACH/RISS	BW
	29 L	90492	48 31 2	10 48 29	440	BIBERBACH	BY
	30 L	90144	48 6 51	9 16 36	630	BINGEN,KR.SIGMARINGEN	BW
	31	92512	47 39 11	12 55 36	870	BISCHOFSWIESEN-LOIPL	BY
	32	92553	47 41 17	12 56 35	690	BISCHOFSWIESEN-WINKL	BY
	33	90302	48 25 5	9 44 26	701	BLAUBEUREN-SEISSEN	BW
	34	90305	48 27 46	9 50 14	635	BLAUSTEIN-BERMARINGEN	BW
	35	90367	48 38 1	10 37 23	420	BLINDHEIM	BY
	36	90582	48 16 22	10 46 57	551	BOBINGEN-STRASSBERG	BY
	37	92176	48 19 45	12 0 14	452	BOCKHORN/OBB.-GRUENBACH	BY
	38 L	92603	48 25 30	12 24 25	464	BODENKIRCHEN-AICH	BY
	39	92108	47 45 14	10 59 16	744	BOEBING	BY
	40	90124	48 6 26	8 48 15	928	BOETTINGEN	BW
	41	91463	48 53 9	12 44 48	345	BOGEN-PFELLING	BY
	42 L	70210	47 49 13	8 20 9	875	BONNDORF/SCHW.	BW
	43	90432	48 51 19	10 21 3	497	BOPFINGEN	BW
	44 L	91105	49 57 37	11 54 50	592	BRAND/OPF.	BY
	45	92317	47 43 33	12 6 34	481	BRANNENBURG-DEGERNDORF	BY
	46	70328	47 56 22	8 4 37	1005	BREITNAU	BW
	47	70703	49 0 27	8 43 29	214	BRETTEN-RUIT	BW
	48 L	91391	49 15 10	12 18 45	370	BRUCK	BY
	49 L	74007	49 31 24	9 18 50	350	BUCHEN,KR.NECKAR-ODW.	BW
	50 L	90262	47 42 50	10 15 26	900	BUCHENBERG	BY

Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
51	70264	47 46 13	7 49 42	710	BUERCHAU	BW
52	90341	48 26 30	10 24 30	480	BURGAU	BY
53	90712	49 8 43	10 30 13	436	BURK-MEIERN DORF	BY
54	91374	49 13 26	12 40 8	396	CHAM	BY
55	92435	47 52 7	12 23 47	536	CHIEMSEE-HERRENCHIEMSEE	BY
56	73021	49 50 42	11 37 28	440	CREUSSEN	BY
57	92142	48 14 50	11 26 35	482	DACHAU	BY
58	91475	48 50 11	12 57 5	313	DEGGENDORF	BY
59	90486	48 22 29	10 45 42	498	DIEDORF/SCHWABEN-BIBURG	BY
60	92122	47 58 53	11 5 54	540	DIESSEN/AMMERSEE-RIEDER.	BY
61	91213	49 24 54	12 24 53	498	DIETERSKIRCHEN	BY
62	90772	49 2 24	11 35 29	370	DIETFURT	BY
63	90362	48 42 52	10 26 30	550	DISCHINGEN-EGLINGEN	BW
64	L 71376	48 51 40	8 57 51	294	DITZINGEN-HEIMERDINGEN	BW
65	L 70606	48 47 44	8 29 35	717	DOBEL	BW
66	91402	49 1 55	12 11 50	329	DONAUSTAUF	BY
67	90445	48 44 2	10 46 33	452	DONAUWOERTH	BY
68	92388	48 16 26	12 9 40	439	DORFEN,KR.ERDING	BY
69	71714	49 27 20	8 58 47	178	EBERBACH/NECKAR	BW
70	92372	48 4 50	11 57 24	572	EBERSBERG	BY
71	L 73461	49 51 2	10 30 29	333	EBRACH	BY
72	73371	49 56 32	11 24 15	435	ECKERSDORF-BUSBACH	BY
73	91242	49 34 41	11 41 57	535	EDELSELD	BY
74	73424	49 46 2	11 3 30	266	EGGOLSHEIM	BY
75	90416	49 5 24	10 32 23	462	EHINGEN,KR.ANSBACH	BY
76	90171	48 16 27	9 43 24	496	EHINGEN/DONAU	BW
77	90734	48 53 51	11 10 29	397	EICHSTAETT	BY
78	L 90111	47 58 3	8 17 50	930	EISENBACH-BUBENBACH	BW
79	73846	49 45 30	9 50 14	340	EISINGEN	BY
80	71605	48 58 4	10 7 57	443	ELLWANGEN/JAGST	BW
81	74041	49 49 59	9 12 34	165	ELSENFELD-RUECK	BY
82	L 92321	47 54 19	12 17 57	512	ENDORF,BAD	BY
83	71747	49 7 54	8 55 3	210	EPPINGEN	BW
84	71744	49 10 5	8 51 10	218	EPPINGEN-ELSENZ	BW
85	91113	49 50 27	12 2 55	500	ERBENDORF	BY
86	92160	48 19 59	11 18 3	482	ERDWEG	BY
87	92127	48 5 42	11 2 42	590	ERESING (ST.OTTILIEN)	BY
88	L 91434	48 40 2	12 10 41	450	ERGOLDSBACH-KLAEHAM	BY
89	73343	49 36 58	11 0 5	270	ERLANGEN	BY
90	71008	48 11 16	8 28 8	716	ESCHBRONN-MARIAZELL	BW
91	92044	47 36 7	11 11 21	636	ESCHENLOHE	BY
92	L 92042	47 33 56	11 6 8	871	ETTAL	BY
93	73613	50 1 4	9 52 53	210	EUSSENHEIM-HUNDSBACH	BY
94	91382	49 5 56	12 29 18	562	FALKENSTEIN,KR.CHAM	BY
95	92354	47 52 31	11 52 19	529	FELDKIRCHEN-W.-VAGEN	BY
96	90414	49 10 6	10 20 11	458	FEUCHTWANGEN	BY
97	92353	47 45 44	11 55 6	771	FISCHBACHAU-SCHREIERN	BY
98	73712	50 31 7	10 8 54	420	FLADUNGEN	BY
99	71028	48 18 0	8 29 29	660	FLUORN-WINZELN	BW
100	L 70527	48 39 32	8 16 9	750	FORBACH-HERRENWIES	BW



Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

	Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]			geogr. Länge [°] ['] ["]			Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
	101	73420	49	43	26	11	3	25	257	FORCHHEIM/OFR.	BY
	102	73813	50	3	46	9	27	22	260	FRAMMERSBACH	BY
	103	71610	49	5	1	9	58	48	458	FRANKENHARDT-GRUENDELH.	BW
	104	92432	47	48	2	12	16	58	605	FRASDORF	BY
	105	L 70312	48	8	44	7	55	13	275	FREIAMT-KEPPENBACH	BW
	106	70354	48	0	6	7	50	46	269	FREIBURG I.BR.	BW
	107	70510	48	28	19	8	19	15	875	FREUDENSTADT-KNIEBIS	BW
	108	90127	48	1	16	8	55	18	634	FRIDINGEN	BW
	109	90107	48	3	44	8	11	56	870	FURTWANGEN	BW
	110	92604	48	26	26	12	33	22	432	GANGKOFEN	BY
	111	92037	47	29	22	11	10	35	860	GARMISCH-P.-KALTENBRUNN	BY
	112	90666	48	39	9	11	35	9	395	GEISENFELD-EICHELBERG	BY
	113	92221	48	28	51	12	15	43	467	GEISENHAUSEN	BY
	114	92057	47	50	40	11	28	47	608	GERETSRIED	BY
	115	L 71145	48	44	28	9	43	1	565	GOEPPINGEN-HOHENSTAUFEN	BW
	116	73404	49	47	35	11	18	46	437	GOESSWEINSTEIN	BY
	117	L 73334	49	38	57	11	14	47	477	GRAEFENBERG	BY
	118	91163	49	43	7	11	54	5	411	GRAFENWOEHR	BY
	119	91473	48	53	48	12	58	39	440	GRAFLING	BY
	120	91336	48	56	59	12	58	42	586	GRAFLING-MUEHLEN	BY
	121	92027	47	28	18	11	1	10	760	GRAINAU	BY
	122	92026	47	27	27	11	0	44	1010	GRAINAU-EIBSEE	BY
	123	73445	49	41	50	10	50	0	272	GREMSDORF	BY
	124	90281	47	52	49	10	15	23	676	GROENENBACH-THAL	BY
	125	73132	50	10	49	10	56	13	295	GROSSHEIRATH-BUCHENROD	BY
	126	90357	48	32	30	10	22	39	432	GUNDELFINGEN/DON.-PETER.	BY
	127	L 71704	49	17	20	9	10	4	170	GUNDELSHEIM	BW
	128	92376	48	9	16	12	10	20	530	HAAG.KR.MUEHLSDORF	BY
	129	92082	48	6	54	11	44	37	537	HAAR-EGLFING	BY
	130	40122	48	50	57	13	43	44	1015	HAIDMUEHLE-BISCHOFREUT	BY
	131	90508	47	36	58	10	48	24	804	HALBLECH-BUCHING	BY
	132	92094	48	18	48	11	44	27	462	HALLBERGMOOS-GOLDACH	BY
	133	73754	50	7	21	9	54	31	220	HAMMELBURG	BY
	134	73276	49	36	5	11	28	54	410	HARTENSTEIN-RUPPRECHTST.	BY
	135	73956	49	47	33	9	29	28	150	HASLOCH/MAIN	BY
	136	73504	50	2	21	10	31	2	239	HASSFURT (STADT)	BY
	137	73512	50	3	39	10	27	6	353	HASSFURT-SAILERSHAUSEN	BY
	138	73211	49	11	14	10	49	51	410	HAUNDORF-OBERERLMBACH	BY
	139	71058	48	22	34	8	58	50	520	HECHINGEN	BW
	140	71765	49	23	23	8	44	13	465	HEIDELBERG(KURH.KOHLHOF)	BW
	141	90351	48	40	24	10	7	59	500	HEIDENHEIM/BRENZ	BW
	142	70163	47	49	18	9	18	52	740	HEILIGENBERG	BW
	143	73244	49	20	7	10	47	6	423	HEILSBRONN	BY
	144	90711	49	12	28	10	25	7	452	HERRIEDEN-ELBERSROTH	BY
	145	73303	49	30	23	11	24	14	332	HERSBRUCK	BY
	146	90663	48	30	50	11	30	16	440	HETTENSHAUSEN	BY
	147	71341	48	37	30	8	58	2	483	HILDRIZHAUSEN	BW
	148	73222	49	11	26	11	9	35	363	HILPOLTSTEIN	BY
	149	90243	47	29	11	10	23	11	828	HINDELANG-HINTERSTEIN	BY
	150	70226	47	44	1	8	9	53	1008	HOECHENSWAND (AKKST)	BW

Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

	Stations- nummer	geogr. Breite			geogr. Länge			Höhe [NN+m]	Stationsname	BL
		[°]	[']	["]	[°]	[']	["]			
151	91346	49	8	0	12	52	0	403	HOELLENSTEIN-KRAFTWERK	BY
152	40153	50	5	35	12	12	53	517	HOHENBERG/EGER	BY
153	92165	48	25	41	11	31	33	451	HOHENKAMMER	BY
154	L 92111	47	48	8	11	0	38	977	HOHENPEISSENBERG (OBS)	BY
155	L 73852	49	46	59	9	40	46	204	HOLZKIRCHEN/UFR.	BY
156	L 71032	48	24	38	8	39	37	540	HORB-BETRA	BW
157	90443	48	48	52	10	41	46	490	HUISHEIM	BY
158	92295	48	40	33	13	29	11	451	HUTTHURM	BY
159	70155	47	39	54	9	21	42	404	IMMENSTAAD	BW
160	L 90253	47	33	27	10	13	27	731	IMMENSTADT	BY
161	90257	47	36	31	10	12	9	980	IMMENSTADT-REUTE	BY
162	L 71553	49	17	52	9	39	11	209	INGELFINGEN	BW
163	90575	47	48	13	10	45	57	890	INGENRIED/OBB-KROTTENHIL	BY
164	L 90613	48	44	38	11	25	30	367	INGOLSTADT	BY
165	92445	47	45	37	12	45	6	690	INZELL	BY
166	L 73550	49	36	7	10	13	29	262	IPPESHEIM	BY
167	92355	47	49	7	11	52	9	715	IRSCHENBERG-KASTHUB	BY
168	L 70132	47	41	0	10	3	0	712	ISNY	BW
169	L 71506	48	55	59	9	38	38	558	KAISERSBACH	BW
170	L 70621	49	2	0	8	22	0	112	KARLSRUHE (WST)	BW
171	91254	49	22	51	11	42	29	424	KASTL,KR.AMBERG-SULZBACH	BY
172	91151	49	52	6	11	52	57	460	KEMNATH	BY
173	L 90263	47	43	0	10	20	0	705	KEMPTEN (WST)	BY
174	L 92266	48	54	42	13	16	16	693	KIRCHDORF IM WALD	BY
175	90672	48	46	17	11	54	21	410	KIRCHDORF,KR.KELHEIM	BY
176	91154	49	47	41	11	40	56	512	KIRCHENTHUMBACH-HEINERS.	BY
177	74004	49	37	19	9	6	39	512	KIRCHZELL-BREITENBUCH	BY
178	73513	49	58	11	10	28	32	267	KNETZGAU-OBERSCHWAPPACH	BY
179	92048	47	39	49	11	21	41	600	KOCHEL	BY
180	92051	47	37	54	11	20	17	610	KOCHEL(WALCHENSEEKRAFTW)	BY
181	73939	49	35	0	9	31	37	354	KOENIGHEIM-PUELFRINGEN	BW
182	L 73376	49	56	50	11	9	55	448	KOENIGSFELD,KR.BAMBERG	BY
183	71005	48	8	34	8	25	35	754	KOENIGSFELD/SCHW.	BW
184	90646	48	38	17	11	11	8	382	KOENIGSMOOS-LUDWIGSMOOS	BY
185	91355	49	10	57	12	51	36	408	KOETZTING	BY
186	90566	47	46	6	10	27	44	829	KRAFTISRIED	BY
187	92151	48	5	34	11	24	4	564	KRAILLING	BY
188	L 92323	47	36	41	11	38	49	895	KREUTH-GLASHUETTE	BY
189	L 73059	50	14	3	11	19	37	306	KRONACH	BY
190	92002	47	29	42	11	16	44	875	KRUEN	BY
191	73016	50	6	50	11	24	27	385	KULMBACH-BURGHAIG	BY
192	L 73014	50	8	20	11	34	32	470	KUPFERBERG	BY
193	92202	48	50	13	13	6	29	353	LALLING	BY
194	92184	48	32	12	12	6	53	393	LANDSHUT	BY
195	L 71625	49	15	0	9	50	0	429	LANGENBURG	BW
196	90585	48	6	36	10	46	28	575	LANGERRINGEN-SCHWABMUEH.	BY
197	90322	48	4	42	10	19	1	620	LAUBEN/U.ALL-FRICKENHSN.	BY
198	92572	47	56	23	12	55	55	400	LAUFEN/OBB.	BY
199	73239	49	24	51	11	28	36	540	LAUTERHOFEN-TRAUNFELD	BY
200	73313	49	26	31	11	17	12	350	LEINBURG-KRAEMERSWEIHER	BY



Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
201	92016	47 41 31	11 34 28	681	LENGGRIES	BY
202	92007	47 34 8	11 32 12	770	LENGGRIES-FALL	BY
203	92006	47 33 29	11 26 12	803	LENGGRIES-VORDERRISS	BY
204	90273	47 49 31	10 1 21	655	LEUTKIRCH	BW
205	91323	49 1 58	13 19 45	740	LINDBERG-BUCHENAU	BY
206	91313	49 3 57	13 18 28	770	LINDBERG-SCHEUERECK	BY
207	73802	50 4 53	9 32 35	370	LOHR/M.-RUPPERTSHUETTEN	BY
208	90353	48 33 54	9 55 36	665	LONSEE-ETTLENSCHIESS	BW
209	L 40125	49 54 44	12 31 45	675	MAHRING	BY
210	71378	48 54 20	9 4 28	272	MARKGROENINGEN	BW
211	L 73439	49 40 2	10 23 12	317	MARKT BIBART	BY
212	73443	49 39 59	10 33 10	320	MARKT TASCHENDF.-OBERST.	BY
213	90482	48 8 10	10 34 54	633	MARKT WALD	BY
214	73841	49 50 5	9 35 6	145	MARKTHEIDENFELD	BY
215	73009	50 10 34	11 36 15	581	MARKTLEUGAST	BY
216	L 90564	47 46 55	10 37 4	730	MARKTOBERDORF	BY
217	92533	47 42 5	13 2 33	501	MARKTSCELLENBERG	BY
218	73138	50 21 20	10 53 7	436	MEEDER-OTTOWIND	BY
219	L 90152	48 3 45	9 20 12	554	MENGEN,KR.SIGMARINGEN	BW
220	73930	49 29 0	9 46 0	250	MERGENTHEIM,BAD-NEUNKIR.	BW
221	90624	48 16 25	10 59 22	510	MERING	BY
222	74035	49 55 24	9 17 20	302	MESPELBRUNN	BY
223	L 91472	48 51 0	12 55 0	313	METTEN	BY
224	73523	49 55 8	10 28 9	375	MICHELAU/UFR.-NEUHAUSEN	BY
225	73964	49 42 43	9 13 46	127	MILTENBERG	BY
226	L 90332	48 3 5	10 30 4	603	MINDELHEIM	BY
227	L 71648	49 19 27	9 21 33	181	MOECKMUEHL	BW
228	L 90441	48 48 42	10 35 12	416	MOETTINGEN	BY
229	92177	48 26 28	12 0 21	445	MOOSBURG/ISAR-PFROMBACH	BY
230	71712	49 21 27	9 6 50	200	MOSBACH-DIEDESHEIM	BW
231	51018	50 24 4	9 46 30	436	MOTTEN	BY
232	L 43002	50 10 42	11 46 12	572	MUENCHBERG-STRAAS	BY
233	92081	48 7 12	11 38 17	530	MUENCHEN-BERG AM LAIM	BY
234	L 92153	48 10 1	11 30 9	515	MUENCHEN-NYPHENBURG	BY
235	92152	48 9 31	11 27 0	522	MUENCHEN-OBERMENZING	BY
236	73739	50 15 9	10 11 45	232	MUENNERSTADT	BY
237	90163	48 23 11	9 29 4	750	MUENSINGEN-APFELSTETTEN	BW
238	70285	47 52 11	7 48 35	456	MUENSTERTAL	BW
239	90714	49 9 13	10 42 45	415	MUHR AM SEE	BY
240	L 92046	47 40 11	11 13 31	622	MURNAU	BY
241	43035	50 19 41	11 42 4	525	NAILA	BY
242	71754	49 17 57	8 58 4	204	NECKARBISCHOFSSHEIM	BW
243	90754	49 2 56	11 7 46	530	NENNSLINGEN	BY
244	90555	47 38 8	10 30 33	880	NESSELWANG	BY
245	92087	48 19 10	11 39 41	463	NEUFAHRN	BY
246	71107	48 33 33	9 22 22	395	NEUFFEN	BW
247	73269	49 39 37	11 33 42	393	NEUHAUS/MFR.-MOSENBERG	BY
248	73280	49 30 5	11 38 28	479	NEUKIRCHEN/OPF.-HAID	BY
249	73233	49 16 53	11 26 7	426	NEUMARKT/OPF.	BY
250	91206	49 22 18	12 23 20	420	NEUNBURG V.W-MITTERASCH.	BY

Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
251	73962	49 42 23	9 24 7	330	NEUNKIRCHEN,KR.MILTENBG.	BY
252	92292	48 47 27	13 43 52	880	NEUREICHENAU-DUSCHLBERG	BY
253	90587	48 22 56	10 49 19	525	NEUSAESS	BY
254	92273	48 54 34	13 27 47	730	NEUSCHOENAU-ALTSCHOENAU	BY
255	73730	50 20 4	10 12 22	248	NEUSTADT,BAD	BY
256	73433	49 34 0	10 36 0	315	NEUSTADT/AISCH	BY
257	90356	48 32 4	10 14 40	451	NIEDERSTOTZINGEN	BW
258	73046	50 22 47	11 30 24	621	NORDHALBEN	BY
259	73320	49 26 51	11 8 32	325	NUERNBERG(TIERGARTEN)	BY
260	73251	49 22 9	11 2 54	323	NUERNBERG-REICHEL.KELLER	BY
261	L 73201	49 24 44	10 26 4	430	OBERDACHSTETTEN	BY
262	90314	48 25 50	10 8 56	460	OBERFAHLHEIM	BY
263	90315	47 50 58	10 24 55	738	OBERGUENZBURG	BY
264	70433	48 23 0	8 9 0	320	OBERHARMERSBACH	BW
265	92707	48 33 25	13 39 3	360	OBERNZELL	BY
266	L 70116	47 33 17	9 56 31	903	OBERREUTE	BY
267	90251	47 33 28	10 5 12	745	OBERSTAUFEN-THALKIRCHDF.	BY
268	71240	49 3 1	9 23 36	468	OBERSTENFELD-PREVORST	BW
269	L 71567	49 12 30	9 31 11	276	OEHRINGEN (WST)	BW
270	92251	48 32 25	13 13 44	375	ORTENBURG	BY
271	L 92207	48 43 0	13 1 0	317	OSTERHOFEN	BY
272	73264	49 44 46	11 32 16	440	PEGNITZ	BY
273	73401	49 49 35	11 29 46	515	PEGNITZ-TROCKAU	BY
274	90521	47 49 5	10 56 26	704	PEITING-HERZOGSAEGMUEHLE	BY
275	91203	49 18 1	12 37 40	501	PEMFLING-GRAFENKIRCHEN	BY
276	90644	48 31 38	11 0 42	520	PETERSDORF-SCHOENLEITEN	BY
277	92614	48 26 36	13 0 36	378	PFARRKIRCHEN	BY
278	91421	48 41 36	11 54 13	470	PFEFFENHAUSEN-LUDMANNSD.	BY
279	90785	49 19 1	11 33 44	517	PILSACH-LAABER	BY
280	73274	49 39 1	11 28 11	443	PLECH	BY
281	90641	48 36 44	11 27 54	410	POERNBACH	BY
282	90645	48 35 23	11 5 37	404	POETTMES-SCHORN	BY
283	L 73300	49 29 0	11 32 0	530	POMMELBRUNN-MITTELBURG	BY
284	L 91150	49 47 6	12 2 4	593	PRESSATH-MUEHLBERG	BY
285	73052	50 13 46	11 33 7	620	PRESSECK	BY
286	73057	50 21 46	11 19 8	400	PRESSIG-ROTHENKIRCHEN	BY
287	92062	48 2 1	11 30 25	544	PULLACH-HOELLRIEGELSKR.	BY
288	L 90597	48 41 35	10 53 56	409	RAIN AM LECH	BY
289	L 73823	49 59 11	9 30 15	360	RECHTENBACH	BY
290	L 91325	48 58 3	13 8 26	572	REGEN	BY
291	L 91394	49 8 23	12 7 3	346	REGENSTAUF	BY
292	43012	50 13 5	12 2 11	587	REHAU	BY
293	L 92406	47 40 31	12 27 43	690	REIT I.WINKL	BY
294	73780	50 5 45	9 38 15	198	RIENECK	BY
295	73562	49 51 0	9 58 0	230	RIMPAR	BY
296	73569	49 55 40	9 58 23	320	RIMPAR-GRAMSCHATZ	BY
297	L 70419	48 26 25	8 18 57	560	RIPPOLDSAU,BAD	BW
298	L 91381	49 12 25	12 30 39	363	RODING	BY
299	L 92294	48 45 15	13 30 0	480	ROEHRNBACH	BY
300	92363	47 52 38	12 7 55	444	ROSENHEIM	BY



Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
301	73217	49 15 0	11 6 0	340	ROTH B. NUERNBERG	BY
302	L 73902	49 23 2	10 10 33	406	ROTHENBURG O.D.TAUBER	BY
303	92444	47 44 0	12 40 0	692	RUHPOLDING	BY
304	92312	47 46 42	12 12 42	687	SAMERBERG-GEISENKAM	BY
305	91461	49 0 14	12 49 33	810	SANKT ENGLMAR	BY
306	92274	48 53 13	13 25 40	754	SANKT OSWALD-RIEDLHUETTE	BY
307	70345	48 1 0	8 2 25	729	SANKT PETER/SCHW.	BW
308	92076	47 57 44	11 35 50	652	SAUERLACH-ALTKIRCHEN	BY
309	90662	48 30 12	11 27 21	481	SCHEYERN	BY
310	91425	48 50 11	12 9 9	369	SCHIERLING	BY
311	70405	48 17 25	8 20 19	360	SCHILTACH	BW
312	92411	47 43 19	12 23 40	575	SCHLECHING	BY
313	91264	49 16 52	11 54 58	453	SCHMIDMUEHLEN	BY
314	92378	48 4 22	12 22 16	610	SCHNAITSEE	BY
315	L 92543	47 43 22	12 46 23	630	SCHNEIZLREUTH-WEISSBACH	BY
316	92268	48 50 32	13 13 42	770	SCHOEFWEG	BY
317	L 70251	47 47 10	7 53 41	535	SCHOENAU/SCHW.	BW
318	92271	48 50 26	13 19 57	550	SCHOENBERG/NDB.	BY
319	91211	49 32 47	12 34 38	685	SCHOENSEE-DIETERSDORF	BY
320	43011	50 11 48	12 5 26	629	SCHOENWALD/FICHTELGEBIR.	BY
321	L 70261	47 40 57	7 52 57	723	SCHOPFHEIM-SCHWEIGMATT	BW
322	70411	48 13 0	8 23 0	502	SCHRAMBERG	BW
323	73911	49 23 10	10 4 19	456	SCHROZBERG-SPIELBACH	BW
324	70136	48 0 21	9 39 42	576	SCHUSSENRIED,BAD	BW
325	71543	49 6 55	9 43 7	365	SCHWAEB.HALL-TEURERSHOF	BW
326	91222	49 23 30	12 8 12	365	SCHWARZENFELD	BY
327	90178	48 9 39	9 56 14	535	SCHWENDI-SCHOENEBUERG	BW
328	92126	48 1 55	11 15 12	646	SEEFELD/OBB.-UNERING	BY
329	70445	48 18 43	7 56 56	255	SEELBACH	BW
330	92143	47 49 18	11 18 54	588	SEESHAUPT	BY
331	71311	48 35 55	8 25 40	804	SEEWALD-BESENFELD	BW
332	70112	47 35 0	9 45 0	507	SIGMARSZELL-ZEISERTSWEI.	BY
333	71316	48 37 14	8 31 27	720	SIMMERSFELD	BW
334	L 92052	47 43 44	11 21 36	601	SINDELSDORF	BY
335	71749	49 15 43	8 52 30	197	SINSHEIM	BW
336	73072	50 14 20	11 10 52	332	SONNEFELD-GESTUNGSHAUSEN	BY
337	71067	48 24 27	9 11 24	780	SONNENBUEHL-GENKINGEN	BW
338	91452	49 3 29	12 38 29	403	STALLWANG	BY
339	92147	48 0 21	11 20 52	596	STARNBERG	BY
340	92415	47 46 43	12 29 1	540	STAUDACH	BY
341	91455	48 57 32	12 36 27	335	STEINACH	BY
342	73053	50 26 37	11 22 36	616	STEINBACH A.WALD	BY
343	L 90517	47 41 57	10 51 43	765	STEINGADEN	BY
344	73048	50 17 57	11 27 57	365	STEINWIESEN	BY
345	70758	49 3 5	8 50 49	320	STERNENFELS	BW
346	90131	48 8 34	9 5 51	779	STETTEN-FROHNSTETTEN	BW
347	L 91464	48 49 52	12 42 54	326	STRASSKIRCHEN	BY
348	90611	48 48 40	10 56 14	522	TAGMERSHEIM-BLOSSENAU	BY
349	92214	48 20 41	12 11 4	461	TAUFKIRCHEN-MOOSEN/VILS	BY
350	92571	47 51 13	12 49 47	496	TEISENDORF	BY

Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

Stations- nummer	geogr. Breite [°] ['] ["]	geogr. Länge [°] ['] ["]	Höhe [NN+m]	Stationsname	BL	
351	73064	50 22 48	11 22 24	568	TEUSCHNITZ-WICKENDORF	BY
352	90751	49 5 15	11 13 36	419	THALMAESSING	BY
353	73034	50 2 37	11 23 51	399	THURNAU	BY
354	71357	48 49 10	8 47 44	344	TIEFENBRONN	BW
355	L 70204	47 54 8	8 8 47	846	TITISEE-N.-TITIS.(AKKST)	BW
356	L 70245	47 44 32	8 0 6	855	TODTMOOS	BW
357	92018	47 46 46	11 32 37	640	TOELZ,BAD	BY
358	70424	48 8 25	8 14 51	720	TRIBERG-NUSSBACH	BW
359	71076	48 33 36	9 3 45	350	TUEBINGEN-BEBENHAUSEN	BW
360	90573	48 3 29	10 38 23	599	TUERKHEIM	BY
361	L 90123	48 0 31	8 49 8	648	TUTTLINGEN	BW
362	92146	47 56 38	11 15 16	670	TUTZING-TRAUBING	BY
363	L 70224	47 44 47	8 18 44	755	UEHLINGEN-BIRKENDORF	BW
364	L 90307	48 23 5	9 57 14	567	ULM (WST)	BW
365	92083	48 11 23	11 38 45	505	UNTERFOEHRING	BY
366	91261	49 24 17	11 45 36	530	URSENSOLLEN	BY
367	92128	48 2 6	11 3 10	587	UTTING-ACHSELSCHWANG	BY
368	L 92338	47 52 4	11 47 10	617	VALLEY-MUEHLTHAL	BY
369	73568	49 50 29	9 52 29	190	VEITSHOECHHEIM	BY
370	90786	49 14 36	11 41 8	533	VELBURG	BY
371	90142	48 10 50	9 12 46	632	VERINGENSTADT	BW
372	91345	49 4 54	12 53 54	455	VIECHTACH	BY
373	73501	49 55 26	10 46 57	236	VIERETH-TRUNSTADT	BY
374	90535	47 58 10	10 55 0	685	VILGERTSHOFEN-PFLUGDORF	BY
375	92216	48 27 12	12 20 31	459	VILSBIBURG	BY
376	70293	48 5 33	7 37 34	223	VOGTSBURG-OBERROTWEIL	BW
377	92017	47 45 26	11 41 38	815	WAAKIRCHEN-MARIENSTEIN	BY
378	92576	47 55 28	12 45 26	475	WAGING AM SEE	BY
379	71718	49 26 54	9 3 25	490	WALDBRUNN-OBERDIELBACH	BW
380	L 91201	49 22 38	12 42 35	510	WALDMUENCHEN	BY
381	92009	47 33 18	11 17 37	824	WALLGAU-OBERNACH	BY
382	73027	50 0 32	11 46 22	610	WARMENSTEINACH	BY
383	73762	50 11 51	9 50 20	422	WARTMANNSTROTH-NEUWIRTHS.	BY
384	92374	48 2 47	12 11 40	481	WASSERBURG/INN-REISACH	BY
385	L 92712	48 37 18	13 48 54	670	WEGSCHEID-MESSNERSCHLAG	BY
386	90705	49 11 51	10 39 0	425	WEIDENBACH,KR.ANSBACH	BY
387	71113	48 37 43	9 4 23	431	WEIL I.SCHOENBUCH	BW
388	92117	47 51 0	11 9 0	568	WEILHEIM/OBB.	BY
389	70145	47 48 27	9 37 20	440	WEINGARTEN,KR.RAVENSBURG	BW
390	70530	48 43 42	8 21 24	200	WEISENBACH	BW
391	L 73214	49 1 13	10 57 42	422	WEISSENBURG/BAY. (WST)	BY
392	L 90313	48 18 36	10 12 21	500	WEISSENHORN-OBERREICHEN.	BY
393	70125	47 40 38	10 8 57	800	WEITNAU-WENGEN	BY
394	71521	48 52 19	9 38 41	485	WELZHEIM	BW
395	73603	49 58 34	10 4 41	220	WERNECK	BY
396	90553	47 36 20	10 24 36	920	WERTACH	BY
397	90474	48 33 30	10 40 31	430	WERTINGEN	BY
398	90303	48 30 46	9 37 29	807	WESTERHEIM	BW
399	74107	50 6 48	9 14 29	242	WESTERNGRUND-OBERWESTERN	BY
400	73816	50 6 49	9 21 56	397	WIESEN	BY



Tabelle A2.1: Verzeichnis der verwendeten DWD-Niederschlagsstationen.
(Fortsetzung) Stationsverzeichnis der 415 Datenreihen 1931–2000 und der 92 Datenreihen 1901–2000.

L = Datenreihe 1901-2000 oder länger

BL = Bundesland

	Stations- nummer	geogr. Breite			geogr. Länge			Höhe [NN+m]	Stationsname	BL
		[°	[']	["]	[°	[']	["]			
401	91453	49	1	59	12	33	7	680	WIESENFELDEN-UTZENZELL	BY
402	L 70152	47	51	51	9	25	27	619	WILHELMSDORF	BW
403	73431	49	30	56	10	25	27	310	WINDSHEIM,BAD	BY
404	71215	48	47	50	9	28	30	280	WINTERBACH	BW
405	L 90402	49	15	23	10	14	53	465	WOERNITZ	BY
406	91412	49	0	50	12	21	58	325	WOERTH/OPF.-KIEFENHOLZ	BY
407	70144	47	49	33	9	47	30	623	WOLFEGG (NST)	BW
408	L 71528	49	5	15	9	29	49	480	WUESTENROT-FINSTERROT	BW
409	40141	50	2	26	12	1	46	520	WUNSIEDEL	BY
410	92610	48	21	27	12	46	7	475	WURMANNQUICK-EGELSBERG	BY
411	73117	50	1	17	10	56	1	245	ZAPFENDORF	BY
412	90363	48	40	31	10	19	34	508	ZOESCHINGEN	BY
413	L 92028	47	25	0	10	59	0	2960	ZUGSPITZE (WST)	BY
414	91315	49	2	11	13	12	3	690	ZWIESEL-RABENSTEIN	BY
415	91312	49	5	37	13	15	0	699	ZWIESLERWALDHAUS	BY

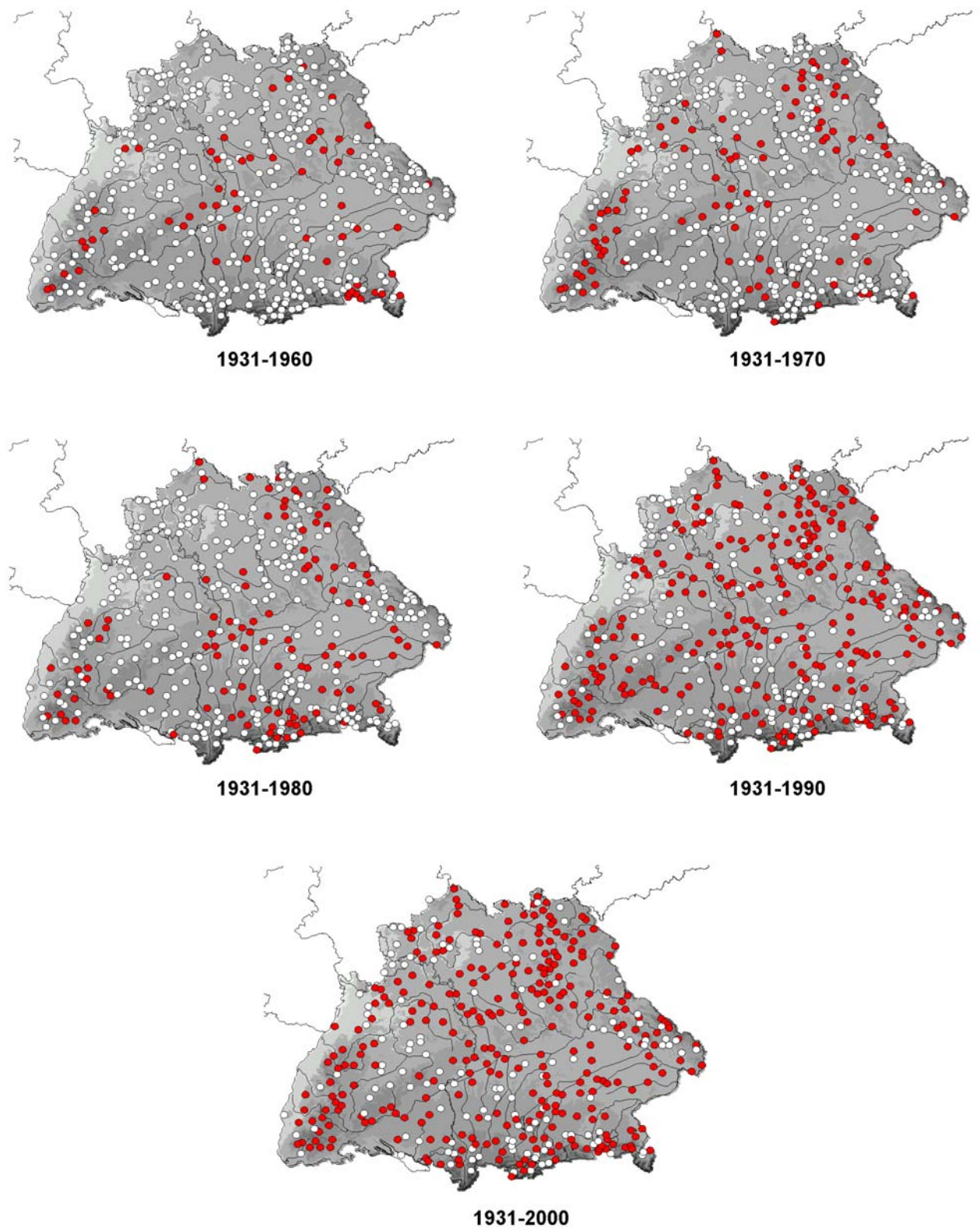


Abb. A4.10b: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Winterhalbjahr.

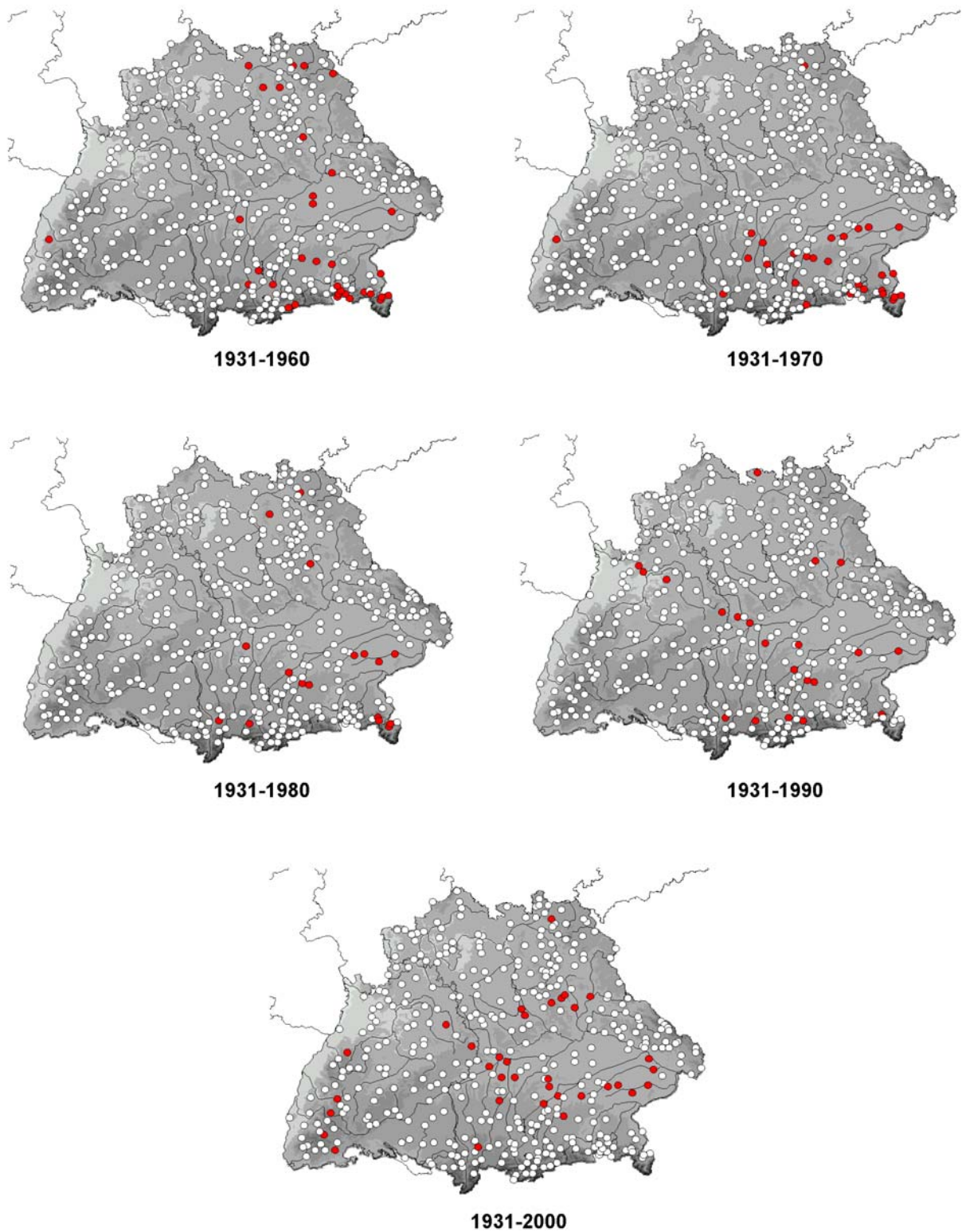


Abb. A4.11b: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Sommerhalbjahr.

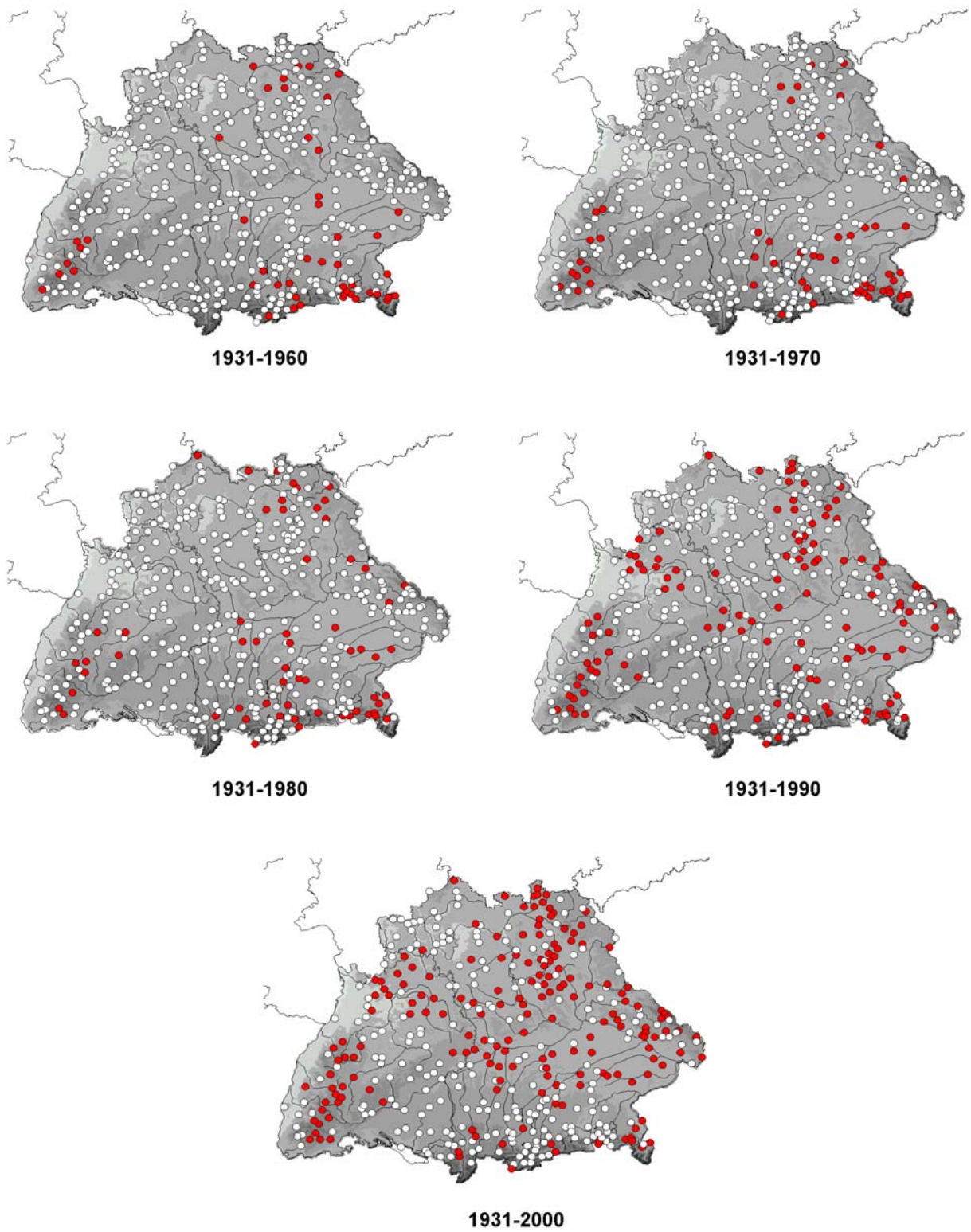


Abb. A4.12b: Signifikante (Sicherheit $S \geq 90$ Prozent) Trends der Starkniederschlagshöhen, Dauer $D = 240$ h, hydrologisches Jahr.

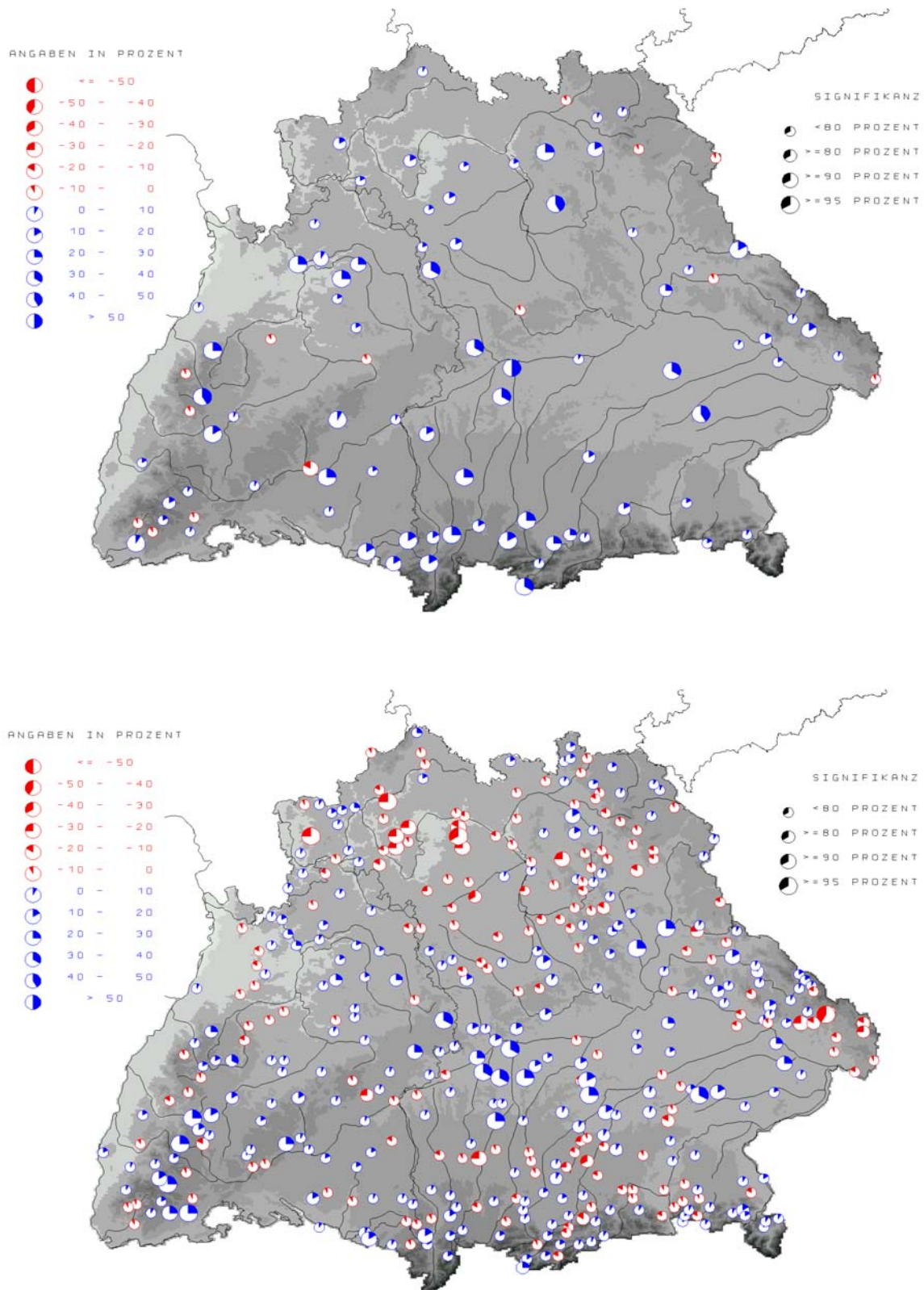


Abb. A4.26c-d: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 72 h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

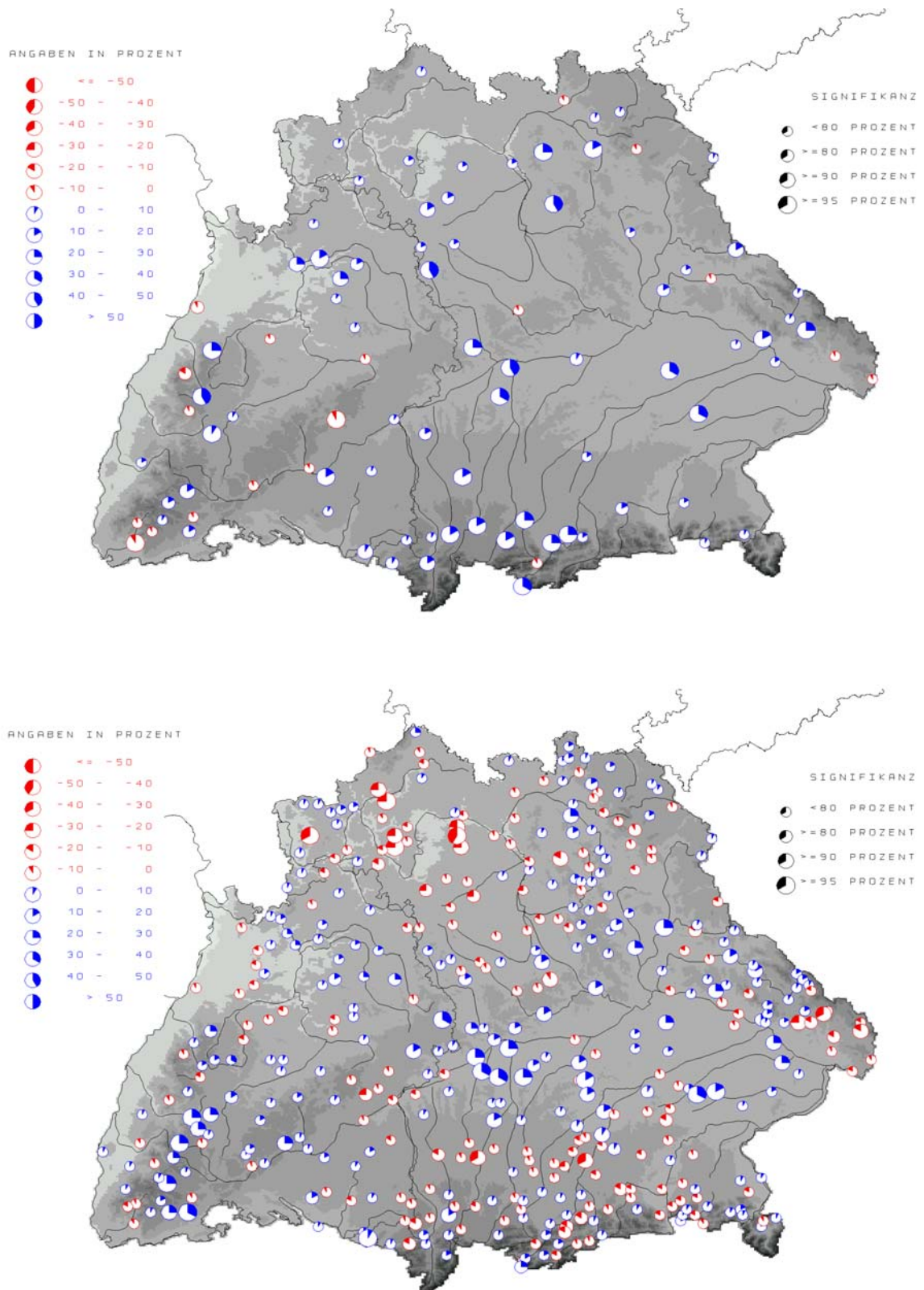


Abb. A4.26e-f: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 120 h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

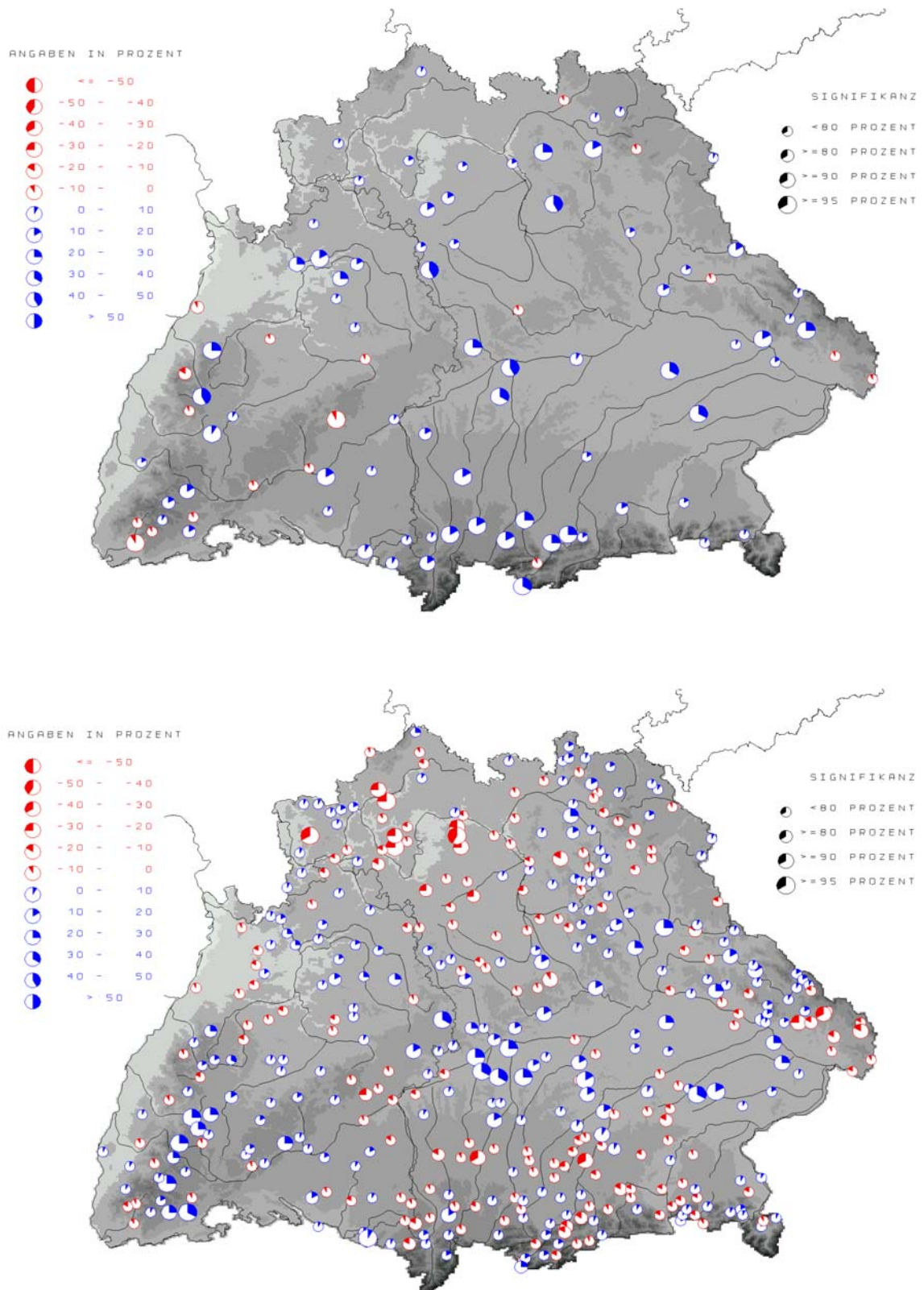


Abb. A4.26g-h: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Sommerhalbjahr, Dauer D = 240 h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

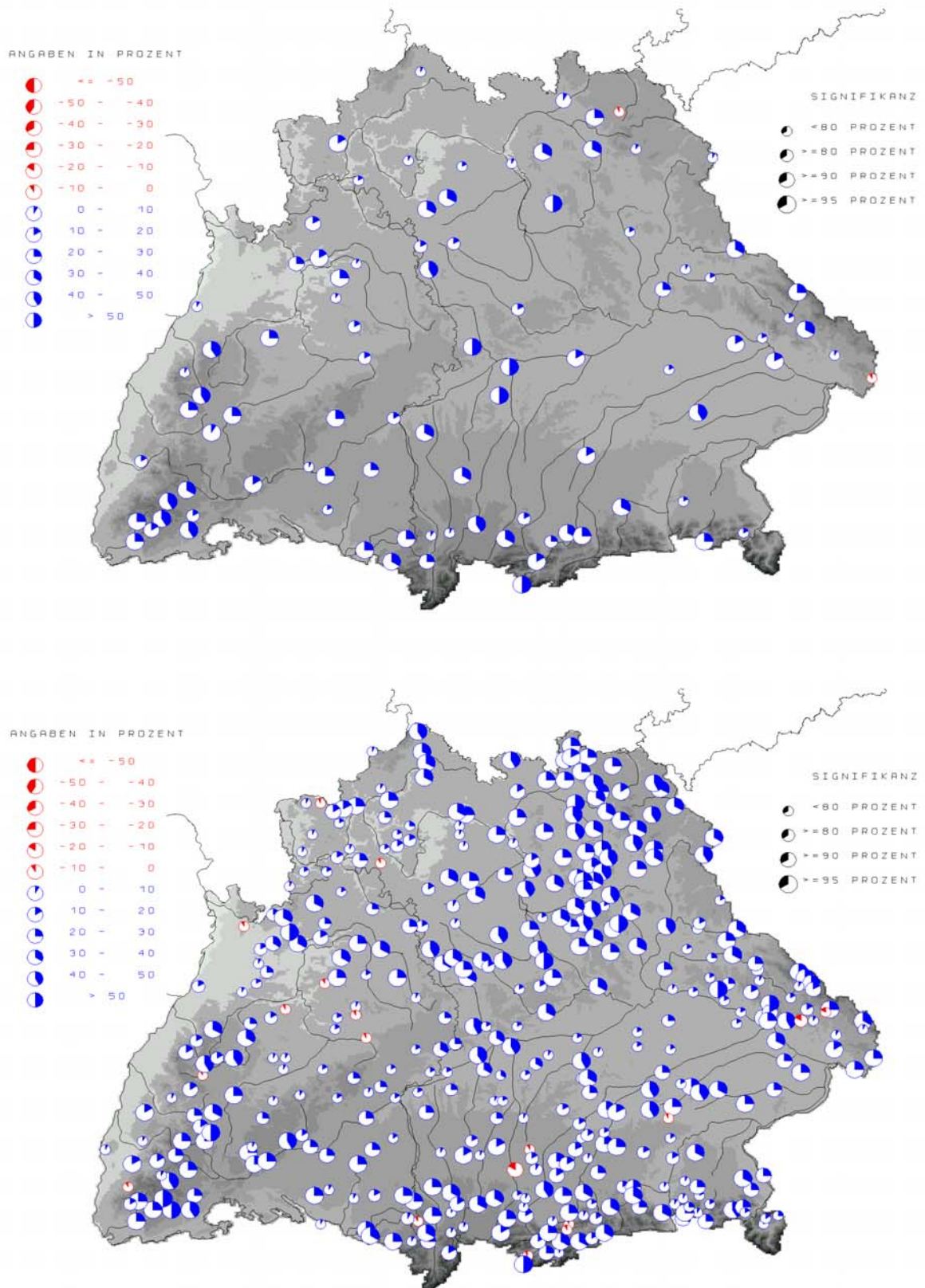


Abb. A4.27c-d:

Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer $D = 72$ h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

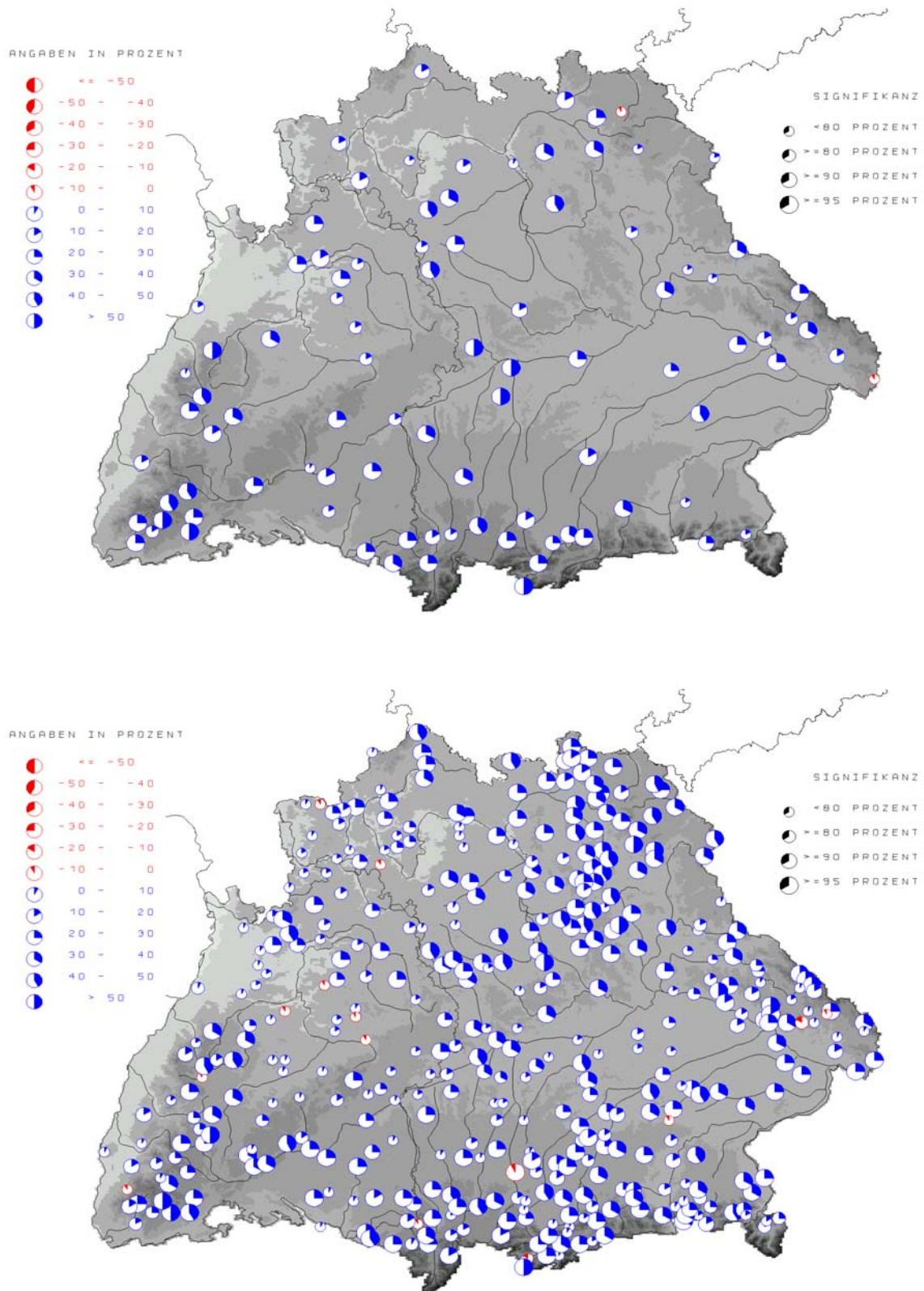


Abb. A4.27e-f: Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 120 h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.

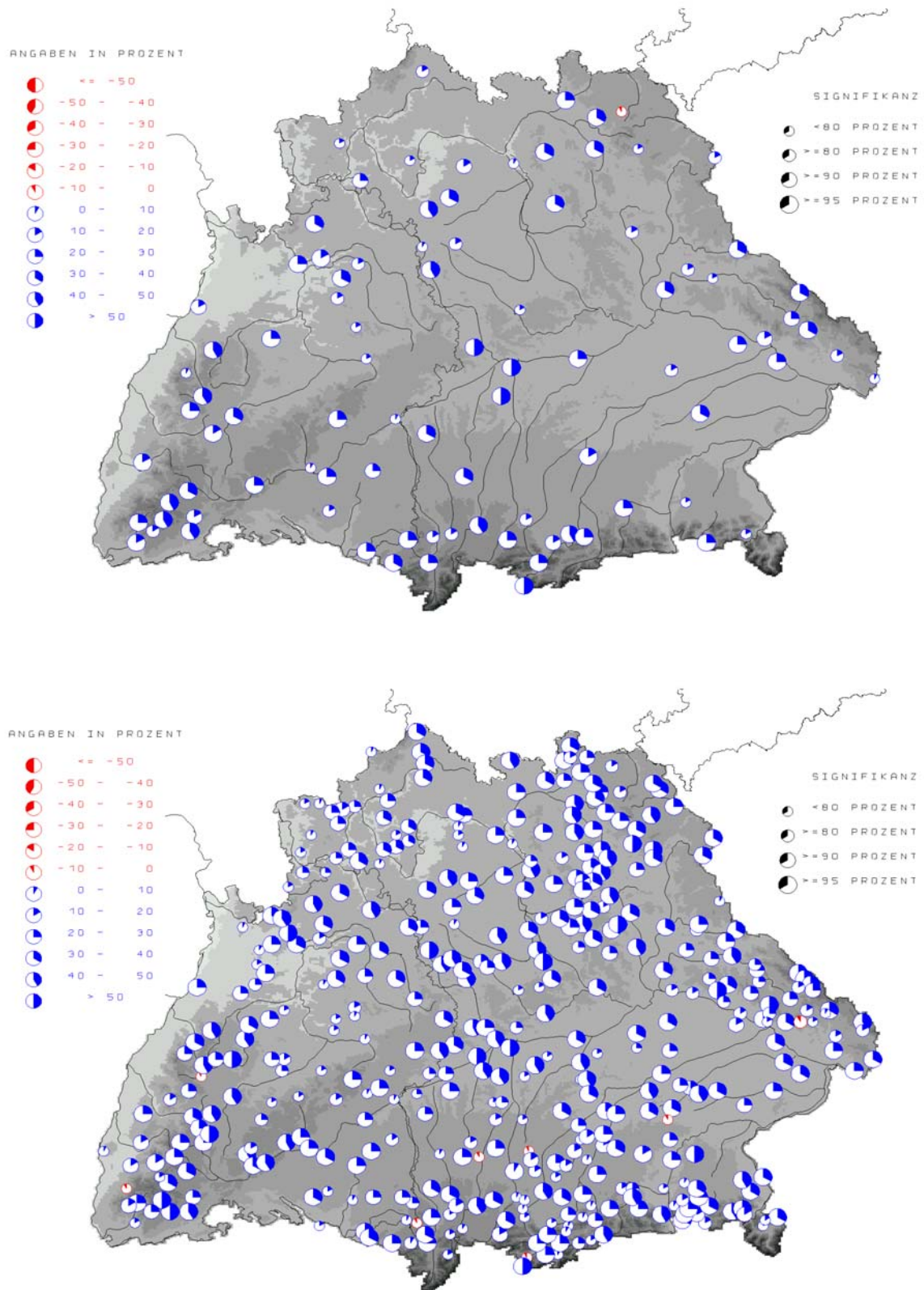
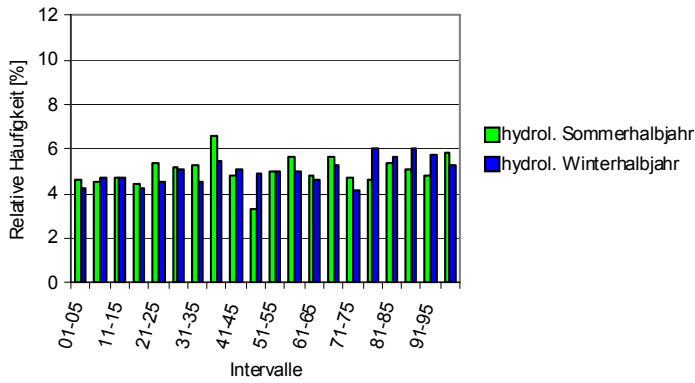


Abb. A4.27g-h:

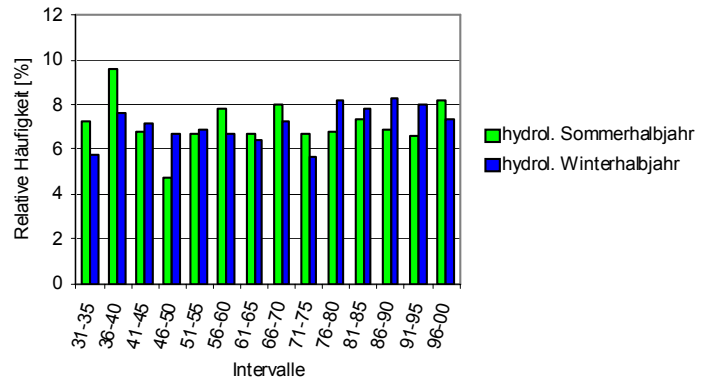
Zu- und Abnahme der Starkniederschläge in Prozent des Mittelwerts, hydrologisches Winterhalbjahr, Dauer D = 240 h, oben: 92 Stationen, 1901–2000, unten: 415 Stationen, 1931–2000.



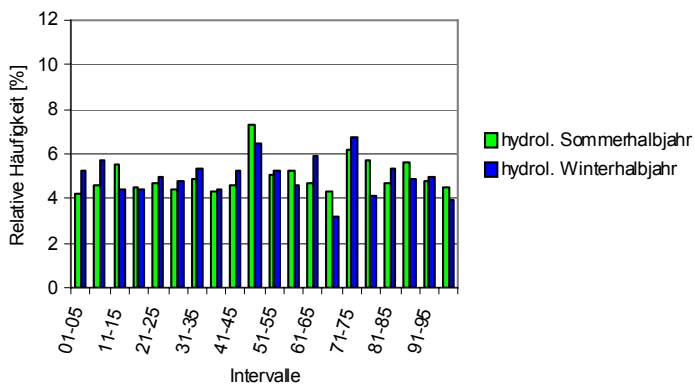
Verteilung der Nassperioden 1901-2000, 92 Stationen



Verteilung der Nassperioden 1931-2000, 415 Stationen



Verteilung der Trockenperioden 1901-2000, 92 Stationen



Verteilung der Trockenperioden 1931-2000, 415 Stationen

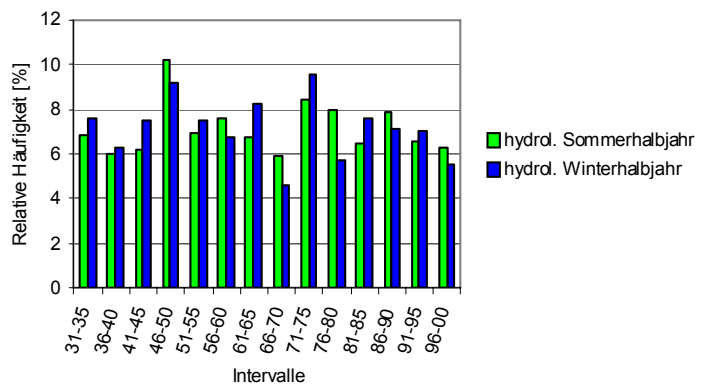


Abb. A6.8: Relative Häufigkeit der Trocken- und Nassperioden der 92 Stationen (1901–2000, links) und 415 Stationen (1931–2000, rechts) für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr bei Auszählung in 5-jährigen Intervallen ab 1901 bzw. 1931.

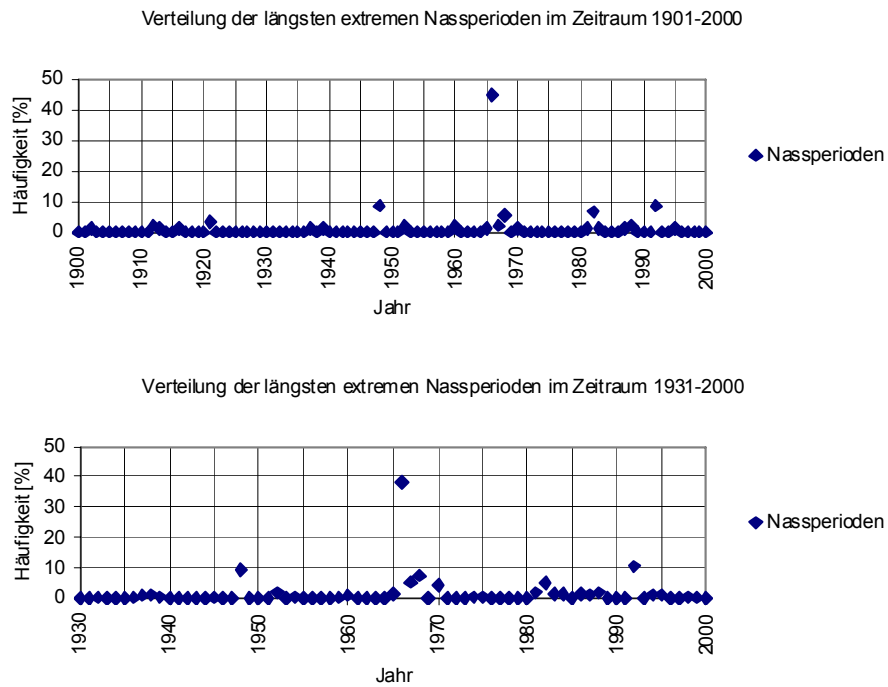


Abb. A6.9: Verteilung der längsten extremen Nassperioden im Zeitraum 1901–2000 (oben) und 1931–2000 (unten).

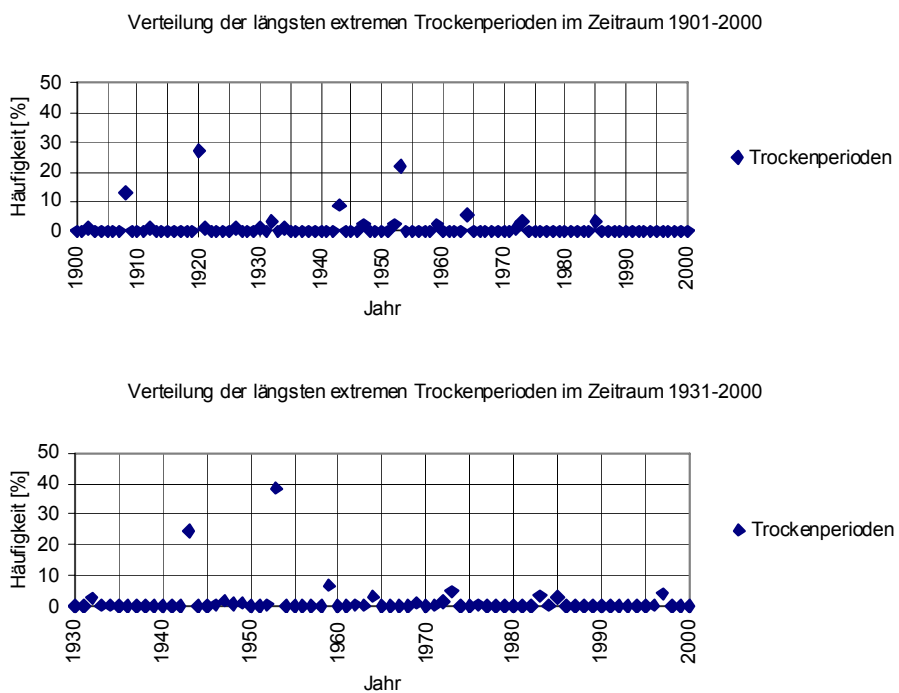


Abb. A6.10: Verteilung der längsten extremen Trockenperioden im Zeitraum 1901–2000 (oben) und 1931–2000 (unten).

Bisher erschienene KLIWA-Berichte:

Herausgeber	Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Deutscher Wetterdienst)
Heft 1:	Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 29. und 30.11.2000 in Karlsruhe. 278 S., ISBN 3-88251-279-2.
Heft 2:	Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 2.1.3: "Analyse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse." 98 S., ISBN 3-88251-284-9.
Heft 3:	Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 2.1.2: "Analyse zum Langzeitverhalten der jährlichen und mittleren Abflüsse." 93 S., ISBN 3-88251-286-5.
Heft 4:	Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Fachvorträge beim 2. KLIWA-Symposium am 03. und 04.05.2004 in Würzburg. 250 S., ISBN 3-937911-16-2.
Heft 5:	Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 1.2.3: "Analyse zum Langzeitverhalten von Gebietsmittelwerten der Lufttemperatur." 76 S., ISBN 3-937911-17-0.
Heft 6:	Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 1.1.4: "Flächendeckende Analyse des Langzeitverhaltens verschiedener Schneedeckenparameter in Baden-Württemberg und Bayern." 76 S., ISBN 3-937911-18-9.
Heft 7:	Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 1.1.2: "Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des Niederschlags" 160 S., ISBN 3-937911-19-7.

Weitere aktuelle Informationen zu Projektergebnissen finden Sie unter unserer Internetseite:

<http://www.kliwa.de>