
Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 1.1.1

*„Bereitstellung von langen Reihen interpolierter
Gitterpunktwerte des Niederschlags mit Hilfe des
Verfahrens BONIE“*

und

KLIWA-Projekt A 1.1.2

*„Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des
Niederschlags“*

Impressum

Herausgeber	Arbeitskreis KLIWA – www.kliwa.de (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Deutscher Wetterdienst)
ISBN	3–937911–19–7
Bearbeitung	Dr. T. Reich Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie
Redaktionelle Bearbeitung	RD Dr. T. Günther, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie OBR H. Straub Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg BD H. Weber Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Umschlaglayout	Stephan Riedlberger — GraphikDesign, München
Druck	Druckhaus Fritz König GmbH Stahlgruberring 24, 81829 München
Umwelthinweis	Druck auf Recyclingpapier
Bezug über	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Referat 11 Lazarettstr. 67, 80636 München Fax: 089–9214–1689 Mail: lothar.zimmermann@ifw.bayern.de

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

Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern

KLIWA-Projekt A 1.1.1

„Bereitstellung von langen Reihen interpolierter Gitterpunktwerte des Niederschlags mit Hilfe des Verfahrens BONIE“ und

KLIWA-Projekt A 1.1.2

„Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des Niederschlags“

	Seite
Zusammenfassung	5
1 Einleitung	7
2 Datengrundlagen	8
2.1 Die Berechnung von Gitterpunktwerten aus Niederschlagsbeobachtungen	8
2.2 Die Verfügbarkeit von Niederschlagsdaten	8
2.2.1 Analyseregionen	8
2.2.2 Verfügbare Datenreihen	10
2.2.3 Korrektur der geräte- und aufstellungsbedingten Messfehler	11
2.3 Die Einteilung des Untersuchungsbereiches in einzelne Gebiete	11
2.4 Gebietswerte und Auswertegrößen	12
2.5 Exemplarische Darstellung der Ausgangsreihen	15
2.5.1 Zeitreihen der Auswertegrößen	15
2.5.2 Jahreswerte der Gebietsniederschläge	18
3 Angewandte statistische Methoden zur Zeitreihenanalyse	23
3.1 Vorbemerkung — relative und absolute Verfahren	23
3.2 Homogenitäts- und Bruchpunktanalyse	23
3.2.1 Tests nach Alexandersson und Moberg	23
3.2.2 Tests nach Buishand	25
3.2.3 Bruchpunktanalyse nach Mann, Whitney und Pettit	25
3.3 Trendanalyse	26
3.3.1 Allgemeines	26
3.3.2 Trendtest nach Mann und Kendall	26
3.3.3 Rückschreitende Trendanalyse bei linearem Trend	26
3.3.4 Zur Interpretation der Ergebnisse einer Trendanalyse	27
4 Ergebnisse der Homogenitäts- und Bruchpunktanalyse	30
4.1 Allgemeine Feststellungen	30
4.2 Ergebnisse der Homogenitätsprüfung	31
4.2.1 Ganzjährige Auswertungen	31
4.2.2 Jahreszeiten	32
5 Trendanalyse	36
5.1 Allgemeines	36
5.2 Trendanalyse für die Gesamtperiode	37
5.2.1 Sommer	41
5.2.2 Winter	46
5.3 Ergebnisse für den rückschreitend optimierten Trend	50
5.3.1 Gesamtjahr	50
5.3.2 Jahreszeiten	50
6 Das Langzeitverhalten der Gebietsniederschläge im Untersuchungszeitraum	56
6.1 Allgemeine Ergebnisbeschreibung	56
6.1.1 Gesamtjahr	56
6.1.2 Sommer	61
6.1.3 Winter	65
6.2 Veränderungen in den einzelnen Untersuchungsgebieten	71
6.2.1 Vorbemerkung	71

	Seite
6.2.2 Gebiet D1: Donau bis Lauchert	72
6.2.3 Gebiet D2: Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller	74
6.2.4 Gebiet D3: Iller	76
6.2.5 Gebiet D4: Donau unterhalb Iller bis oberhalb Wörnitz/Lech	78
6.2.6 Gebiet D5: Lech	80
6.2.7 Gebiet D6: Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber	82
6.2.8 Gebiet D7: Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab	84
6.2.9 Gebiet D8: Naab	86
6.2.10 Gebiet D9: Regen	88
6.2.11 Gebiet D10: Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar	90
6.2.12 Gebiet D11: Isar	92
6.2.13 Gebiet D12: Vils / Rott	94
6.2.14 Gebiet D13: Alz / Salzach	96
6.2.15 Gebiet D14: Inn	98
6.2.16 Gebiet D15: Donau unterhalb Isar bis Landesgrenze	100
6.2.17 Gebiet E1: Elbe	102
6.2.18 Gebiet M1: Main oberhalb Regnitz	104
6.2.19 Gebiet M2: Regnitz	106
6.2.20 Gebiet M3: Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale	108
6.2.21 Gebiet M4: Fränkische Saale	110
6.2.22 Gebiet M5: Tauber	112
6.2.23 Gebiet M6: Main unterhalb Fränkische Saale bis Landesgrenze	114
6.2.24 Gebiet N1: Neckar oberhalb Fils	116
6.2.25 Gebiet N2: Neckar von Fils bis oberhalb Kocher (ohne Enz)	118
6.2.26 Gebiet N3: Enz	120
6.2.27 Gebiet N4: Kocher	122
6.2.28 Gebiet N5: Jagst	124
6.2.29 Gebiet N6: Neckar unterhalb Jagst	126
6.2.30 Gebiet R1: Hochrhein / Bodensee	128
6.2.31 Gebiet R2: Rhein bis Wiese	130
6.2.32 Gebiet R3: Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig	132
6.2.33 Gebiet R4: Rhein von Kinzig bis Murg	134
6.2.34 Gebiet R5: Rhein unterhalb Murg bis oberhalb Neckar	136
7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion der möglichen Ursachen für die gefundenen Veränderungen	138
 Anhang	
8 Die Berechnung der Gitterpunktwerte aus Niederschlagsbeobachtungen	142
8.1 Allgemeines	142
8.2 Bestimmung der Hintergrundfeldverteilungen	143
8.3 Interpolation der Anomaliewerte	144
8.4 Besonderheiten bei der Berechnung der Interpolationsgewichte	146
9 Tabellenverzeichnis	150
10 Abbildungsverzeichnis	152
11 Literaturverzeichnis	156

Zusammenfassung

Seit Jahren wird sowohl in Fachkreisen als auch in der Öffentlichkeit eine rege Diskussion um Ursachen und Folgen natürlicher wie anthropogener Klimaveränderungen geführt. Als Grundlage einer Vielzahl von Energie- und Stoffkreisläufen ist auch der hydrologische Zyklus unmittelbar von derartigen Veränderungen betroffen. Diese Veränderungen können sich in zweierlei Hinsicht auf die gesellschaftlichen Aktivitäten auswirken – in Gestalt von Hochwasser oder von Trockenheit.

Um die Risiken solcher Wirkungen abschätzen zu können, sind sowohl umfangreiche Auswertungen historischer klimatologischer und hydrologischer Daten als auch intensive Szenariountersuchungen erforderlich. Die vorliegende Arbeit im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) stellt einen Beitrag zur ersten dieser beiden Teilaufgaben dar.

Untersuchungsobjekt sind die Reihen von Tageswerten des Gebietsniederschlags in insgesamt 33 Einzugsgebieten Baden-Württembergs und Bayerns von 1931 bis 1997. Grundlage für die Berechnung der Gebietswertreihen bilden die Niederschlagsbeobachtungen an mehr als 2000 Messstellen.

Auf der Basis der Tageswerte wurden für jeden Monat des Untersuchungszeitraums fünf statistische Parameter – Tagesmittelwert, Standardabweichung, Unteres Quartil, Median und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d – bestimmt und die daraus resultierenden Monatswertreihen mit unterschiedlichen Verfahren zur Zeitreihenanalyse untersucht, um Inhomogenitäten und tendenzielle Entwicklungen zu ermitteln.

Dabei ist zu beachten, dass die langjährigen Veränderungen in diesen in hohem Maße varianten Zeitreihen weder allein durch die Angabe von Bruchstellen noch ausschließlich durch lineare Trends mit hinreichender Genauigkeit zu beschreiben sind. Vielmehr setzen sich die Variationen aus periodischen Schwankungen, kurzzeitigen Veränderungen und langfristigen Tendenzen zusammen, so dass jedes Untersuchungsverfahren nur einen dieser Teilaspekte der Entwicklung zu erfassen imstande ist. Dennoch lässt sich beispielsweise durch die Trendbeträge das Ausmaß der aufgetretenen Veränderungen recht gut veranschaulichen, wenn gleich eine Extrapolation der gefundenen Tendenzen über den Untersuchungszeitraum hinaus nicht sinnvoll sein kann.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich bei

der Beschreibung der langjährigen Verläufe neben einer Aussage über die Entwicklung bei ganzjähriger Auswertung vorrangig auf den meteorologischen Sommer (Juni bis August) und den Winter (Dezember bis Februar), da gerade die gegensätzlichen Tendenzen dieser beiden Jahresabschnitte die eingetretenen Veränderungen evident werden lassen, während Frühjahr und Herbst als „Übergangsjahreszeiten“ weniger Aussagekraft zukommt.

Die Veränderungen bei *ganzjähriger* Betrachtung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die im Verlauf des Jahres fallende Niederschlagsmenge nimmt im Verlauf des Untersuchungszeitraums nur in wenigen Gebieten Baden-Württembergs und Bayerns signifikant um 0.1 % bis 0.2 % pro Jahr zu. In mehr als 80 % der Gebiete ist allerdings keine tendenzielle Entwicklung nachweisbar.
- Deutlicher als die Veränderung der Niederschlagsbilanz ist die Veränderung der Häufigkeitsverteilung. Einer Zunahme „trockener“ Tage, d.h. von Tagen ohne oder mit nur geringem Niederschlag, die sich im Rückgang des Unteren Quartils äußert, steht gleichzeitig eine allgemeine Zunahme der Niederschläge an denjenigen Tagen gegenüber, an denen überdurchschnittliche, jedoch nicht extreme Beträge gemessen werden.
- Die Häufigkeit der Tage mit sehr starken Gebietsniederschlägen (mehr als 15 mm/d) nimmt in der Mehrzahl der Gebiete zu, allerdings geht sie in einzelnen Gebieten Baden-Württembergs und im Nordwesten Bayerns langfristig zurück.

Der *Sommer* ist in der Mehrzahl der untersuchten Gebiete durch einen Rückgang der Niederschläge geprägt.

- Dieser Rückgang wird vor allem durch eine gleichzeitige Abnahme der Häufigkeit von Tagen mit hohen Gebietsniederschlägen verursacht.
- Daneben ist auch – entsprechend dem Rückgang des Unteren Quartils – ein Anstieg der Häufigkeit von Tagen ohne oder mit unerheblichen Niederschlägen zu verzeichnen; allerdings wirkt sich diese Änderung nicht wesentlich auf die Änderung der Niederschlagsbilanz – repräsentiert durch den Tagesmittelwert – aus.
- Eine Ausnahme von dieser Entwicklung ist in Südbayern zu verzeichnen. Hier kommt es im Gegensatz zu den anderen Gebieten



zu einer geringfügigen Zunahme der Niederschläge, die wiederum verursacht wird durch einen Anstieg der Häufigkeit von Tagen mit starken Niederschlägen. Allerdings lässt sich diese Zunahme nicht überall mit der erforderlichen Signifikanz nachweisen. Schwerpunkt ist das Niederbayerische Hügelland.

Die langfristige Entwicklung der Gebietsniederschläge während des *Winters* stellt in gewisser Weise das Gegenstück des sommerlichen Verlaufs dar, auch wenn nicht in jedem Gebiet und bei jeder Auswertegröße ein spiegelbildliches Verhalten nachweisbar ist.

- In den meisten Gebieten kommt es im Winter zu einer Zunahme der Niederschläge, die sich sowohl durch eine Erhöhung der mittleren täglichen Niederschlagserwartung als auch durch eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Tagen mit sehr hohen Niederschlägen auszeichnet.
- Eine vergleichsweise geringe und wenig signifikante Verstärkung der Niederschläge erfährt daneben der Bereich des Alpenvorlandes. Hier tritt zwar auch eine gewisse Verstärkung auf; sie lässt sich jedoch statistisch nur in den wenigsten Fällen nachweisen.

Bei allen Aussagen über allgemeine Tendenzen im gesamten Untersuchungszeitraum von 1931 bis 1997 ist zu ergänzen, dass viele der langfristigen Veränderungen nicht nur durch die Bestimmung der Trends allein, sondern auch durch die Analyse auf Bruchpunkte bzw. Inhomogenitäten gestützt werden können. Die meisten der durch diese Verfahrensgruppe angezeigten Veränderungen liegen in den sechziger und siebziger Jahren. Darüber hinaus lassen partielle Trendanalysen, d.h. solche Untersuchungen, bei denen nach dem Beginn der festgestellten Veränderungen in Form tendenzieller Entwicklungen gesucht wird, darauf schließen, dass sich die beschriebenen Ände-

rungen in vielen Fällen seit etwa 1950 verstärkt haben, in anderen aber erst seit den siebziger Jahren.

Es ergibt sich mithin das Bild einer langsamen, vor allem während der sechziger und siebziger Jahre hervortretenden Veränderung des Niederschlagsregimes, die zum einen in einer innerjährlichen Umverteilung der Niederschläge und zum anderen in einer Umformung der Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Gebietsniederschlags besteht.

In starker Verkürzung lässt sich sagen, dass die Niederschläge sich ohne jahreszeitliche Differenzierung langfristig nur wenig verändern, dass es aber im Sommer weniger häufig regnet, und dass weniger extreme Niederschläge auftreten, wogegen im Winter sowohl die Menge als auch die Variabilität der Niederschläge und damit die Häufigkeit extremer Werte zunehmen. Dabei setzen einzelne Veränderungen bereits vor oder um 1960 ein, andere vollziehen sich erst gegen Ende der siebziger Jahre.

Zur Erhellung der Ursachen bieten sich die Formen der atmosphärischen Zirkulation an. Ein Vergleich der Gebietswertreihen mit langjährigen Reihen der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen zeigt, dass beide Entwicklungen miteinander verknüpft sind und dass die Verstärkung der Niederschläge im Winter durch eine höhere Häufigkeit der zonalen und gemischten Zirkulationsformen erklärbar ist.

Generell ist anzumerken, dass der verwendete beschreibende mathematisch-statistische Apparat nur die Grundlage für die weitere Untersuchung der Veränderungen in den Niederschlagsverhältnissen liefern kann. Grundlegendes Verständnis könnte durch eine Verknüpfung der Niederschläge mit anderen Größen bei weiterführenden Szenariorechnungen im Rahmen von KLIWA erreicht werden. Dazu bilden die für die vorliegende Untersuchung durchgeführten Auswertungen eine angemessene Basis.

1 Einleitung

Der hydrologische Zyklus als Grundlage einer Vielzahl natürlicher Energie- und Stoffkreisläufe auf der Erde stellt zum einen die Basis für alles Leben dar, zum anderen aber beinhaltet er in Gestalt von Hochwasser oder Trockenheit auch eine wesentliche natürliche Bedrohung für den Menschen. Das hat sich auch in der jüngeren Vergangenheit gezeigt, als in verschiedenen Flussgebieten Süddeutschlands außergewöhnliche Hochwasserereignisse auftraten, die gebietsweise erhebliche Schäden verursachten. Auf Grund dessen wurde in breiter Öffentlichkeit die Frage aufgeworfen, ob die Häufung derartiger Ereignisse noch im Bereich der herkömmlichen klimatischen Schwankungsbreite liegt — oder ob sie als Zeichen für die globale Klimaveränderung anzusehen ist, die im Verlauf des 20. Jahrhunderts eingesetzt hat.

Eine befriedigende Antwort auf diese Frage lässt sich ohne die Ergebnisse einer statistischen Auswertung der vorliegenden langjährigen hydrologischen und klimatologischen Beobachtungsdaten nicht geben. Aus diesem Grunde wurden im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) zwischen dem Deutschen Wetterdienst, dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft und der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg eine umfangreiche Bearbeitung des für die Länder Baden-Württemberg und Bayern verfügbaren Datenmaterials vereinbart. Durch eine länderübergreifende Bearbeitung verschiedener klimatologischer und hydrologischer Fragestellungen sollte nach einer Lösung für das beschriebene Problem gesucht werden.

Räumlich und zeitlich differenzierte Informationen zum Niederschlag als Eingangsgröße für den Wasserkreislauf sind eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Anwendung vieler wasserwirtschaftlicher Verfahren und Methoden. Wichtigstes Erfordernis zum vollen Verständnis des Zusammenwirkens von Klima und Wasserkreislauf ist dabei eine in Raum und Zeit möglichst umfangreiche und homogene Datenbasis, das heißt unter anderem sowohl flächendeckende als auch zeitlich umfangreiche und homogene Reihen des Niederschlags — und daraus abgeleitet lange Reihen von Gebietswerten der Niederschlagshöhe.

Von den vielen gebräuchlichen Verfahren zur Berechnung von Gebietswerten hat sich im Rahmen mehrjähriger methodischer Ver-

gleichsuntersuchungen das Verfahren BONIE¹ als Kombination von statistischer (optimaler) Interpolation und numerischer Klassifikation bei der Erkennung von Niederschlagsverteilungsmustern als günstige Lösung erwiesen. Daher wurden zunächst im Rahmen des Projekts „Bereitstellung von langen Reihen interpolierter Gitterpunktwerte des Niederschlags mit Hilfe des Verfahrens BONIE“ (KLIWA A 1.1.1) für die Länder Baden-Württemberg und Bayern 67-jährige Tageswertreihen von Gitterpunktniederschlägen berechnet.

Gegenstand des daran anschließenden Projekts „Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des Niederschlags“ (KLIWA A 1.1.2) war die Berechnung von Gebietswerten aus den Gitterpunktniederschlägen und die statistische Auswertung der auf diese Weise gewonnenen täglichen Gebietsniederschlagshöhen. Dabei sollten zunächst grundlegende statistische Kenngrößen für die Tageswerte eines Monats (als repräsentative Teilstichprobe) ermittelt werden; diese Kenngrößen wurden derart gewählt, dass ihre Gesamtheit die Häufigkeitsverteilung der Tageswerte im jeweiligen Monat möglichst informativ zu beschreiben imstande war. Die auf diese Weise gebildeten Monatswertreihen konnten danach einer mehr oder weniger detaillierten Zeitreihenanalyse unterzogen werden.

Das Schwergewicht der Auswertungen wurde dabei auf die Ermittlung von Brüchen und tendenziellen Entwicklungen gelegt — unbeschadet der Tatsache, dass ein derartiger Bruch oder ein vermeintlicher Trend auch Teil einer langperiodischen Variation sein kann. Außerdem war eventuellen Veränderungen der innerjährlichen Verläufe Rechnung zu tragen.

Dabei wächst die Gesamtzahl der durchzuführenden Vergleiche rasch auf ein unübersichtliches Maß an. Veränderungen in der Gestalt der Häufigkeitsverteilung müssen sich jedoch nicht bei allen statistischen Kenngrößen in gleichem Maße auswirken; daher kann eine signifikante Veränderung der Niederschlagsverhältnisse auch nur in einigen wenigen der ausgewählten Parameter sichtbar werden.

Den Blick auf eben diese wesentlichen Veränderungen zu lenken, ist Ziel des vorliegenden Berichts.

1. ein Akronym für die Ermittlung von Niederschlägen anhand Bodengestützter Messungen gegenüber anderen Messverfahren, z.B. Radar



2 Datengrundlagen

2.1 Die Berechnung von Gitterpunktswerten aus Niederschlagsbeobachtungen

Das Grundprinzip des zur Berechnung der Gitterpunktswerte verwendeten Verfahrens BONIE besteht darin, Messwerte von irregulär im Gebiet verteilten Messstellen auf ein Netz von regelmäßig angeordneten Gitterpunkten zu interpolieren. Die Maschenweite dieses Gitternetzes wurde im vorliegenden Projekt auf 4' in Nord-Süd-Richtung und 6' in Ost-West-Richtung festgelegt; das entspricht einem Raster von etwa 7x7 km.

In Meteorologie, Geophysik und Geographie haben sich dazu in der Vergangenheit unterschiedliche Verfahren etabliert, die unter verschiedenen Begriffen firmieren, im Grunde genommen jedoch auf ein und dasselbe Prinzip zurückgehen. Im Folgenden soll daher der neutrale Begriff „statistische Interpolation“ verwendet werden. Einzelheiten zu diesem und den im weiteren Verlauf dieses Abschnitts angesprochenen Problemen finden sich im Anhang auf Seite 142.

BONIE verwendet diesen Ansatz in Verbindung mit den Ergebnissen einer statistischen Analyse des vorhandenen Datenmaterials in Gestalt von so genannten Hintergrundfeldern, räumlichen Verteilungsmustern des Niederschlags mit unterschiedlichen statistischen Eigenschaften, die — ohne nähere Definition — externen Einflüssen in Form unterschiedlicher atmosphärischer Bedingungen entsprechen, wie sie häufig mit unscharfen Begriffen wie „Wetterlage“ und „Geländeeinfluß“ verknüpft werden. Die Entscheidung des Verfahrens, für das vorliegende Beobachtungsintervall, z.B. einen Tageswert, ein bestimmtes Verteilungsmuster (Hintergrundfeld) zugrunde zu legen, führt dann in der Regel zur Wahl eines speziell angepassten Parametersatzes bei der statistischen Interpolation.

Die eigentliche Gebietswertberechnung erfolgt durch arithmetische Mittelung der Gitterpunktswerte. Bei hinreichend geringem Gitterpunktabstand entspricht das arithmetische Mittel der Gitterpunktswerte dem räumlichen Integral der Messungen — dem tatsächlichen Gebietswert. Bei Berechnung mehrerer aufeinanderfolgender Gebietswerte ist es nicht von erheblichem Belang, ob an jeder der verfügbaren Messstellen auch ein verwertbarer Wert vorliegt, solange nur die Anzahl der vorhandenen Messungen insgesamt groß genug ist. Mehr noch — im Gegensatz zu konven-

tionellen Langzeituntersuchungen, die sich auf lange, ununterbrochene und möglichst homogene Stationsreihen beziehen, kann auf diese Weise die große Zahl der aus sehr unterschiedlichen Gründen relativ kurzen Messreihen einbezogen werden und damit die Genauigkeit der Gebietswertschätzung erhöhen.

Der Ablauf von BONIE lässt sich bei Verwendung eines regelmäßigen Gitterpunktnetzes mithin — nach Korrektur der Eingangsdaten in bezug auf systematische Anteile am Beobachtungsfehler — in zwei Schritte gliedern:

- Erkennen der Hintergrundfeldverteilung für das spezielle Messintervall und
- Interpolation der Anomalien an den Gitterpunkten und Berechnung der aktuellen Gitterpunktswerte.

Mehrere Jahre quasi-operationeller Erprobung haben die Robustheit des Algorithmus erwiesen und gezeigt, dass die ermittelten Gebietswerte bei Berücksichtigung möglicher Probleme auch zu klimastatistischen Untersuchungen verwendet werden können. Die methodischen Grundlagen dazu sowie die bei der Bearbeitung der Daten auftretenden Probleme sind im Anhang dargestellt.

2.2 Die Verfügbarkeit von Niederschlagsdaten

2.2.1 Analyseregionen

Um die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Methode zur Interpolation von Gitterpunktswerten der Niederschlagshöhe mit technisch vertretbarem Aufwand durchzuführen, wird BONIE stets in einem definierten Gebiet abgearbeitet, einer Analyseregion. Derartige Analyseregionen umfassen in der Regel ein niederschlagsklimatologisch homogenes Gebiet von etwa 10 000 km² bis 25 000 km² Fläche. Innerhalb einer solchen Region lassen sich noch relativ einfache Ausdrücke zur Beschreibung des Hintergrundfeldes entsprechend Gleichung (8.2) bestimmen, und auch im Hinblick auf die räumliche Korrelationsfunktion nach Abb. 8.11 kann von annähernder Homogenität in der Region ausgegangen werden.

Idealerweise werden die Regionen derart gewählt, dass Ihre Grenzen mit denen eines oder mehrerer nebeneinanderliegender Einzugsgebiete übereinstimmen. Im Falle von Baden-Württemberg, wo zunächst eine operationelle Variante von BONIE implementiert wurde, ist von dieser Regel insofern abgewichen worden, als teilweise nicht hydrologische, sondern po-

litische Grenzen in die Begrenzung der Regionen einbezogen worden sind.

Abb. 2.1 zeigt sowohl die drei Analyseregionen, die in Baden-Württemberg definiert wurden, als auch die im Anschluß daran für Bayern abgegrenzten Regionen. Es handelt sich dabei im Einzelnen um:

Region 1: Neckar und Tauber. Die Zuordnung des Taubergebietes zu dieser Region im Widerspruch zu den hydrologischen Gegebenheiten erfolgte aus o.g. Gründen und wurde wegen der erwünschten Konsistenz zwischen operationellem Einsatz und klimatologischen Untersuchungen (z.B. der Bestimmung der Hintergrundfeld-Verteilungen) beibehalten.

Region 2: Donau — von den Quellen bis zur Grenze nach Bayern, Bodensee und Hochrhein — nördlich der Grenze zur Schweiz bis unterhalb der Einmündung der Wiese bei Basel. Aus o.g. Gründen wurden einerseits Teile des Illergebietes einbezogen, andererseits Teile des Bodensee-Gebietes ausgegliedert.

Region 3: Oberrhein — östlich der Grenze nach Frankreich bzw. Rheinland-Pfalz, von der Einmündung der Wiese bis zur Einmündung des Neckar.

Region 4: Unterer Main — Bereich Schweinfurt bis zum Pegel Frankfurt.

Region 5: Oberer Main.

Ursprünglich war geplant, das gesamte Einzugsgebiet des Mains in einer einzigen Analyseregion zusammenzufassen.

Bei der Bearbeitung einer derart großen Region stellte sich jedoch heraus, dass die im Verfahren verwendeten Algorithmen diesem Vorhaben Grenzen setzen. Die Anzahl der verfügbaren Datenreihen (nahezu 500 Messreihen im Maingebiet) und der zu berechnenden Gitterpunktreihen (mehr als 400) erwies sich als zu groß; es kam bei der Interpolation vornehmlich zu numerischen Problemen. Bei dieser Aufteilung wurden die Grenzen von Teileinzugsgebieten nicht mehr berücksichtigt.

Region 6: Mittlere Donau (bis Naab) und Altmühl.

Region 7: Iller und Lech. Auch diese beiden Regionen sind Teile einer ursprünglich größeren Einheit, die aus den gleichen Gründen wie das Maingebiet geteilt wurde. Teile des Illergebietes liegen in Baden-Württemberg (Region 2); das gilt auch für die Zuflüsse des Bodensees im Südwesten der Region.

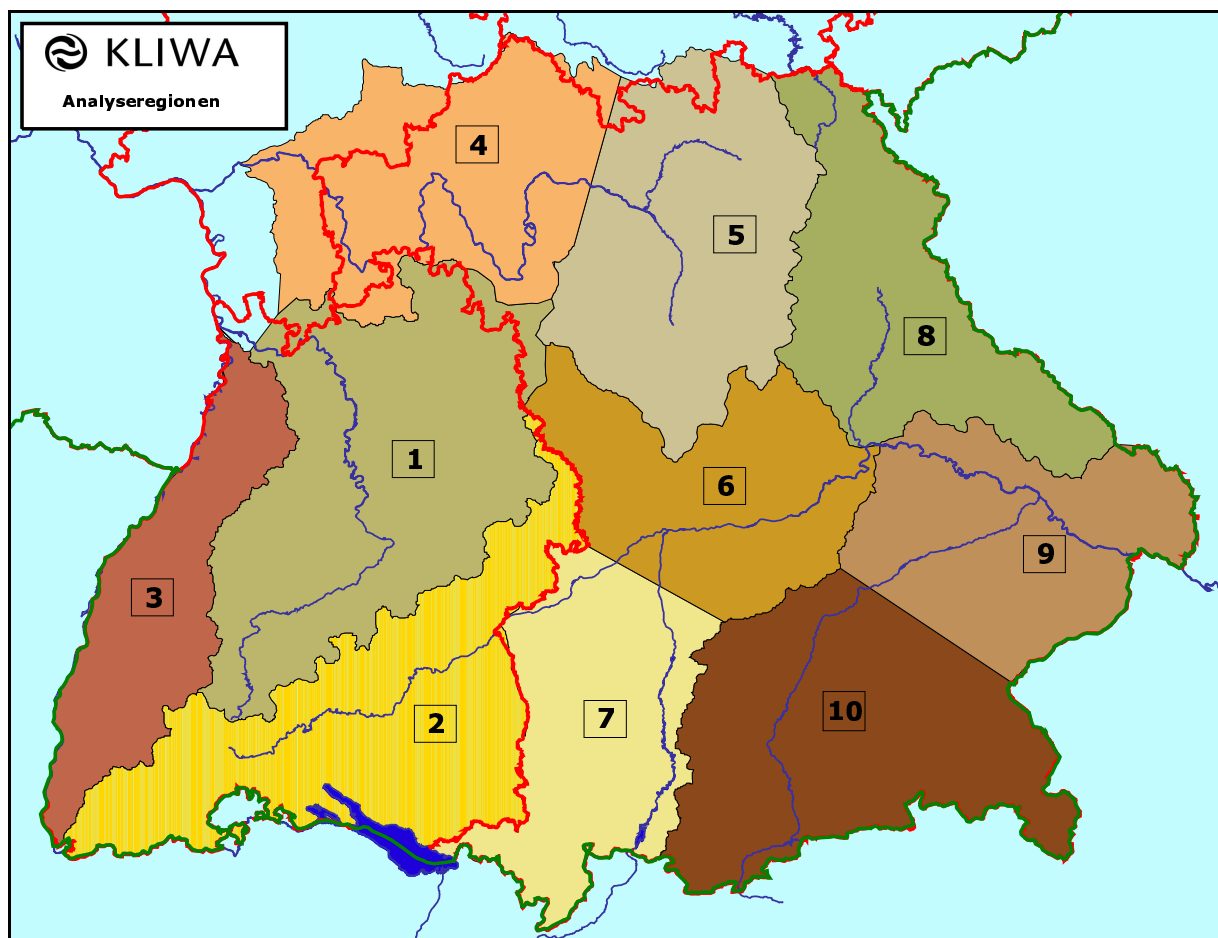


Abb. 2.1: Grenzen der Analyseregionen in Baden-Württemberg und Bayern



Region 8: Naab, Regen, Elbe. Die in Bayern gelegenen Anteile des Saale- und Egergebietes erwiesen sich als zu klein, um als eigenständige Region bearbeitet zu werden und wurden deshalb dem klimatisch verwandten Gebiet von Naab und Regen angegliedert.

Region 9: Untere Donau.

Region 10: Obere Isar und Inn. Wie die Regionen 4 und 5 bzw. 6 und 7 musste im Interesse stabiler Schätzungen der Interpolationsgewichte auch diese ursprüngliche regionale Einheit geteilt werden. Auch hier wurde eine Gliederung entsprechend den hydrologischen Gebietsgrenzen ganz bewusst aufgegeben.

2.2.2 Verfügbare Datenreihen

Für die Berechnung langer Reihen von Gitterpunktniederschlägen im Rahmen des Projektes KLIWA wurden nicht nur die Messstellen mit möglichst langen Reihen zur Interpolation verwendet, sondern es wurden — vor allem in dem hinsichtlich der Verfügbarkeit von Messwerten kritischen Zeitraum vor 1951 alle zugänglichen Daten in das Projekt einbezogen. Für die zehn Regionen waren dies im Einzelnen:

Region 1:	248 Stationen,
Region 2:	192 Stationen,
Region 3:	168 Stationen,
Region 4:	240 Stationen,
Region 5:	250 Stationen,
Region 6:	136 Stationen,
Region 7:	152 Stationen,
Region 8:	199 Stationen,

Region 9: 159 Stationen,

Region 10: 272 Stationen,

und zwar ohne Berücksichtigung des Umfangs der vorliegenden Aufzeichnungen.

Abb. 2.2 und Abb. 2.3 zeigen die Anzahl der für die zehn Regionen in den Jahren von 1931 bis 1997 jeden Monat verfügbaren Reihen. Erwartungsgemäß ist die Zahl der Reihen am Beginn des Untersuchungszeitraums 1931 wesentlich geringer. Ein absolutes Minimum an verfügbaren Daten liegt allerdings in den Jahren 1945 und 1946. Die Sprünge in der Verfügbarkeit der Messreihen am Beginn eines neuen Jahrzehnts sind der nachträglichen Erfassung von Daten in maschinell lesbarer Form geschuldet. Für eine nachträgliche Erfassung solcher Reihen zur Berechnung von Gitterpunktniederschlägen sollte der Stand in den Jahren 1931 bis 1940 als Minimum gelten; andernfalls dürfte die klimatologisch-statistische Untersuchung von Einzelreihen sinnvoller sein.

Das Vorhandensein einer großen Zahl kurzer sowie einer weiteren Anzahl mit gewisser Wahrscheinlichkeit auf Grund von Verlegungen u.ä. inhomogener Reihen wurde bewusst in Kauf genommen, und zwar in der Erwartung, dass zum einen die Verwendung einer möglichst großen Zahl von Reihen eine Homogenisierung der resultierenden Gitterpunktwerte zur Folge habe und zum anderen durch die größere räumliche Dichte der Messstellen der Einfluss orographischer Strukturen auf das Niederschlagsfeld besser zu erfassen sei.

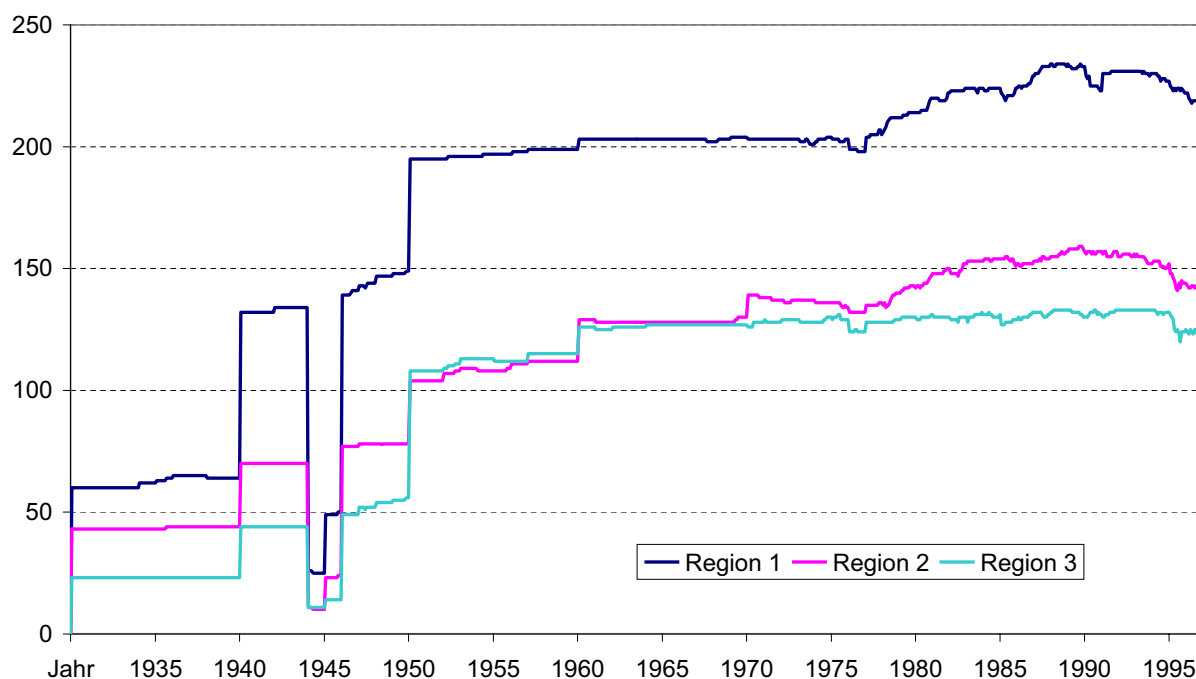


Abb. 2.2: Verfügbarkeit der Datenreihen von 1931 bis 1997 in den Analyseregionen 1 bis 3 (Baden-Württemberg)

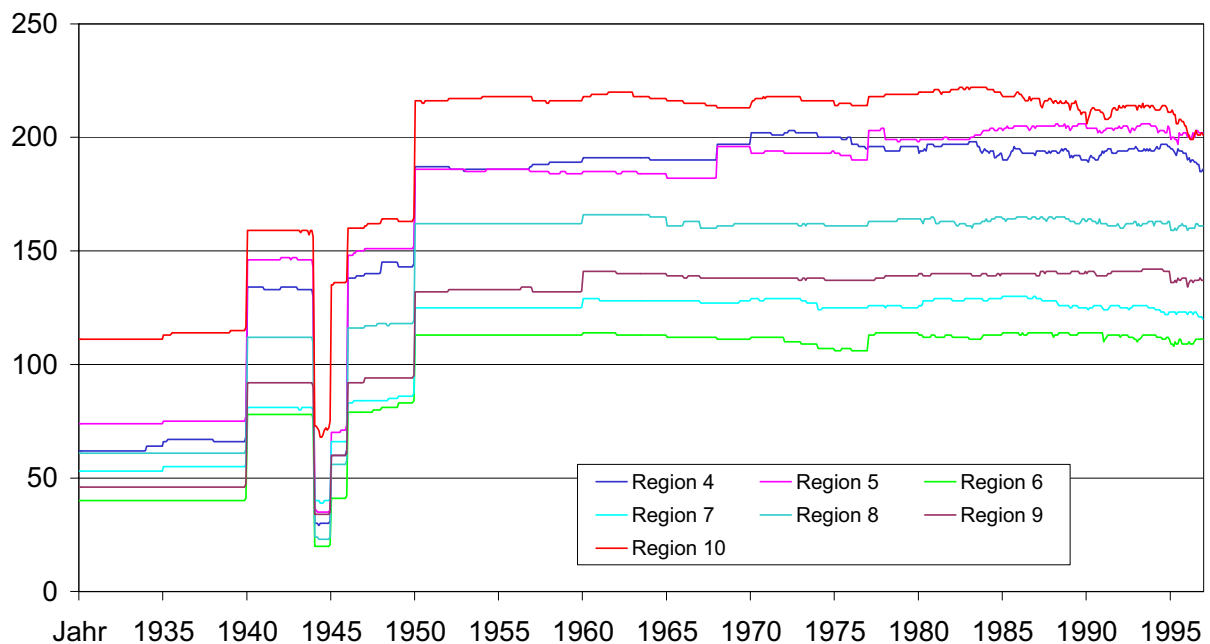


Abb. 2.3: Verfügbarkeit der Datenreihen von 1931 bis 1997 in den Analyseregionen 4 bis 10 (Bayern)

2.2.3 Korrektur der geräte- und aufstellungsbedingten Messfehler

Jedes Messgerät zur Niederschlags Erfassung weist in Abhängigkeit von Bauart, Material und Aufstellungsbedingungen mehr oder weniger starke systematische Messfehler auf. Es hat in der Vergangenheit eine schier unüberschaubare Anzahl von Untersuchungen zur Abschätzung dieser Messfehler und zur Korrektur der gemessenen Niederschlagswerte gegeben. Eine der neuesten dieser Arbeiten [14], die sich speziell mit dem in Deutschland verwendeten HELLMANN-Niederschlagsmesser beschäftigt, liegt dem im Folgenden verwendeten Korrekturverfahren zugrunde.

Das Verfahren berücksichtigt hauptsächlich die Niederschlagsart und die Exposition der Messstelle in ihrer Auswirkung auf den dadurch verursachten Windfehler, setzt aber auch in Abhängigkeit von den aktuellen atmosphärischen Bedingungen plausible Annahmen über Verdunstungs- und Benetzungsfehler fest.

Da die Windexposition einer Messstelle im Laufe der Zeit variabel ist und in der Regel keinerlei Aufzeichnungen über die Auswirkung langsamer und schneller Veränderungen in der Stationsumgebung (Pflanzenwachstum, Neubau bzw. Abriss von Gebäuden usw.) vorliegen, muss von einer im Mittel geschützten Lage der Messstellen ausgegangen werden. Wie die Untersuchungen von RICHTER [14] gezeigt haben, trifft dies auch auf die überwiegende Mehrheit der Messstellen zu.

Hinsichtlich anderer meteorologischer Infor-

mationen, wie Niederschlagsart oder Lufttemperatur, wurden Daten geeigneter benachbarter Klimastationen verwendet. Liegen an der benachbarten Station Werte der Niederschlagsart vor, wird diese zur Korrektur des Windfehlers verwendet, andernfalls wird anhand der Lufttemperatur auf die Niederschlagsart geschlossen.

Für den Fall, dass keine Daten einer hinreichend benachbarten Klimastation verfügbar sind, wird der Lufttemperaturwert einer Referenzstation (im Falle von Baden-Württemberg die Station Karlsruhe und für Bayern die Stationen Bamberg oder München) mit Hilfe eines mittleren Temperaturgradienten von $-0.6 \text{ K pro } 100 \text{ m}$ auf die Höhe der Niederschlagsmessstelle reduziert und entsprechend korrigiert.

Die Tage, an denen die Referenzreihe zur Korrektur herangezogen werden musste, liegen in den Jahren vor 1936 bzw. 1945 und 1946; ihre Anzahl entspricht etwa 9% des Gesamtzeitraums.

2.3 Die Einteilung des Untersuchungsbereiches in einzelne Gebiete

Die Größe der zur Gebietswertberechnung gewählten Areale sollte wenigstens $1\,500 \text{ km}^2$, möglichst aber zwischen $2\,000 \text{ km}^2$ und $2\,500 \text{ km}^2$ betragen. Grund für diese Forderung ist die über den Untersuchungszeitraum hinweg unterschiedliche Anzahl der der Gitterpunktwertberechnung tatsächlich zugrundelie-

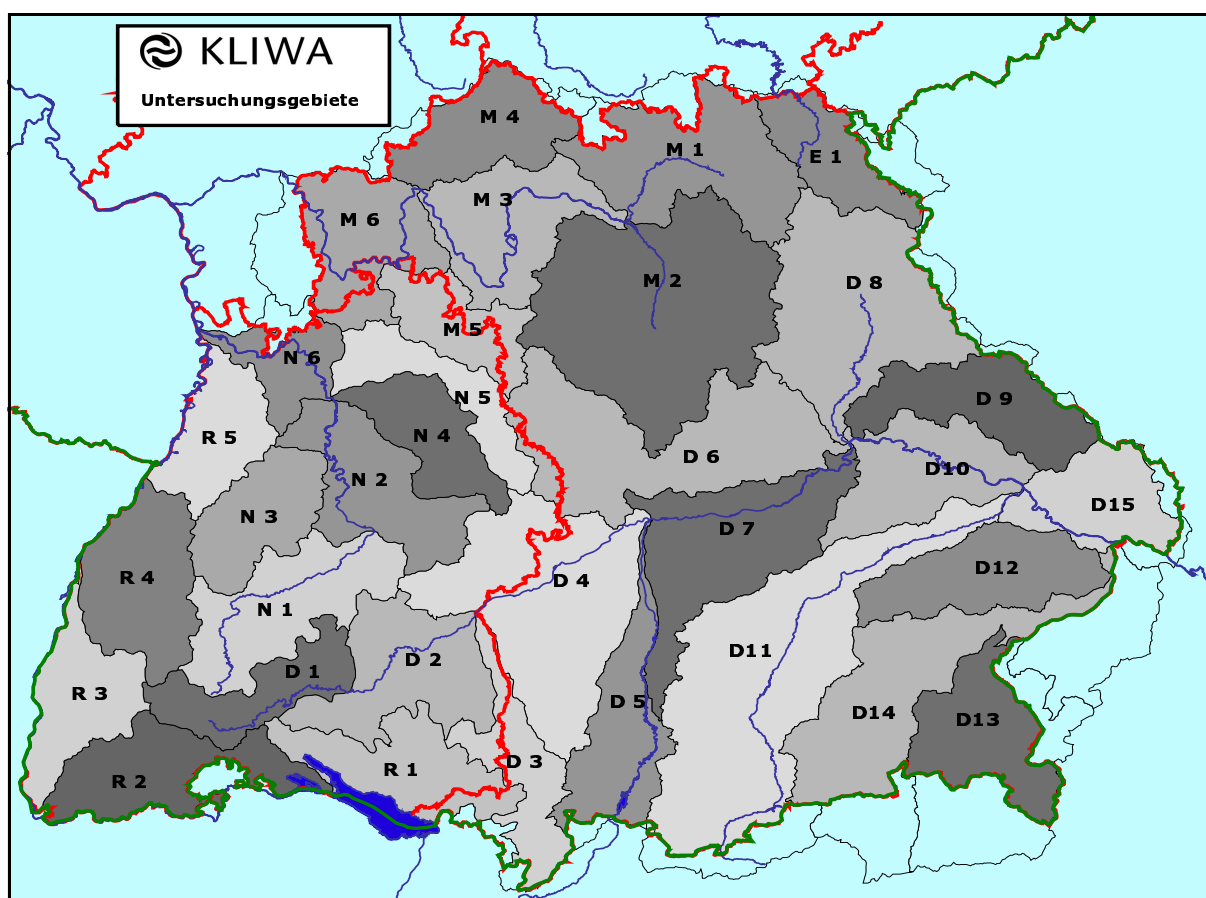


Abb. 2.4: Die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern

genden Messreihen. Da diese Anzahl vor allem in den Jahren vor 1948 großen Schwankungen unterlag, bestand die Gefahr, bei der Wahl kleinerer Gebietseinheiten durch Extrapolation einzelner Gitterpunktswerte zu verzerrten Ergebnissen zu kommen (vgl. Anhang).

Die Verwendung von wenigstens 30 Gitterpunktswerten (die ihrerseits aus mehreren Stationswerten interpoliert wurden) zur Bestimmung der Gebietsmittel sorgt allerdings für eine hinreichende Homogenisierung der Gebietswertreihen. Dennoch sollte bei der Interpretation der Analyseergebnisse das Vorhandensein von Artefakten während der ersten zwanzig Jahre des bearbeiteten Zeitraums in den Gebietswertreihen nicht außer Acht gelassen werden. Tabelle 2.1 bietet einen Überblick über die untersuchten 33 Gebietseinheiten. Eine Karte mit den Gebieten zeigt Abb. 2.4.

2.4 Gebietswerte und Auswertgrößen

Aus den entsprechend Abschnitt 2.1 berechneten Gitterpunktswerten wurden durch arithmetische Mittelung für jedes der 33 in Tabelle 2.1 genannten und in Abb. 2.4 dargestellten Untersuchungsgebiete eine Tages-

wertreihe des Gebietsniederschlags berechnet.

Anhand dieser Tageswertreihen wurden im weiteren Bearbeitungsverlauf statistische Parameter auf Monatswertbasis berechnet. Dabei wurde die Reihe der Tageswerte von 1931 bis 1997 monatsweise zusammengefasst und weiter bearbeitet: Für jede dieser insgesamt 804 monatlichen Teilstichproben (67 Jahre x 12) wurde eine Reihe statistischer Parameter berechnet, um die Häufigkeitsverteilung der Tageswerte im entsprechenden Zeitintervall, d.h. den entsprechenden Monat möglichst präzise zu beschreiben.

Für jeden Monat wurden für jedes Gebiet folgende zehn Auswertgrößen bestimmt:

- Monatswert (Summe der Tageswerte)
- arithmetisches Mittel der Tageswerte (Tagesmittelwert)
- Standardabweichung der Tageswerte
- Monatsmaximum (höchster Tageswert)
- Quantil der Tageswerte zu 25 % (Unteres Quartil)
- Quantil der Tageswerte zu 50 % (Median)
- Quantil der Tageswerte zu 90 % (Oberes Dezil)
- Anzahl der Tage mit $N < 1$ mm zur Cha-

Tabelle 2.1 Die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern

lfd. Nr.	Gebiets- kennung	Untersuchungsgebiet	Anzahl der Gitterpunkte
1	D1	Donau bis Lauchert	40
2	D2	Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller	59
3	D3	Iller	41
4	D4	Donau unterhalb Iller bis oberhalb Wörnitz/Lech	108
5	D5	Lech	49
6	D6	Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber	105
7	D7	Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab	75
8	D8	Naab	105
9	D9	Regen	52
10	D10	Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar	52
11	D11	Isar	157
12	D12	Vils / Rott	50
13	D13	Alz / Salzach	61
14	D14	Inn	91
15	D15	Donau unterhalb Isar bis Landesgrenze	46
16	E1	Elbe	37
17	M1	Main oberhalb Regnitz	84
18	M2	Regnitz	140
19	M3	Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale	58
20	M4	Fränkische Saale	54
21	M5	Tauber	36
22	M6	Main unterhalb Fränkische Saale bis Landesgrenze	73
23	N1	Neckar oberhalb Fils	60
24	N2	Neckar von Fils bis oberhalb Kocher (ohne Enz)	60
25	N3	Enz	39
26	N4	Kocher	38
27	N5	Jagst	35
28	N6	Neckar unterhalb Jagst	29
29	R1	Hochrhein / Bodensee	54
30	R2	Rhein bis Wiese	51
31	R3	Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig	43
32	R4	Rhein von Kinzig bis Murg	56
33	R5	Rhein unterhalb Murg bis oberhalb Neckar	41
		Baden-Württemberg	641
		Bayern	1497
		Gesamt	2079

- Anzahl der Tage mit $N < 2$ mm zur Charakterisierung von Trockenperioden
- Anzahl der Tage mit $N \geq 15$ mm zur Charakterisierung von Starkniederschlägen

Die Bildung eines Monatswertes für die einzelnen Auswertegrößen — mit Ausnahme der Unter- bzw. Überschreitungshäufigkeiten, deren Interpretation trivial ist — lässt sich exemplarisch der Abb. 2.5 entnehmen.

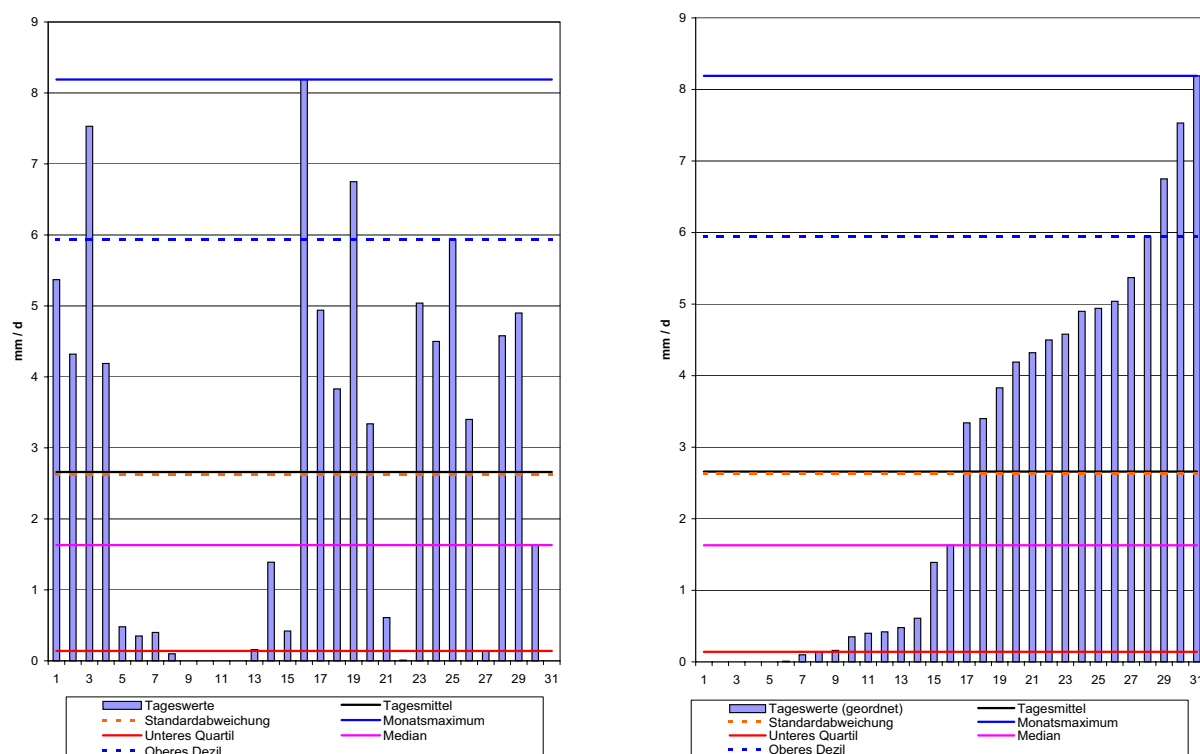


Abb. 2.5: Beispielhafte Veranschaulichung einiger Auswertegrößen anhand einer tatsächlichen Teilstichprobe (links) bzw. einer geordneten Stichprobe (rechts) mit den selben Daten — Tageswerten des Gebietsniederschlags im Gebiet M5 (Tauber) vom Januar 1931

Zum Informationsgehalt der einzelnen Größen lässt sich folgendes ergänzen:

Das *Untere Quartil* — derjenige Schwellenwert, der die 25% der trockensten Tage (7 Tage pro Monat) charakterisiert — ist ein weit empfindlicherer Indikator für die Häufigkeit trockener Monate als die Unterschreitungshäufigkeit von 1 mm/d bzw. 2 mm/d. Ähnliches lässt sich auch über den *Median* aussagen — denjenigen Schwellenwert, der die trockene von der feuchten Hälfte der Tage scheidet, und der daher oft auch als „Zentralwert“ bezeichnet wird. Ganz allgemein sind Quantile einer Häufigkeitsverteilung wesentlich robuster gegenüber der Wirkung einzelner extremer Werte — „Ausreißer“ — als die häufig gebrauchten Stichprobenfunktionen Mittelwert und Standardabweichung.

Der *Mittelwert* der Beispielstichprobe ist wesentlich höher als der Median. Das liegt daran, dass die Häufigkeitsverteilung der Niederschlags-Tageswerte sehr schief ist. Bei normalverteilten Zufallsgrößen stimmen Median und arithmetisches Mittel überein.

Man beachte, dass die Auswertegrößen die Dimension „mm“ haben, auch wenn es sich bei den Ausgangsgrößen um Tageswerte handelt, die durch „mm/d“ beschrieben werden. Beim *Median* z.B. handelt es sich aber nicht um ein auf das Messintervall bezogenes Maß, sondern

um einen Schwellenwert, der aus der Häufigkeitsverteilung abgeleitet wird.

Weitere Kenngrößen wie z.B. das Obere Quartil, die Quartildistanz als alternatives Streuungsmaß sowie die Über- bzw. Unterschreitungshäufigkeit einiger weiterer Schwellenwerte (0,1 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm bzw. 50 mm) wurden zwar berechnet, aber bereits nach einem groben Screening als zu wenig aussagekräftig für die Beschreibung der Gebietswerte bei der folgenden Auswertung nicht mehr berücksichtigt.

Beispielsweise ist der Schwellenwert von 30 mm/d bei der Analyse von Stationswertreihen unter hydrologischem Aspekt von höchstem Interesse, durch die zweifache Filterung der Ausgangsreihen jedoch (Interpolation der Gitterpunktwerte und Gebietsmittelung) erfolgt eine flächenmäßige Abminderung der Niederschlagshöhen, so dass ein Gebietswert von 30 mm/d zu selten für statistische Aussagen über eine 67-jährige Reihe ist.

Insgesamt waren mithin 330 Reihen (10 Auswertegrößen x 33 Gebiete) mit je 804 Werten zu untersuchen. Dabei wurden jedoch die innerjährlichen Änderungen nicht in hinreichendem Maße aufgeheilt. Neben einer ganzjährigen Auswertung musste also — um auf den Aufwand einer für jeden einzelnen Monat vorzu-

nehmenden Untersuchung zu verzichten – wenigstens eine getrennte Betrachtung der vier meteorologischen Jahreszeiten erfolgen. Im Interesse einer Beurteilung der Niederschläge bei Niedrigwasser wurde noch ein weiterer, von der üblichen Quartalseinteilung abweichender Zeitraum berücksichtigt.

Es ergaben sich demnach sechs Auswerteabschnitte zur Zusammenfassung der Monatswerte:

- Gesamtjahr (Januar – Dezember)
- Frühjahr (März – Mai)
- Sommer (Juni – August)
- Herbst (September – November)
- Winter (Dezember – Februar)
- Niedrigwasserperiode (August – Oktober)

Entsprechend standen nunmehr insgesamt 1 980 Reihen (6 Auswerteabschnitte x 33 Gebiete x 10 Auswertegrößen) zur Bearbeitung bereit. Jede dieser Reihen musste sowohl auf vorhandene Bruchstellen als auch auf nachweisbare Trends geprüft werden, wobei jeweils mehr als ein mathematisch-statistisches Verfahren verwendet wurde (vgl. Kapitel 3).

Im Verlauf der Auswertung erwies sich, dass auch von den zehn ausführlich betrachteten Auswertegrößen nicht jede beachtenswerte Veränderungen im Verlauf des Untersuchungszeitraums von 1931 bis 1997 erkennen lässt.

Aus diesem Grunde erfolgte im Interesse der Überschaubarkeit der vorliegenden Arbeit eine weitere Reduktion der zu präsentierenden Untersuchungen auf folgende Auswertegrößen:

- Arithmetisches Mittel der Tageswerte (Tagesmittelwert)
 - Standardabweichung der Tageswerte
 - Quantil der Tageswerte zu 25 % (Unteres Quartil)
 - Quantil der Tageswerte zu 50 % (Median)
 - Anzahl der Tage mit $N \geq 15$ mm zur Charakterisierung von Starkniederschlägen
- und folgende Auswerteabschnitte:

- Gesamtjahr (Januar – Dezember)
- Sommer (Juni – August)
- Winter (Dezember – Februar)

2.5 Exemplarische Darstellung der Ausgangsreihen

2.5.1 Zeitreihen der Auswertegrößen

Ergänzend zu den prinzipiellen Erläuterungen über die Auswertegrößen in Abschnitt 2.4 sollen in den folgenden Abbildungen 2.6 bis 2.10 zur Veranschaulichung der Struktur und der Bandbreite der an späterer Stelle analysierten Zeitreihen Einzelwerte (Monatswerte), fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trends der fünf Größen am Beispiel des im Grenzbereich von Bayern und Baden-Württemberg gelegenen Taubergebietes gegenübergestellt werden.

Zunächst ist zu erkennen, dass bei den beiden ersten Auswertegrößen, den Stichprobenfunktionen Tagesmittelwert und Standardabweichung trotz wahrnehmbarer Asymmetrie der Häufigkeitsverteilung positive und negative Abweichungen noch vergleichsweise gleich-

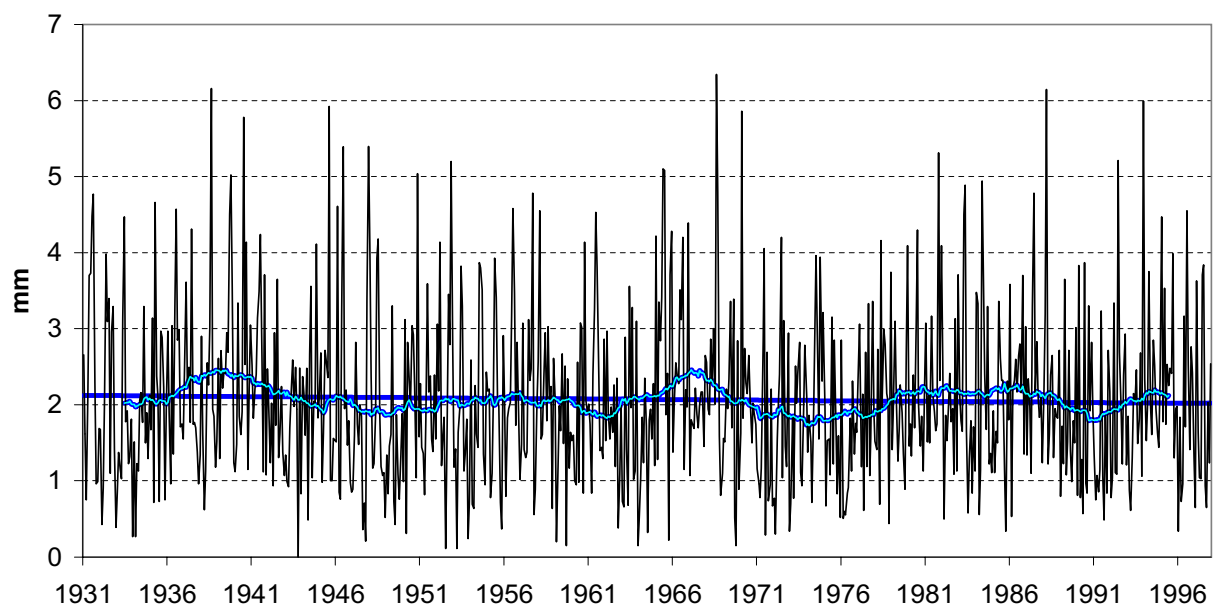


Abb. 2.6: Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Tagesmittelwert“ im Taubergebiet

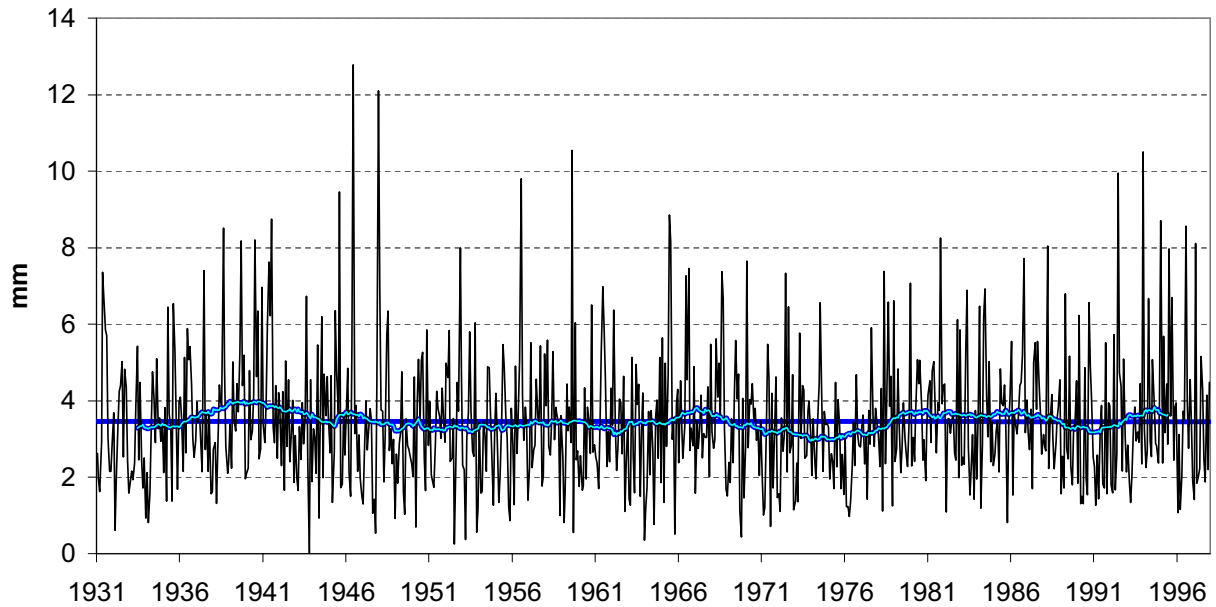


Abb. 2.7: Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Standardabweichung“ im Taubergebiet

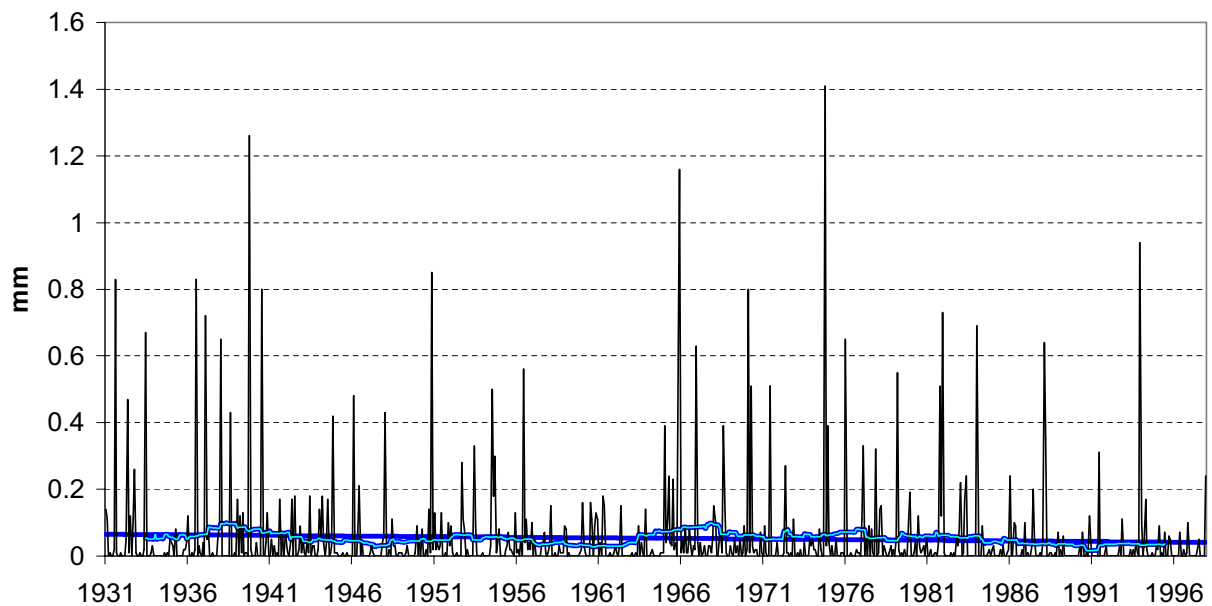


Abb. 2.8: Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Unteres Quartil“ im Taubergebiet

mäßig ober- und unterhalb der Trendlinien verteilt zu sein scheinen. Ein Blick auf die Diagramme von Unterem Quartil und Median macht die Eigenart dieser beiden Quantile deutlich. Das Untere Quartil weist zwar vereinzelt hohe Werte auf – Hinweise auf Monate mit großer Häufigkeit von Regentagen, nicht unbedingt aber großen Regenmengen – in der Regel aber liegt der Wert im nicht messbaren Bereich, d.h. unterhalb der „Messgrenze“ 0.1 mm.

Dass auch der Median mit durchschnittlich 0.5 mm nur ein Viertel des Tagesmittelwertes

von etwa 2 mm aufweist, zeigt erneut, wie sehr die Gesamtmenge der Gebietsniederschläge – unabhängig vom Erfassungsintervall – durch niederschlagsreiche Ereignisse bestimmt wird, wogegen – nun auf der Basis Tageswert – die Hälfte aller Tage nicht einmal ein Viertel des Gesamtniederschlags liefert, in der anderen Hälfte dagegen fallen drei Viertel. Es ist eine bekannte Tatsache, dass diese Relation sich immer mehr verschiebt, je kürzer das Messintervall ist; im Falle von Stundenwerten fällt der Hauptanteil des Gesamtniederschlags in weniger als 10%

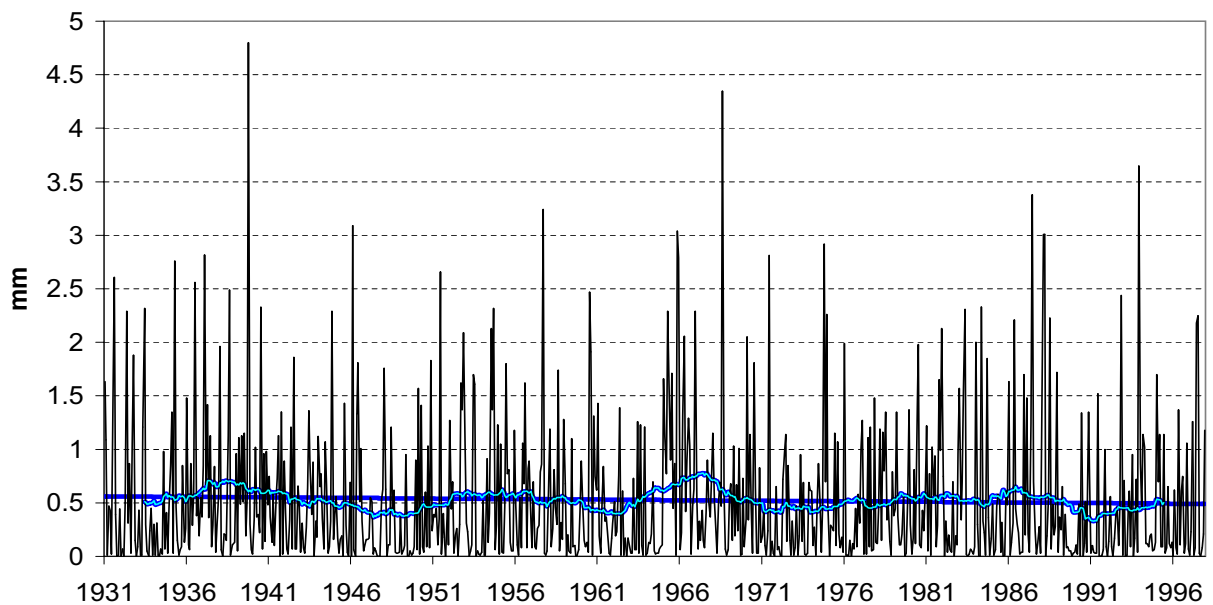


Abb. 2.9: Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Median“ im Taubergebiet

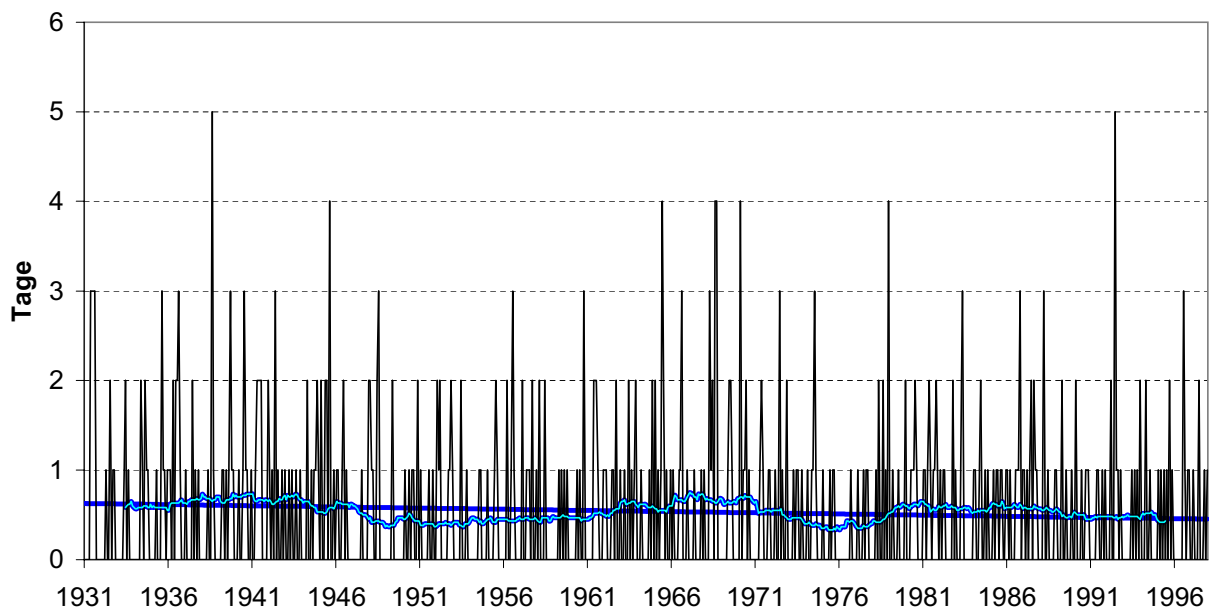


Abb. 2.10: Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d“ im Taubergebiet

der Messintervalle. Die Häufigkeit der Tage mit mehr als 15 mm Niederschlag bildet eine Ergänzung dazu. Das Diagramm (Abb. 2.10) zeigt, dass nur in etwa jedem zweiten Monat dieser Schwellenwert überschritten wird. Noch relativ oft treten Monate mit zwei oder drei solcher Tage auf, und erst Monate mit vier oder

fünf Tagen mit mehr als 15 mm Niederschlag lassen sich als sehr selten bezeichnen. Die derart beschriebene Charakteristik der fünf im Folgenden zu untersuchenden Auswertegrößen stellt eine wichtige Voraussetzung für die Interpretation der Ergebnisse der Zeitreihenanalyse dar.



2.5.2 Jahreswerte der Gebietsniederschläge

Auf Grund der großen Anzahl der Reihen kann im Rahmen des vorliegenden Berichts nicht jede einzeln dargestellt werden. Daher werden auf den folgenden Seiten nur die Jahreswertreihen des Gebietsniederschlags von 1931 bis 1997 für die 33 Untersuchungsgebiete abgebildet (Abb. 2.11-1 bis 2.11-33).

Damit soll ein grober Überblick über das mittlere jährliche Niederschlagsgeschehen der einzelnen Untersuchungsgebiete gegeben werden.

Neben den Jahreswerten enthalten die Darstellungen noch den linearen Trend, der allerdings bei weitem nicht in jedem Falle signifikant ist. Nähere Angaben dazu finden sich in Kapitel 5 über die Ergebnisse der Trendanalyse.

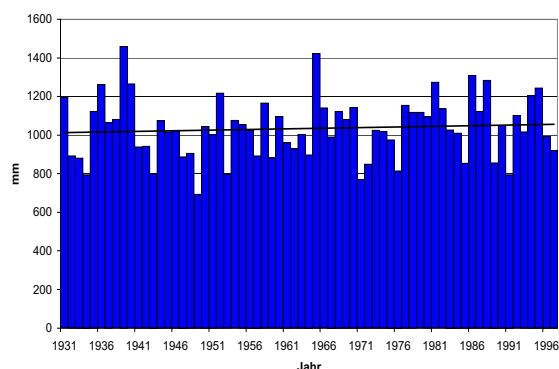


Abb. 2.11-1: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D1

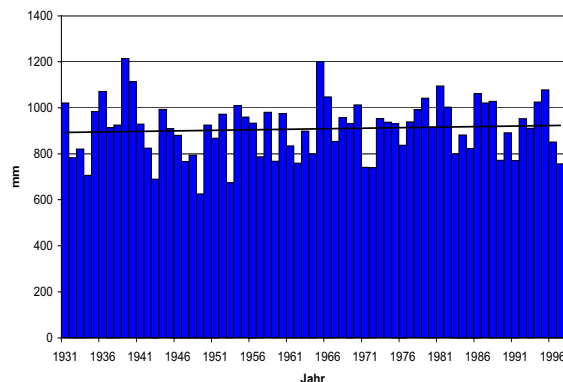


Abb. 2.11-2: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D2

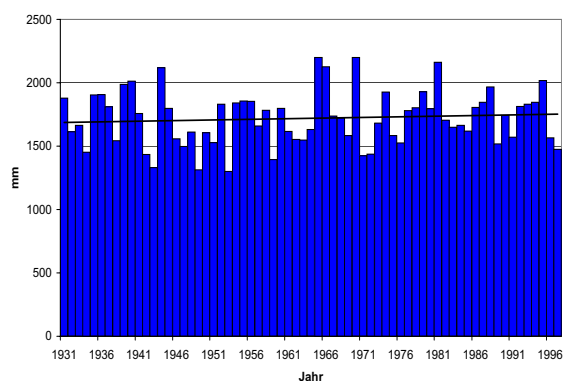


Abb. 2.11-3: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D3

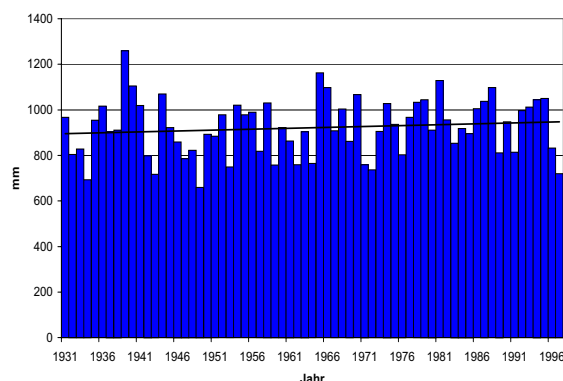


Abb. 2.11-4: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D4

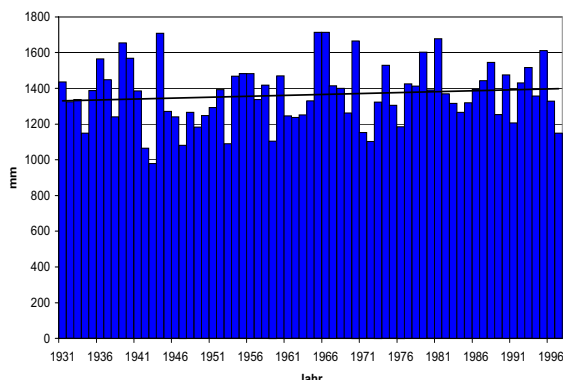


Abb. 2.11-5: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D5

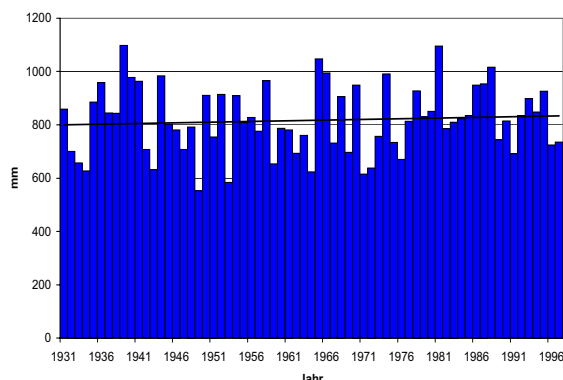


Abb. 2.11-6: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D6

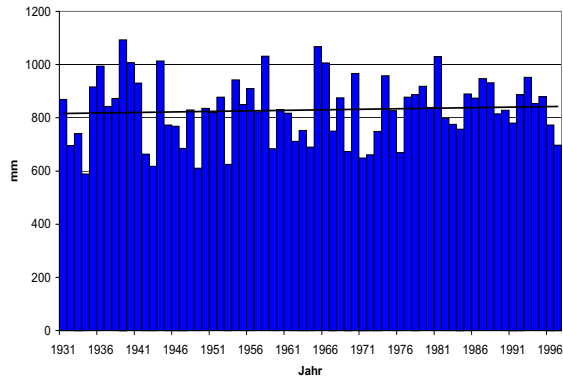


Abb. 2.11-7: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D7

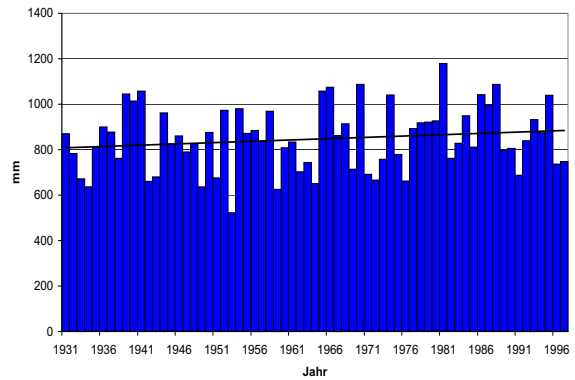


Abb. 2.11-8: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D8

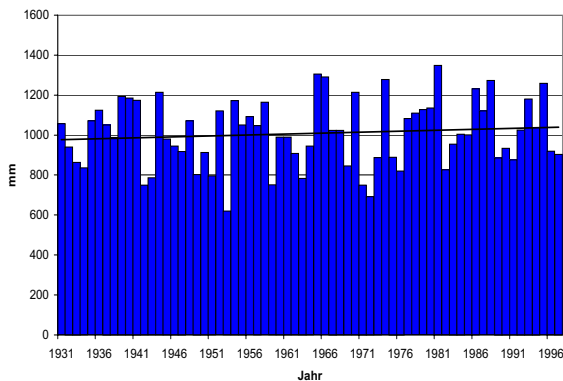


Abb. 2.11-9: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D9

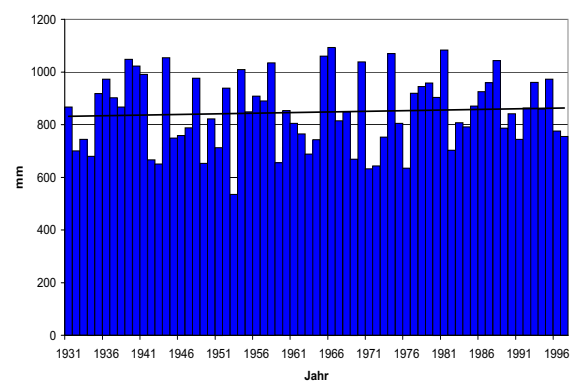


Abb. 2.11-10: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D10

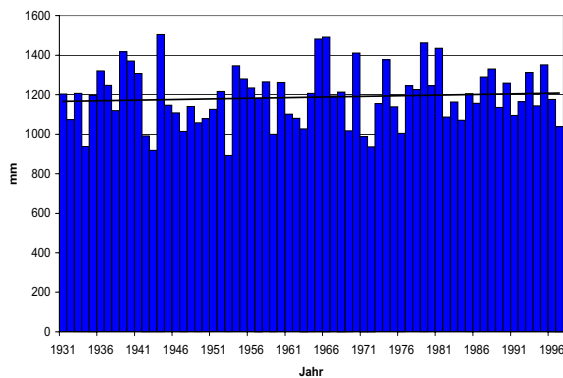


Abb. 2.11-11: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D11

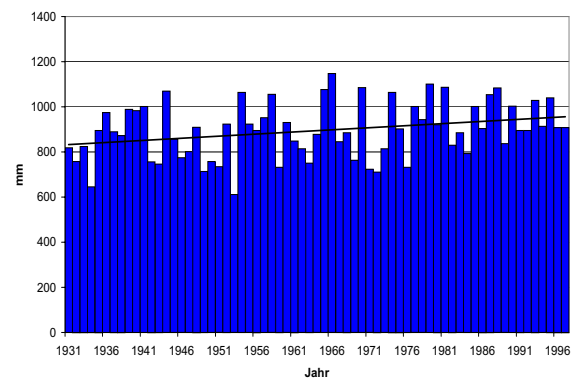


Abb. 2.11-12: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D12

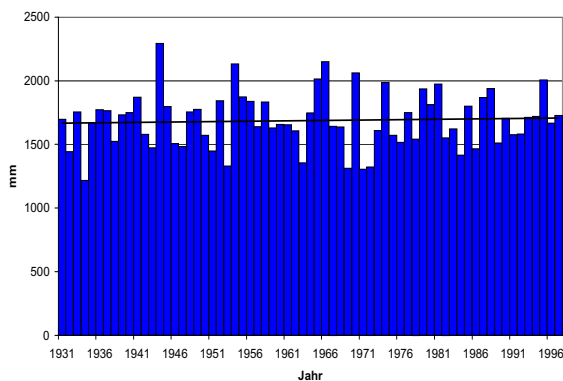


Abb. 2.11-13: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D13

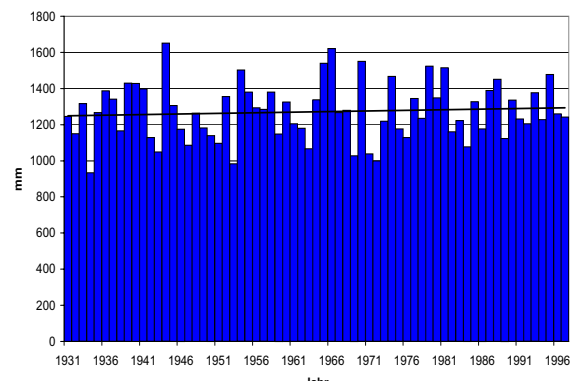


Abb. 2.11-14: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D14

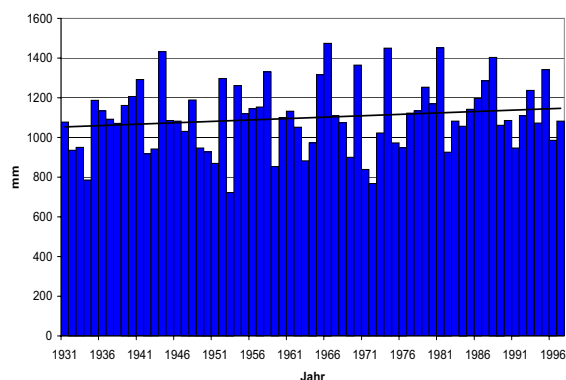


Abb. 2.11-15: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D15

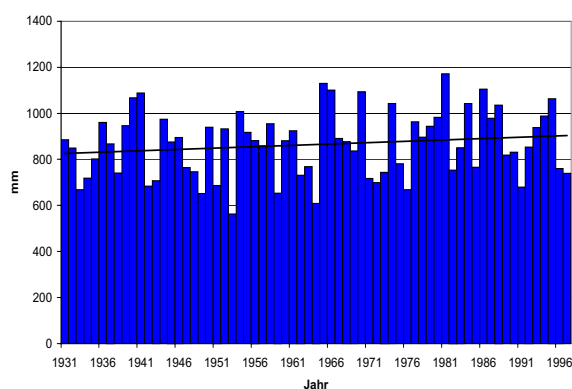


Abb. 2.11-16: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet E1

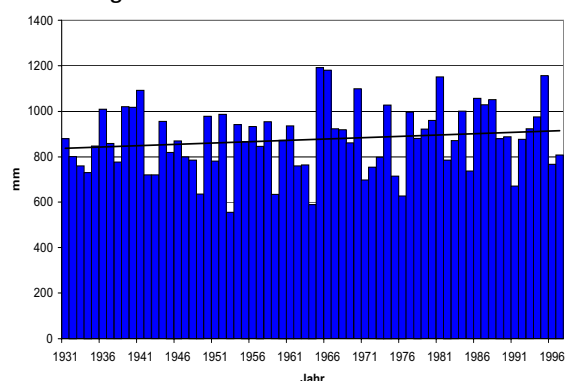


Abb. 2.11-17: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M1

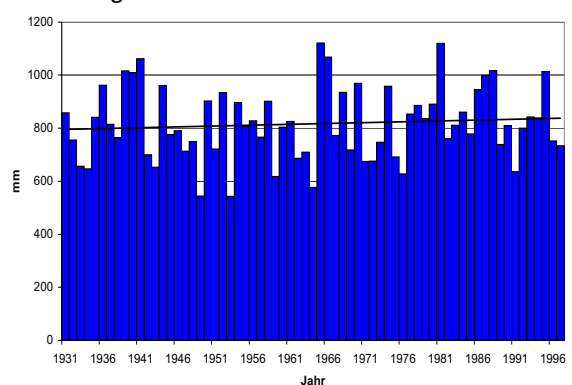


Abb. 2.11-18: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M2

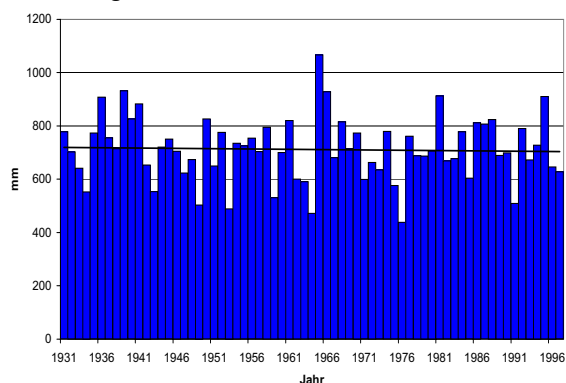


Abb. 2.11-19: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M3

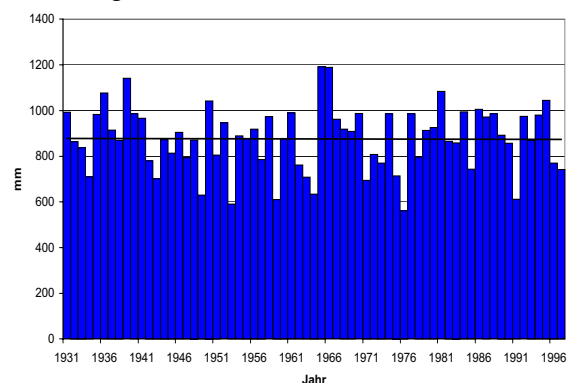


Abb. 2.11-20: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M4

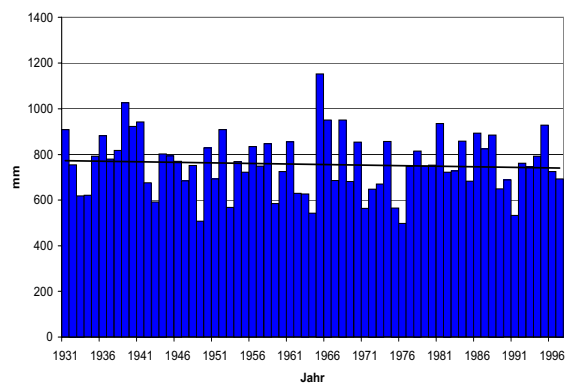


Abb. 2.11-21: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M5

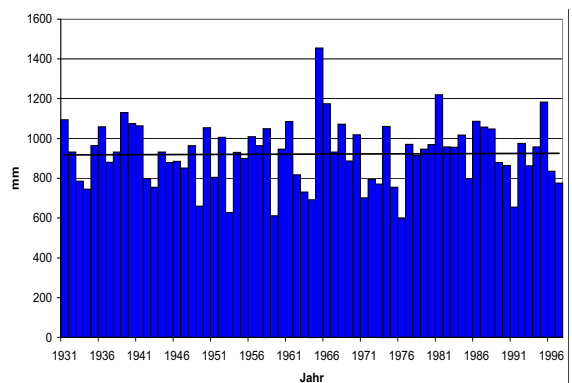


Abb. 2.11-22: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M6

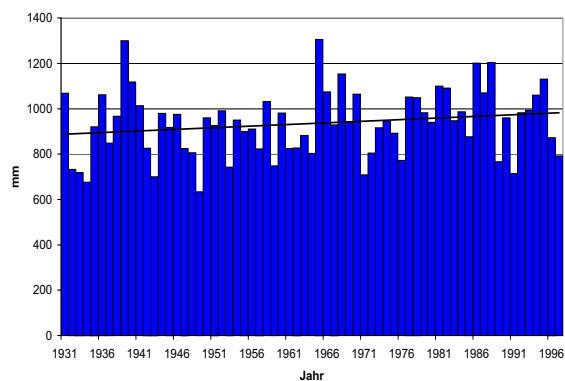


Abb. 2.11-23: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N1

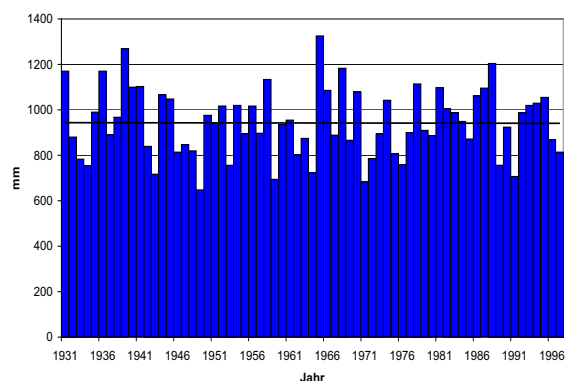


Abb. 2.11-24: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N2

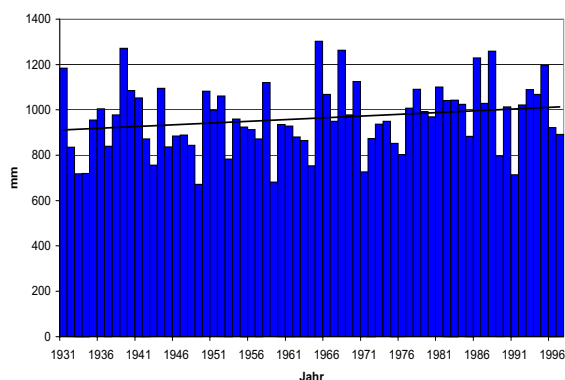


Abb. 2.11-25: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N3

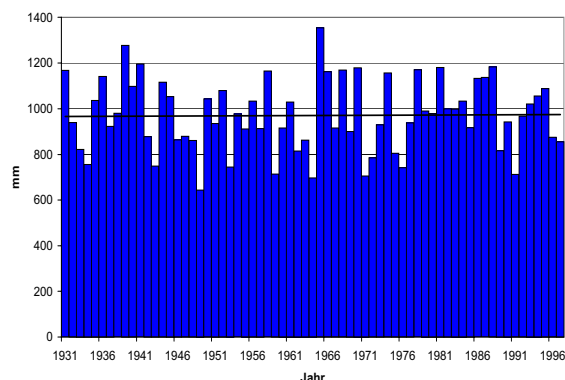


Abb. 2.11-26: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N4

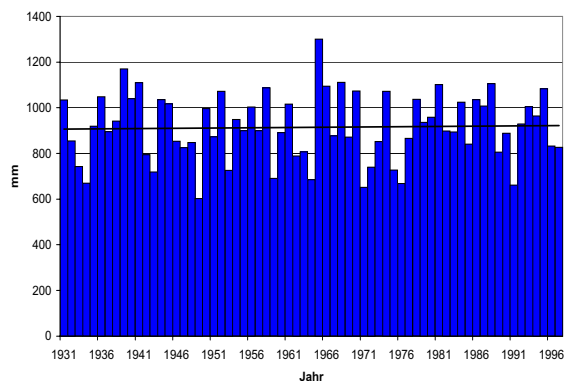


Abb. 2.11-27: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N5

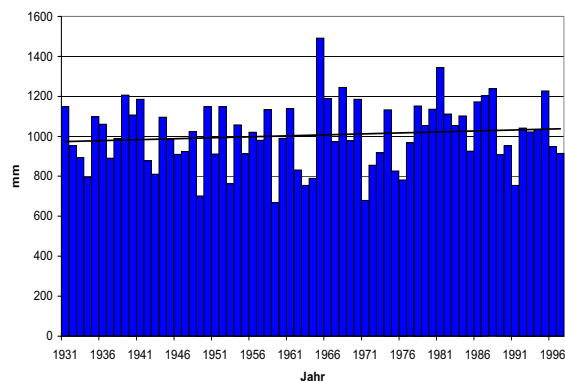


Abb. 2.11-28: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N6

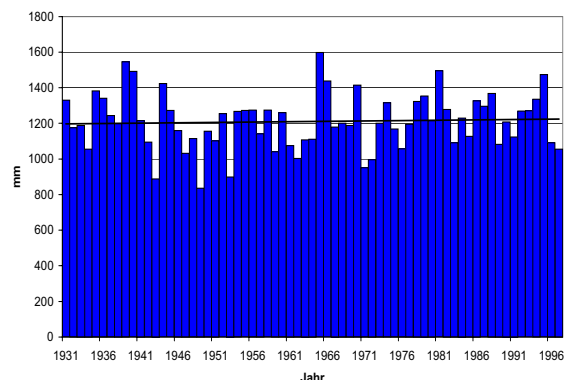


Abb. 2.11-29: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R1

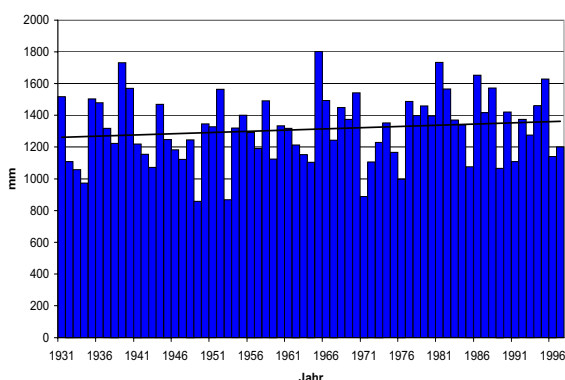


Abb. 2.11-30: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R2

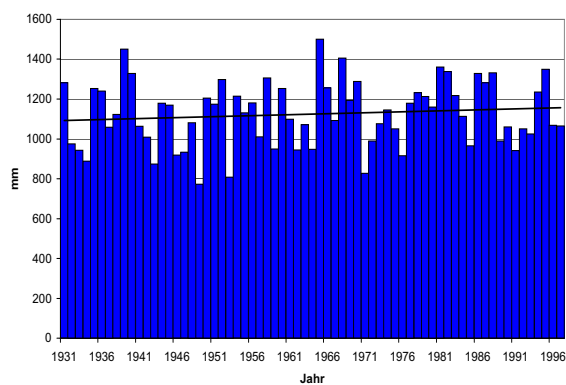


Abb. 2.11-31: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R3

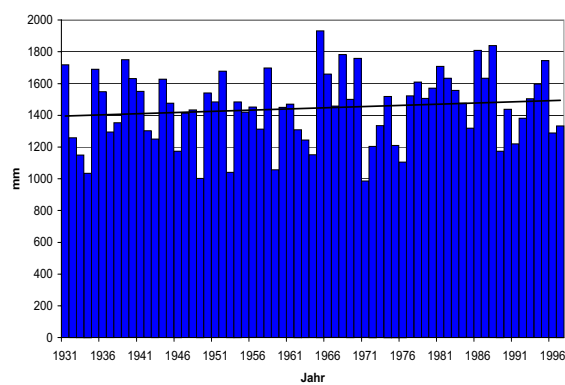


Abb. 2.11-32: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R4

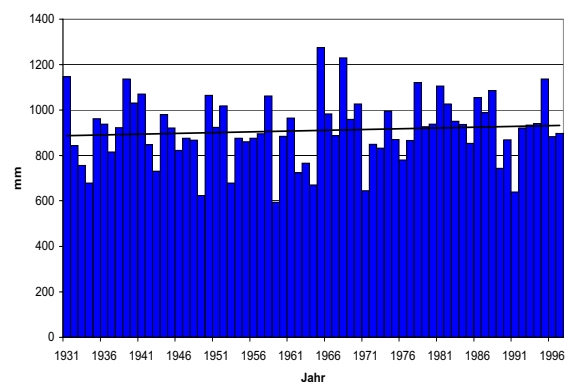


Abb. 2.11-33: Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R5

3 Angewandte statistische Methoden zur Zeitreihenanalyse

3.1 Vorbemerkung — relative und absolute Verfahren

Bei den verwendeten Testverfahren auf Vorhandensein von Inhomogenitäten bzw. eines Trends wird stets zwischen relativen und absoluten Tests unterschieden. Unter einem relativen Test ist eine Überprüfung der zu testenden Reihe im Vergleich zu einer anderen, als homogen identifizierten Reihe zu verstehen, wogegen ein absoluter Test die Reihe für sich, d.h. anhand eines aus ihr selbst abgeleiteten Kriteriums (z.B. die Inhomogenität des Erwartungswerts anhand der Varianz) untersucht.

In den meisten bekannten Arbeiten zum Thema Homogenität werden relative Tests verwendet; ihr Zweck besteht vor allem im Ausschluss von Artefakten infolge eines Wechsels im Standort oder im Messsystem. Bezugsreihe ist meist ein mehr oder weniger zuverlässiges Gebietsmittel oder eine aus wie auch immer gearteten Gründen für homogen befundene Referenzreihe. Der Test wird dann auf den absoluten Test einer Reihe von Differenzen bzw. Quotienten aus Test- und Referenzreihe zurückgeführt. Die zu berechnende Testgröße ist in beiden Fällen auf die gleiche Weise zu berechnen; darum wird in den folgenden Abschnitten auf die mögliche Verwendung für den einen wie den anderen Zweck nicht ausdrücklich hingewiesen.

Es muss in diesem Zusammenhang jedoch festgestellt werden, dass relative Tests — d.h. Vergleiche von Stationswertreihen, Gitterpunktreihen und Gebietswertreihen — stets zu schwer interpretierbaren Ergebnissen geführt haben: Sämtliche Differenz- bzw. Quotientenreihen, die auf drei in einer vorausgegangenen, mit KLIWA nicht in unmittelbarem Zusammenhang stehenden Untersuchung [3] als homogen eingeschätzten Stationswertreihen basieren, wiesen einerseits starke Fluktuationen auf, ließen andererseits kaum Inhomogenitäten erkennen.

Es muss geschlossen werden, dass diese Fluktuationen auf die glättende Wirkung der Gebietsmittelberechnung zurückzuführen sind. Eine Prüfung auf Artefakte in einer der beiden beteiligten Reihen würde mithin keinerlei verifizierbares Ergebnis liefern.

Auf Grund dessen wurde in der weiteren Bearbeitung auf relative Tests — also auch auf die ursprünglich vorgesehenen Vergleiche von Stations- und Gitterpunktreihen mit den Gebietswerten — verzichtet. Die Möglichkeit einer

„künstlichen“ Inhomogenität, bedingt durch Veränderungen der Stationsdichte im Jahre 1940 bzw. in den Jahren 1945 bis 1947 (vgl. 2.2), kann daher nur im Einzelfall nachträglich ausgeschlossen werden.

Nähere Ausführungen zu diesbezüglichen Ergebnissen finden sich in Kapitel 4.

3.2 Homogenitäts- und Bruchpunktanalyse

3.2.1 Tests nach ALEXANDERSSON und MOBERG

Der häufig angewandte ALEXANDERSSON-Test beruht auf einem Konzept, das bereits 1986 publiziert wurde [1]. Es wird eine standardisierte Zufallsgröße

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad (3.1)$$

postuliert, wobei $\bar{x}$ der arithmetische Mittelwert und s_x die Standardabweichung der Ausgangsgröße x_i ($i = 1, \dots, N$) sein sollen. In der Originalarbeit wird die Ausgangsgröße als Quotient zweier Messreihen eingeführt — mithin ein relativer Test durchgeführt. Von der Anlage her aber handelt es sich um einen absoluten Test, denn es wird angenommen, dass (*Nullhypothese*)

$$\forall i \rightarrow z_i \in N(0, 1) \quad (3.2)$$

oder dass ein gewisser Index $1 < v < N$ existiert, für den gilt:

(*Alternativhypothese*)

$$\begin{aligned} i \in \{1, \dots, v\} &\rightarrow z_i \in N(\mu_1, 1) \\ i \in \{v+1, \dots, N\} &\rightarrow z_i \in N(\mu_2, 1) \end{aligned} \quad (3.3)$$

wobei $Z \in N(\mu, \sigma)$ bedeutet, dass Z mit dem Erwartungswert μ und der Varianz σ normalverteilt ist. Für den Fall, dass Gleichung (3.2) gilt, ist die Reihe als homogen anzusehen, im Falle von Gleichung (3.3) besteht für $\mu_1 \neq \mu_2$ eine Inhomogenität. Zum Test werden nun für jedes denkbare $1 \leq v < n$ zunächst die beiden Mittelwerte

$$\begin{aligned} x_{(1)} &= \bar{x} \cdot [i \leq v] = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v z_i \\ x_{(2)} &= \bar{x} \cdot [i > v] = \frac{1}{N-v} \sum_{i=v+1}^N z_i \end{aligned} \quad (3.4)$$

und daraus die Testgröße



$$T_0 = \max_{1 \leq v < N} \{T_v\} = \max_{1 \leq v < N} [vx_{(1)}^2 - (n-v) \cdot x_{(2)}^2] \quad (3.5)$$

berechnet. Ist T_0 größer als ein bestimmter Grenzwert, sollte die Reihe als inhomogen eingestuft werden. Der dem Index v entsprechende Zeitpunkt ist der wahrscheinlichste Bruchpunkt der Reihe, und das Verhältnis der Mittelwerte $x_{(1)}$ und $x_{(2)}$ entspricht dem Maß der Veränderung in der Reihe.

ALEXANDERSSON weist außerdem darauf hin, dass in homogenen Reihen scheinbare Brüche am Anfang oder am Ende der Reihen angezeigt werden können. Derartige Inhomogenitäten lassen sich nur schlecht verifizieren, da die Länge einer der entsprechenden Teilreihen in solchen Fällen zu kurz für eine stabile Mittelwertschätzung ist; die angezeigte Veränderung sollte dann unter Vorbehalt als normale Schwankung im üblichen Varianzbereich interpretiert werden.

Einige Jahre später hat ALEXANDERSSON seinem Verfahren in Zusammenarbeit mit MOBERG eine Erweiterung folgen lassen [2]. Ausgangspunkt der zugrundeliegenden Überlegungen war die Vorstellung, dass eine inhomogene Reihe nicht unbedingt durch einen abrupten Bruch, sondern durch einen gleitenden Übergang in Form eines zeitweiligen linearen Trends zwischen den Zeitpunkten a und b gekennzeichnet sein kann. Der Nullhypothese, die oben schon in (3.2) formuliert wurde, wird nun eine im Vergleich zu (3.3) modifizierte Alternativhypothese (3.6) gegenübergestellt, die auf einer stückweise linearen Anpassung der Reihe in drei Abschnitten beruht. Dadurch wird das Problem einer Extrapolation des linearen Trends umgangen: Der Trend wird als zeitlich begrenztes Phänomen des Übergangs zwischen zwei stationären Zuständen aufgefasst.

(Alternativhypothese)

$$i \in \{1, \dots, a\} \rightarrow z_i \in N(\mu_1, 1)$$

$$i \in \{a+1, \dots, b\} \rightarrow \dots$$

$$z_i \in N\left(\mu_1 + \frac{(i-a)(\mu_2 - \mu_1)}{(b-a)}, 1\right) \quad (3.6)$$

$$i \in \{b+1, \dots, N\} \rightarrow z_i \in N(\mu_2, 1)$$

Aus der anschließenden Maximum-Likelihood-Schätzung entwickelten die Autoren die folgende Testgröße:

$$\begin{aligned} T = & \max_{\substack{a, b \\ 1 \leq a < b \leq N}} \{-a \cdot \mu_1^2 \\ & + 2 \cdot a \cdot \mu_1 \cdot x_{(1)} \\ & - \mu_1^2 \cdot SB - \mu_2^2 \cdot SA \\ & + 2 \cdot \mu_1 \cdot SXB \\ & + 2 \cdot \mu_2 \cdot SXA \\ & - 2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot SAB \\ & - (N-b) \cdot \mu_2^2 \\ & + 2 \cdot (N-b) \cdot \mu_2 \cdot x_{(2)}\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

wobei die einzelnen Faktoren folgende Bedeutung haben:

$$\begin{aligned} SA &= \sum_{i=a+1}^b \frac{(i-a)^2}{(b-a)^2} \\ SB &= \sum_{i=a+1}^b \frac{(b-i)^2}{(b-a)^2} \\ SXA &= \sum_{i=a+1}^b \frac{x_i \cdot (i-a)^2}{(b-a)^2} \\ SXB &= \sum_{i=a+1}^b \frac{x_i \cdot (b-i)^2}{(b-a)^2} \\ SAB &= \sum_{i=a+1}^b \frac{(i-a) \cdot (b-i)}{(b-a)^2} \end{aligned} \quad (3.8)$$

sowie

$$\mu_1 = \frac{ax_{(1)} + SZB - SL \cdot SAB}{a + SB + SK \cdot SAB} \quad (3.9)$$

$$\mu_2 = \mu_1 \cdot SK + SL$$

mit

$$\begin{aligned} SK &= \frac{-SAB}{SA + N - b} \\ SL &= \frac{(N - b) \cdot x_{(2)} + SXA}{SA + N - b} \end{aligned} \quad (3.10)$$

gelten. Die $x_{(1)}$ und $x_{(2)}$ sind analog Gleichung (3.4) als Mittelwerte vor bzw. nach der Inhomogenität zu berechnen. Auch in dieser Arbeit geben die Autoren passende Schwellenwerttabellen für die wichtigsten Signifikanzschranken an. Wenn dieser zweite Test auch nominell zur Feststellung von Trends dienen soll, kann er doch auch zur Identifizierung rascher „gleitender“ Übergänge zwischen zwei Zuständen der untersuchten Größe dienen; die Zeitpunkte a und b liegen dann meist nur wenige Monate auseinander. Dies ist eine Möglichkeit, die durch die Auswertungen bestätigt wird (vgl. Kapitel 4).

3.2.2 Tests nach BUSHAND

Vier Jahre vor ALEXANDERSSON wurde ein Verfahren zur Homogenitätsprüfung von BUSHAND veröffentlicht, das sich auf die Analyse von Partialsummen stützt [4]. Zuerst widmet er sich den bereinigten Partialsummen bzw. der Summe der Abweichungen vom Mittelwert und definiert:

$$S_0^* = 0; \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \quad (3.11)$$

Für eine homogene Reihe wäre zu erwarten, dass die S_k^* um den Wert 0 schwanken und darüber hinaus keinerlei systematisches Muster bei den Abweichungen der x_i um den Mittelwert $\bar{x}$ erkennbar ist. Der Nachteil der S_k^* besteht darin, dass mit wachsendem k das Gewicht des Einzelwertes immer geringer wird. Daher werden in der Folge normierte Partialsummen vorgeschlagen:

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_x}; \quad k = 0, \dots, N \quad (3.12)$$

wobei D_x die Varianz der x_i für die gesamte Reihe ($k=1, \dots, n$) darstellt. Die aus den normierten Partialsummen abgeleiteten Testgrößen lauten:

$$Q = \max_{0 \leq k \leq N} |S_k^{**}| \quad (3.13)$$

und

$$R = \max_{0 \leq k \leq N} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq N} S_k^{**} \quad (3.14)$$

Überschreiten die Testgrößen $Qn^{-1/2}$ bzw. $Rn^{-1/2}$ bestimmte, bei BUSHAND tabellierte Schwellenwerte, so ist von einer inhomogenen Reihe auszugehen.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird unter

dem Namen der gewichteten Partialsummen definiert:

$$Z_k^* = \sqrt{h \cdot (N - k)} \cdot S_k^* \quad (3.15)$$

und daraus wiederum die normierten gewichteten Partialsummen

$$Z_k^{**} = \frac{Z_k^*}{D_x}; \quad k = 0, \dots, N \quad (3.16)$$

Für diese gewichteten und normierten gewichteten Partialsummen werden dann zwei weitere Testgrößen abgeleitet:

$$U = \frac{1}{N \cdot (N + 1)} \sum_{k=1}^{N-1} \{S_k^{**}\}^2 \quad (3.17)$$

und

$$A = \sum_{k=1}^{N-1} \{Z_k^{**}\}^2 \quad (3.18)$$

Große Werte von U und A sind wiederum Anzeichen für Abweichungen von der hypothetischen Homogenität. Auch für U und A werden Signifikanzschwellen angegeben. Die praktischen Beispiele der Arbeit beschränken sich auf den Vergleich von Jahreswerten der Niederschlagshöhe mit den entsprechenden Gebietsmitteln. Auch für U und A werden tabellierte Signifikanzschwellen angegeben.

3.2.3 Bruchpunktanalyse nach MANN, WHITNEY und PETTIT

Noch vor BUSHAND hat PETTIT, aufbauend auf dem MANN-WHITNEY-Test, eine weitere Variante zur Behandlung des Bruchpunktproblems zur Diskussion gestellt [10]. Es handelt sich hierbei um einen einfachen Rangtest, bei dem für jedes Wertepaar x_i und x_j einer Reihe nicht der genaue zahlenmäßige Unterschied, sondern nur dessen Vorzeichen Verwendung findet:

$$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j);$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (3.19)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T D_{ij}; \quad T = N$$

Aus der Reihe der Rangsummen $U_{t,T}$ werden folgende Größen extrahiert:



$$\begin{aligned}
 K_T^+ &= \max_{1 \leq t < T} U_{t,T} \\
 K_T^- &= -\min_{1 \leq t < T} U_{t,T} \\
 K_T &= \max_{1 \leq t < T} |U_{t,T}|
 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Hieran schließt PETTIT die Berechnung der Signifikanz (Irrtumswahrscheinlichkeit) an. Es ergeben sich die folgenden Wahrscheinlichkeiten für den einseitigen Test (Abweichung nach oben bzw. unten):

$$\begin{aligned}
 p_{0A}^+ &= e^{-\left(\frac{6(K_T^+)^2}{T^3 - T^2}\right)} \\
 p_{0A}^- &= e^{-\left(\frac{6(K_T^-)^2}{T^3 - T^2}\right)}
 \end{aligned} \quad (3.21)$$

und für den zweiseitigen Test (Abweichung unabhängig von der Richtung):

$$p_{0A} = 2e^{-\left(\frac{6K_T^2}{T^3 - T^2}\right)} \quad (3.22)$$

Der jeweilige Zeitpunkt t , für den der entsprechende Extremwert ermittelt wurde, kennzeichnet dann den wahrscheinlichsten Bruchpunkt in der untersuchten Reihe. Die direkte Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erleichtert die Einschätzung der Signifikanz im Vergleich zu den anderen vorgestellten Tests.

3.3 Trendanalyse

3.3.1 Allgemeines

Bei der linearen Trendanalyse sind prinzipiell zwei verschiedene Arten des Vorgehens möglich. Zum einen lassen sich Trends über die gesamte Zeitreihe, das heißt, den gesamten verfügbaren Messzeitraum bestimmen, zum anderen aber auch nur über einen beschränkten Abschnitt der Zeitreihe. Die erste Methode birgt gewisse Risiken. Einerseits verleitet ein derartiger linearer Trend oft zur Extrapolation über eines der Enden der Zeitreihe hinaus, andererseits wird die Möglichkeit eines komplexeren Verhaltens der Reihe – etwa periodische oder aperiodische Schwankungen – vernachlässigt.

Es muss an dieser Stelle nicht betont werden, dass derartiges Vorgehen zu absurden Schlussfolgerungen führen kann. Aber auch zur Interpretation des Verlaufs innerhalb des Messzeitraums ist diese Verfahrensweise nicht unbedingt empfehlenswert, denn es besteht in jeder Zeitreihe die Möglichkeit, dass eine bestimmte tendenzielle Entwicklung sich umkehrt

oder – in weniger extremen Fällen – sich abschwächt oder verstärkt.

3.3.2 Trendtest nach MANN und KENDALL

Der MANN-KENDALL-Test, der sich in vielen einschlägigen Handbüchern finden lässt, ist ein einfacher Rangtest, dessen Testgröße C bis auf ein kleines, nichtsdestoweniger entscheidendes Detail der Testgröße U des MANN-WHITNEY-Test (Gleichung (3.19)) ähnelt:

$$C = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N D_{ij} \quad (3.23)$$

wobei die Definition der D_{ij} aus der Beziehung (3.19) zu übernehmen ist. C lässt sich für kleine N anhand der $1-\alpha$ -Quantile $K_{n;1-\alpha}$ der KENDALLschen Statistik überprüfen; für große N wird eine modifizierte Testgröße

$$C^* = \frac{C}{\sqrt{(N \cdot (N-1) \cdot (2N+5))/18}} \quad (3.24)$$

anhand der Quantile der Standard-Normalverteilung $N(0,1)$ gemessen. In der weiteren Bearbeitung wird mit C^* gearbeitet werden.

Es ist jedoch erforderlich, darauf hinzuweisen, dass mit Hilfe dieses Rangtests im Grunde nur entschieden wird, ob die Werte am Ende der Reihe durchschnittlich höher sind als die am Beginn. Die Überschreitung der gegebenen Signifikanzschwelle wird bei einem mehr oder weniger linearen Trend ebenso beobachtet werden wie bei einer abrupten Änderung – einem Bruchpunkt. Daher kann der MANN-KENDALL-Test, besonders wenn man obigen Bezug zum MANN-WHITNEY-Test berücksichtigt, eigentlich nur als Indikator einer Inhomogenität verwendet werden und müsste prinzipiell eher in den vorangegangenen Abschnitt aufgenommen werden; er liefert auch nur in Ausnahmefällen andere Ergebnisse als der MANN-WHITNEY-Test. Darüber hinaus ist er zur Bestimmung linearer Trends nur in geringem Maße von Nutzen. Vor allem kann er nur sehr bedingt als Maß für die Signifikanz eines linearen Trends verwendet werden.

3.3.3 Rückschreitende Trendanalyse bei linearem Trend

Beim Verfahren der rückschreitenden Trendanalyse steht die Annahme im Vordergrund, dass am Ende der zu untersuchenden Reihe ein Abschnitt mit nahezu linearem Trendverhalten steht. Die Frage, die zu klären ist, besteht darin, wann diese lineare Entwicklung eingesetzt hat.

Es soll in diesem Zusammenhang offen bleiben, inwiefern die Approximation eines linearen

Trends an und für sich sinnvoll sein kann. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass eine stückweise lineare Anpassung des Verlaufs zusätzliche Informationen zum Zeitreihenverhalten liefert. Die rückschreitende Trendanalyse dient genau diesem Zweck.

Gegeben sei eine Zeitreihe x_i ; $i = 1, \dots, N$. Dann wäre eine Menge von Trendgleichungen folgender Form zu suchen:

$$\begin{aligned} x_i(t) &= a_t + b_t(i) - N \\ i &= t, \dots, N \\ t &= 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (3.25)$$

und derjenige Zeitpunkt t zu ermitteln, bei dem die Größe

$$S_t = \frac{b_t}{MQ_t} \sqrt{\sum_{i=t}^N (i - i_t)^2} \quad (3.26)$$

maximal wird; t entspricht dann dem Beginn der linearen tendenziellen Entwicklung (*Trendbeginn*). Für den Fall, dass $t = 1$ ist, ergibt sich der lineare Trend für den gesamten Untersuchungszeitraum.

Es sei die Fehlerquadratsumme:

$$\begin{aligned} SQ_t &= \dots \\ &= \sum_{i=t}^N (x_i - (x_t - b_t \cdot i_t + b_t \cdot (i - t)))^2 \end{aligned} \quad (3.27)$$

und das mittlere Fehlerquadrat:

$$MQ_t = \frac{1}{N - t + 1} SQ_t \quad (3.28)$$

Die Schätzung der Parameter a_t und b_t soll dabei nur in der Anfangsphase nach der Methode der linearen Regression (Minimierung von SQ_t) erfolgen:

$$\begin{aligned} b_t^0 &= \frac{\sum_{i=t}^N (x_i - x_t) \cdot (i - i_t)}{\sum_{i=t}^N (i - i_t)^2} \\ x_t &= \frac{1}{N - t + 1} \sum_{i=t}^N x_i \\ i_t &= \frac{1}{N - t + 1} \sum_{i=t}^N i \end{aligned} \quad (3.29)$$

und

$$a_t^0 = x_t - b_t \cdot i_t \quad (3.30)$$

Wie aus Gleichung (3.27) hervorgeht, erhalten Werte, die stark von der Trendgeraden abweichen, überproportional großes Gewicht, Werte, die nahezu mit der Geraden übereinstimmen, ein zu geringes; Ursache hierfür ist die Minimierung der *Quadrate* der Abweichungen. Hinzu kommt die Tatsache, dass die auszuwertenden Größen in der Regel keine Normalverteilung befolgen — was als notwendige Bedingung für die Optimalität der Schätzung (3.15) gilt. Um einer derartigen Überbewertung von Ausreißern zu entgehen, ist — abweichend von der üblichen Vorgehensweise — für diesen Fall die Minimierung der *Fehlerabsolutsumme* zum Kriterium gewählt worden:

$$\begin{aligned} SA_t &= \dots \\ &= \sum_{i=t}^N |x_i - (x_t - b_t \cdot i_t + b_t \cdot (i - t))| \end{aligned} \quad (3.31)$$

SA_t ist durch Variation von b_t zu minimieren. Die Startnäherung wird durch Anwendung von Gleichung (3.29) bestimmt (Minimum-Quadrat-Schätzung). Danach erfolgt mit Hilfe iterativer Veränderung von b_t und anschließender adaptiver Berechnung von a_t nach (3.30) eine Minimierung des in Gleichung (3.31) definierten Kriteriums, und zwar so lange, bis die erzielten relativen Verbesserungen einen Wert von 10^{-5} unterschreiten. Ist die Iteration abgeschlossen, wird für den jeweiligen Zeitpunkt des Trendbeginns die aus der herkömmlichen Regressionsrechnung abgeleitete Testgröße nach Gleichung (3.26) berechnet.

Je größer der Betrag von S_t , um so mehr weicht der Anstieg der gefundenen Geraden (unter Berücksichtigung der Restvarianz der x_i) von Null ab. Da es sich bei dem zugrunde liegenden Modell aber nicht um die vorausgesetzte Minimum-Quadrat-Schätzung handelt, sind weitergehende Folgerungen bezüglich der Signifikanz unsicher. Dennoch wird das Kriterium aus Gleichung (3.26) im weiteren Bearbeitungsablauf dazu benutzt, den wahrscheinlichsten Trendbeginn zu ermitteln.

3.3.4 Zur Interpretation der Ergebnisse einer Trendanalyse

Erwägungen über die Unterschiede zwischen rückschreitend optimiertem Trend und dem Trend über den gesamten Untersuchungszeitraum führen zum Problem der Trendstabilität. Um die Stabilität des Trends über den Gesamtzeitraum im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung zu beurteilen, führt man am besten eine rückschreitende Trendanalyse entspre-

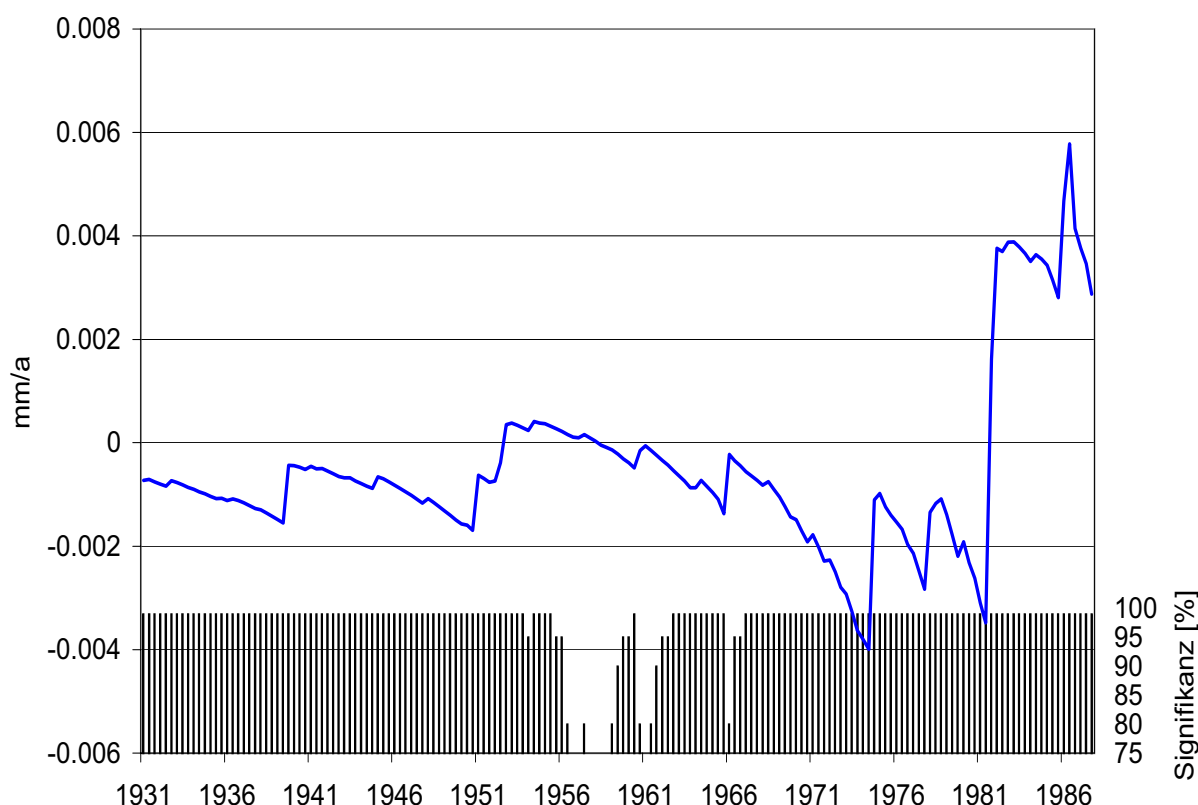


Abb. 3.1: Unteres Quartil, Verlauf des Trendbetrags und Signifikanz der Trends der Teilzeitreihen 1931/1997 bis 1987/1997, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst

chend dem in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Vorgehen für jeden Zeitpunkt $t = 1, \dots, N-1$ durch.

Es ist möglich, dass der entsprechend Gleichung (3.26) rückschreitend optimierte Trend der über die Gesamtperiode (Trendbeginn = 1931) ermittelten Tendenz widerspricht, d.h. in einem langfristig fallenden Trend einer der Auswertegrößen kann ein Abschnitt mit steigender Tendenz enthalten sein und umgekehrt. Dies führt zurück zu der bereits eingangs getroffenen Aussage, dass ein linearer Trend stets nur die idealisierte Anpassung für einen zeitlich begrenzten Ablauf beim Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Zuständen bzw. Prozessen darstellt. Steigende und fallende Trends können dabei unmittelbar aneinander anschließen.

Der Beginn des rückschreitend optimierten Trends stellt allerdings nur einen Teilaspekt der Analyse dar. Abb. 3.1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Trendbeträge b_t für das Untere Quartil im Gebiet D6 im Herbst (als Beispiel für die in den folgenden Kapiteln nicht weiter berücksichtigten Jahreszeiten).

Es zeigt sich, dass die Zeitreihe etwa bis zum Jahre 1951 eine signifikant fallende Tendenz aufweist. In den folgenden eineinhalb Jahrzehnten beginnende Trends sind in der Regel

nicht wesentlich von Null verschieden. Erst die in den siebziger Jahren beginnenden Trends sind deutlich fallend. Vom Jahre 1982 an kehrt sich dieser Verlauf jedoch innerhalb kürzester Frist um; die Reihe besitzt von diesem Zeitpunkt an einen signifikant zunehmenden Trend.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass der Betrag des Trendfaktors nicht unbedingt mit der Signifikanz gleichzusetzen ist; da die Definition der Testgröße S_t als normierender Faktor die Reststreuung beinhaltet, gilt also nicht der Trendbeginn im Oktober 1986 als Optimum, sondern der September 1982.

Zum Vergleich sind in den beiden folgenden Abbildungen 3.2 und 3.3 die Reihe der fünfjährig übergreifenden Mittelwerte des Unteren Quartils im Herbst mit dem Trend über den Gesamtzeitraum und mit dem rückschreitend optimierten Trend dargestellt.

Abb. 3.2 zeigt die abnehmende Tendenz, die immerhin während der 67 Jahre des Untersuchungszeitraums 67% des Mittelwertes beträgt. Andererseits ist aber unübersehbar, welche große Schwankungsbreite die Quartilwerte haben. Trotz der sichtbaren langfristigen Abnahme kommt es zwischenzeitlich (1972 – 1983) zu deutlichen Erhöhungen.

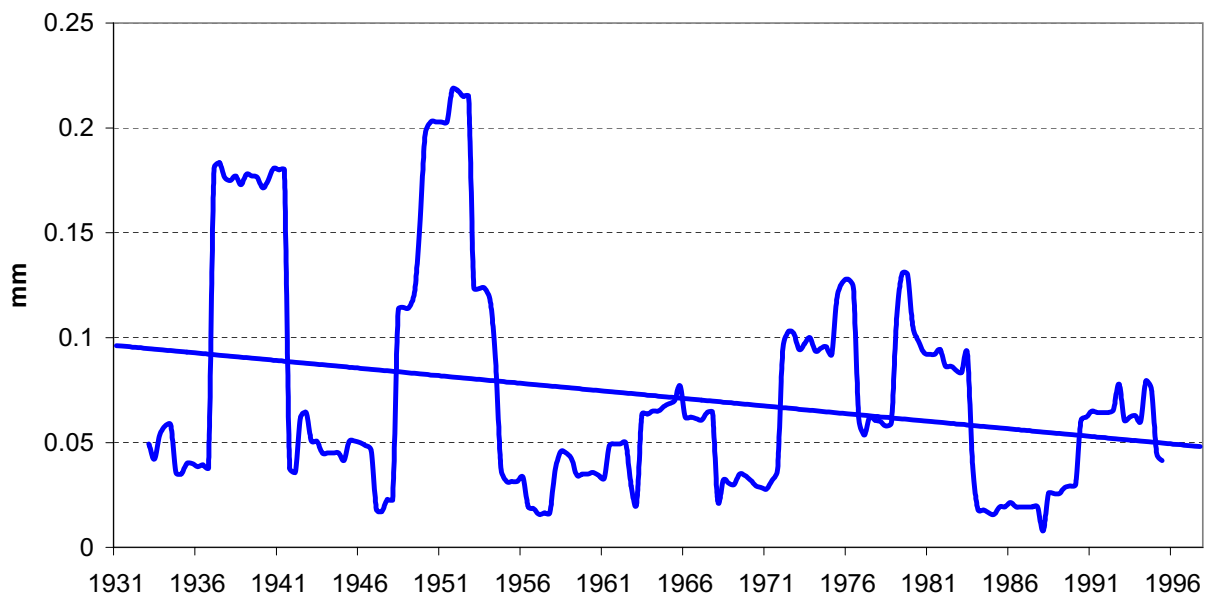


Abb. 3.2: Unteres Quartil, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst

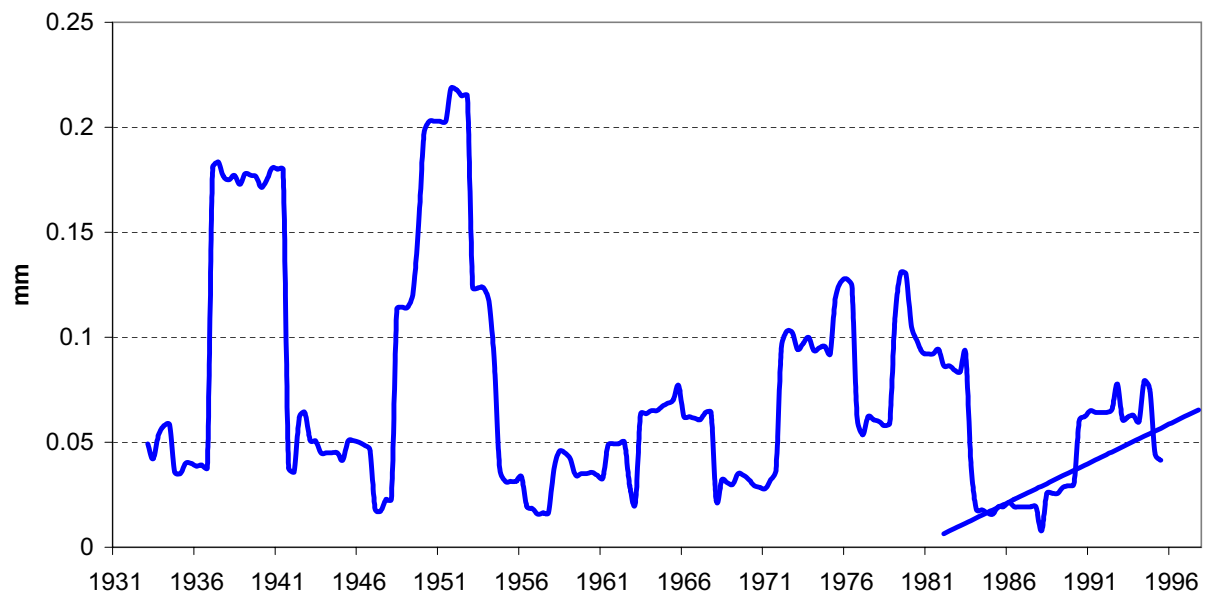


Abb. 3.3: Unteres Quartil, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und rückschreitend optimierter Trend, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst

Es ist daher nicht offensichtlich, ob die geringfügige Anhebung der Werte des Unteren Quartils in den neunziger Jahren, die in Abb. 3.3 zur Anpassung des rückschreitend optimierten Trends führen, nicht auch einen derartigen vorübergehenden Effekt darstellt.

Andererseits ist natürlich eine beliebige lineare Fortführung des Trends über den Gesamtzeitraum nicht sinnvoll — etwa im Jahre 2070 ergäben sich negative Werte, was sachlich unmöglich ist. Die Synthese der beiden Darstellungen lässt mithin nur einen Schluss zu: Der

in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Rückgang der unteren Quartilwerte verlangsamt sich und kommt zum Stillstand, wobei eine neuerliche Zunahme der starken Fluktuationen in der Zeitreihe, die auch in einen positiven Trend übergehen kann, nicht auszuschließen ist. Eine weitergehende Interpretation wäre inhaltlich wenig sinnvoll. Zusätzliche Rückschlüsse auf die Häufigkeit geringfügiger Niederschläge müssten dann auf Grund der Reihen von Medianwerten und Unterschreitungshäufigkeiten gezogen werden.



4 Ergebnisse der Homogenitäts- und Bruchpunktanalyse

4.1 Allgemeine Feststellungen

Die wichtigsten Fragen in Bezug auf natürliche Inhomogenitäten in den Datenreihen sind in der Regel: Wann, wie stark und welcher Art sind die beobachteten Veränderungen gewesen?

Die am vordringlichsten gestellte Frage ist die nach dem Zeitpunkt. Sie darf aber nicht unabhängig von dem Erfordernis der Signifikanz erhoben werden. Von den insgesamt 495 ausgewerteten Monatswertreihen (5 Auswertegrößen $\times$ 3 Auswerteabschnitte $\times$ 33 Gebiete) haben sich — abgesehen von den im Zusammenhang mit dem ALEXANDERSSON-Test auftretenden nicht verifizierbaren Schein-Inhomogenitäten am Beginn bzw. am Ende einer jeden Reihe — 184 Reihen auf einem Signifikanzniveau von wenigstens 80% (nach dem MANN-WHITNEY-PETTIT-Test, denn für die übrigen Tests lagen die Schwellenwerttabellen für 80% nicht vor) als nicht hinreichend homogen erwiesen. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle stimmte der nach den unterschiedlichen in Abschnitt 3.2 beschriebenen Verfahren bestimmte Zeitpunkt der Bruchstellen überein; sofern Unterschiede im Zeitpunkt feststellbar waren, betrugen sie in der Regel nur wenige Monate bzw. Jahre.

Der mit Hilfe des ALEXANDERSSON-Trendtests bestimmte gleitende Übergang zwischen den beiden Mittelwertniveaus $x_{(1)}$ und $x_{(2)}$ dauerte in der Regel nicht länger als zwei Jahre; "echte" Trends mit einer Andauer von mehr als fünf Jahren, d.h. in der Größenordnung von wenigstens 10% der Reihenlänge, wurden mit diesem Verfahren in keinem Falle ermittelt.

Trägt man die Häufigkeit der Bruchstellen über der Zeitachse auf, so ergibt sich das in Abb. 4.1 vermittelte Bild, in dem die jährliche Anzahl der insgesamt 184 Bruchpunkte über dem Jahr ihres Auftretens dargestellt ist. Vergleicht man die Zeitpunkte des Auftretens dieser Inhomogenitäten, so lassen sich drei Häufungen identifizieren.

Der erste Häufungszeitraum liegt in den Jahren vor 1947. Er umfasst 17, also etwa ein Fünftel aller als signifikant ausgewiesenen Brüche. In diesem Zusammenhang ist an die Erläuterungen aus Abschnitt 2.2 zu erinnern; infolge von Änderungen in der Stationsdichte in dieser Zeit — bedingt durch die Reorganisation der Messnetze in den dreißiger und die Kriegseinwirkungen in den vierziger Jahren — können nämlich künstliche Inhomogenitäten verursacht werden, die keinerlei natürliche Ursache haben.

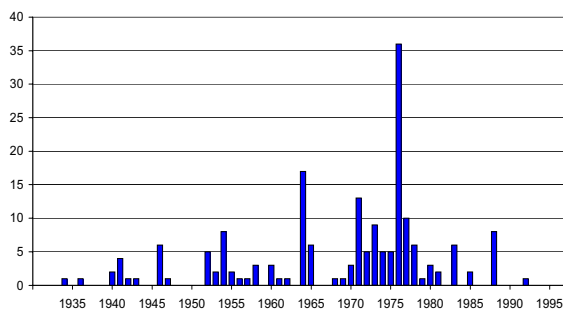


Abb. 4.1: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in allen 495 untersuchten Reihen (3 Auswertezeiträume mit je 165 Reihen)

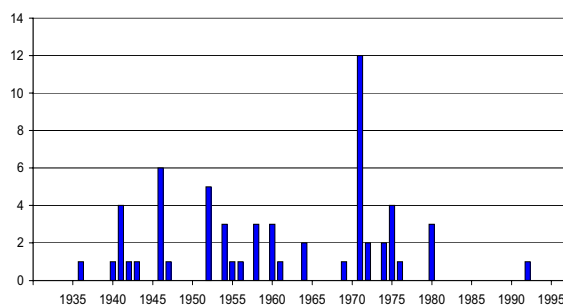


Abb. 4.3: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen im Sommer

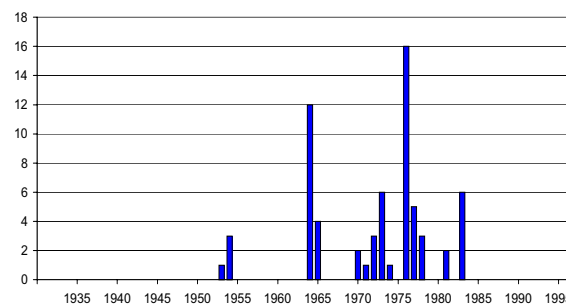


Abb. 4.2: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen bei ganzjähriger Auswertung

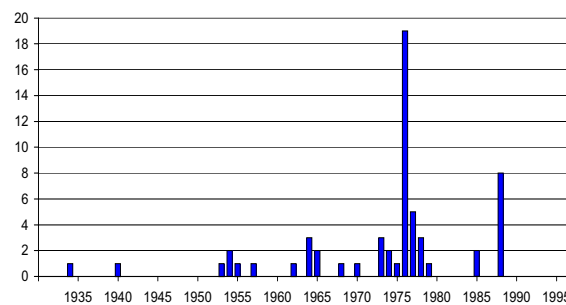


Abb. 4.4: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen im Winter

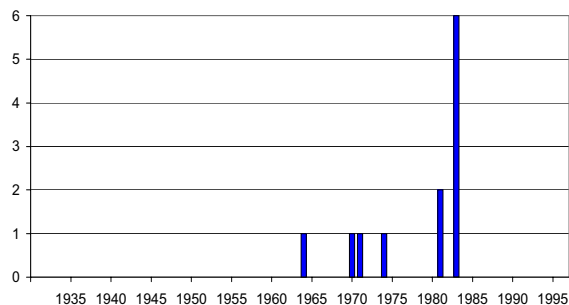


Abb. 4.5: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 33 untersuchten Reihen des Unteren Quartils bei ganzjähriger Auswertung

Die anderen beiden Häufungen von Inhomogenitäten liegen in den Jahren zwischen 1952 und 1965 sowie zwischen 1970 und 1980, mit einem Maximum von 36 Bruchpunkten 1976.

Vergleicht man, in welchen Untersuchungszeiträumen die meisten Inhomogenitäten auftreten, so lässt sich feststellen, dass die Zahl der Bruchpunkte bei ganzjähriger Auswertung 65 beträgt (Abb. 4.2), im Sommer 60 (Abb. 4.3) und im Winter 59 (Abb. 4.4); mithin keiner der Zeiträume durch besonders viele bzw. wenige Brüche herausragt. Bei ganzjähriger Auswertung tritt allerdings keiner der Brüche in dem „verdächtigen“ Zeitraum vor 1950 auf und die Häufigkeitsgipfel liegen in den Jahren 1964 und 1965 sowie zwischen 1970 und 1978. Im Sommer dagegen lassen sich — mit Ausnahme des Maximums 1971 keine eindeutigen Häufigkeitsgipfel markieren, und auch im Winter sind die Brüche stärker über den Untersuchungszeitraum gestreut, wenn auch die Häufung um das Jahr 1976 deutlicher auffällt.

Abschließend seien noch exemplarisch die entsprechenden Häufigkeitsverteilungen von zwei Einzelgrößen vorgestellt.

Abb. 4.5 zeigt das Eintrittsjahr der Brüche in den Reihen des Unteren Quartils bei ganzjähriger Auswertung. Bemerkenswert hierbei ist die Tatsache, dass das Häufigkeitsmaximum 1983 (6 Reihen) eindeutig in der Gesamtstatistik in Abb. 4.1 wieder erkannt werden kann. Die übrigen 6 Brüche liegen in den 20 Jahren vor diesem Zeitpunkt.

Die Bruchpunkte in den Reihen der monatlichen Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d (Abb. 4.6) haben ihre größte Häufigkeit im Jahre 1976 — mit 7 von insgesamt 36 Bruchpunkten. Die Verteilung der 9 weiteren Inhomogenitäten ist der in Abb. 4.2 vergleichbar.

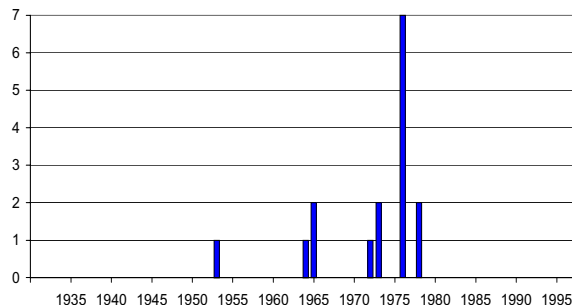


Abb. 4.6: Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 33 untersuchten Reihen der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung

4.2 Ergebnisse der Homogenitätsprüfung

4.2.1 Ganzjährige Auswertungen

Zunächst ist festzustellen, dass bei der ganzjährigen Auswertung der Reihen, d.h. ohne Trennung der Jahreszeiten, keiner der beschriebenen „zweifelhaften“ Termine vor 1948 auftritt. Die häufigsten Eintrittsdaten aber — mehr als die Hälfte der signifikanten Bruchpunkte — liegen in den Jahren 1964 (12) und 1976 (16). Die Zusammenstellung aller Termine für signifikante Bruchpunkte findet sich in Tabelle 4.1.

Andere Zeitpunkte, sofern sie nicht zwischen diesen beiden Daten liegen, treten nur vereinzelt auf, etwa 1954 bzw. 1983. Eine deutliche Bevorzugung einzelner Auswertegrößen oder Gebiete bei diesen frühen bzw. späten Brüchen ist vor allem in dem bereits erwähnten Falle des Unteren Quartils nachweisbar. Die drei Bruchpunkte von 1954 lassen sich zwar der Standardabweichung zuordnen, doch in den meisten Reihen ändert sich diese Größe erst in den sechziger und siebziger Jahren.

Dass derartige Bruchstellen nicht zwangsläufig als langfristige Verringerung oder Erhöhung der jeweiligen Auswertegröße zu interpretieren sind, zeigt Abb. 4.7.

Die Prüfung der Reihe durch die angewandten Tests sichert zwar einen Bruch im Jahre 1964 auf dem Signifikanzniveau von 86%, doch die Betrachtung der fünfjährig übergreifenden Mittelwerte zeigt vor allem die große Variabilität der Tagesmittelwerte im Mittelfränkischen Becken. Ob es sich bei der Verschiebung der Erwartungswerte um eine langfristige oder nur eine vorübergehende Änderung im Verhalten des Tagesmittelwerts handelt, muss dahingestellt bleiben.

Ein prognostischer Wert kommt der Diagnose dieser Inhomogenität mithin nicht zu, vor allem, da die gleiche Reihe bei der Trendanalyse (vgl. Kapitel 5) keine signifikante tendenzielle



Tabelle 4.1 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1		1976			
	D2		1972			
	D3		1973			
	D4	1964	1973			
	D5	1964	1954	1964		
	D6		1977	1983		1973
	D7		1973			
	D8	1964	1976	1983		1978
	D9		1976			1976
	D10		1976			1976
	D11		1954			
	D12	1964	1973			1976
	D13					
	D14		1954			1953
	D15		1978	1981		1973
	E1	1964	1965			1965
	M1	1964	1965	1971		1976
	M2	1964	1976	1981		1976
	M3			1974		
	M4		1964	1970	1970	1964
	M5			1983		
	M6			1983		
	N1	1964	1976			1976
	N2		1977	1983		
	N3	1964	1976			1965
	N4		1977			
	N5			1983		
	N6		1977			1978
	R1		1972			
	R2		1976			1976
	R3					
	R4		1977			
	R5		1976			1972

Entwicklung zeigt. Der Grund für diesen Mangel an Eindeutigkeit besteht in den relativ hohen Mittelwerten in den Jahren vor 1945; dadurch lässt sich keine Klarheit darüber gewinnen, ob die Änderungen tendenziellen oder quasiperiodischen Charakter tragen.

Erhöhte Werte in den ersten 15 Jahren der Reihe zeigen sich aber auch bei den anderen Auswertegrößen, etwa bei der Standardabweichung (Abb. 4.8). Allerdings ist hier – entsprechend dem hohen Signifikanzniveau von 98.5 % an der Bruchstelle 1976 – das Verhältnis von Mittelwertdifferenz und Variationsbreite günstiger als beim Tagesmittelwert. Der Vergleich mit den Trendwerten in Kapitel 5 zeigt, dass sich bei dieser Reihe auch sein signifikanter linearer Trend nachweisen lässt.

Zusammenfassend lässt sich einschätzen, dass das Gesamtbild der Testergebnisse auf eine Streckung der Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Gebietsniederschlags in den meisten Gebieten hindeutet: Die Mittelwerte erhöhen sich zu einem relativ frühen Zeitpunkt, 1964 – wenn auch nur um relativ geringe Beträge und nur in neun Gebieten mit hinreichender Signifikanz. In der überwiegenden Mehrzahl der Gebiete nehmen etwa ein Jahrzehnt später die Standardabweichungen zu. Die Schiefe der Verteilung vergrößert sich also. Der Rückgang der Unteren Quartile in etwa einem Drittel der Gebiete passt ebenso in dieses Bild wie der Zuwachs der Häufigkeit von Tagen mit Gebietsniederschlägen von mehr als 15 mm/d. Die Menge der Niederschläge nimmt also bei ganzjähriger Analyse nur geringfügig zu, dafür erhöht sich die Variabilität unübersehbar, das heißt, die Häufigkeit ergiebiger Gebietsniederschläge erhöht sich im Vergleich zur Häufigkeit von Tagen mit geringfügigem Niederschlag.

4.2.2 Jahreszeiten

Im Sommer ist vor allem ein leichter Rückgang der Niederschläge zu verzeichnen, der sich vorrangig in den Reihen von Tagesmittelwert und Median nachweisen lässt.

Ein Beispiel für die in Tabelle 4.2 zusammengestellten Ergebnisse soll auch in graphischer Form erfolgen, und zwar für die Medianwertreihe im Gebiet R1 (Abb. 4.9).

Ähnliches Verhalten zeigen auch das Untere Quartil und das Tagesmittel: Die Mehrzahl der Tageswerte des Gebietsniederschlags verringert sich.

Damit ist allerdings eine Zunahme der Variabilität nicht auszuschließen, wie sich anhand der Inhomogenitäten in den Reihen von Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d schließen lässt. Jedoch verzeichnen nicht alle dieser Reihen einen Zu-

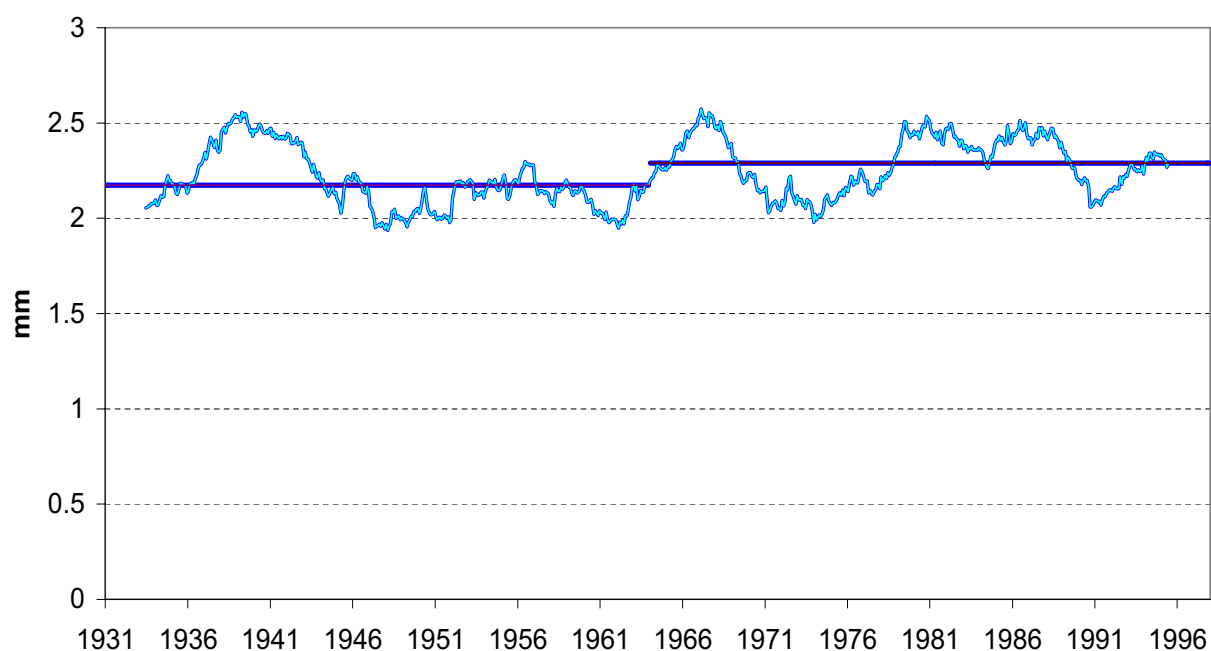


Abb. 4.7: Tagesmittelwert, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet M2 (Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung

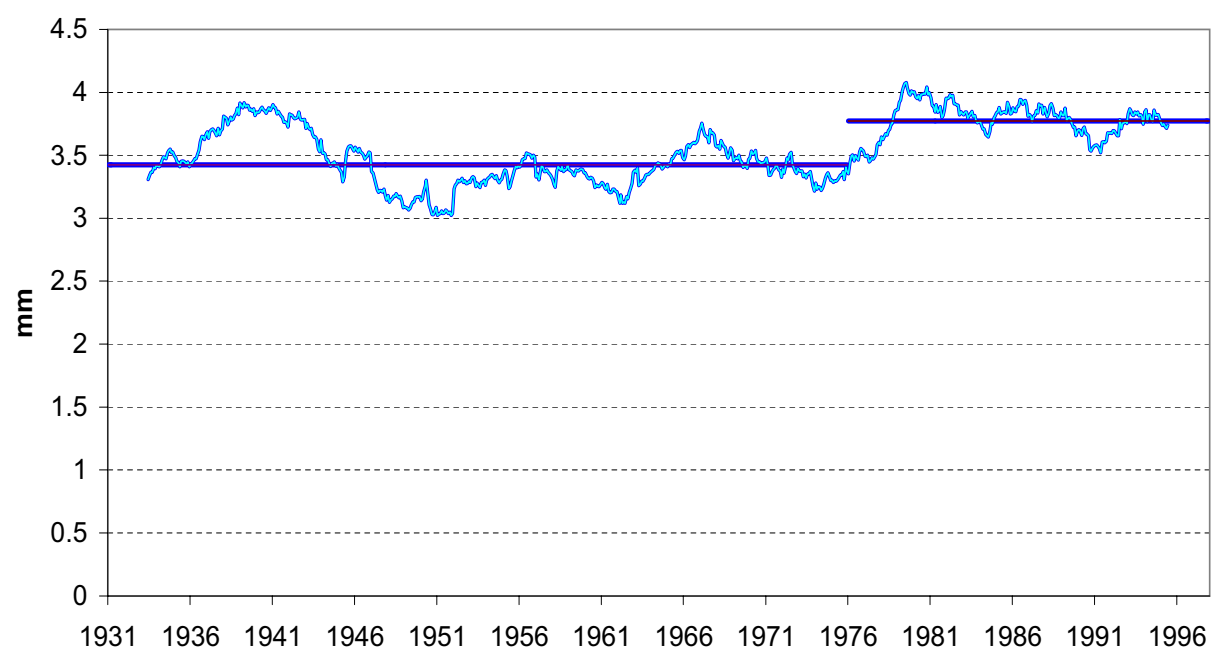


Abb. 4.8: Standardabweichung, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet M2 (Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung

wachs; darüber hinaus liegt eine nicht zu vernachlässigende Anzahl der entsprechenden Bruchpunkte in den „verdächtigen“ Jahren vor 1950, so dass eine abschließende Beurteilung ohne Vergleich mit den Ergebnissen der Trendanalyse unsicher bleibt.

Einen Überblick über die Veränderungen im Winter gibt Tabelle 4.3. Am Auffälligsten ist hier die Veränderung bei der Standardabweichung in 20 von 33 Fällen, gefolgt von der bei

der Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwertes von 15 mm/d in 17 Fällen.

Abb. 4.10 zeigt exemplarisch eine dieser Reihen. Trotz der starken Variationen, die selbst in der Reihe der fünfjährig übergreifenden Mittelwerte noch zu erkennen sind (vgl. dazu Abb. 2.6 auf Seite 15), ist die Erhöhung der Überschreitungshäufigkeiten unübersehbar.

Auch wenn Tagesmittel und Median in mehr als zwei Dritteln der Gebiete keine derart sig-



Tabelle 4.2 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte im Sommer

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1			1960	1980	1952
	D2	1971				
	D3	1954				1955
	D4	1971				1992
	D5		1964		1952	
	D6	1958				1946
	D7	1958				
	D8	1958		1980		
	D9	1941			1952	1940
	D10	1961				1942
	D11		1964		1971	
	D12		1954			1976
	D13					
	D14	1952				
	D15					
	E1	1954				
	M1	1975		1974	1971	
	M2					1946
	M3	1975	1946	1971		1947
	M4	1972		1972	1971	
	M5	1971	1946	1956		1941
	M6	1975	1946	1971		
	N1					
	N2			1974	1971	1969
	N3			1971		
	N4			1971	1971	
	N5			1975		1941
	N6				1952	1941
	R1	1946			1960	1943
	R2				1960	
	R3			1936		
	R4					
	R5					1980

Tabelle 4.3 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte im Winter

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1	1976	1976			
	D2	1976	1976			
	D3			1985	1988	
	D4	1977	1973			1954
	D5				1988	
	D6		1973			
	D7					1962
	D8	1964	1976			1964
	D9		1976		1988	1979
	D10				1988	1957
	D11					1953
	D12		1973			
	D13					
	D14					
	D15		1976		1988	
	E1	1974	1977			1965
	M1	1978	1976	1968	1955	1964
	M2		1976			
	M3					1985
	M4		1978			1965
	M5					1940
	M6					
	N1	1976	1976	1988		1954
	N2					1977
	N3	1976	1976	1970		1977
	N4		1976			
	N5		1976			
	N6		1975		1988	1978
	R1					
	R2	1976	1976		1934	1976
	R3					
	R4		1976		1988	
	R5		1974			1977

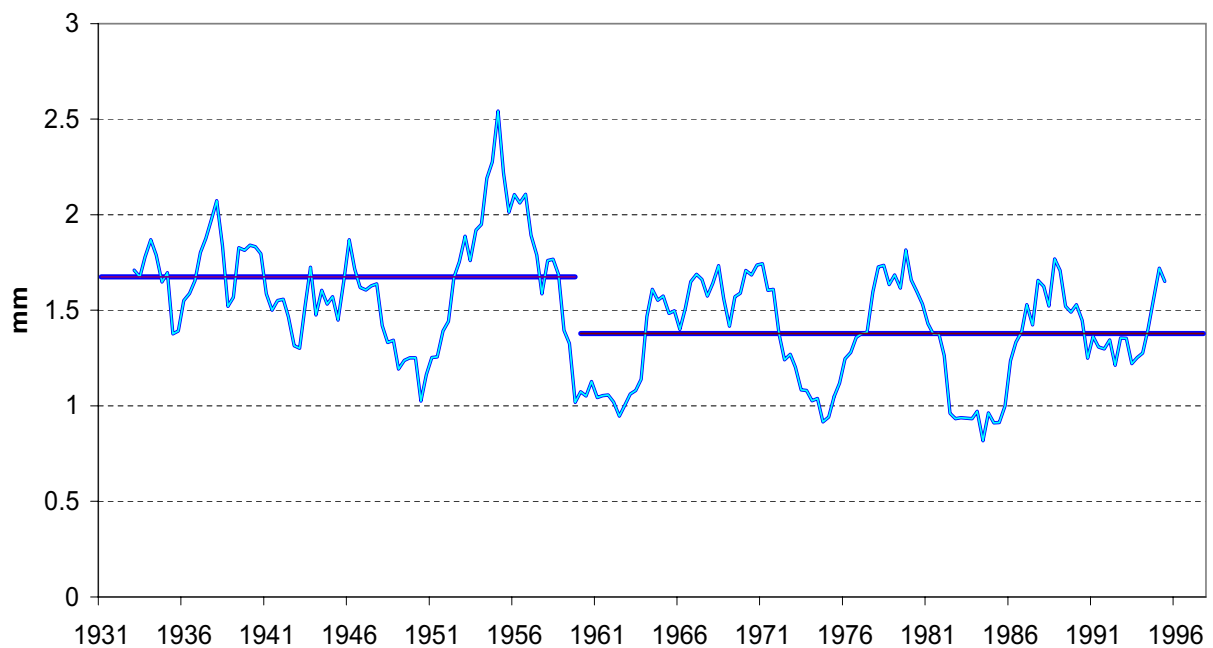


Abb. 4.9: Median, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet R1 (Hochrhein / Bodensee) im Sommer

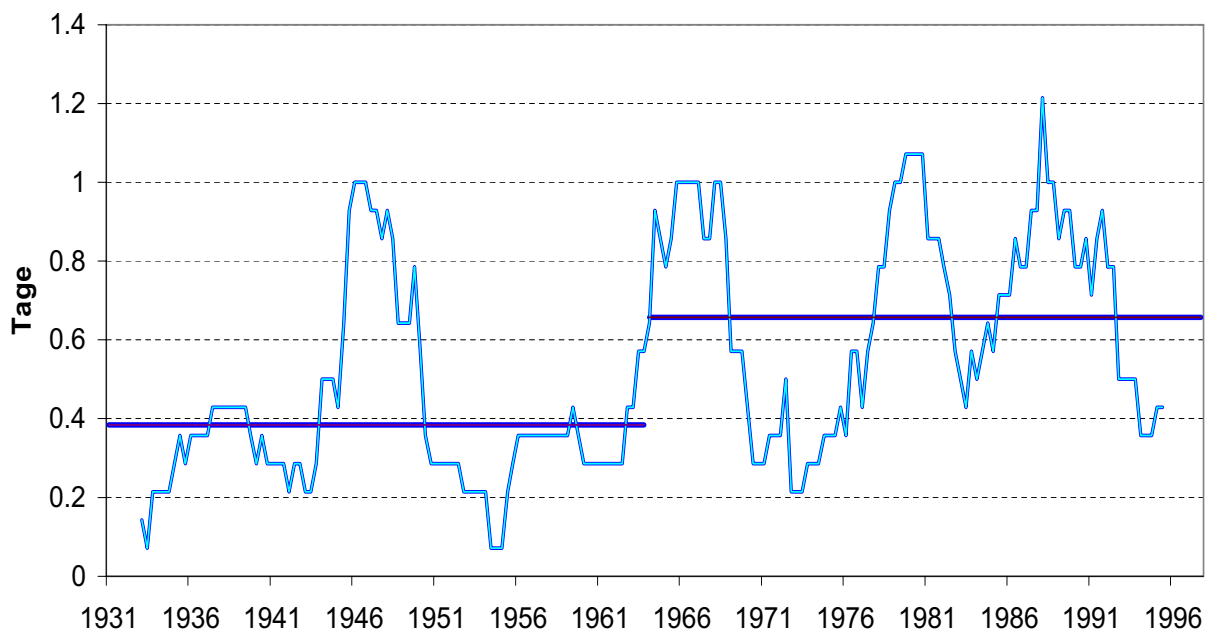


Abb. 4.10: Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet D8 (Naab) im Winter

nifikanten Inhomogenitäten aufweisen, bleibt die Verstärkung der Niederschläge im Winter unübersehbar. Die im folgenden Kapitel über die

lineare Trendanalyse zu präsentierenden Untersuchungen werden diesen Befund der Bruchpunktanalyse bestätigen.



5 Trendanalyse

5.1 Allgemeines

Bei der linearen Trendanalyse sind prinzipiell zwei verschiedene Arten des Vorgehens denkbar. Zum einen lassen sich Trends über die gesamte Zeitreihe, die analysiert wird, das heißt, über den gesamten Messzeitraum bestimmen.

Zum anderen besteht die Möglichkeit, einen linearen Trend nur über einen Teil der Zeitreihe zu berechnen, in dem dieser Trend relativ stabil ist, das heißt, in dem die Signifikanz ein zeitweiliges Optimum erreicht. Ist das Ende dieses Zeitraums mit dem Ende der verfügbaren Zeitreihe identisch, spricht man von einem rückschreitend optimierten Trend.

Dieser rückschreitend optimierte Trend lässt sich dahingehend interpretieren, dass er zeigt, *wann* eine am Ende der Zeitreihe andauernde Tendenz eingesetzt hat.

Es muss dabei nochmals darauf hingewiesen werden, dass eine Extrapolation der Trendgeraden über eines der Enden der Zeitreihe hinaus nicht zulässig ist. Der Vergleich des Gesamttrends mit dem rückschreitend optimierten Trend lässt aber Folgerungen darüber zu, ob sich ein genereller Trend verstärkt oder abgeschwächt hat, oder ob sich eine anfangs vorhandene Tendenz womöglich sogar umgekehrt hat.

Analog zum vorangehenden Kapitel lässt sich auch die Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends in Abhängigkeit vom Eintrittsjahr darstellen. Abb. 5.1 zeigt die entsprechende Statistik für alle 495 im Rahmen der vorliegenden Arbeit analysierten Reihen.

Anders als im Falle der signifikanten Inhomogenitäten lässt sich ein klar abgegrenzter Häufigkeitssgipfel für den Beginn dieser rückschreitend optimierten tendenziellen Entwicklungen nicht finden. Die einzige Einschränkung bei dieser Auswertung liegt in der Mindestlänge der Trends von zehn Jahren; das heißt, der

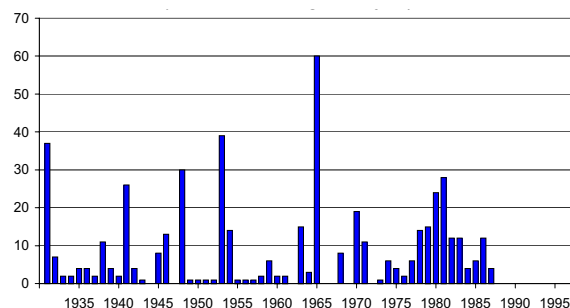


Abb. 5.1: Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends in allen 495 untersuchten Reihen

Trend musste spätestens im Jahre 1987 einsetzen.

Zwar beginnen viele Trends zwischen 1975 und 1985, aber die Anzahl der Trends, die in diesem Zeitraum ihren Anfang nehmen, entspricht nur etwa einem Drittel aller Reihen. Auf den ersten Blick fallen daneben die Spitzen von 1931, 1941, 1948, 1953 und vor allem 1965 auf, die der Häufung um 1981 durchaus ebenbürtig sind.

Auch eine Trennung der Reihen nach dem Auswertzeitraum vereinfacht die Statistik nicht in hinreichendem Maße: Bei der ganzjährigen Auswertung etwa (Abb. 5.2) tritt zwar ein deutliches Maximum im Jahre 1965 hervor, das etwa drei Vierteln der in der Gesamtstatistik enthaltenen Trends mit Beginn zu diesem Zeitpunkt entspricht, doch diese 44 Fälle entsprechen nur einem Viertel der Reihen; daneben zeigen sich Maxima 1941 und 1948.

Analog sind die Ergebnisse im Sommer wie im Winter. Auch hier stehen Maxima, die sich in der Gesamtstatistik leicht wiederfinden lassen, doch die Zahl der Fälle hinter diesen Maxima macht keinen essentiellen Anteil aus.

Erst wenn man einzelne Größen in bestimmten Auswertzeiträumen betrachtet, wie etwa das Untere Quartil bei ganzjähriger Auswertung (Abb. 5.5), finden sich eindeutige Resultate: In zwei Drittel aller Reihen beginnt 1965 eine signifikante tendenzielle Entwicklung. Dass dies aber nicht bei jeder Größe so ist, zeigt die Abb. 5.6 für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d; die meisten Trends beginnen zwar vor 1950, es liegt jedoch keine Eindeutigkeit für ein bestimmtes Jahr vor.

Es ist mithin auszuschließen, dass die vermuteten klimatischen Veränderungen einem einfachen Schema folgen. Es müssen daher die Tendenzen im Einzelnen betrachtet werden.

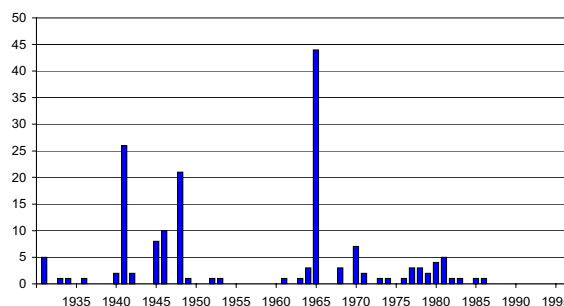


Abb. 5.2: Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung

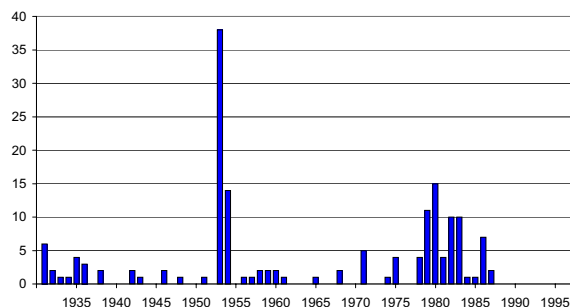


Abb. 5.3: Häufigkeit des Beginns der rück-schreitend optimierten Trends im Sommer

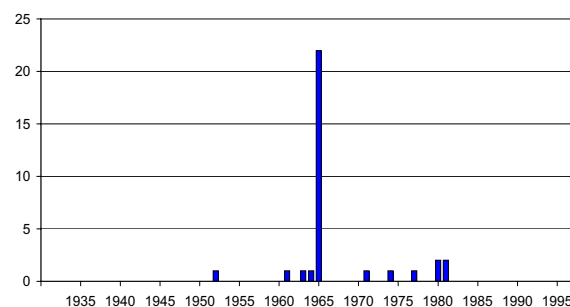


Abb. 5.5: Häufigkeit des Beginns der rück-schreitend optimierten Trends des Unteren Quartils bei ganzjähriger Auswertung

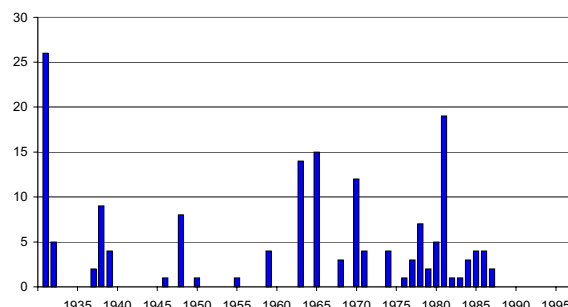


Abb. 5.4: Häufigkeit des Beginns der rück-schreitend optimierten Trends im Winter

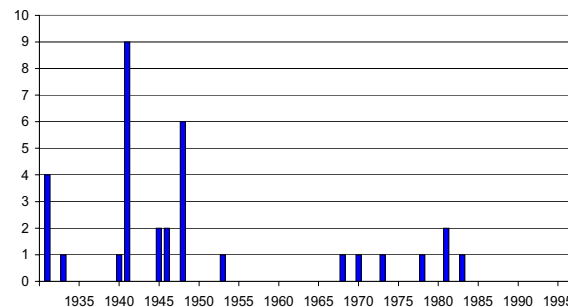


Abb. 5.6: Häufigkeit des Beginns der rück-schreitend optimierten Trends der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung

5.2 Trendanalyse für die Gesamtperiode

In den auf den folgenden Seiten eingefügten Tabellen sind die Signifikanz der ermittelten linearen Trends, die 67-jährigen Mittelwerte der Reihen sowie die absoluten und relativen Beträge der Veränderungen zusammengestellt.

Da die jährlichen Trendbeträge naturgemäß numerisch sehr klein sind, wurden sie der Anschaulichkeit wegen mit dem Faktor 100 multipliziert, also auf den Zeitraum von einem Jahrhundert normiert — auch wenn dies zunächst dem zu Beginn des Kapitels geäußerten Grundsatz, nicht über das Ende einer Reihe hinaus zu extrapolieren, zu widersprechen scheint. Allein, ein Änderungsbetrag von fünf Tausendstel Millimetern pro Jahr veranschaulicht die vonstatten gehende Änderung — in diesem Falle die Vergrößerung der Standardabweichung im Gebiet D1 — weit weniger als die Angabe 0.55 mm entsprechend 12.6 % in 100 Jahren bei einem langjährigen Mittel von 4.35 mm (s. Tabelle 5.3 und 5.4).

Tabelle 5.1 lässt erkennen, dass bei ganzjähriger Auswertung nur 6 der 33 Tagesmittelwertreihen signifikante Trends aufweisen — in jedem Falle eine Zunahme von deutlich mehr als 10 % in 100 Jahren. In den übrigen Gebieten nehmen die Niederschläge zwar in der Regel —

mit Ausnahme einiger im Nordwesten gelegenen Gebiete — zu, doch sind die Beträge des Anstiegs vergleichsweise gering.

Beispielhaft sei hier die Reihe aus dem Gebiet N1 am Oberlauf des Neckar gezeigt (Abb. 5.7). Im Vergleich zum langjährigen Mittelwert von 2.56 mm ist die Änderung von 0.4 mm für den Zeitraum eines Jahrhunderts zwar gering, doch der Anstieg lässt sich trotz der Schwankungsbreite der übergreifenden Mittel noch deutlich erkennen. Allerdings ist dies, wie bereits gesagt, nur in einem Teil der Gebiete so evident.

Dagegen wächst die Variabilität in nahezu allen Gebieten. Das ist nicht nur an der Zunahme der Standardabweichung um 10 % bis 30 % in etwa jedem zweiten Gebiet erkennbar. Vor allem das Untere Quartil geht in 28 der 33 Gebiete signifikant zurück, und zwar um nicht unbeträchtliche 20 % bis 90 % in 100 Jahren. Positive Trends treten zwar auch auf, aber nur in vier Gebieten, davon dreimal signifikant; eine räumliche Präferenz ist nicht zu erkennen. Auf Grund der starken Variabilität des Unteren Quartils sind derartige Ausnahmen auch nur mit Vorbehalt zu bewerten. Einzelne Jahre mit überdurchschnittlicher Niederschlagshäufigkeit können eine solche Statistik leicht verändern; daher sollte vorrangig von einem allgemeinen Rückgang ausgegangen werden.

Als Beispiel sei die Reihe aus dem Isargebiet

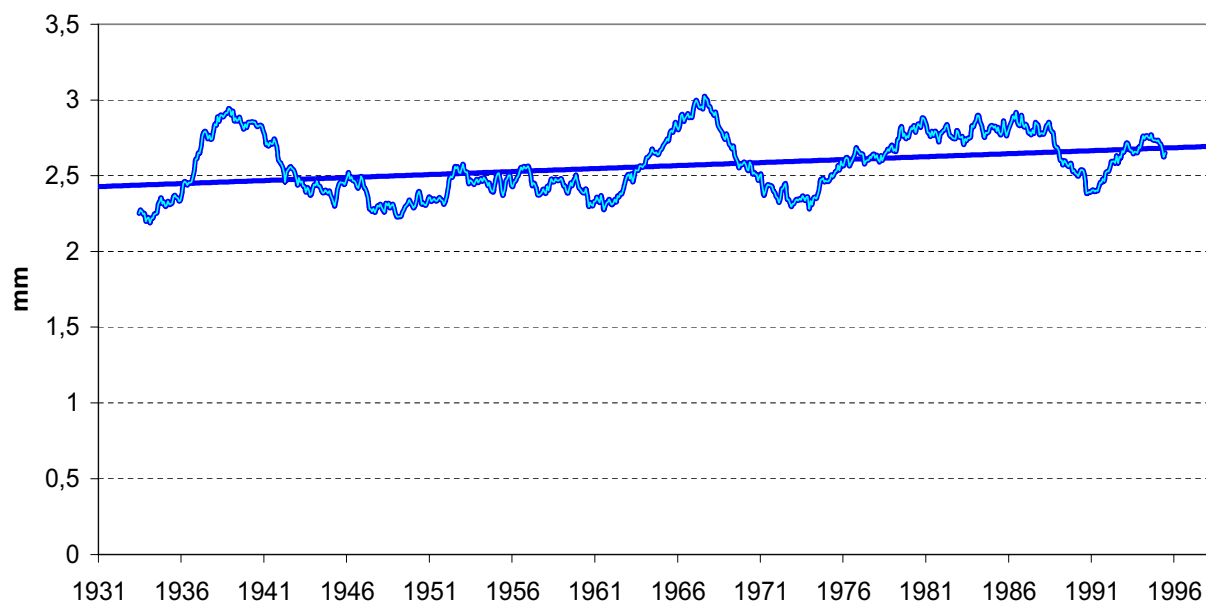


Abb. 5.7: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet N1 (Neckar oberhalb Fils) bei ganzjähriger Auswertung

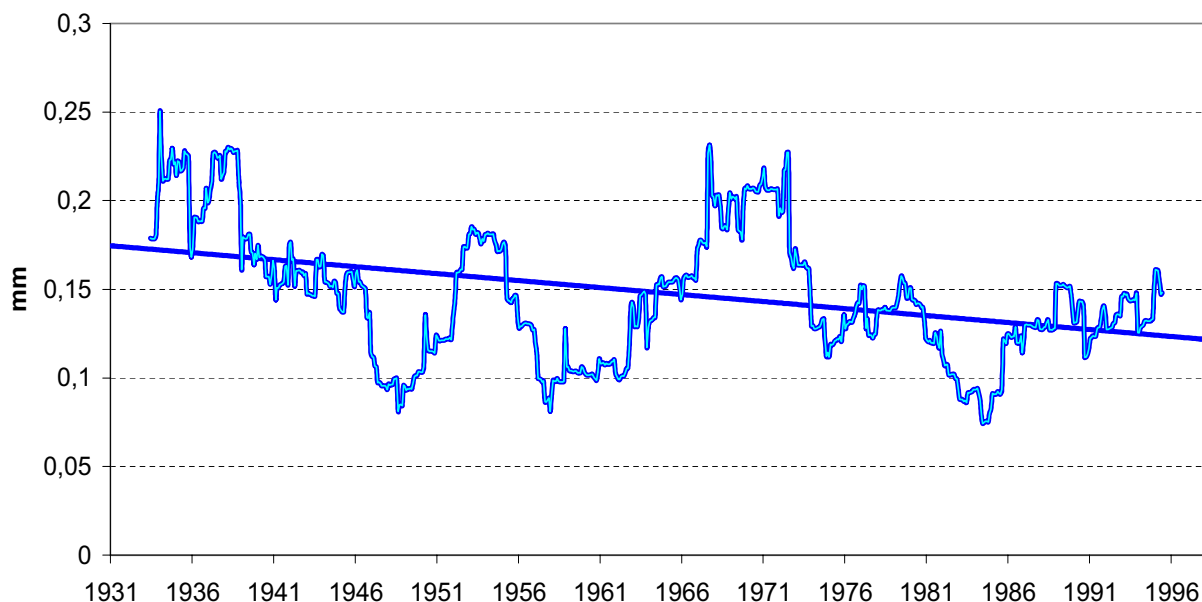


Abb. 5.8: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Unteren Quartils über den Gesamtzeitraum im Gebiet D11 (Isar) bei ganzjähriger Auswertung

gezeigt (Abb. 5.8). Hier erweist sich das Maximum der im Übrigen sehr variablen Reihe in den dreißiger Jahren höher als das um 1970. Wäre dieses erste Maximum durch die relativ wenigen verfügbaren Reihen in diesem Zeitraum (vgl. Abschnitt 2.2) etwas niedriger geschätzt worden, ergäbe sich möglicherweise auch hier einer der wenigen positiven Trends.

Ein weit verbreiteter Rückgang ist auch beim Median zu erkennen; allerdings ist diese Verringerung nur in sieben Gebieten signifikant.

Neben der Abnahme der beiden Quantile

kommt es auf der anderen Seite zu einer Zunahme der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d in nahezu allen Gebieten. Nur vier Gebiete an Main und Neckar weisen signifikante Rückgänge auf; doch auch hierbei gilt, was vom Unteren Quartil zu vermerken war: Einzelne Ereignisse können in lokal begrenzten Bereichen die Statistik stark verändern.

Dennoch ist durchaus von einer verbreiteten Erhöhung dieser Auswertegröße zu sprechen. Beispielhaft sei hierfür die Reihe vom Oberlauf des Mains gezeigt (Abb. 5.9). Auch diese Reihe

Tabelle 5.1 Signifikanz der Trends $\geq 80\%$ über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$		
	D2		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	D3			$\geq 90\%$		
	D4		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	D5			$\geq 99\%$		
	D6		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
	D7			%		
	D8	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$	$\geq 99\%$		$\geq 99\%$
	D9		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	D10		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	$\geq 80\%$
	D11			$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	D12	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$		$\geq 99\%$
	D13			$\geq 99\%$		
	D14			$\geq 99\%$		
	D15			$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	E1	$\geq 90\%$	$\geq 90\%$	$\geq 95\%$		$\geq 99\%$
	M1	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$	$\geq 99\%$		$\geq 95\%$
	M2		$\geq 80\%$	$\geq 95\%$		$\geq 90\%$
	M3			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
	M4		$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 99\%$	$\geq 95\%$
	M5			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$
	M6			$\geq 99\%$		
	N1	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$		$\geq 90\%$
	N2			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
	N3	$\geq 80\%$	$\geq 90\%$	$\geq 99\%$		$\geq 99\%$
	N4			$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	
	N5			$\geq 99\%$		
	N6		$\geq 80\%$	$\geq 90\%$		$\geq 90\%$
	R1			$\geq 99\%$		
	R2			$\geq 95\%$		$\geq 80\%$
	R3			$\geq 95\%$		
	R4					
	R5			$\geq 90\%$		$\geq 80\%$

Tabelle 5.2 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm	mm	mm	mm	Tage
Gebiet	D1	2.83	4.35	0.1046	0.915	1.012
	D2	2.48	3.92	0.0735	0.748	0.817
	D3	4.71	6.68	0.1977	1.798	2.800
	D4	2.52	3.93	0.0859	0.789	0.806
	D5	3.73	5.65	0.1279	1.233	1.889
	D6	2.24	3.49	0.0899	0.700	0.564
	D7	2.27	3.73	0.0605	0.596	0.745
	D8	2.31	3.61	0.0882	0.717	0.633
	D9	2.76	4.28	0.1000	0.865	0.984
	D10	2.32	3.81	0.0635	0.611	0.750
	D11	3.25	4.81	0.1481	1.146	1.318
	D12	2.45	4.07	0.0635	0.630	0.852
	D13	4.61	6.83	0.1700	1.628	2.676
	D14	3.47	5.25	0.1343	1.161	1.547
	D15	3.01	4.81	0.1039	0.881	1.318
	E1	2.37	3.72	0.1008	0.748	0.686
	M1	2.40	3.68	0.1084	0.770	0.686
	M2	2.23	3.54	0.0738	0.676	0.576
	M3	1.95	3.25	0.0527	0.504	0.486
	M4	2.40	3.71	0.1085	0.750	0.684
	M5	2.07	3.46	0.0531	0.527	0.540
	M6	2.52	3.98	0.0946	0.756	0.815
	N1	2.56	4.07	0.0734	0.755	0.832
	N2	2.58	4.10	0.0729	0.749	0.816
	N3	2.64	4.18	0.0861	0.791	0.921
	N4	2.66	4.26	0.0741	0.744	0.986
	N5	2.50	3.93	0.0803	0.750	0.782
	N6	2.75	4.43	0.0815	0.751	1.046
	R1	3.31	5.23	0.0890	0.963	1.561
	R2	3.59	5.57	0.1122	1.110	1.827
	R3	3.08	4.72	0.0975	0.978	1.190
	R4	3.96	5.95	0.1469	1.322	2.073
	R5	2.49	4.05	0.0710	0.691	0.838



Tabelle 5.3 Absoluter Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	Tage/100 Jahre
Gebiet	D1	0.182	0.550	-0.061	-0.039	0.179
	D2	0.137	0.733	-0.031	-0.114	0.202
	D3	0.274	0.620	-0.068	0.106	0.170
	D4	0.223	0.582	-0.027	-0.023	0.180
	D5	0.287	0.582	-0.053	0.024	0.304
	D6	0.140	0.511	-0.024	-0.105	0.156
	D7	0.118	0.398	-0.002	-0.058	0.122
	D8	0.317	0.875	-0.032	-0.039	0.425
	D9	0.263	0.640	-0.033	0.076	0.308
	D10	0.134	0.545	-0.025	-0.158	0.191
	D11	0.180	0.508	-0.079	-0.182	0.341
	D12	0.517	1.130	0.006	-0.021	0.538
	D13	0.162	0.352	-0.083	-0.230	0.493
	D14	0.186	0.485	-0.055	-0.246	0.365
	D15	0.382	0.614	-0.045	0.033	0.452
	E1	0.360	0.846	-0.020	0.074	0.488
	M1	0.329	0.797	-0.029	-0.020	0.388
	M2	0.199	0.584	0.011	-0.062	0.199
	M3	-0.056	0.057	-0.043	-0.091	-0.106
	M4	-0.023	0.631	-0.099	-0.347	0.332
	M5	-0.156	-0.018	-0.037	-0.105	-0.262
	M6	0.062	0.210	-0.056	-0.061	0.112
	N1	0.395	0.629	-0.009	0.079	0.289
	N2	-0.014	0.172	-0.027	-0.190	-0.200
	N3	0.419	0.880	-0.039	-0.066	0.607
	N4	0.040	0.526	-0.033	-0.228	0.139
	N5	0.062	0.295	-0.033	-0.085	-0.089
	N6	0.274	0.662	-0.010	0.013	0.388
	R1	0.126	0.505	-0.045	-0.079	-0.016
	R2	0.414	0.814	-0.031	-0.017	0.508
	R3	0.265	0.370	-0.026	0.032	0.168
	R4	0.401	0.632	0.007	0.041	0.317
	R5	0.187	0.512	0.009	0.027	0.228

Tabelle 5.4 Relativer Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre
Gebiet	D1	6.44	12.63	-58.53	-4.27	17.66
	D2	5.51	18.70	-42.59	-15.29	24.68
	D3	5.81	9.28	-34.22	5.89	6.09
	D4	8.85	14.81	-31.74	-2.88	22.33
	D5	7.69	10.29	-41.16	1.92	16.07
	D6	6.28	14.63	-26.30	-14.95	27.64
	D7	5.18	10.69	-3.47	-9.71	16.43
	D8	13.69	24.21	-36.25	-5.44	67.12
	D9	9.53	14.94	-32.82	8.80	31.36
	D10	5.80	14.31	-38.79	-25.94	25.44
	D11	5.54	10.55	-53.14	-15.91	25.85
	D12	21.15	27.79	9.66	-3.41	63.11
	D13	3.51	5.15	-48.62	-14.16	18.43
	D14	5.35	9.23	-40.79	-21.19	23.58
	D15	12.68	12.78	-43.71	3.79	34.32
	E1	15.22	22.75	-19.80	9.92	71.17
	M1	13.72	21.64	-26.35	-2.62	56.48
	M2	8.92	16.52	14.28	-9.22	34.60
	M3	-2.87	1.74	-81.33	-18.01	-21.73
	M4	-0.98	17.00	-91.04	-46.23	48.60
	M5	-7.53	-0.52	-68.81	-19.97	-48.46
	M6	2.46	5.28	-59.74	-8.10	13.71
	N1	15.42	15.43	-11.87	10.48	34.76
	N2	-0.55	4.19	-36.41	-25.31	-24.56
	N3	15.89	21.07	-44.84	-8.36	65.90
	N4	1.52	12.34	-43.89	-30.63	14.11
	N5	2.48	7.52	-41.04	-11.39	-11.36
	N6	9.94	14.94	-12.60	1.71	37.07
	R1	3.80	9.66	-50.68	-8.22	-1.01
	R2	11.52	14.61	-27.74	-1.51	27.78
	R3	8.61	7.83	-26.73	3.27	14.12
	R4	10.13	10.63	4.62	3.11	15.28
	R5	7.52	12.64	12.50	3.85	27.21

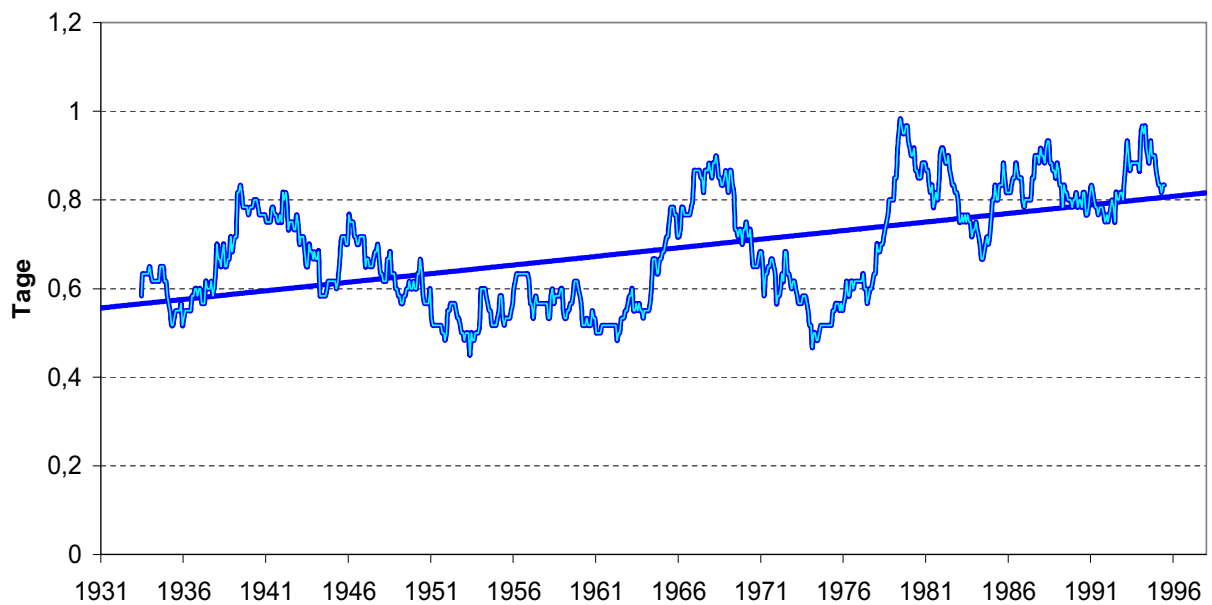


Abb. 5.9: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet M1 (Main oberhalb Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung

weist wesentlich größere Schwankungen auf als die des Tagesmittels, doch auch die Veränderung, die — auf ein Jahrhundert bezogen — mehr als ein Drittel des Mittelwertes ergäbe, ist beachtlich.

Die leichte Zunahme der Niederschläge im Gesamtjahr erweist sich mithin durch einen Zuwachs der Variabilität mit einer Zunahme *sowohl* der Häufigkeit geringer Niederschläge *als auch* der Anzahl von Tagen mit hohen Gebietsniederschlägen begründet.

5.2.1 Sommer

Die folgenden Tabellen 5.5 bis 5.8 enthalten die Signifikanz der ermittelten linearen Trends, die 67-jährigen Mittelwerte der Reihen sowie die absoluten und relativen Beträge der Veränderungen für den Sommer.

Charakteristisch für diese Jahreszeit ist zunächst der allgemeine und in etwa einem Drittel der Gebiete auch signifikante Rückgang des Tagesmittelwertes.

Einzigste Ausnahme bildet der Südosten des untersuchten Areals, südlich der Donau, etwa vom Oberlauf der Iller bis zur Salzach. Hier nimmt das Tagesmittel zu, allerdings nur in dem relativ kleinen Gebiet D12 (Vils / Rott) mit annehmbarer Signifikanz — 0.6 mm entsprechend 17 % bezogen auf ein Jahrhundert.

Verglichen damit ist der Rückgang im Westen und im Norden mit Beträgen um 20 %, in Einzelfällen bis nahezu 38 % des langjährigen Mittelwertes allerdings ganz erheblich und wirkt sich auf die allgemeine klimatische Ent-

wicklung stärker aus, weil er sich in immerhin 12 Gebieten mit hinreichender Sicherheit nachweisen lässt.

Als graphisches Beispiel soll hierfür ein Gebiet mit eher durchschnittlicher Entwicklung gezeigt werden, nämlich das Gebiet R4, der mittlere Abschnitt des Oberrheins von Kinzig bis Murg (Abb. 5.10). Der absolute Trend entspricht einer Verringerung von nahezu einem Millimeter, bezogen auf hundert Jahre. Die fünfjährig übergreifenden Mittel schwingen mit einer Amplitude etwa der gleichen Größenordnung in ein bis zwei Jahrzehnte langen Wellen um diese Trendgerade, doch auch aus ihrem Verlauf wird der Rückgang des Tagesmittels plausibel.

Insofern sind die Veränderungen in der Niederschlags*bilanz* während des Sommers deutlicher als im Gesamtjahr, wo die Veränderungen ja vielmehr in der Häufigkeitsverteilung spürbar sind und zu einer Vergrößerung der Variabilität führen.

Im Sommer verändert sich die Standardabweichung nur in vier der 33 Gebiete signifikant; in einem davon vergrößert sie sich um mehr als 30 %, in drei weiteren dagegen verringert sie sich in eben diesem Maße.

Berücksichtigt man auch die nicht signifikanten Trends, so ergibt sich ein ähnliches räumliches Muster wie beim Tagesmittel: Im Südosten vergrößert sich die Varianz mit dem Tagesmittel, im Westen und im Norden dagegen geht die Varianz analog zum Tagesmittel zurück.



Tabelle 5.5 Signifikanz der Trends $\geq 80\%$ über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 im Sommer

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1			$\geq 99\%$		
	D2			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	D3					
	D4			$\geq 95\%$	$\geq 80\%$	
	D5			$\geq 95\%$		
	D6			$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	
	D7				$\geq 90\%$	
	D8			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	D9			$\geq 99\%$		
	D10			$\geq 99\%$	$\geq 95\%$	
	D11			$\geq 80\%$		
	D12	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$\geq 90\%$	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$
	D13					
	D14					
	D15			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	E1			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	M1			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	M2	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$	$\geq 95\%$	
	M3	$\geq 95\%$	$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	$\geq 95\%$
	M4	$\geq 95\%$		$\geq 99\%$	$\geq 99\%$	
	M5	$\geq 95\%$	$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 95\%$	$\geq 95\%$
	M6	$\geq 90\%$	$\geq 80\%$	$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
	N1			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
	N2	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$	$\geq 95\%$	$\geq 95\%$
	N3			$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	
	N4	$\geq 90\%$		$\geq 99\%$	$\geq 95\%$	$\geq 80\%$
	N5	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$
	N6	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$		
	R1			$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	
	R2	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$	$\geq 90\%$	$\geq 80\%$
	R3			$\geq 99\%$		$\geq 80\%$
	R4	$\geq 80\%$		$\geq 95\%$		
	R5	$\geq 80\%$		$\geq 99\%$	$\geq 80\%$	$\geq 95\%$

Tabelle 5.6 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen im Sommer

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm	mm	mm	mm	Tage
Gebiet	D1	3.62	5.35	0.1327	1.234	1.542
	D2	3.57	5.27	0.0948	1.192	1.557
	D3	6.48	8.45	0.3568	3.040	4.443
	D4	3.59	5.23	0.1175	1.283	1.493
	D5	5.53	7.84	0.2192	2.162	3.463
	D6	2.98	4.46	0.1064	1.004	0.965
	D7	3.30	5.14	0.0862	0.935	1.443
	D8	2.97	4.52	0.1103	0.997	1.020
	D9	3.64	5.45	0.1311	1.265	1.562
	D10	3.21	5.05	0.0864	0.934	1.323
	D11	4.85	6.70	0.2652	2.069	2.587
	D12	3.56	5.73	0.0847	1.019	1.637
	D13	6.58	9.07	0.3225	2.889	4.333
	D14	5.09	7.26	0.2385	2.052	2.751
	D15	3.82	5.79	0.1419	1.282	1.816
	E1	2.95	4.68	0.1137	0.920	1.129
	M1	2.86	4.33	0.1239	0.941	0.980
	M2	2.81	4.31	0.0912	0.899	0.925
	M3	2.47	4.08	0.0579	0.657	0.841
	M4	2.76	4.23	0.1190	0.856	0.915
	M5	2.59	4.27	0.0529	0.660	0.886
	M6	2.87	4.42	0.0955	0.882	1.050
	N1	3.30	5.12	0.0755	0.990	1.294
	N2	3.28	5.04	0.0780	0.987	1.289
	N3	3.12	4.87	0.0842	0.933	1.284
	N4	3.17	5.01	0.0656	0.893	1.418
	N5	2.98	4.55	0.0839	0.934	1.109
	N6	3.04	4.85	0.0633	0.804	1.224
	R1	4.56	6.80	0.1326	1.507	2.612
	R2	3.93	5.86	0.1281	1.324	1.945
	R3	3.76	5.76	0.0912	1.162	1.771
	R4	4.38	6.45	0.1449	1.586	2.363
	R5	2.95	4.76	0.0588	0.777	1.234

Tabelle 5.7 Absoluter Trend der Auswertegrößen im Sommer

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	mm/100 Jahre	Tage/100 Jahre
Gebiet	D1	-0.487	-0.248	-0.208	-0.339	-0.192
	D2	-0.215	0.480	-0.045	-0.430	0.162
	D3	0.065	0.587	-0.106	-0.259	0.004
	D4	-0.176	0.315	-0.045	-0.476	0.036
	D5	0.274	1.112	-0.116	-0.257	0.372
	D6	-0.335	0.019	-0.097	-0.470	-0.264
	D7	-0.115	0.697	0.009	-0.374	0.293
	D8	-0.115	0.317	-0.112	-0.248	0.316
	D9	-0.223	0.107	-0.052	-0.227	-0.290
	D10	-0.198	0.268	-0.089	-0.494	-0.055
	D11	0.313	1.413	-0.052	-0.354	0.515
	D12	0.604	1.838	0.018	-0.362	0.970
	D13	0.363	1.397	-0.063	-0.628	0.960
	D14	0.158	1.233	-0.021	-0.623	0.397
	D15	-0.121	-0.033	-0.083	-0.585	0.282
	E1	-0.032	0.566	-0.062	-0.312	0.357
	M1	-0.226	-0.122	-0.106	-0.359	-0.071
	M2	-0.460	-0.293	-0.043	-0.513	-0.322
	M3	-0.791	-1.403	-0.118	-0.314	-0.795
	M4	-1.022	-0.791	-0.290	-0.838	-0.317
	M5	-0.980	-1.310	-0.155	-0.368	-0.858
	M6	-0.967	-1.402	-0.200	-0.444	-0.696
	N1	-0.213	-0.139	-0.071	-0.302	-0.527
	N2	-0.624	-0.515	-0.062	-0.655	-0.887
	N3	-0.399	-0.306	-0.064	-0.501	-0.329
	N4	-0.810	-0.487	-0.137	-0.779	-0.604
	N5	-0.647	-0.635	-0.126	-0.426	-0.847
	N6	-0.582	-0.449	-0.074	-0.274	-0.373
	R1	-0.264	0.335	-0.138	-0.675	-0.183
	R2	-0.709	-0.575	-0.119	-0.788	-0.765
	R3	-0.628	-0.661	-0.127	-0.400	-0.758
	R4	-0.936	-1.157	-0.082	-0.597	-0.831
	R5	-0.596	-0.563	-0.045	-0.293	-0.962

Tabelle 5.8 Relativer Trend der Auswertegrößen im Sommer

		Auswertegröße				
		Tagesmittelwert	Standardabweichung	Unteres Quartil	Median	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre	%/100 Jahre
Gebiet	D1	-13.44	-4.64	-156.4	-27.44	-12.45
	D2	-6.04	9.10	-47.78	-36.06	10.42
	D3	1.00	6.95	-29.76	-8.53	0.08
	D4	-4.89	6.03	-38.30	-37.14	2.43
	D5	4.96	14.18	-52.82	-11.86	10.74
	D6	-11.21	0.42	-91.37	-46.80	-27.38
	D7	-3.49	13.55	10.92	-39.99	20.27
	D8	-3.86	7.01	-101.8	-24.89	31.00
	D9	-6.12	1.97	-39.37	-17.95	-18.53
	D10	-6.18	5.29	-103.4	-52.84	-4.17
	D11	6.45	21.08	-19.57	-17.12	19.91
	D12	16.98	32.06	21.63	-35.52	59.26
	D13	5.52	15.41	-19.63	-21.74	22.15
	D14	3.11	17.00	-8.66	-30.37	14.43
	D15	-3.17	-0.57	-58.33	-45.61	15.55
	E1	-1.09	12.08	-54.36	-33.93	31.64
	M1	-7.91	-2.82	-85.73	-38.09	-7.22
	M2	-16.40	-6.79	-46.72	-57.09	-34.79
	M3	-32.03	-34.36	-203.2	-47.70	-94.59
	M4	-37.06	-18.70	-243.6	-97.86	-34.67
	M5	-37.91	-30.68	-293.9	-55.78	-96.92
	M6	-33.64	-31.71	-208.9	-50.39	-66.30
	N1	-6.45	-2.72	-94.62	-30.51	-40.75
	N2	-19.01	-10.21	-78.82	-66.32	-68.82
	N3	-12.81	-6.29	-76.24	-53.70	-25.66
	N4	-25.58	-9.71	-208.5	-87.17	-42.61
	N5	-21.69	-13.95	-150.6	-45.57	-76.36
	N6	-19.15	-9.25	-116.1	-34.10	-30.49
	R1	-5.80	4.92	-104.0	-44.77	-6.99
	R2	-18.04	-9.81	-92.76	-59.49	-39.34
	R3	-16.69	-11.47	-139.4	-34.44	-42.77
	R4	-21.39	-17.93	-56.75	-37.65	-35.18
	R5	-20.20	-11.83	-77.08	-37.64	-77.98

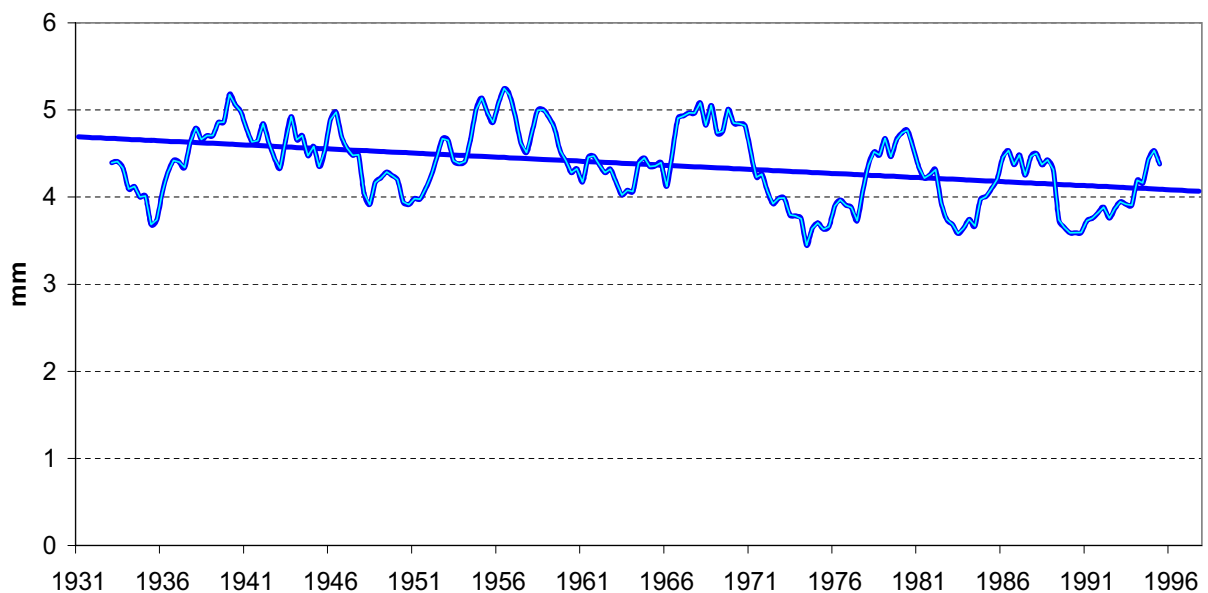


Abb. 5.10: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet R4 (Rhein von Kinzig bis Murg) im Sommer

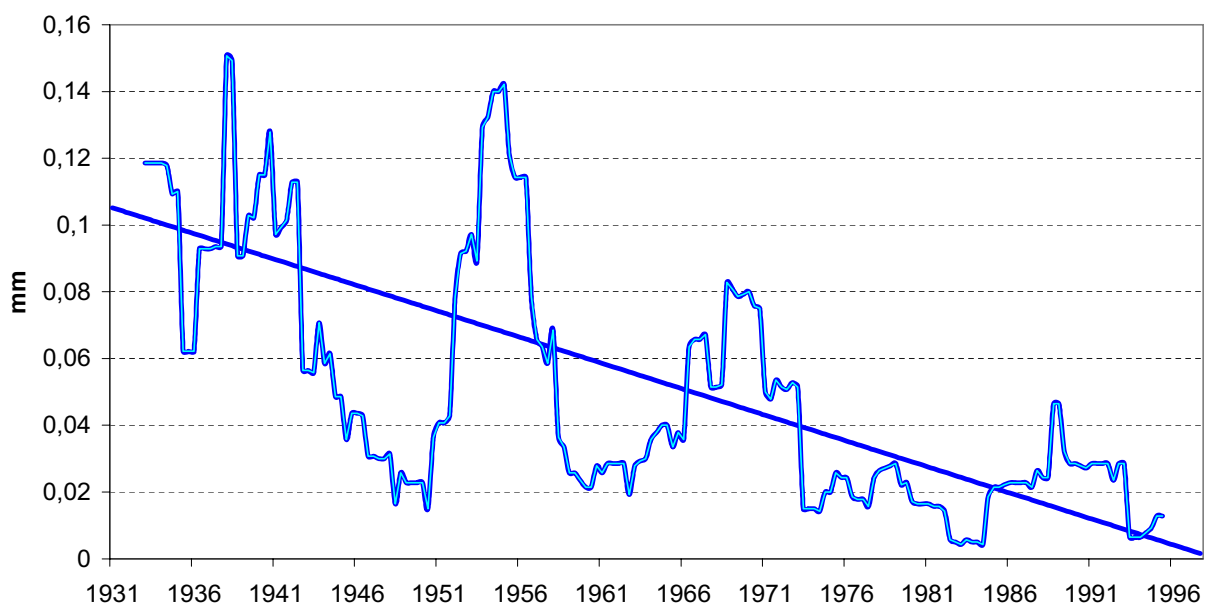


Abb. 5.11: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Unteren Quartils über den Gesamtzeitraum im Gebiet M5 (Tauber) im Sommer

Bleibt zu überprüfen, ob dieser Befund sich anhand der übrigen drei Auswertgrößen bestätigen lässt.

Das Untere Quartil geht mit Ausnahme der mittleren Donau und der Isar überall zurück. Dabei sind die Trends so stark, dass sich beim Bezug auf die Spanne eines Jahrhunderts unrealistische Beträge von nahezu 300 % ergeben, das heißt also 3 % Rückgang in jedem einzelnen der beobachteten Jahre.

Abb. 5.11 zeigt eben dieses extreme Beispiel. Es lässt sich kaum auf anschaulichere

Weise demonstrieren, dass die Extrapolation linearer Trends über den Zeitraum ihrer Anpassung hinaus unsinnig ist: Am Ende der Untersuchungsperiode erreicht das Quantil den logischen Tiefstwert von 0.0 mm.

Aus den starken Schwankungen der fünfjährig übergreifenden Mittel wird jedoch ersichtlich, dass Richtung und Betrag des Trends bei dieser Auswertgröße in extremem Maße vom Beobachtungszeitraum abhängen. Der rückschreitend optimierte Trend mit Beginn 1951 ist noch wesentlich größer als der über

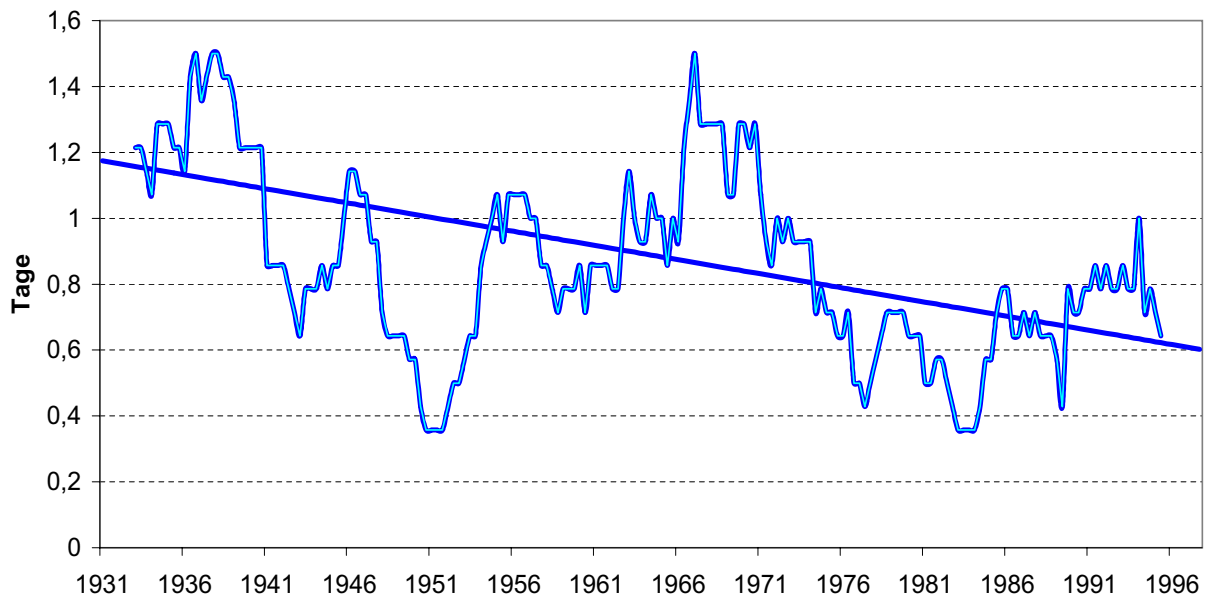


Abb. 5.12: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet M5 (Tauber) im Sommer

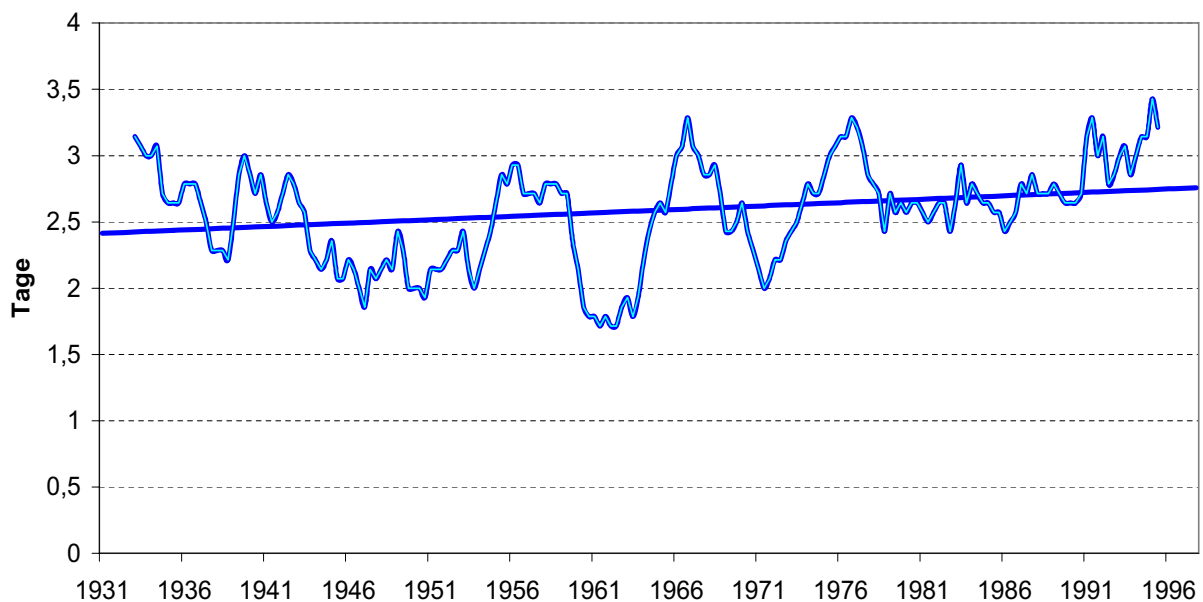


Abb. 5.13: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet D11 (Isar) im Sommer

die Gesamtperiode (Tabelle 5.16).

Auf der anderen Seite kann ein derartiger Verlauf auch in eine Trendumkehrung münden, wie dem Beispiel aus dem Kapitel über Methodik zu entnehmen ist (Abb. 3.3).

Doch ein Rückgang des Unteren Quartils allein ist noch kein Indiz für die Verringerung der Variabilität. Im Gegenteil: Für das Gesamtjahr ließ sich damit gerade die Vergrößerung der Varianz bestätigen.

Bei Betrachtung der Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d allerdings

zeigt sich, dass auch die Häufigkeit der starken Niederschläge in der Mehrzahl der Gebiete zurückgeht. Ausnahme stellen auch hier die Gebiete im Südosten dar, bei denen es in einem Falle sogar zu signifikantem Zuwachs kommt. Die beiden obenstehenden Abbildungen 5.12 und 5.13 geben die gegensätzlichen Varianten wieder.

Charakteristisch sowohl für den Rückgang im Westen und Norden als auch für den Zuwachs im Südosten ist die starke Restvarianz. Selbst die elfjährig übergreifenden Mittel

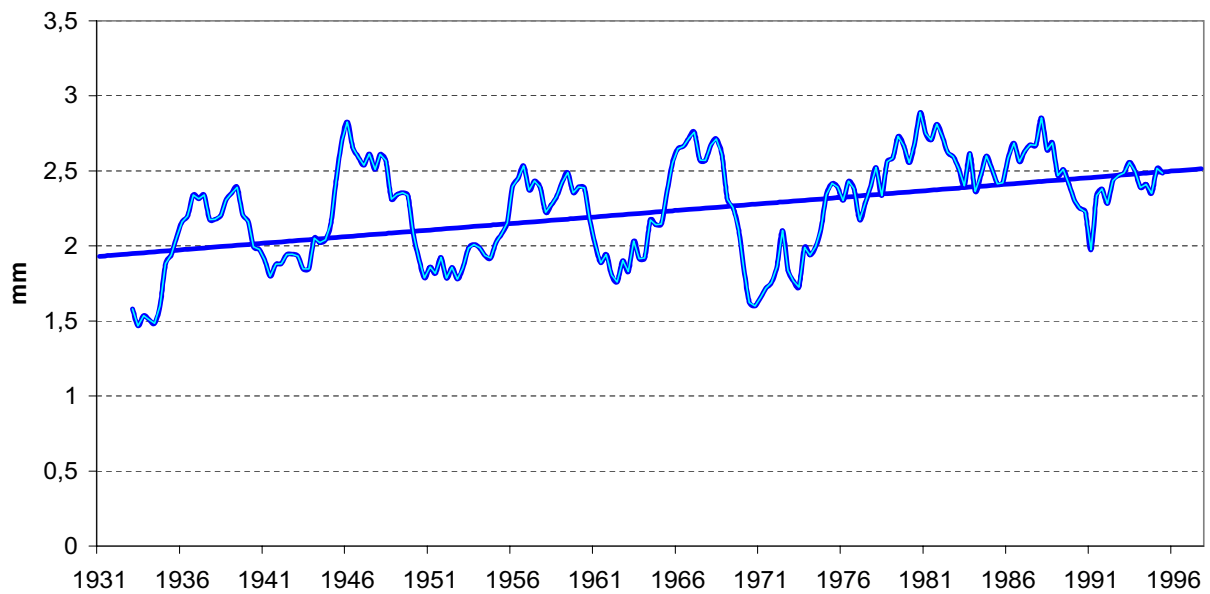


Abb. 5.14: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet D8 (Naab) im Winter

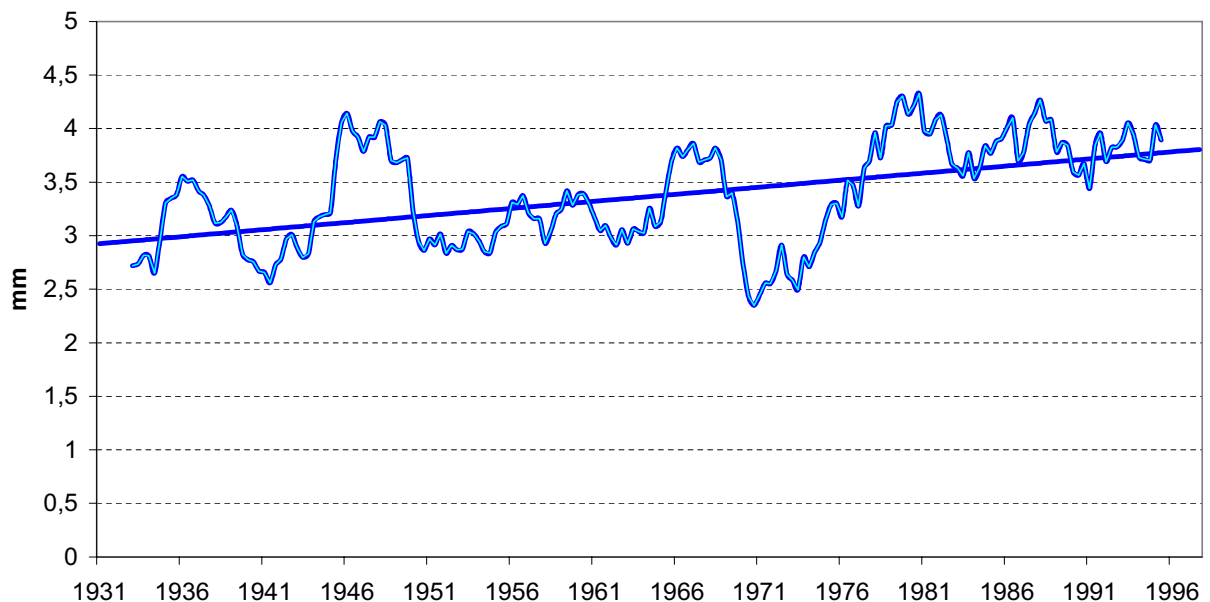


Abb. 5.15: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung über den Gesamtzeitraum im Gebiet E1 (Elbe) im Winter

schwanken noch in hohem Maße um die Trendgeraden. Im Falle des Taubergebietes ist die Variabilität nahezu genauso hoch wie beim Unteren Quartil. Im Isargebiet sorgt die starke Reststreuung dafür, dass der nicht eben geringe Zuwachs von 20 % in 100 Jahren nicht einmal auf dem niedrigen Niveau von 80% signifikant ist. Das Verhältnis von Trend und Kurve bei der einzigen Reihe mit signifikantem Zuwachs im Gebiet D12 entspricht übrigens etwa dem in Abb. 5.12.

5.2.2 Winter

Die nächsten vier Tabellen geben einen Überblick über die tendenziellen Veränderungen im Winter. Nach den aus dem Gesamtjahr und dem Sommer bekannten Ergebnissen ergibt sich folgerichtig, dass im Winter zum Ausgleich für den Rückgang der Niederschlagsmenge im Sommer ein entsprechender Zuwachs zu erwarten ist. Es bleibt zu prüfen, auf welchem Wege dieser Ausgleich erfolgt.

Tatsächlich ergaben sich in allen 33 Gebie-

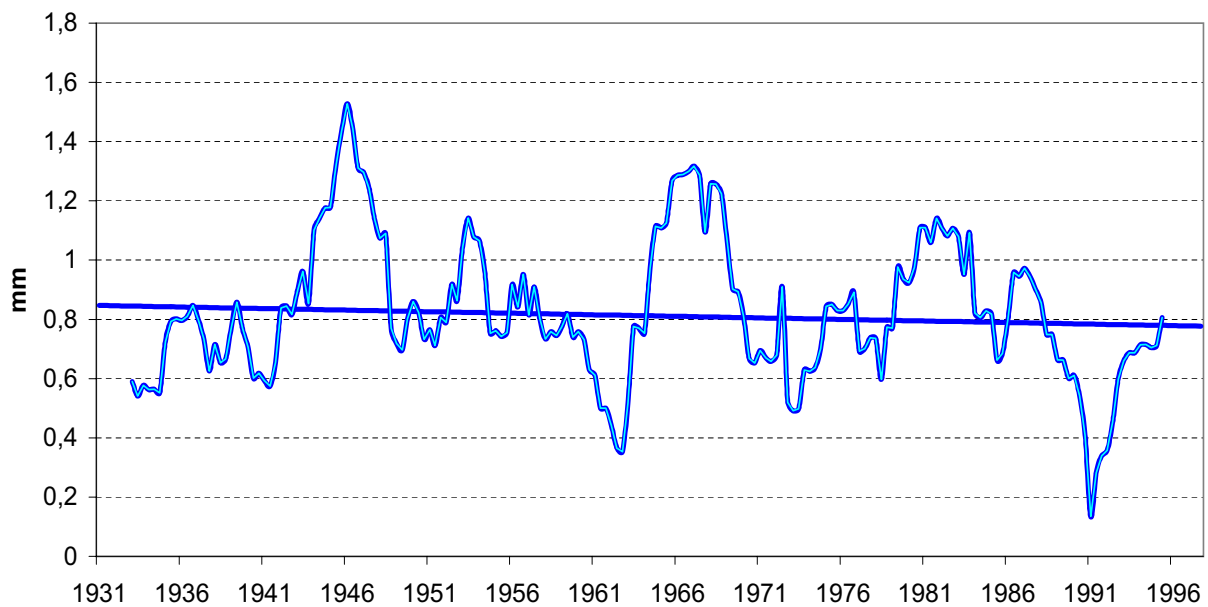


Abb. 5.16: Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Medians über den Gesamtzeitraum im Gebiet D14 (Inn) im Winter

ten positive Trends des Tagesmittels (s. Tabelle 5.11); in 20 davon sind die Tendenzen mit mindestens 80 % signifikant (vgl. Tabelle 5.9).

Anders als im Sommer gibt es allerdings keine deutliche regionale Umkehrung dieser zeitlichen Entwicklung, sondern nur eine Abschwächung der Trends – wiederum im südöstlichen Bereich des untersuchten Territoriums.

Tagesmittel und Standardabweichung nehmen in allen Gebieten zu, wie die obigen Abbildungen zum Gebiet von Naab und Elbe zeigen. Dieser deutliche Zuwachs ist im Südosten nicht zu verzeichnen; ein Rückgang tritt jedoch höchstens beim Median auf (vgl. Abb. 5.16), doch ist dieser geringe Trend nicht signifikant. Außerdem ließe sich sein Rückgang auch als Teil der Vergrößerung der Variabilität interpretieren – ebenso wie der Rückgang des Unteren Quartils, der in etwa einem Drittel der Gebiete

zu verzeichnen und dabei keineswegs auf den Südosten beschränkt ist.

Die Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwertes 15 mm/d steigt in nahezu jedem Gebiet an, dabei zwanzig mal signifikant auf einem Niveau von wenigstens 80%.

Es läßt sich mithin argumentieren, dass der Zuwachs der Niederschläge im Winter vor allem auf die Zunahme der Häufigkeit von Tagen mit starken Gebietsniederschlägen zurückzuführen ist, während gleichzeitig auch die Zahl der Tage mit geringfügigen Niederschlägen in etwa jedem dritten Gebiet zunimmt, was an den Tendenzen des Unteren Quartils ablesbar ist. Die einseitig beschränkte rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Gebietsniederschlags streckt sich also im Laufe der Jahre noch mehr zu den hohen Werten hin, während die Häufigkeit der Tage mit mittleren Niederschlägen relativ geringer wird.



Tabelle 5.9 Signifikanz der Trends über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1	≥ 80 %	≥ 80 %			
	D2	≥ 90 %	≥ 80 %			≥ 95 %
	D3					
	D4	≥ 95 %	≥ 90 %		≥ 90 %	≥ 99 %
	D5			≥ 90 %		≥ 80 %
	D6	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 99 %		≥ 95 %
	D7	≥ 80 %		≥ 95 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	D8	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 95 %		≥ 95 %
	D9	≥ 80 %	≥ 80 %			≥ 95 %
	D10	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %		
	D11					≥ 80 %
	D12	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 95 %		≥ 95 %
	D13					
	D14					
	D15			≥ 90 %		≥ 80 %
	E1	≥ 90 %	≥ 90 %		≥ 90 %	≥ 99 %
	M1	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	M2	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 99 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	M3	≥ 80 %		≥ 95 %		≥ 80 %
	M4		≥ 80 %	≥ 90 %		≥ 95 %
	M5	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %		
	M6			≥ 80 %		
	N1	≥ 95 %	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	N2			≥ 90 %		
	N3	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 99 %		≥ 99 %
	N4		≥ 80 %	≥ 99 %		
	N5	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %		
	N6	≥ 80 %		≥ 95 %		≥ 90 %
	R1			≥ 80 %		
	R2		≥ 80 %	≥ 90 %		≥ 80 %
	R3	≥ 80 %		≥ 80 %		
	R4			≥ 80 %		
	R5	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %		≥ 95 %

Tabelle 5.10 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet		mm	mm	mm	mm	Tage
	D1	2.58	3.95	0.1053	0.877	0.856
	D2	1.88	2.98	0.0752	0.581	0.338
	D3	3.90	5.65	0.1421	1.329	1.945
	D4	1.95	3.05	0.0865	0.602	0.383
	D5	2.73	4.25	0.0853	0.847	0.891
	D6	1.97	2.97	0.1086	0.669	0.358
	D7	1.75	2.82	0.0599	0.498	0.318
	D8	2.23	3.35	0.1155	0.780	0.522
	D9	2.62	3.91	0.1232	0.893	0.846
	D10	2.04	3.22	0.0742	0.606	0.493
	D11	2.36	3.59	0.0931	0.749	0.542
	D12	1.95	3.11	0.0647	0.555	0.413
	D13	3.69	5.64	0.1034	1.166	1.791
	D14	2.66	4.06	0.0984	0.812	0.851
	D15	3.03	4.70	0.1239	0.955	1.323
	E1	2.30	3.37	0.1440	0.891	0.562
	M1	2.42	3.51	0.1539	0.924	0.642
	M2	2.10	3.21	0.1015	0.730	0.423
	M3	1.80	2.90	0.0805	0.548	0.368
	M4	2.52	3.71	0.1575	0.943	0.706
	M5	1.92	3.09	0.0767	0.578	0.358
	M6	2.56	3.90	0.1367	0.869	0.791
	N1	2.19	3.46	0.0892	0.708	0.567
	N2	2.26	3.54	0.0913	0.731	0.512
	N3	2.54	3.97	0.1099	0.874	0.831
	N4	2.60	4.02	0.1067	0.853	0.881
	N5	2.49	3.79	0.1093	0.839	0.697
	N6	2.84	4.40	0.1312	0.948	1.025
	R1	2.66	4.16	0.0842	0.788	0.871
	R2	3.89	5.96	0.1311	1.239	2.284
	R3	2.73	4.03	0.1160	0.986	0.741
	R4	4.04	5.94	0.1975	1.477	2.169
	R5	2.28	3.62	0.0938	0.769	0.602

Tabelle 5.11 Absoluter Trend der Auswertegrößen im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	Tage/ 100 Jahre
Gebiet	D1	0.732	1.239	0.011	0.209	0.379
	D2	0.418	0.788	-0.008	0.082	0.257
	D3	0.711	0.849	-0.024	0.539	0.484
	D4	0.658	0.983	0.011	0.264	0.452
	D5	0.579	0.600	0.046	0.212	0.442
	D6	0.515	0.960	0.089	0.147	0.424
	D7	0.298	0.324	0.016	0.106	-0.154
	D8	0.875	1.618	0.048	0.209	0.606
	D9	0.760	1.294	0.008	0.291	0.852
	D10	0.342	0.727	0.035	-0.068	0.169
	D11	0.192	0.201	-0.010	-0.054	0.243
	D12	0.525	0.965	0.016	0.037	0.378
	D13	0.086	0.016	-0.048	-0.048	-0.170
	D14	0.180	0.277	-0.013	-0.105	0.325
	D15	1.011	1.329	-0.060	0.283	0.948
	E1	0.941	1.319	-0.025	0.511	0.800
	M1	0.905	1.388	0.038	0.475	0.682
	M2	0.644	1.188	0.052	0.338	0.484
	M3	0.359	0.665	-0.020	0.097	0.170
	M4	0.599	1.185	-0.042	0.113	0.874
	M5	0.418	0.874	0.050	0.133	0.077
	M6	0.587	0.885	0.029	0.249	0.322
	N1	0.926	1.337	-0.045	0.471	0.649
	N2	0.284	0.697	0.025	0.021	0.113
	N3	1.015	1.919	-0.047	0.324	1.113
	N4	0.590	1.506	0.078	0.105	0.393
	N5	0.688	1.365	0.068	0.199	0.270
	N6	0.856	1.411	0.062	0.260	0.847
	R1	0.424	0.660	0.022	0.090	0.044
	R2	1.493	2.216	0.059	0.563	1.811
	R3	0.572	0.649	-0.031	0.296	0.261
	R4	0.967	1.315	0.068	0.487	0.607
	R5	0.567	1.070	0.058	0.235	0.646

Tabelle 5.12 Relativer Trend der Auswertegrößen im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		%/ 100 Jahre	%/ 100 Jahre	%/ 100 Jahre	%/ 100 Jahre	%/ 100 Jahre
Gebiet	D1	28.44	31.37	10.39	23.87	44.28
	D2	22.24	26.46	-10.93	14.10	75.90
	D3	18.24	15.03	-16.71	40.54	24.89
	D4	33.72	32.24	12.33	43.84	118.03
	D5	21.17	14.12	54.18	25.09	49.59
	D6	26.18	32.27	81.75	22.02	118.43
	D7	17.00	11.48	27.35	21.33	-48.34
	D8	39.30	48.25	41.31	26.82	116.01
	D9	28.99	33.06	6.63	32.60	100.74
	D10	16.77	22.54	46.48	-11.23	34.23
	D11	8.14	5.61	-10.91	-7.25	44.81
	D12	26.94	31.01	25.40	6.70	91.47
	D13	2.33	0.28	-46.13	-4.12	-9.46
	D14	6.75	6.82	-13.52	-12.94	38.19
	D15	33.41	28.29	-48.66	29.62	71.66
	E1	40.96	39.16	-17.23	57.40	142.26
	M1	37.38	39.56	24.37	51.41	106.25
	M2	30.63	36.98	50.85	46.23	114.49
	M3	19.96	22.97	-25.11	17.72	46.03
	M4	23.80	31.96	-26.85	11.99	123.74
	M5	21.78	28.29	65.73	22.93	21.44
	M6	22.98	22.66	21.12	28.63	40.73
	N1	42.37	38.66	-50.09	66.53	114.36
	N2	12.55	19.66	27.10	2.90	22.07
	N3	39.92	48.38	-42.33	37.12	133.93
	N4	22.65	37.46	72.84	12.27	44.60
	N5	27.61	36.04	62.33	23.68	38.76
	N6	30.10	32.06	47.12	27.41	82.66
	R1	15.92	15.86	25.74	11.46	5.10
	R2	38.44	37.15	44.62	45.44	79.31
	R3	20.97	16.09	-26.63	30.01	35.21
	R4	23.94	22.14	34.47	32.95	27.98
	R5	24.81	29.58	61.76	30.57	107.30

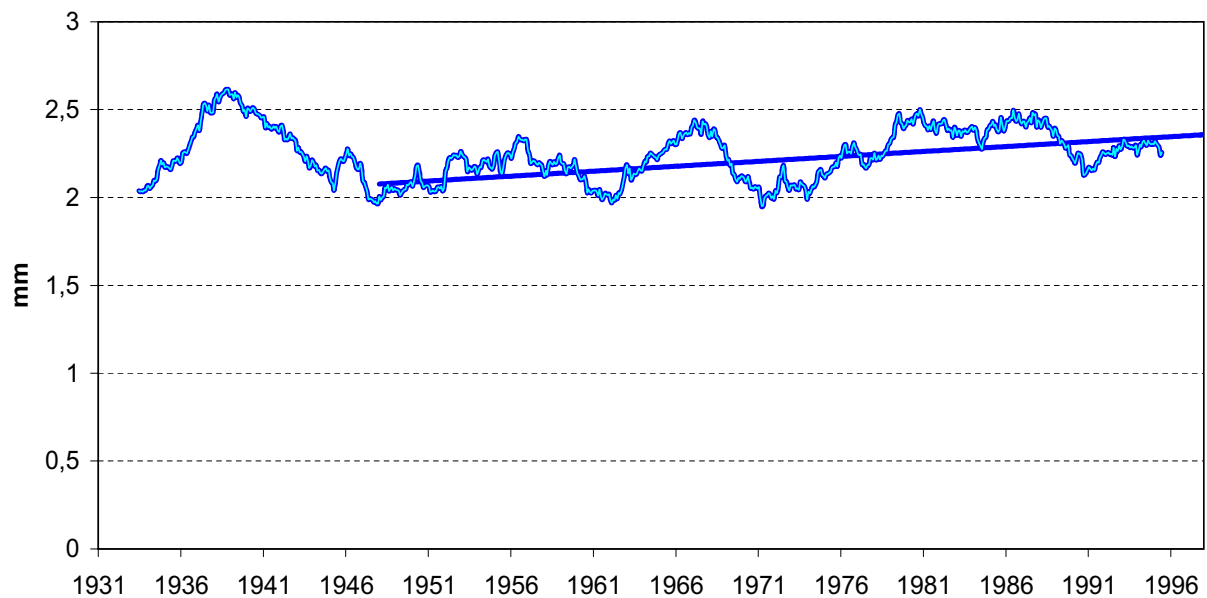


Abb. 5.17: Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes im Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) bei ganzjähriger Auswertung

5.3 Ergebnisse für den rückschreitend optimierten Trend

5.3.1 Gesamtjahr

In den Tabellen 5.13 und 5.14 finden sich Angaben zum Trendbeginn und zur Stärke der rückschreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung, sofern diese mit einer Signifikanz von wenigstens 80 % nachzuweisen sind.

Wie bereits erwähnt, kennzeichnen diese rückschreitend optimierten Trends entweder die Verstärkung einer bereits vorhandenen Tendenz oder deren Umkehrung. Da die partiellen Trends in Ihrer Mehrzahl vergleichsweise kurz sind, überschreiten ihre Beträge darum die derjenigen, die für die Gesamtperiode geschätzt wurden, in erheblichem Maße, oft um den Faktor zehn oder — in Einzelfällen — gar hundert.

Derart extreme Fälle treten vor allem dann ein, wenn der vergleichbare Trend über den Gesamtzeitraum nur schwach oder überhaupt nicht signifikant ist und der rückschreitend optimierte Trend erst relativ spät, etwa in den siebziger oder achtziger Jahren einsetzt. Darüber hinaus kann ein rückschreitend optimierter Trend auch nur dem auf- oder absteigenden Ast einer der immer wieder auftretenden quasiperiodischen Schwankungen angepaßt sein.

Die Deutung der Ergebnisse gestaltet sich in diesen Fällen schwierig. Dass aber auch dann eine sinnvolle Interpretation möglich ist, zeigt

das Beispiel in Abschnitt 3.3.4.

In denjenigen Fällen aber, in denen der rückschreitend optimierte Trend früher beginnt und das Verhältnis der Trendfaktoren weniger groß ist, lassen sich interessante Folgerungen über das Verhalten der Zeitreihe ziehen.

Abb. 5.17 zeigt die Reihe des Tagesmittelwertes im Gebiet D6. Ein Blick in Tabelle 5.1 zeigt, dass der Trend über den Gesamtzeitraum nicht signifikant ist, sein Betrag entspricht etwa 6 % in 100 Jahren. Wird statt dessen nun der rückschreitend optimierte Trend betrachtet, so zeigt sich, dass die letzten fünf Jahrzehnte des Messzeitraums durchaus einer signifikanten tendenziellen Entwicklung unterliegen, und zwar mit einem etwa vier mal so großen Anstieg, was etwa 25 % des langjährigen Mittels pro Jahrhundert entspräche. Die Ursache dafür mag zum einen in der bekannten Unsicherheit der Gebietswertschätzung vor 1950 liegen, sie kann allerdings auch mit einer in dieser Zeit einsetzenden allgemeinen klimatischen Veränderung verbunden sein.

Schon im Eingangsabschnitt dieses Kapitels zeigte sich bei der Betrachtung der Häufigkeitsstatistik, dass ein Teil der partiellen Trends im Zeitraum um 1950 beginnt. Das hier vorgelegte Beispiel mag für diese Reihen als typisch gelten.

5.3.2 Jahreszeiten

In den Jahreszeiten, in denen die Schwankungen der auszuwertenden Reihen stärker sind, zeigen sich auch stärkere Diskrepanzen zwi-

Tabelle 5.13 Beginn der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1	1940	1946	1965	1965	1946
	D2	1946	1941	1965	1965	1941
	D3		1941	1965		1941
	D4	1946	1941	1965	1965	1941
	D5	1941	1941	1965	1965	1941
	D6	1948	1948	1964	1965	1945
	D7	1941	1941	1963	1985	1981
	D8	1948	1948	1965	1965	1948
	D9	1948	1948	1977	1978	1948
	D10	1941	1948	1974	1965	1948
	D11			1980	1936	1941
	D12	1941	1945	1965	1970	1941
	D13			1980	1934	
	D14			1965	1965	1933
	D15	1948	1949	1971	1986	1948
	E1	1946	1946	1965	1964	1941
	M1	1942	1948	1952	1965	1948
	M2	1941	1945	1965	1965	1945
	M3	1970	1946	1965	1965	1973
	M4	1981	1942	1965	1965	1953
	M5	1970	1968	1965	1965	1931
	M6	1979	1979	1965	1965	1948
	N1	1941	1941	1965	1964	1941
	N2	1970	1945	1965	1965	1968
	N3	1931	1948	1965	1965	1931
	N4	1977	1948	1965	1965	1983
	N5	1970	1948	1961	1965	1978
	N6	1980	1948	1965	1980	1946
	R1	1946	1941	1965	1978	1940
	R2	1941	1945	1965	1976	1931
	R3	1941	1945	1981	1965	1981
	R4		1945	1965	1965	1970
	R5	1948	1948	1981	1965	1941

Tabelle 5.14 Betrag der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	Tage/ 100 Jahre
Gebiet	D1	0.743	1.387	-0.257	-0.895	0.518
	D2	0.719	1.247	-0.233	-1.319	0.488
	D3		1.492	-0.730		0.917
	D4	0.698	1.121	-0.136	-0.610	0.400
	D5	0.804	1.409	-0.472	-1.112	0.811
	D6	0.562	1.271	-0.214	-0.540	0.388
	D7	0.438	0.887	-0.143	-3.056	-3.173
	D8	0.684	1.769	-0.228	-0.674	0.892
	D9	0.794	1.841	-0.416	-1.886	0.936
	D10	0.443	1.273	-0.290	-0.871	0.570
	D11			0.506	-0.415	0.690
	D12	0.742	1.990	-0.171	0.636	0.757
	D13			0.738	-0.572	
	D14			-0.290	-1.104	0.468
	D15	0.792	1.928	-0.476	-5.034	0.990
	E1	0.733	1.595	-0.224	-0.604	0.857
	M1	0.601	1.734	-0.194	-1.025	0.797
	M2	0.506	1.555	-0.176	-0.796	0.607
	M3	0.955	0.941	-0.230	-0.760	1.170
	M4	-2.927	1.224	-0.385	-1.042	0.672
	M5	1.128	1.981	-0.220	-0.749	-0.282
	M6	-2.948	-5.129	-0.376	-1.082	0.494
	N1	0.721	1.240	-0.258	-0.772	0.670
	N2	1.193	1.080	-0.280	-0.719	1.346
	N3	0.557	1.634	-0.318	-0.863	0.682
	N4	-2.694	1.466	-0.342	-0.992	-4.423
	N5	1.261	1.105	-0.258	-0.962	-1.820
	N6	-3.760	1.639	-0.230	-2.422	0.702
	R1	0.978	1.657	-0.233	-2.048	0.707
	R2	0.862	1.663	-0.347	-2.125	0.662
	R3	0.707	1.064	-0.918	-1.078	-2.486
	R4		1.752	-0.408	-1.177	2.156
	R5	0.692	1.550	-0.706	-0.710	0.671

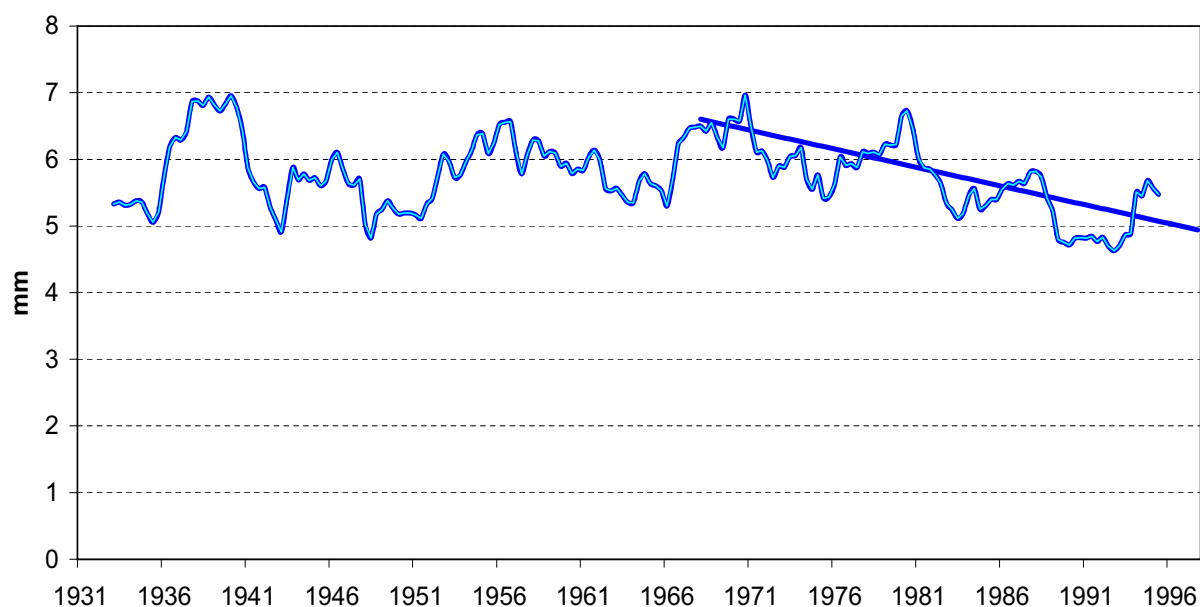


Abb. 5.18: Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung im Gebiet R3 (Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig) im Sommer

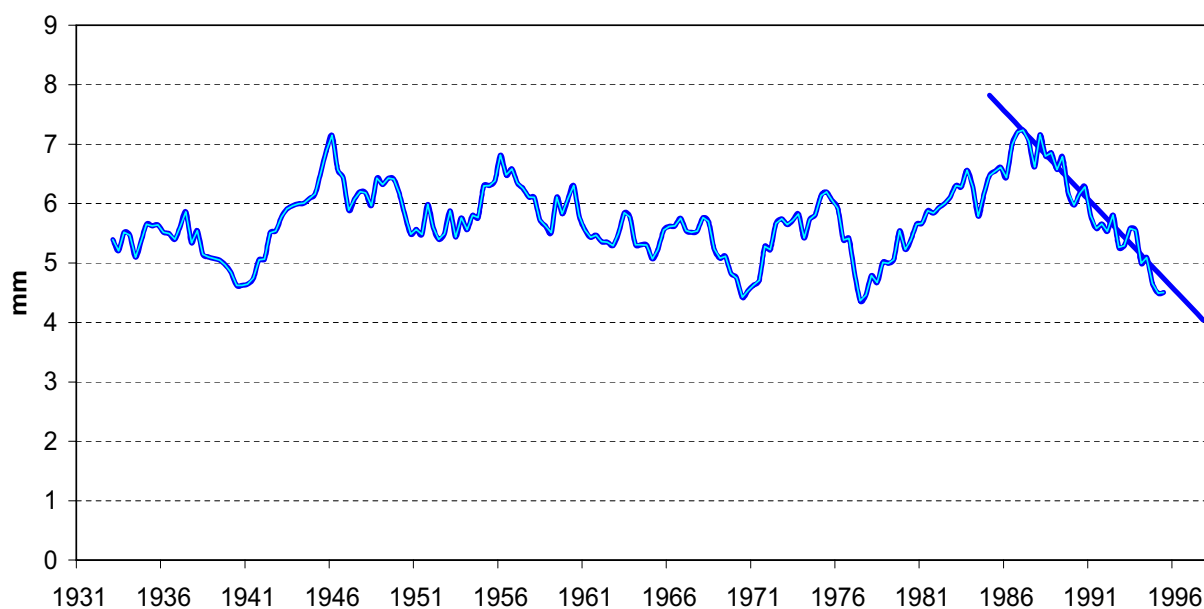


Abb. 5.19: Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung im Gebiet D13 (Alz / Salzach) im Winter

schen den langzeitlichen und den rückschreitend optimierten Trends. Ein solches Beispiel zeigt die Abb. 5.18.

Es handelt sich um die Reihe der Standardabweichung im südlichen Abschnitt des Oberrheins. Auch hier ist der Trend über den 67-jährigen Gesamtzeitraum nicht signifikant, und die Tendenz, deren Beginn ins Jahr 1968 zu datieren ist, erweist sich als acht mal so stark wie die, deren Beginn auf Grund der Verfügbarkeit

der Daten auf das Jahr 1931 gesetzt wurde. Auch hier wäre zu prüfen, ob in den sechziger Jahren allgemeine klimatologische Veränderungen eingetreten sind, die das Einsetzen einer derartigen Tendenz erklären können.

Bei der Auswertung der Reihen des Winters verhält es sich ähnlich. Entweder es handelt sich um extrem starke, aber kurzzeitige Trends, die sich einzelnen kurzperiodischen Schwingungen anpassen, oder um langsam einsetzen-

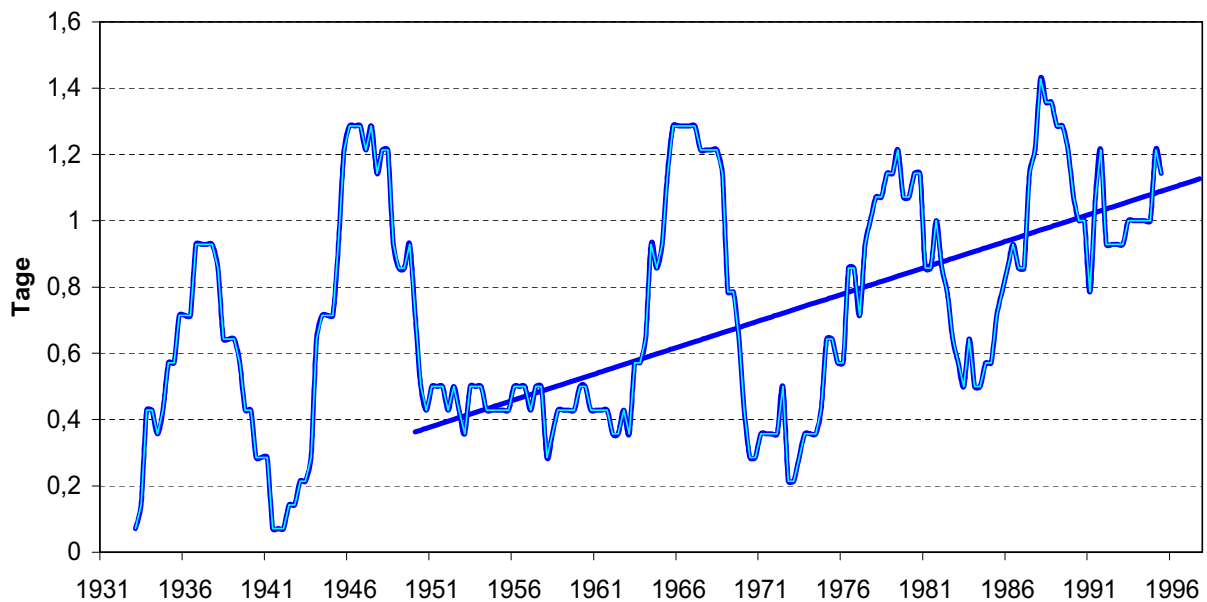


Abb. 5.20: Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Gebiet M4 (Fränkische Saale) im Winter

de Tendenzen, deren Beginn in der Zeit etwa zwischen 1945 und 1965 liegt.

Ein Beispiel für die erste, für klimatologische Folgerungen wenig hilfreiche Variante zeigt die Abb. 5.19, die in ihrer Art als exemplarisch für die vielen partiellen Trends mit Beginn in den achtziger Jahren gelten kann. Über den Gesamtzeitraum lässt sich kein signifikanter Trend nachweisen (vgl. Tabelle 5.9).

Anders verhält es sich bei dem rückschreitend optimierten Trend der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d (Abb. 5.20). Trotz der starken Variationen ist deutlich zu erkennen, dass die zweite Hälfte des Beobachtungszeitraums durch eine Zunahme der Häufigkeiten ge-

prägt ist. Dabei ist die Frage, ob die tendenzielle Entwicklung schon 1950 oder — wie im Nachbargebiet M3 — erst 1970 einsetzt, von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung.

Die Mehrzahl dieser relativ langen partiellen Trends repräsentiert keine Umkehrung, sondern in der Regel eine Verstärkung vorhandener Trends. Oftmals werden Reihen mit signifikanten Tendenzen erst durch die rückschreitend optimierte Analyse ermittelt. Das ergibt sich aus der im Vergleich mit der Analyse in Abschnitt 5.2 höheren Anzahl signifikanter Ergebnisse in den nachstehenden Tabellen 5.15 bis 5.18.



Tabelle 5.15 Beginn der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends im Sommer

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1	1983	1982	1953	1984	1978
	D2	1980	1979	1980	1980	1978
	D3			1982	1953	
	D4	1981	1946	1971	1953	1979
	D5			1980	1983	
	D6	1971	1979	1931	1981	1979
	D7	1982	1960	1971	1953	1975
	D8	1959	1958	1936	1983	1959
	D9	1981		1979	1953	1981
	D10	1983	1982	1953	1953	1982
	D11			1980	1983	1943
	D12	1932	1933	1957	1953	1936
	D13			1980	1953	
	D14			1956	1953	
	D15	1954	1986	1968	1953	1975
	E1	1971	1985	1954	1954	1958
	M1	1980	1980	1953	1953	1982
	M2	1975	1975	1953	1953	1978
	M3	1954	1935	1953	1953	1932
	M4	1931	1931	1954	1953	1982
	M5	1954	1935	1951	1953	1931
	M6	1954	1965	1953	1953	1931
	N1	1983	1979	1953	1983	1978
	N2	1980	1979	1953	1953	1979
	N3	1980	1979	1953	1953	1953
	N4	1980	1980	1953	1953	1986
	N5	1954	1980	1987	1953	1931
	N6	1953		1953	1953	1960
	R1	1980	1979	1980	1983	1979
	R2	1954	1982	1953	1983	1986
	R3	1954	1968	1953	1954	1986
	R4	1954	1938	1953	1953	1938
	R5	1987	1982	1954	1953	1971

Tabelle 5.16 Betrag der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends im Sommer

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
		mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	Tage/ 100 Jahre
Gebiet	D1	9.132	11.021	-0.380	8.886	4.926
	D2	6.135	7.975	0.718	5.060	5.952
	D3			3.786	-2.616	
	D4	4.999	1.355	0.459	-1.583	7.362
	D5			1.307	9.414	
	D6	2.027	6.656	-0.135	5.163	2.742
	D7	4.922	2.704	0.334	-1.184	-2.324
	D8	1.097	2.098	-0.170	4.697	1.526
	D9	5.073		-0.806	-1.055	5.663
	D10	4.680	5.934	-0.133	-1.117	6.416
	D11			1.751	8.074	1.687
	D12	0.695	2.065	0.140	-1.226	1.220
	D13			2.108	-2.123	
	D14			0.412	-2.376	
	D15	-1.682	12.199	-0.529	-1.755	-4.250
	E1	2.302	9.837	-0.237	-1.228	1.727
	M1	4.591	6.161	-0.428	-1.781	9.444
	M2	2.510	3.822	-0.148	-0.872	3.968
	M3	-1.369	-1.610	-0.222	-0.760	-0.865
	M4	-1.044	-0.804	-0.372	-1.487	6.448
	M5	-1.622	-1.627	-0.182	-1.053	-0.858
	M6	-2.064	-3.878	-0.385	-1.668	-0.696
	N1	6.242	5.824	-0.205	5.952	4.156
	N2	4.419	7.391	-0.182	-1.467	4.842
	N3	4.087	6.529	-0.274	-1.352	-1.412
	N4	4.920	8.164	-0.275	-1.396	-9.151
	N5	-1.479	6.878	1.005	-1.615	-0.847
	N6	-1.170		-0.156	-0.970	-1.342
	R1	5.916	9.620	0.662	5.795	5.034
	R2	-2.021	8.996	-0.329	6.134	-20.69
	R3	-2.151	-5.595	-0.240	-1.574	-16.97
	R4	-1.997	-1.693	-0.246	-1.728	-1.347
	R5	8.243	11.326	-0.199	-1.171	-4.126

Tabelle 5.17 Beginn der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet	D1	1931	1963	1986	1938	1963
	D2	1978	1963	1965	1965	1937
	D3			1965	1981	
	D4	1931	1963	1984	1938	1931
	D5	1981	1963	1974	1980	1970
	D6	1931	1931	1946	1978	1970
	D7	1981	1963	1981	1981	1955
	D8	1931	1931	1965	1981	1931
	D9	1948	1932	1965	1978	1932
	D10	1982	1963	1981	1981	1970
	D11	1981	1963	1984	1981	1984
	D12	1981	1963	1974	1981	1987
	D13	1980	1985	1974	1980	1985
	D14	1981	1985	1974	1980	1987
	D15	1986	1968	1981	1981	1931
	E1	1931	1948	1965	1931	1937
	M1	1931	1948	1971	1932	1948
	M2	1931	1948	1983	1932	1948
	M3	1970	1971	1965	1986	1970
	M4	1970	1948	1965	1939	1950
	M5	1970	1963	1965	1938	1978
	M6	1971	1968	1965	1939	1971
	N1	1931	1931	1981	1938	1931
	N2	1981	1963	1981	1978	1985
	N3	1931	1931	1965	1938	1931
	N4	1979	1931	1939	1978	1977
	N5	1931	1931	1938	1980	1978
	N6	1931	1959	1948	1979	1932
	R1	1970	1963	1965	1981	1970
	R2	1931	1963	1986		1931
	R3	1976	1959	1965	1977	1959
	R4			1965		
	R5	1970	1959	1965	1939	1931

Tabelle 5.18 Betrag der signifikanten rück-schreitend optimierten Trends im Winter

		Auswertegröße				
		Ta- ges- mittel- wert	Stan- dard- ab- wei- chung	Un- teres Quar- til	Me- dian	Anz. Tage ≥ 15 mm/d
Gebiet		mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	mm/ 100 Jahre	Tage/ 100 Jahre
	D1	0.830	4.013	0.779	0.693	1.720
	D2	-3.774	2.592	-0.493	-1.321	0.368
	D3			-1.263	-8.576	
	D4	0.695	2.744	-1.152	0.384	0.452
	D5	-7.116	3.041	-0.245	-4.762	2.217
	D6	0.560	0.981	0.196	-3.668	1.848
	D7	-4.472	2.180	-0.572	-3.847	-1.313
	D8	0.929	1.672	-0.475	-4.583	0.637
	D9	1.362	1.468	-0.760	-3.144	0.933
	D10	-5.003	2.472	-0.717	-3.457	1.224
	D11	-6.313	2.087	-0.466	-4.365	-6.304
	D12	-5.714	2.594	-0.357	-2.589	-9.732
	D13	-11.42	-29.78	-0.629	-7.699	-13.66
	D14	-7.246	-15.01	-0.416	-4.467	-13.58
	D15	-14.33	6.427	-0.927	-4.633	0.948
	E1	1.029	2.247	-0.439	0.606	1.059
	M1	0.959	2.580	0.498	0.632	1.305
	M2	0.686	2.279	-1.021	0.450	0.944
	M3	2.568	5.259	-0.351	-4.963	1.505
	M4	3.335	2.125	-0.457	0.423	1.602
	M5	2.392	3.754	-0.350	0.317	-3.027
	M6	3.481	5.207	-0.449	0.432	2.466
	N1	0.982	1.363	-1.102	0.662	0.649
	N2	-5.759	3.339	-1.169	-3.932	-6.795
	N3	1.132	1.978	-0.483	0.587	1.113
	N4	-5.362	1.538	0.167	-4.277	-5.213
	N5	0.688	1.365	0.158	-3.441	-4.633
	N6	1.107	3.739	0.218	-4.736	0.942
	R1	2.538	3.363	-0.586	-5.844	2.635
	R2	1.653	6.748	0.921		1.961
	R3	-4.027	3.007	-0.513	-2.755	1.213
	R4			-0.751		
	R5	2.726	4.080	-0.455	0.407	0.646

6 Das Langzeitverhalten der Gebietsniederschläge im Untersuchungszeitraum

6.1 Allgemeine Ergebnisbeschreibung

6.1.1 Gesamtjahr

Auf den folgenden Seiten sollen die im vorangegangenen Kapitel tabellarisch zusammengestellten Ergebnisse zur Trendanalyse der Gesamtperiode in vereinheitlichter Form graphisch präsentiert und erläutert werden. Die Abbildungen zeigen über einer Karte der 33 Untersuchungsgebiete die absoluten und relativen Trendbeträge jeweils einer der fünf Auswertegrößen in dem jeweiligen Gebiet. Die unterschiedliche farbliche Kennzeichnung bezieht sich auf die nach dem in Abschnitt 3.3.3 beschriebenen Verfahren bestimmte Signifikanz anhand von Gleichung (3.26). Die Trendbeträge beziehen sich auf Grund ihrer geringen numerischen Größe nicht auf ein einziges Jahr, sondern auf den Zeitraum eines Jahrhunderts, auch wenn der Untersuchungszeitraum erheblich kürzer ist.

Es wurde bereits an anderer Stelle erörtert, dass eine Aussage, die über den Untersuchungszeitraum hinausreicht, mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein muß, ganz gleich, mit welcher Signifikanz die entsprechende Trendgerade bestimmt worden sein mag.

Die Betrachtung der ersten Karte (Abb. 6.1), auf der die absoluten und relativen Trends des Tagesmittelwertes für das Gesamtjahr präsentiert werden, zeigt, wie gering die Änderungen der Niederschlagsbilanz insgesamt sind. Nicht einmal jedes sechste Gebiet weist Trends auf, die auf eine tatsächliche Erhöhung der Niederschläge schließen lassen. Und auch in jenen insgesamt sechs Gebieten, die sich nur zum Teil durch eine gewisse Nähe zueinander auszeichnen, bleibt die Änderung in der Regel geringer als 0.2 % pro Jahr, was absolut weniger als einem Hundertstel Millimeter jährlich entspricht.

Die übrigen 27 Gebiete aber erreichen nicht einmal diesen geringen Trend und erweisen

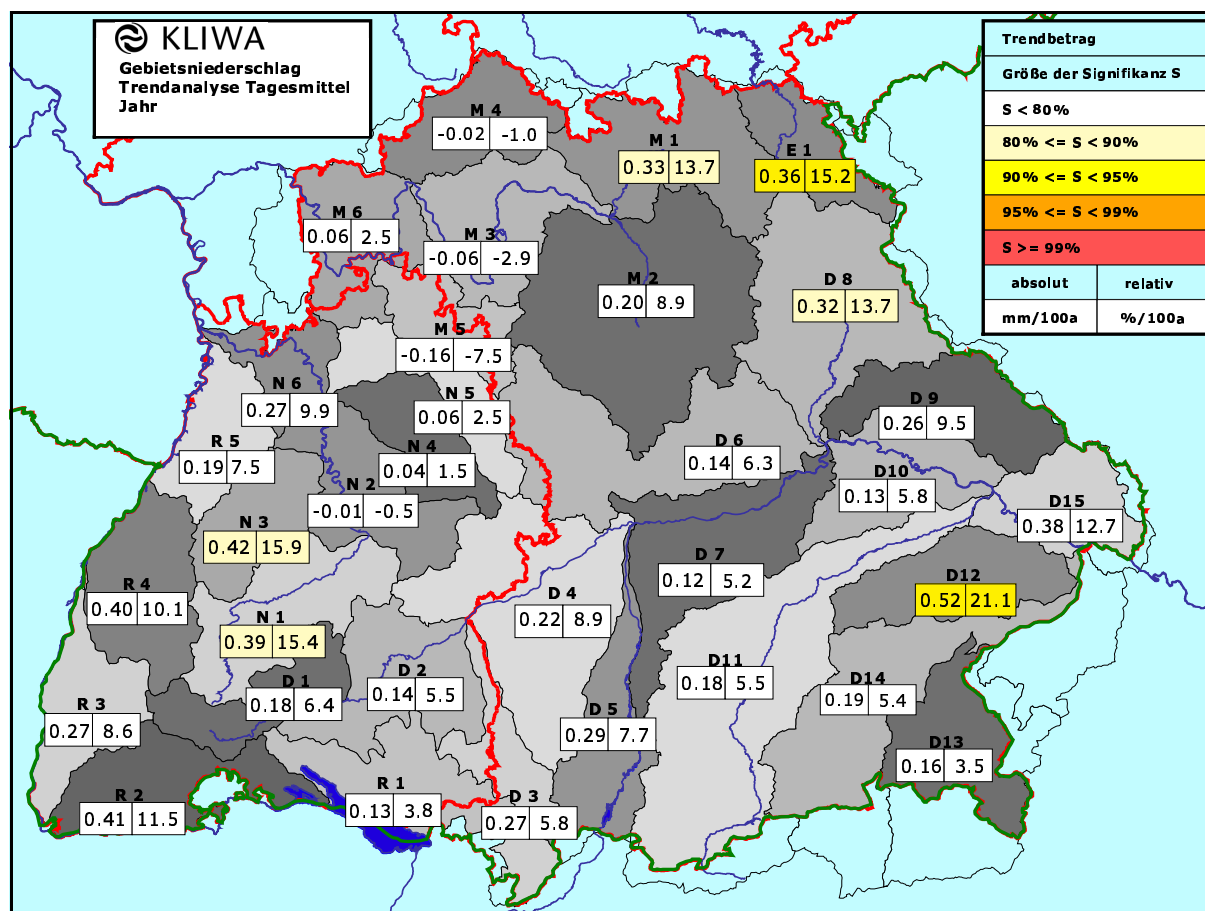


Abb. 6.1: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997

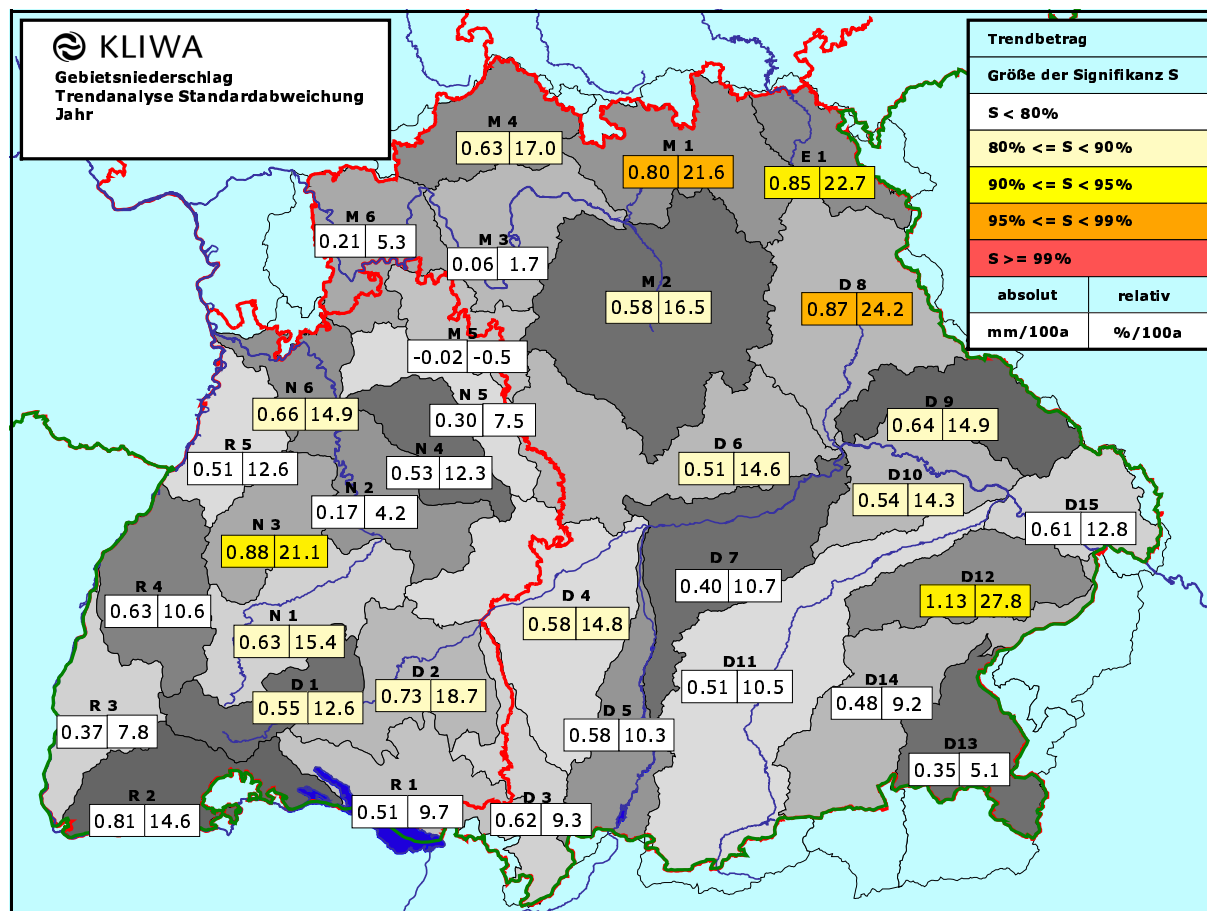


Abb. 6.2: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997

sich damit im Hinblick auf den gesamtjährlichen Niederschlag als trendfrei und stabil.

Die Interpretation dieses Einzelbefundes ist nicht ganz einfach – signalisiert er doch, es habe im Verlauf des 67-jährigen Untersuchungszeitraums keinerlei nennenswerte Veränderungen gegeben, wogegen – wie bereits aus den beiden voranstehenden Kapiteln bekannt ist – in den Jahreszeiten zum Teil ein erheblicher Wandel stattgefunden hat.

Die Interpretation von Abb. 6.1 sollte daher besser folgende Form haben: Im Hinblick auf den Tagesmittelwert und unbeschadet der darüber hinausgehenden Aussagen zur Häufigkeitsverteilung der Tageswerte gleichen sich die innerjährlichen Unterschiede in den meisten der 33 Untersuchungsgebiete bei ganzjähriger Betrachtung aus und erhöhen die durchschnittliche Niederschlagsmenge in einzelnen Bereichen nur geringfügig.

Wie rasch sich diese Aussage relativiert, zeigt sich am ganzjährigen Trend der Standardabweichung. Es ist nahezu die Hälfte aller Gebiete, in denen eine signifikante Zunahme der Standardabweichung nachgewiesen werden

kann. Folgerichtig gehören diejenigen sechs Gebiete, in denen schon das Tagesmittel zunimmt, zu dieser Gruppe, denn auf Grund der einseitig beschränkten, schiefen Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Gebietsniederschlags bedingen sich diese Änderungen – es sei denn, die Anzahl der nahezu niederschlagsfreien Tage nähme in ähnlichem Maße zu wie die Varianz.

Zu den Gebieten, in denen sich die Standardabweichung im Verlaufe des Untersuchungszeitraums nicht vergrößert, gehören der Hoch- und der Oberrhein, der Unterlauf von Main und Neckar sowie die Gebiete des Voralpenlandes vom Bodensee bis zur Salzach. Kraichgau, Schwarzwald und Schwäbische Alb dagegen lassen eine Zunahme der Variabilität ebenso erkennen wie der gesamte Norden Bayerns bis zur Donau. Diese Zunahme entspricht entweder einer Zunahme der Häufigkeit von Tagen mit starken Niederschlägen, genauer: einer Zunahme der an niederschlagsreichen Tagen gefallenen Niederschlagsmenge – oder einer Zunahme der Häufigkeit derjenigen Tage, an denen kein oder nur sehr geringfügiger Nieder-

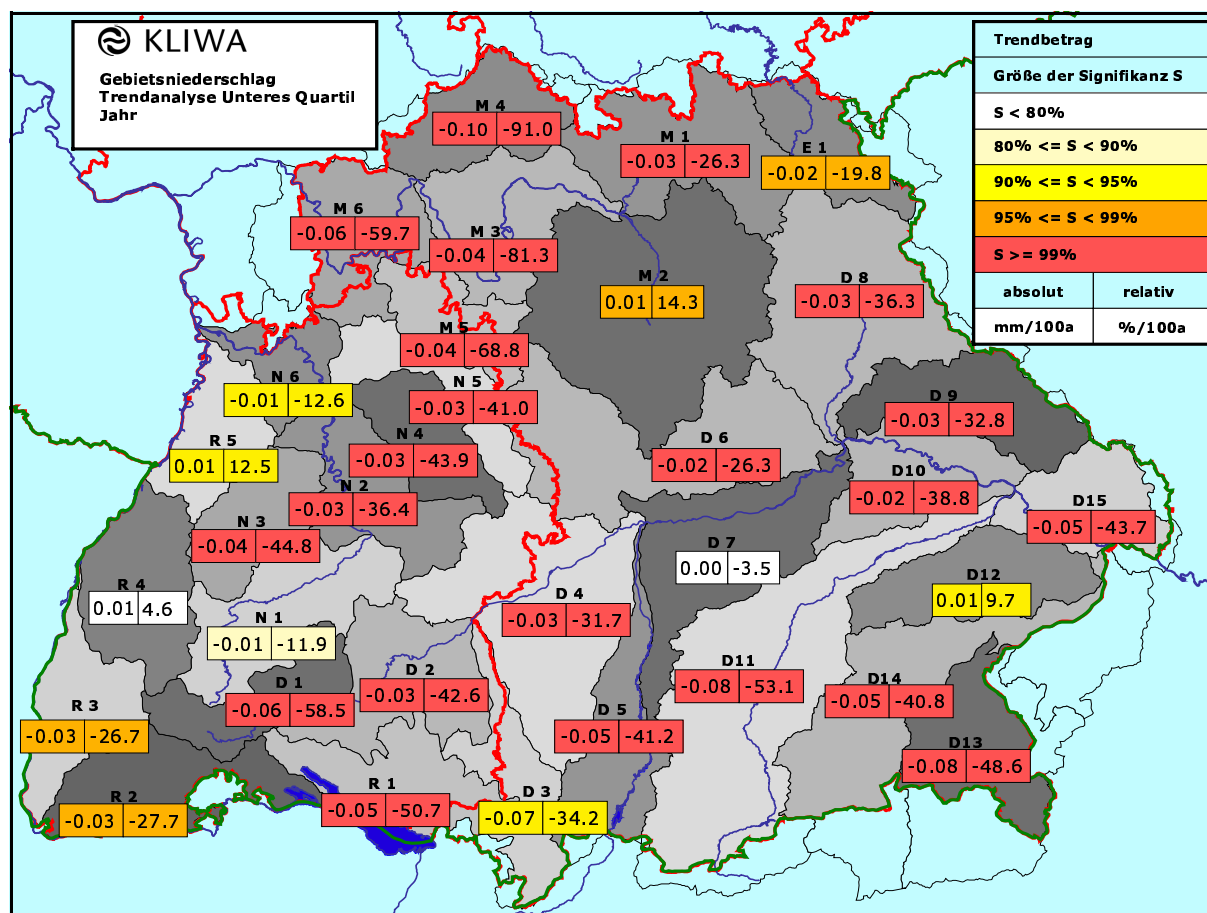


Abb. 6.3: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997

schlag fällt. In einigen der Gebiete können auch beide Arten der Veränderung auftreten.

Eine Zunahme der Häufigkeit der niederschlagsfreien Tage und der Tage mit geringfügigem Niederschlag lässt sich am leichtesten anhand der Trends des Unteren Quartils nachvollziehen (Abb. 6.3).

Mit Ausnahme von zwei der 33 Gebiete – am mittleren Oberrhein und an der mittleren Donau – findet sich überall ein signifikanter Rückgang des Unteren Quartils, und in der Mehrzahl der Gebiete überschreitet die Signifikanz den höchsten verwendeten Schwellenwert.

Wie aus Abb. 2.5 und Tabelle 5.2 ersichtlich ist, stellt das Untere Quartil einen sehr kleinen Wert der Größenordnung 0.1 mm dar, der von Monat zu Monat sehr starken Schwankungen unterworfen ist (vgl. Abb. 2.8) und dazu eine extrem schiefe Häufigkeitsverteilung hat. Im Gegensatz etwa zum Tagesmittelwert unterliegen diese Gebietswertreihen im Verlauf des Untersuchungszeitraums auch sehr starken Schwankungen, wie sich z.B. an Abb. 5.8 erkennen lässt.

Die Größe der relativen Trendbeträge, die in

manchen Gebieten deutlich den Wert von 50% in 100 Jahren, also ein halbes Prozent in jedem Jahr überschreiten, deutet denn auch auf eine Zunahme der Häufigkeit von Tagen mit weniger als etwa 0.1 mm Gebietsniederschlag hin. Selbst wenn es sich hierbei um Gebietsmittel über Flächen einer Größenordnung von 1000 km² handelt, mithin an solchen Tagen im Gebiet durchaus kleinere lokale Schauer auftreten sein können, bedeutet dies faktisch eine Zunahme der niederschlagsfreien Tage.

Bei relativer Konstanz der Niederschlagsbilanz heißt das zunächst eine Erhöhung der an niederschlagsreichen Tagen gefallenen Niederschlagsmenge, wenn auch nicht unbedingt die Zunahme der Häufigkeit niederschlagsreicher Tage. Vereinfacht gesprochen bedeutet dies, es müssen nicht *mehr* Tage mit hohen Niederschlägen auftreten, sondern es reicht aus, wenn an den durchschnittlich auftretenden niederschlagsreichen Tagen ein etwas höherer Niederschlag gemessen werden kann.

Die Untersuchung der verbleibenden beiden Auswertegrößen wird zeigen, dass in den 33 untersuchten Gebieten sowohl die eine als auch

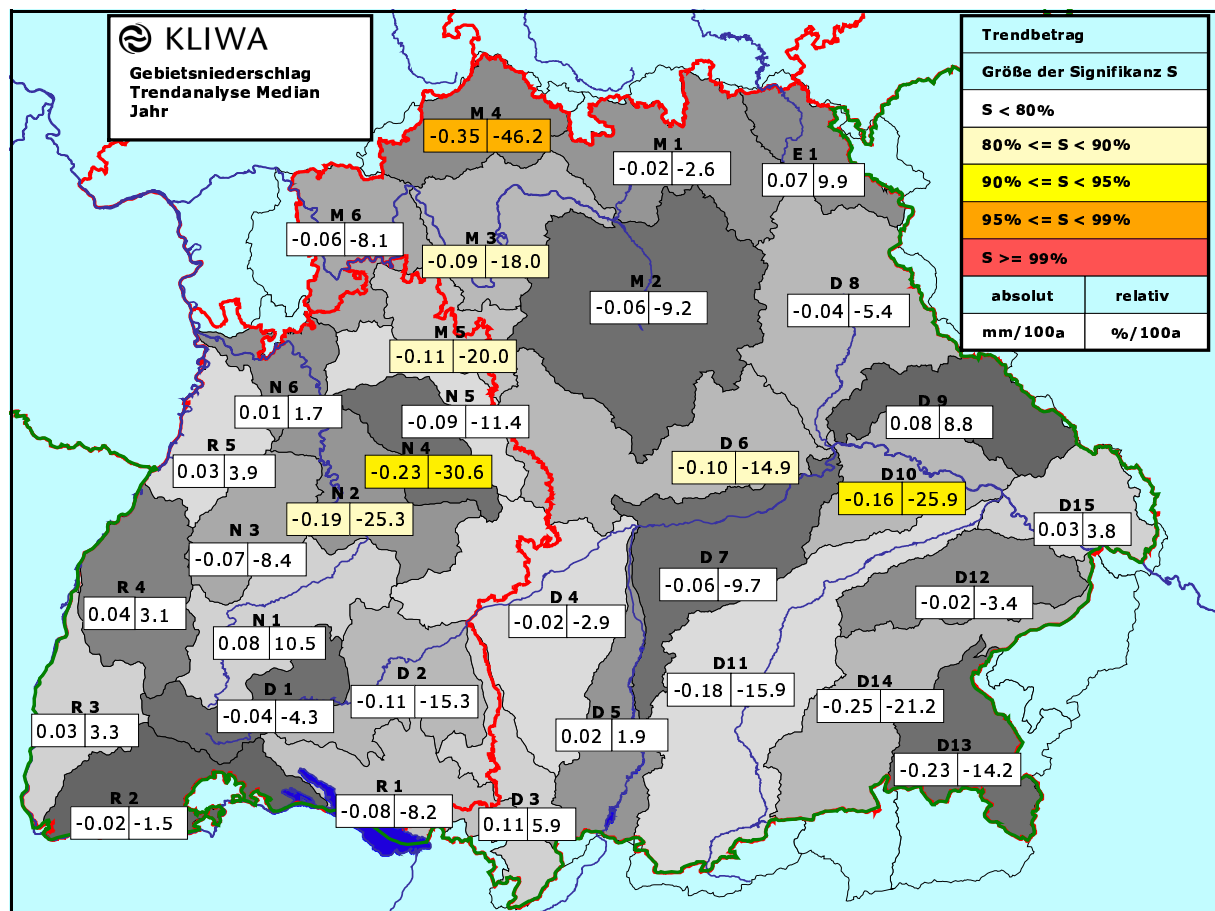


Abb. 6.4: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997

die andere Möglichkeit auftritt.

Zunächst sei auf die Reihen des Medians verwiesen (Abb. 6.4). Auf Grund der linksseitigen Beschränkung der Niederschlagsdaten und ihrer schiefen Häufigkeitsverteilung ist der Median stets kleiner als der Tagesmittelwert. Seine Größenordnung liegt bei etwa 1.0 mm, wobei die Werte von Gebiet zu Gebiet stark variieren; der Tagesmittelwert dagegen ist in sehr grober Näherung knapp doppelt so groß. Der Median kann daher ähnlich dem Unteren Quartil noch als Indikator für die Zu- oder Abnahme der Häufigkeit von Tagen mit vergleichsweise geringfügigen Niederschlägen gelten, wenn auch nicht in gleichem Maße für völlig niederschlagsfreie Tage.

Bei Betrachtung der Karte erweist sich die Zahl der Gebiete mit signifikanten Trends des Medians als gering, und nur in einem einzigen Gebiet (Fränkische Saale – M4) wird die Wahrscheinlichkeit von 95 % überschritten. In mehr als zwei Dritteln aller Gebiete – auch denen ohne hinreichenden Nachweis statistischer Signifikanz – ist die Tendenz rückläufig.

Das bedeutet nichts anderes, als dass der

Niederschlag in der „trockenen Hälfte“ eines jeden Monats, das heißt an den 15 niederschlagsärmsten Tagen niedriger geworden ist. Bei gleichbleibendem Mittelwert müssen also zum Ausgleich die Niederschläge an den 15 niederschlagsreicheren Tagen, in der „feuchten Hälfte“, dagegen zunehmen.

Nimmt der Tagesmittelwert zu, so muss dieser Ausgleich um so stärker sein. Leider lässt sich bei einem regionalen Vergleich kein Zusammenhang zwischen der Zunahme des Tagesmittels und dem Rückgang des Medians feststellen.

Im Gebiet M4 beispielsweise kommt es nicht nur zu keinem nennenswerten Zuwachs des Tagesmittelwertes – er geht sogar leicht zurück, wenn auch nur um 0.01 % im Jahr und mithin ohne jede Signifikanz. Im Gebiet D12 andererseits, in dem der Tagesmittelwert um 0.2 % pro Jahr zunimmt, ist der Rückgang des Medians nicht signifikant.

In *keinem* der 33 Untersuchungsgebiete kommt es gleichzeitig zu einem signifikanten Rückgang des Medians und zu einer signifikanten Zunahme des Tagesmittelwertes.

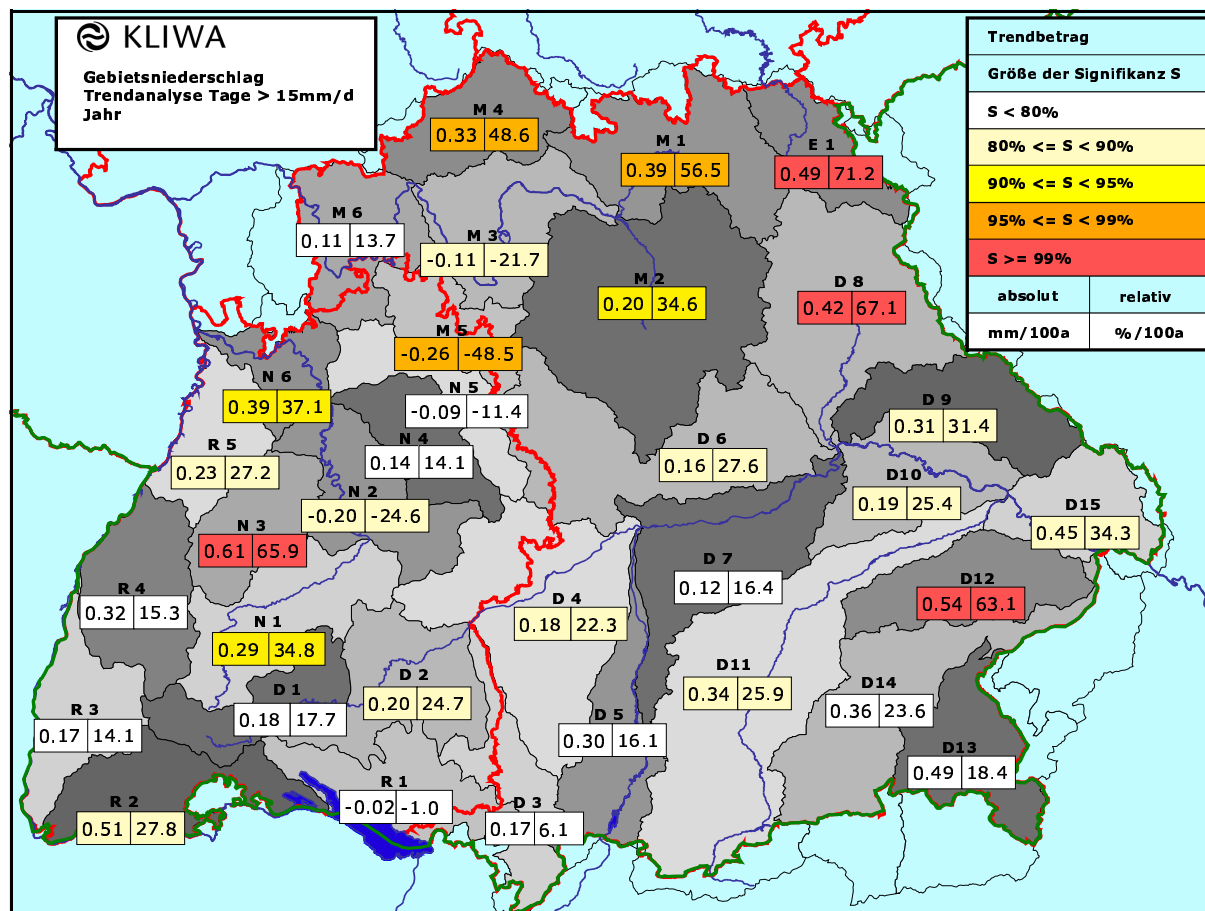


Abb. 6.5: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997

Bei der Häufigkeit der Überschreitung von 15 mm/d sind wiederum in einer vergleichsweise großen Anzahl von Gebieten signifikante Veränderungen nachweisbar (Abb. 6.5).

Allerdings ist hier die Richtung der Änderungen nicht einheitlich. Während in der Mehrzahl der Gebiete ein Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit zwischen 0.2 % und 0.5 %, in einigen Fällen sogar mehr als 0.6% pro Jahr zu verzeichnen ist, sinkt die gleiche Auswertegröße in einem schmalen Streifen, der am Mittellauf des Mains (Gebiet M3) beginnt und bis zum Mittellauf des Neckar reicht, um Beträge bis zu 0.5 % pro Jahr (Gebiet M5 – Tauber) ab.

Der Vergleich mit den Tendenzen des Tagesmittelwertes zeigt, dass eben dort nicht nur kein signifikanter Zuwachs erfolgt, sondern ein leichter Rückgang – auch wenn dieser in Anbetracht der Variabilität in keiner Weise signifikant ist. Insofern stellt diese regionale Besonderheit bei der Häufigkeit von Tagen mit mehr als 15 mm/d keinen Widerspruch zu den anderen Auswertegrößen dar.

Einen weiteren Widerspruch scheint es im

Hinblick auf die Interpretation des Rückgangs der Medianwerte zu geben. Dieser ist zwar, wie weiter oben bereits angedeutet, nur durch eine Umverteilung der monatlichen Niederschlagsmenge auf Tage mit hohen Werten zu erklären; das bedeutet aber nicht, dass an diesen Tagen, an denen der Medianwert überschritten wird, auch der verwendete Schwellenwert von 15 mm/d überschritten werden muss.

Zusammenfassend soll für die Veränderungen bei ganzjähriger Betrachtung folgendes festgehalten werden:

- Die im Verlauf des Jahres fallende Niederschlagsmenge nimmt im Verlauf des Untersuchungszeitraums nur in wenigen Gebieten Baden-Württembergs und Bayerns signifikant um 0.1 % bis 0.2 % pro Jahr zu. In mehr als 80 % der Gebiete ist allerdings keine tendenzielle Entwicklung nachweisbar.
- Deutlicher als die Veränderung der Niederschlagsbilanz ist die Veränderung der Häufigkeitsverteilung. Einer Zunahme der Tage ohne oder mit nur geringem Niederschlag

steht gleichzeitig eine allgemeine Zunahme der Niederschläge an denjenigen Tagen gegenüber, an denen überdurchschnittliche, jedoch nicht extreme Beträge gemessen werden.

- Die Häufigkeit der Tage mit sehr starken Gebietsniederschlägen (mehr als 15 mm/d) nimmt nur in einem Teil der Gebiete zu, während sie in einzelnen Gebieten im Nordwesten langfristig zurückgeht.

6.1.2 Sommer

Die Tendenzen während der drei Sommermonate unterscheiden sich in der Mehrzahl der Untersuchungsgebiete klar von denen des Gesamtjahres. Das zeigt sich zunächst bei dem die Niederschlagsbilanz charakterisierenden Tagesmittelwert (Abb. 6.6).

Der Tagesmittelwert nimmt in 27 der 33 Gebiete ab. In zwölf dieser 27 Gebiete sind die für den 67-jährigen Untersuchungszeitraum bestimmten linearen Trends hinreichend signifikant. Die stärksten Trendbeträge treten dabei im Bereich des unteren Mains auf – in den vier Gebieten M3 bis M6 überschreiten sie deutlich

die Schwelle von 0.3 % pro Jahr, also 30 % in einem Jahrhundert.

Weitere Gebiete mit signifikantem Rückgang des Tagesmittelwertes liegen am Mittleren Main (Regnitz), im nördlichen Teil des Neckargebietes sowie am Ober- und am Hochrhein.

In weiten Teilen der untersuchten Region allerdings – namentlich in einem breiten Streifen vom Schwarzwald bis zum bayerischen Wald – sind die Tendenzen nicht signifikant. Mehr noch: Von Nordwest nach Nordost schwächen sich die Trendbeträge ab, um sich im Südosten, von der Iller bis zur unteren Donau, sogar umzukehren. Die Tagesmittel in diesen sechs Gebieten nehmen geringfügig, d.h. in der Regel mit Beträgen von weniger als 0.1 % pro Jahr zu, und nur im Gebiet D12 erreicht die Zunahme mit 0.17 % pro Jahr hinreichende Signifikanz.

Diese regionale Besonderheit des Alpenvorlandes könnte sich aus der im Verlauf des Untersuchungszeitraums veränderten Häufigkeit bestimmter Wetterlagen erklären lassen.

Allerdings stellt die Ausnahme von gerade einem Gebiet mit signifikant zunehmendem

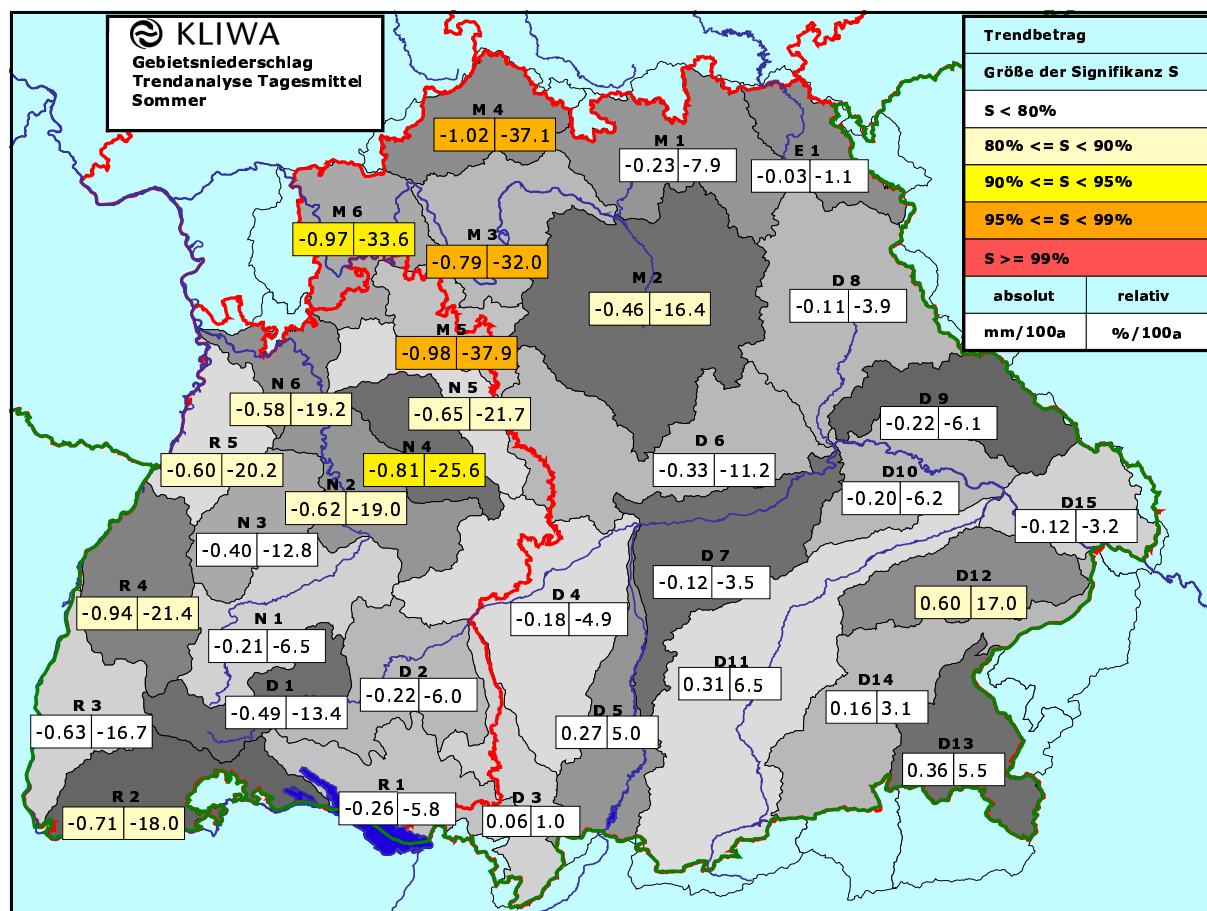


Abb. 6.6: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997

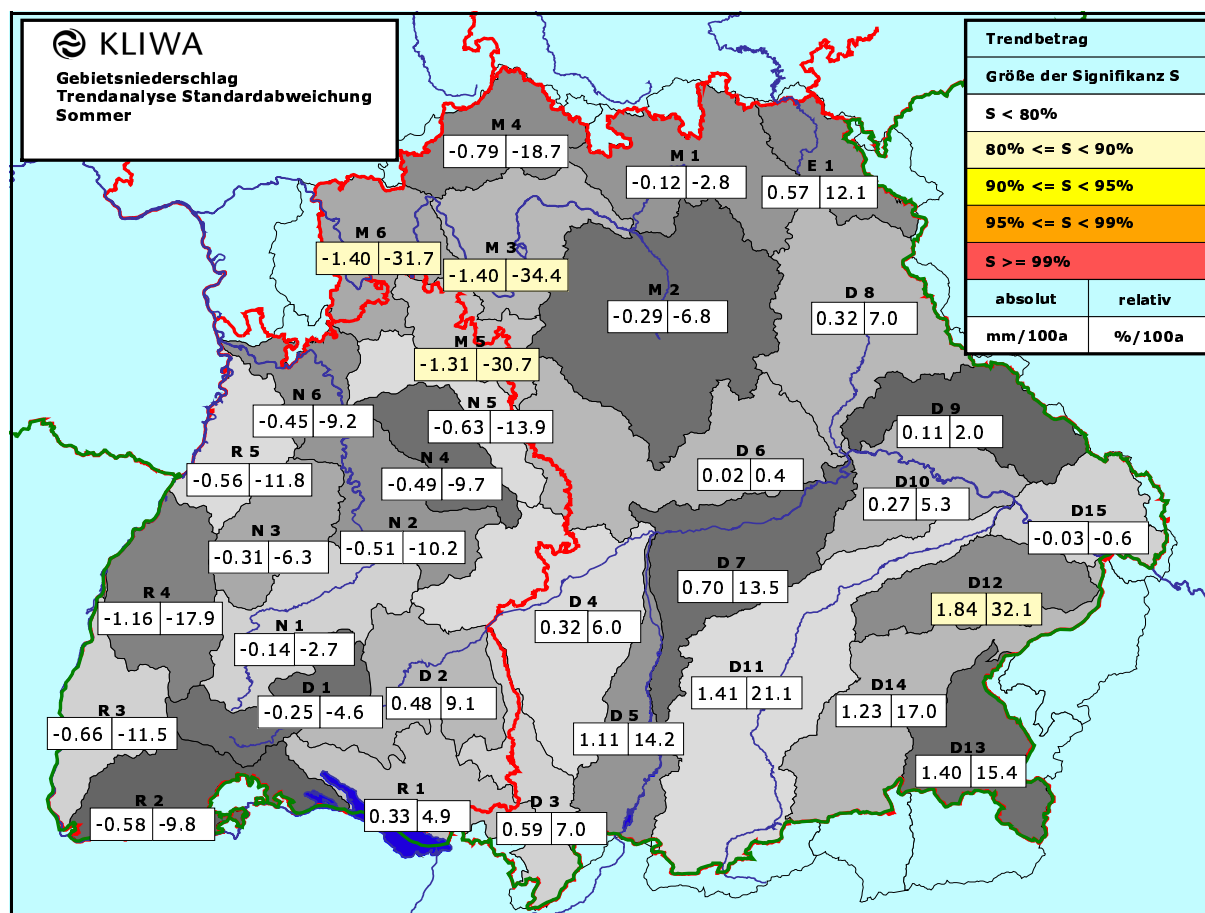


Abb. 6.7: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997

Trend kein sicheres Fundament zum Aufbau einer begründeten Hypothese dar. Vielmehr sollte diese Ausnahme Ausgangspunkt für die um so genauere Betrachtung der Veränderungen bei den anderen Untersuchungsgrößen sein.

Anders als bei der ganzjährigen Auswertung, wo die geringe Anzahl signifikanter Trends der Tagesmittelwerte in einer größeren Anzahl von Gebieten durch signifikante Trends der Standardabweichung ergänzt werden, findet sich im Sommer nur in drei Gebieten ein signifikanter Rückgang der Standardabweichung mit Beträgen von mehr als 0.3 % pro Jahr (Abb. 6.7), und zwar am unteren Main, dort wo auch die Tagesmittelwerte ihren stärksten Rückgang haben.

In den übrigen Gebieten im Westen von Baden-Württemberg und Bayern erreicht der Rückgang kaum mehr als 0.1 % im Jahr. Die weite Verbreitung der signifikanten Änderungen, die beim Tagesmittel von der Fränkischen Saale bis zum Hochrhein reicht, findet sich also nicht wieder.

Darüber hinaus zeigt sich, dass die beobachtete negative Tendenz der Standardabwei-

chung in südöstlicher Richtung abnimmt und sich schließlich umkehrt, so dass, wie bei den Tagesmittelwerten, zunehmende Trends bestimmt werden können, die in ihrer Mehrzahl allerdings ebenso wenig signifikant sind. Lediglich im Gebiet D12 ergibt sich ein schwach signifikanter Trendbetrag von mehr als 0.3 % pro Jahr.

Es lässt sich nun aus den Veränderungen von Tagesmittelwert *und* Standardabweichung unter Berücksichtigung der einseitig beschränkten Häufigkeitsverteilung der Gebietsniederschläge zunächst das folgende Bild ableiten: Im Nordwesten gehen Tagesmittel und Standardabweichung zurück, im Südosten nehmen beide Größen geringfügig zu.

Die Veränderung der Niederschlagsbilanz im Sommer, soweit sie signifikant ist, kann zunächst mithin auf die Veränderung der Häufigkeit von Tagen mit verhältnismäßig ergiebigen Niederschlägen zurückgeführt werden: Treten weniger häufig starke Niederschläge auf, so gehen Standardabweichung und Tagesmittelwert gleichermaßen zurück und umgekehrt. Dies erscheint um so plausibler, als das Niederschlags-

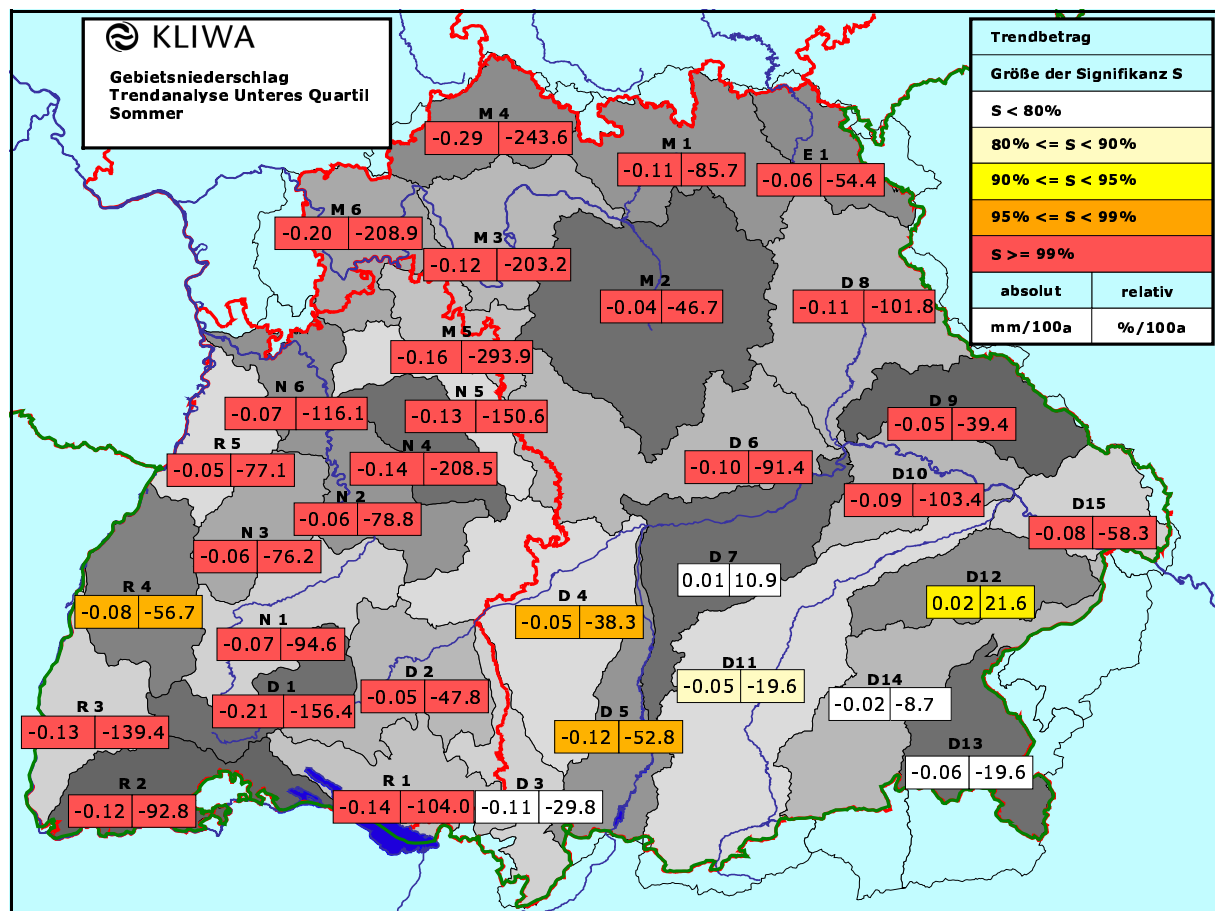


Abb. 6.8: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997

regime des Sommers bekanntermaßen durch intensive konvektive Niederschläge gekennzeichnet ist.

Die Relevanz dieser Veränderung bleibt allerdings zunächst sehr vage. Nicht nur, weil auf Grund der starken Schwankungen in den Zeitreihen der Standardabweichung nur vier der 33 Gebiete signifikante Trends aufweisen, sondern auch, weil nur in etwa der Hälfte der Gebiete der jährliche Trendbetrag kleiner als 0.1 % bleibt.

Es muss also weiterhin geprüft werden, inwiefern das Zeitverhalten der verbleibenden Auswertegrößen diese Aussage stützt.

Das Untere Quartil charakterisiert – wie bereits dargestellt – die Häufigkeit geringfügiger Niederschläge: Ein Rückgang des Unteren Quartils signalisiert eine Zunahme der Tage ohne bzw. mit nur geringfügigen Gebietsniederschlägen, eine Zunahme des Unteren Quartils dagegen einen Rückgang der Häufigkeit derartiger Tage.

Abb. 6.8 demonstriert sehr eindrücklich, wie gravierend die Veränderungen dieser Größe im Sommer sind: Mit Ausnahme weniger Ge-

biete im Süden Bayerns kommt es überall zu einer extremen Zunahme niederschlagsfreier bzw. –armer Tage, wie sich an dem starken Rückgang der Quantilwerte zeigt, der im Extremfalle – im Taubergebiet (M5) – nahezu 3 % pro Jahr erreicht. Entsprechend hoch sind in den betroffenen Gebieten auch die Werte der Signifikanz.

Einzig in drei Gebieten ist der rechnerisch bestimmte Rückgang nicht hinreichend signifikant; in zwei weiteren (D7 und D12) ist ein positiver Trend zu verzeichnen. Es handelt sich dabei um diejenigen Gebiete, in denen Tagesmittelwert und Standardabweichung zunehmen. Auch wenn der Zuwachs nur im Gebiet D12 mit hinreichender Signifikanz nachweisbar ist, kennzeichnet dieser Befund doch im Zusammenhang mit den Aussagen zum Tagesmittel und zur Standardabweichung die Besonderheit eben dieses Bereiches im südlichen Bayern.

Augenscheinlich wirkt sich die anzunehmende Änderung der Häufigkeit sommerlicher Wetterlagen im Südosten des Untersuchungsbereiches anders aus als in den übrigen Gebieten und verhindert das Anwachsen der Häufig-

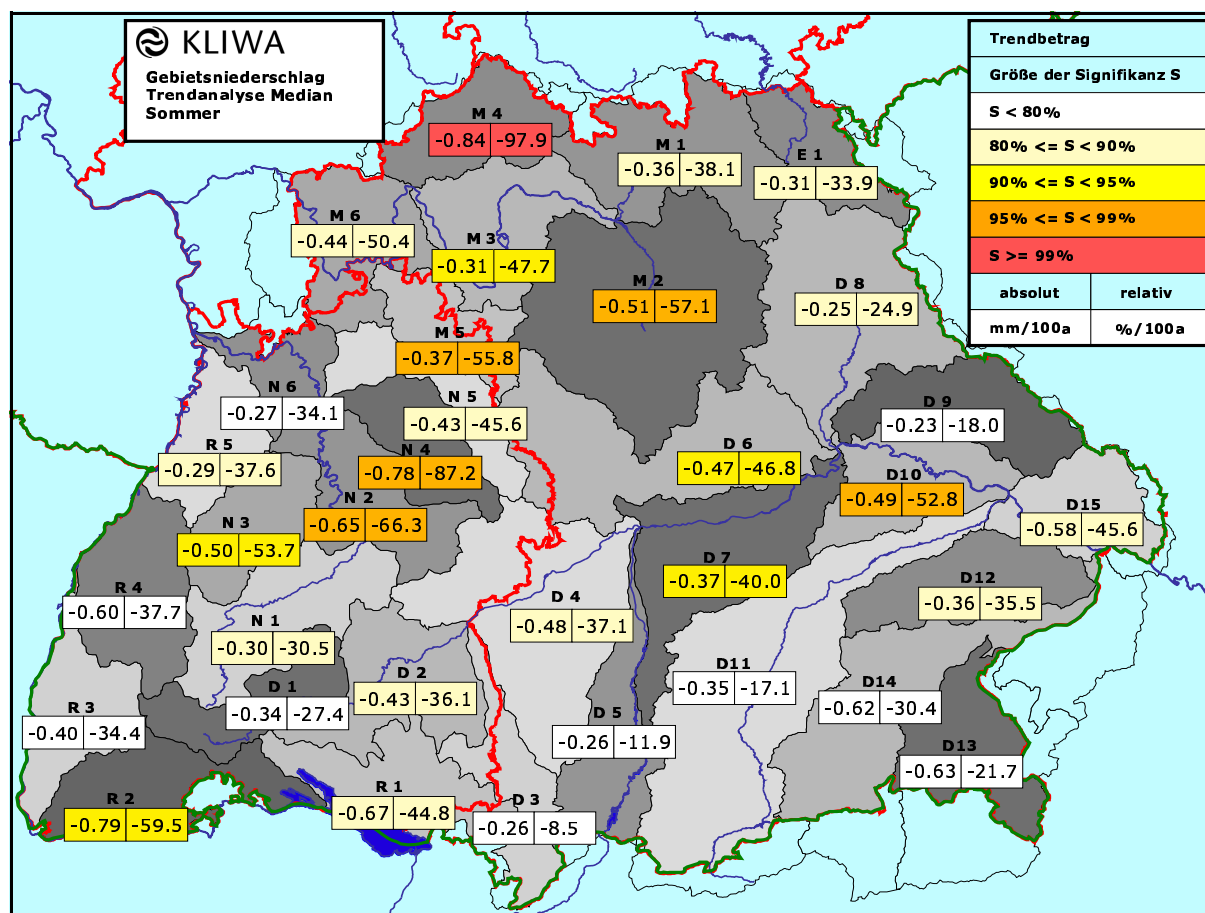


Abb. 6.9: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997

keit niederschlagsarmer Tage.

Sollte diese Vermutung zutreffen, so müsste sich eine analoge regionale Unterscheidung bei den Tendenzen des Medians finden lassen.

Abb. 6.9 zeigt die regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median. Allerdings erweist diese sich nicht so klar wie die des Unteren Quartils. Vielmehr findet sich ein Muster, das eher dem der Trends des Tagesmittelwertes ähnelt.

In allen Gebieten findet ein mehr oder weniger starker Rückgang der Medianwerte statt. Die höchsten und am meisten signifikanten Tendenzen treten in einem Gebiet auf, das von der Fränkischen Saale — mit nahezu 1 % pro Jahr — bis zum Mittellauf des Neckars reicht. In mehreren Gebieten — vom Neckar bis zum unteren Donauabschnitt — erreicht oder überschreitet der Trend einen Betrag von 0.5 % pro Jahr.

Nicht signifikant sind die Trends am Oberrhein, am Regen und im Süden Bayerns. Der schwächste Rückgang mit weniger als 0.1 % pro Jahr findet sich im Illergebiet.

Der allgemeine Rückgang des Medians im-

pliziert analog zum Rückgang des Unteren Quartils die Zunahme von Tagen mit „unterdurchschnittlichen“ Niederschlägen. Bei einer Größenordnung des Medians von etwa 1 mm (vgl. Tabelle 5.6) bedeutet dies eine Zunahme von Tagen mit hydrologisch wenig relevanten Niederschlägen. Allerdings ergibt sich hieraus nicht ohne weiteres im Umkehrschluss, dass in Gebieten mit wenig veränderten Mittelwerten die Häufigkeit von Tagen mit ergiebigem Niederschlag zunehmen muss.

Die Interpretation der räumlichen Verteilung ist nicht unproblematisch. Der naheliegende Schluss, Signifikanz bzw. das Fehlen hinreichender Signifikanz hänge von der Exposition der einzelnen Gebiete ab, lässt sich nicht für alle Gebiete bestätigen.

Weniger regionale Differenzierung weist die Verteilung der Trends für die fünfte Auswertegröße auf, die Häufigkeit von Tagen mit mehr als 15 mm Gebietsniederschlag (Abb. 6.10). Auch wenn sich nur ein Drittel der bestimmten Tendenzen als signifikant ausweisen lässt, wird der Unterschied zwischen Nordwesten und Südosten deutlich.

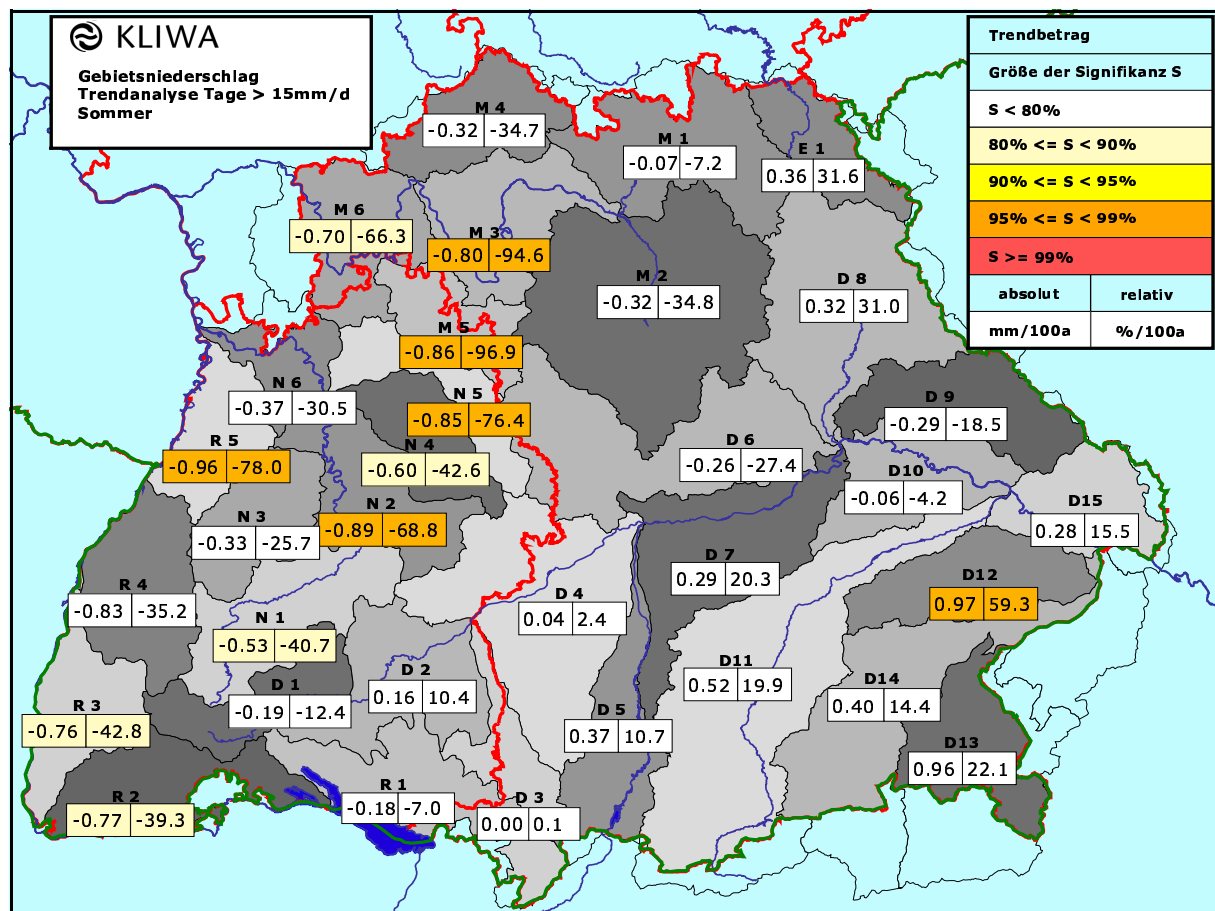


Abb. 6.10: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997

Am unteren Main, am Neckar und am Oberrhein sind in einigen Gebieten Rückgänge zwischen 0.5 % und 1 % pro Jahr zu verzeichnen. Im südlichen Bayern dagegen nehmen die Häufigkeiten der niederschlagsreichen Tage zu, auch wenn dieser Trend nur in dem auch bei den anderen Auswertegrößen auffallenden Niederbayerischen Hügelland (Gebiet D12) mit der gewünschten Signifikanz nachzuweisen ist.

Beim Vergleich zwischen den regionalen Verteilungsmustern von Tagesmittelwert (Abb. 6.6) und Überschreitungshäufigkeit fällt sowohl im Hinblick auf die Trendbeträge als auch auf die Signifikanz die nahezu völlige Deckung der Entwicklung in vielen Gebieten auf. Es lassen sich daraus mit der ergänzenden Information der davon abweichenden Muster für die Standardabweichung und die beiden Quantile die folgenden summarischen Schlussfolgerungen für die drei Sommermonate ziehen:

- Der Sommer ist in der Mehrzahl der untersuchten Gebiete durch einen Rückgang der Niederschläge geprägt.
- Dieser Rückgang wird vor allem durch einen gleichzeitigen Rückgang der Häufig-

keit von Tagen mit hohen Gebietsniederschlägen verursacht.

- Daneben ist auch ein Anstieg der Häufigkeit von Tagen ohne oder mit unerheblichen Niederschlägen zu verzeichnen; allerdings wirkt sich diese Änderung nicht wesentlich auf die Änderung der Niederschlagsbilanz aus.
- Eine Ausnahme von dieser Entwicklung ist in Südbayern zu verzeichnen. Hier kommt es im Gegensatz zu den anderen Gebieten zu einer geringfügigen Zunahme der Niederschläge, die wiederum verursacht wird durch einen Anstieg der Häufigkeit von Tagen mit starken Niederschlägen. Allerdings lässt sich diese Zunahme nicht überall mit der erforderlichen Signifikanz nachweisen. Schwerpunkt ist das Niederbayerische Hügelland.

6.1.3 Winter

Die langfristige Entwicklung der Gebietsniederschläge während der drei Wintermonate stellt in gewisser Weise das Gegenstück des sommerlichen Verlaufs dar, auch wenn nicht

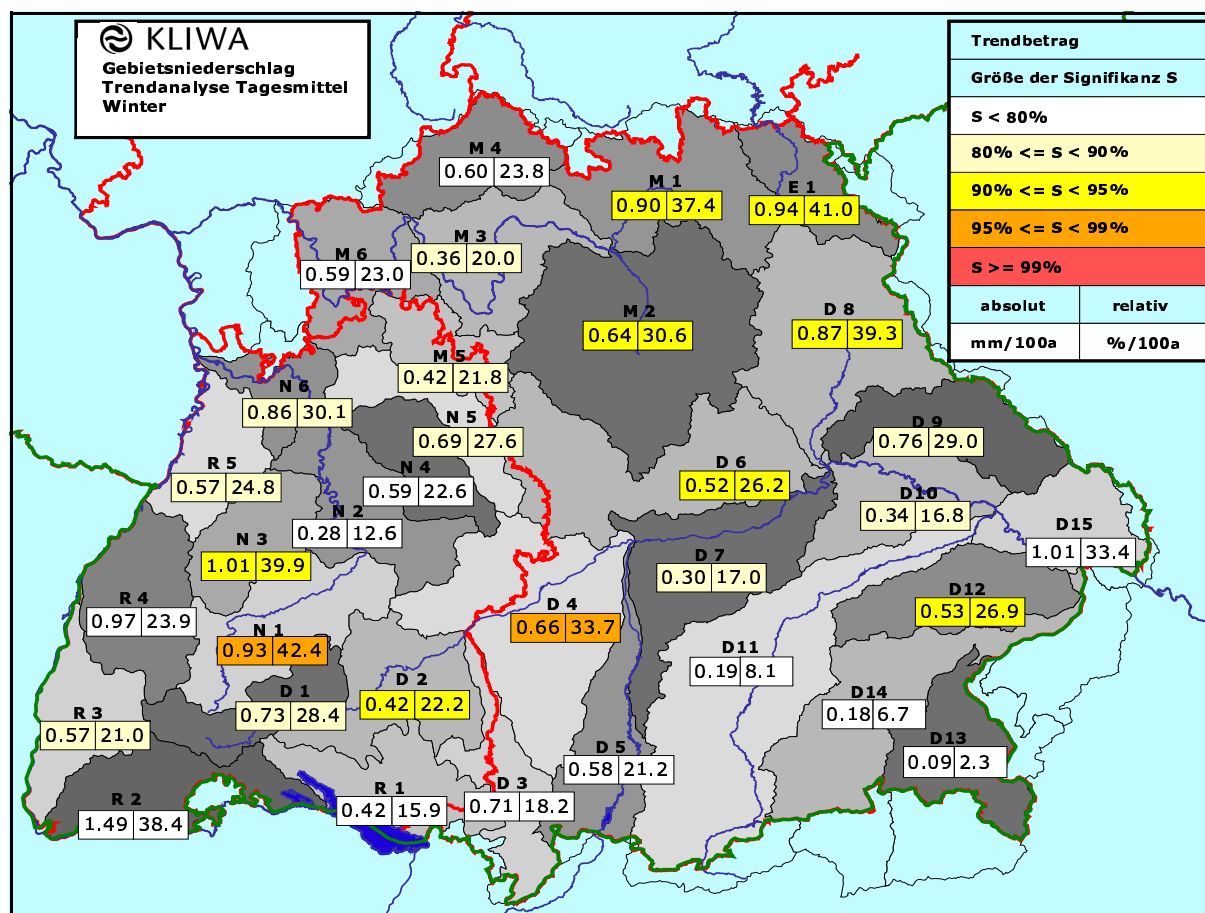


Abb. 6.11: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997

in jedem Gebiet und bei jeder Auswertegröße ein spiegelbildliches Verhalten nachweisbar sein dürfte.

Einen Überblick über die Trends des Tagesmittelwertes im Winter gibt Abb. 6.11. Die Werte steigen ohne Ausnahme in allen Gebieten an; der berechnete lineare Trend ist in zwanzig Gebieten hinreichend signifikant. Die signifikanten Trendbeträge variieren zwischen 0.17 % pro Jahr und 0.42 % pro Jahr.

Nicht signifikante Anstiege weisen vor allem die Gebiete am Alpenrand und im Südosten auf, der Bereich also, für den auch im Sommer kein signifikanter Rückgang des Tagesmittelwertes nachzuweisen ist. Ausnahme hiervon bildet das Gebiet D12, in dem *sowohl* im Sommer *als auch* im Winter ein schwach signifikanter Anstieg nachweisbar ist. Folgerichtig steigt in diesem Gebiet auch bei ganzjähriger Auswertung das Tagesmittel (vgl. Abb. 6.1).

Allerdings findet sich zu den beiden stärksten Trends des Tagesmittels im Winter, die in den Gebieten D4 und N1 auftreten, keine passende Gegenentwicklung im Sommer – in diesen Gebieten ließ sich kein signifikanter

Rückgang feststellen. Bei ganzjähriger Auswertung ist aber nur im Gebiet N1 ein signifikanter Zuwachs als Ergebnis des Anstiegs im Winter nachweisbar. Im Gebiet D4 bleibt der ganzjährige Zuwachs von 0.09 % pro Jahr allerdings unter der Signifikanzschwelle.

Ebenso verhält es sich mit den Gebieten D8, E1 und M1. Die drei nordöstlichen Randgebiete weisen relativ starke Anstiege des Tagesmittels im Winter auf, im Sommer dagegen ist der Rückgang nicht signifikant. Hier zeigt sich jedoch in allen drei Gebieten zum Ausgleich bei ganzjähriger Auswertung ein signifikant zunehmender relativer Trend von etwa 0.14 % pro Jahr.

Ein annähernd spiegelbildliches Verhalten von Sommer und Winter zeigt sich nur im Nordwesten, in den Gebieten M2, M3, M5, N5, N6 und R5. Hier nehmen die Tagesmittel im Winter um 0.2 % bis 0.3 % pro Jahr zu, während sich im Sommer ein Rückgang von etwa 0.2 % bis 0.4 % pro Jahr ermitteln lässt. Im Sommer erstreckt sich dieser signifikante Rückgang allerdings auch auf die westlichen Randgebiete von M4 im Norden bis R4 im Süden. Für den Winter

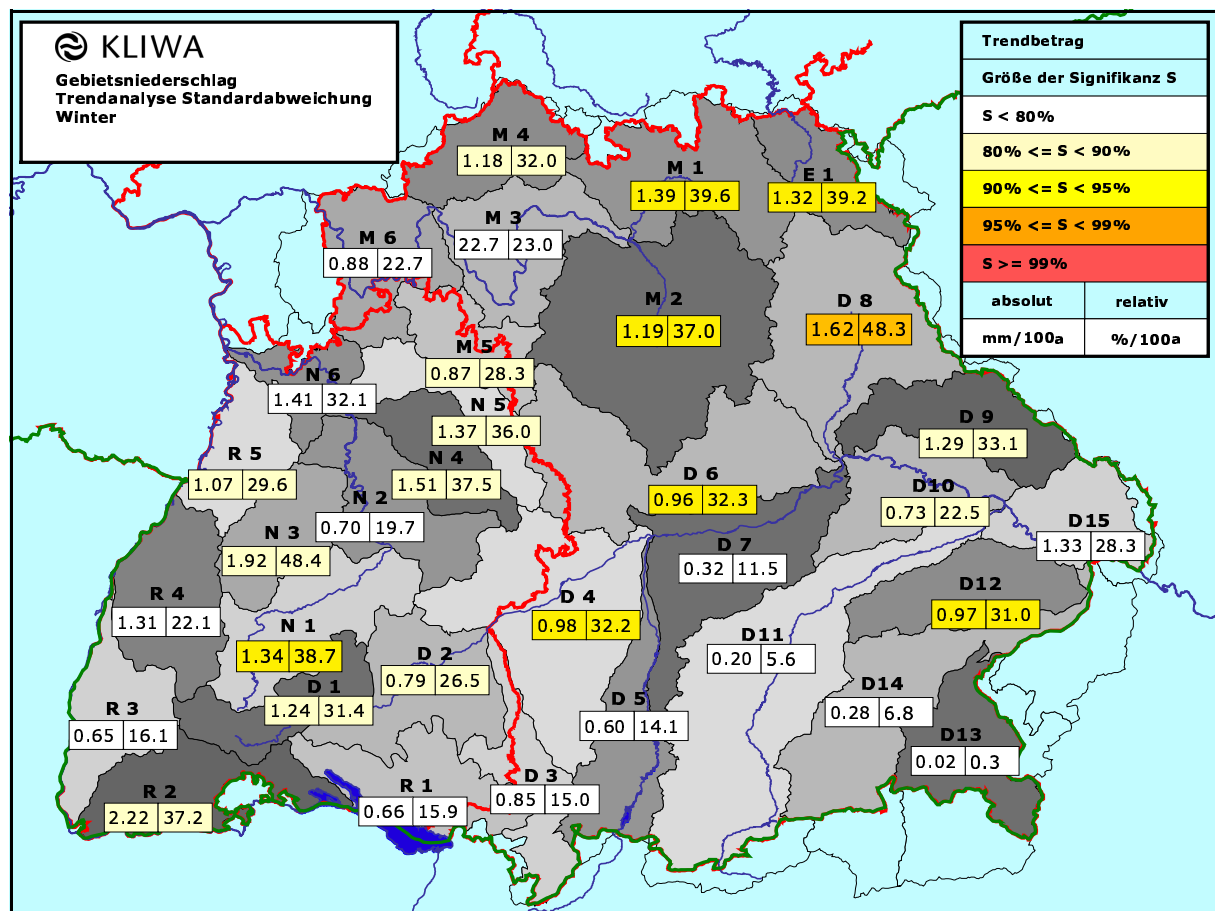


Abb. 6.12: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997

kann in den Gebieten M4, M6 und R3 zwar auch ein Zuwachs von mehr als 0.2 % pro Jahr bestimmt werden; auf Grund der starken Varianz in den Zeitreihen erreichen diese Trends jedoch nicht die erforderliche Signifikanz. Die Trends bei ganzjähriger Auswertung sind in diesen Gebieten vernachlässigbar.

Eine Folge der ansteigenden Tagesmittelwerte ist die analoge Vergrößerung der Standardabweichung, wie der Blick auf Abb. 6.12 zeigt.

In den meisten derjenigen Gebiete, in denen signifikante Trends des Tagesmittelwertes festzustellen sind, lassen sich auch signifikante Tendenzen der Standardabweichung bestimmen. Leichte Differenzen treten in Baden-Württemberg und Nordwesten Bayerns auf, in den übrigen bayerischen Untersuchungsgebieten fehlt nur in einem Gebiet (D7) die Übereinstimmung.

Der Zusammenhang zwischen der Erhöhung des Mittelwertes und der Standardabweichung ergibt sich aus der einseitigen Beschränkung bei 0.0 mm/d und aus der Schiefe der Häufigkeitsverteilung. Der gleichzeitige Zuwachs bei

der Auswertegrößen ist als Streckung der Häufigkeitsverteilung in Richtung der größeren Niederschlagswerte zu interpretieren. Es bleibt zu prüfen, ob und inwieweit sich diese Veränderung auch auf die Häufigkeit der geringen und der extremen Niederschläge auswirkt.

Die stärkste Zunahme der Standardabweichung tritt mit durchschnittlich etwa 0.5 % pro Jahr im Naabgebiet (D8) auf, was in diesem Falle mehr als einem Millimeter während des 67-jährigen Untersuchungszeitraums entspricht. Auch in den angrenzenden Gebieten überschreitet der mittlere Zuwachs 0.3 % pro Jahr.

Dagegen ist im Alpenvorland zwar ein rechnerisch schwacher, aber in keinem Falle signifikanter Zuwachs der Standardabweichung zu verzeichnen, so wie auch die Zunahme des Tagesmittels in dieser Region nicht signifikant ist. Augenscheinlich wirken die atmosphärischen Prozesse, die die winterlichen Niederschläge in den Mittelgebirgsregionen verstärken, in vergleichsweise geringerem Maße auf das Alpenvorland.

In den weiter westlich gelegenen Untersuchungsgebieten ergibt sich wie beim Tagesmit-

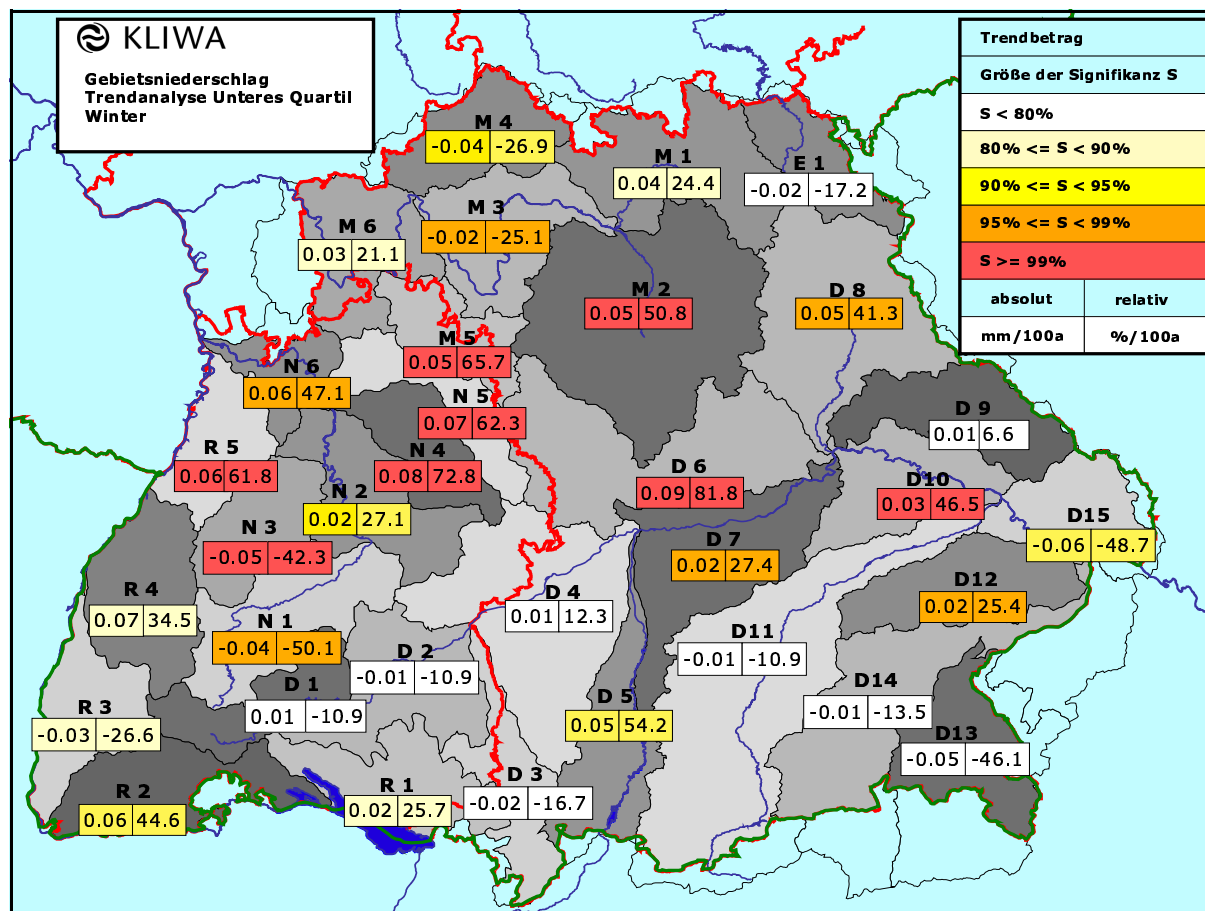


Abb. 6.13: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997

telwert ein mosaikartiger Wechsel von signifikanten und nicht signifikanten Trends. Auch hier wird im Gebiet von Nagold und Enz (N3) ein Betrag von etwa 0.5 % pro Jahr erreicht, allerdings wegen der größeren Variabilität der Zeitreihen nicht mit der hohen Signifikanz wie im Naabgebiet.

Signifikante Trends treten auch am Oberlauf der Donau auf, wo der höchste Zuwachs des Tagesmittels festgestellt werden konnte, ebenso am Hochrhein und im Nordosten Baden-Württembergs, in den Gebieten von Tauber, Jagst und Kocher.

Die Trends des Unteren Quartils (Abb. 6.13) zeigen im Hinblick auf die Signifikanz ein Verteilungsmuster, das auf den ersten Blick dem des Sommers entgegengesetzt scheint. Wenn man aber die Richtung der Trends überprüft, geht dieser Eindruck rasch verloren.

Herrschte im Sommer verbreitet eine abnehmende Tendenz vor, von der nur eine geringe Anzahl von Gebieten im Südosten abwich, so zeigen im Winter nicht einmal zwei Drittel der Untersuchungsgebiete zunehmende Trends.

Wie bei Tagesmittelwert und Standardab-

weichung zeigen sich zunächst Besonderheiten im Südosten. Dort tritt in vier Gebieten ein nicht signifikanter Rückgang des Unteren Quartils auf; grob gesprochen – die Häufigkeit der mehr oder weniger trockenen Tage nimmt im Verlauf der untersuchten 67 Jahre zu. Doch das in dem beschriebenen Bereich liegende Lechgebiet (D5) verhält sich völlig anders. Hier nimmt das Untere Quartil signifikant pro Jahr um mehr als 0.5 % zu.

Auch im Südwesten liegen Rückgang und Zuwachs dicht nebeneinander. Die Spannweite erstreckt sich von einem Rückgang um 0.5 % pro Jahr am Oberlauf des Neckar (Gebiet N1) bis zu einem Zuwachs um mehr als 0.6 % pro Jahr am Oberrhein (Gebiet R5).

Die stärksten positiven Trends lassen sich im Zentrum des Untersuchungsgebietes finden: Zwischen Regnitz, Kocher und Altmühl sind bis zu 0.8 % Zuwachs pro Jahr feststellbar.

Wie schon an anderer Stelle (Abschnitt 3.3.4) erläutert, lassen sich derartige Trends natürlich nicht zur Extrapolation über die Grenzen des Untersuchungszeitraums hinaus verwenden.

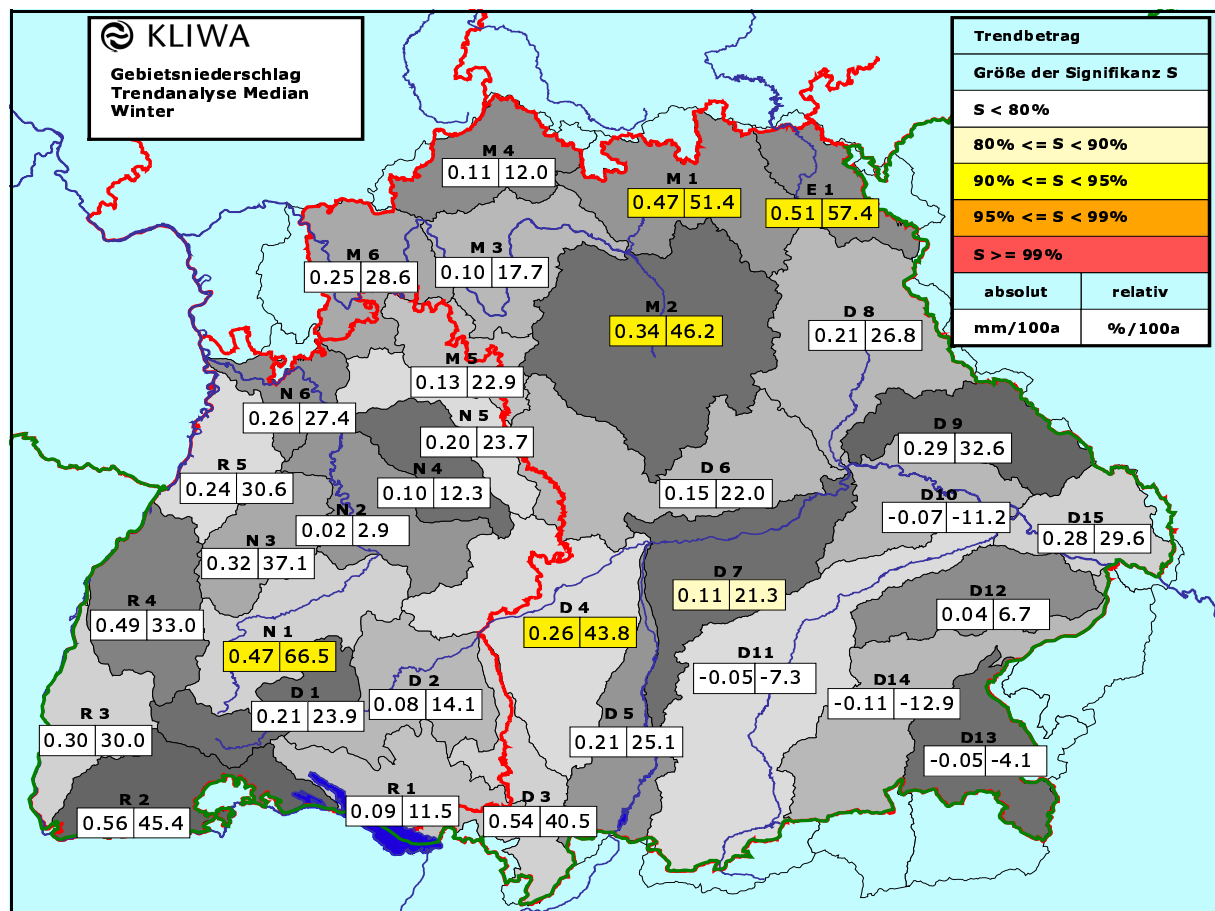


Abb. 6.14: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997

Hinzu kommt, dass die Auswertgröße Unterstes Quartil stets numerisch sehr klein und extrem schief verteilt ist und, wie aus Abb. 2.8 hervorgeht, extremen Schwankungen unterliegt. Relativ hohe Einzelwerte vermögen auf Grund der Schiefe der Verteilung die Neigung der angepaßten Trendgeraden dramatisch zu verändern; das beschriebene Korrekturverfahren vermag derartige Wirkungen zwar zu mildern, doch nicht grundsätzlich auszuschließen.

Infolge dessen müssen die kleinräumigen Variationen des Trends beim Untersten Quartil bei aller zu Buche schlagenden Signifikanz mit Vorsicht interpretiert werden.

Neben exzessiven Einzelwerten kommen auch reliefbedingte Wirkungsmechanismen als Ursache für gegensätzliche Trends in benachbarten Gebieten in Frage. Die Entscheidung darüber, welcher Erklärung der Vorzug zu geben ist, kann nur anhand eines detaillierten Vergleichs der Datenreihen erfolgen, für den in diesem Rahmen nicht genügend Raum zur Verfügung steht.

Weniger vielfältig sind die Veränderungen, die bei den Medianwertreihen im Winter auftreten.

ten. Abb. 6.14 zeigt die regionale Verteilung der Trends. Auf den ersten Blick lassen sich zwei Feststellungen treffen:

- Mit Ausnahme von vier Gebieten im Südosten nimmt überall der Median zu, und zwar bis zu nahezu 0.7 % pro Jahr.
- Trotz des weiträumig einheitlichen tendenziellen Verhaltens kann nur in sechs der 33 Gebiete hinreichende Signifikanz für diese Trendschätzung nachgewiesen werden.

Im Vergleich zu den Veränderungen im Sommer (Abb. 6.9), wo überall stark negative, in mehr als zwei Dritteln der Gebiete signifikante Trends auftreten, wirkt dieses Bild wesentlich blasser. Es wird aber erst dann vollständig, wenn man als weiteres Hilfsmittel die Änderungen des Medians bei ganzjähriger Auswertung hinzunimmt. Ganzjährig nämlich geht der Median in der Mehrheit der Gebiete ebenfalls zurück.

Dort, wo starker Rückgang im Sommer und schwache Zunahme im Winter auftreten, ergibt sich ein signifikanter Rückgang im Gesamtjahr. Besonders deutlich wird dies im Gebiet der Fränkischen Saale (M4).

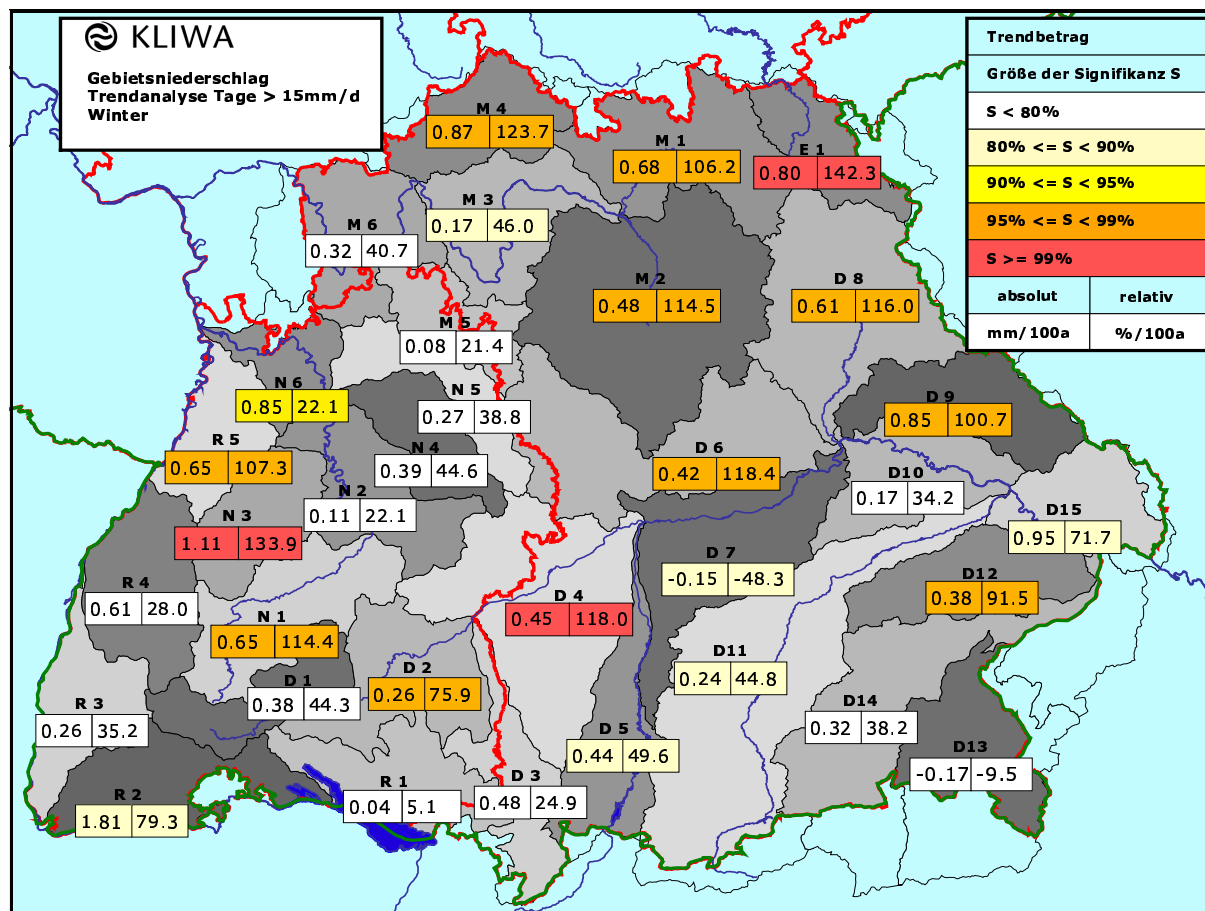


Abb. 6.15: Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997

Andererseits sind gerade dort, wo im Winter signifikante Anstiege des Medians beobachtet werden können, etwa am Oberlauf des Mains oder im bayerischen Anteil des Elbegebietes, ganzjährig keine signifikanten Änderungen nachweisbar, das heißt, der Rückgang ist nur schwach, oder es tritt sogar ein geringfügiger Zuwachs auf, wie im Gebiet E1.

Ganzjährig nimmt der Median auch am Oberlauf des Neckars zu, dort, wo im Winter die stärkste Zunahme mit 0.67 % pro Jahr auftritt. An der mittleren Donau zwischen Iller und Naab (Gebiete D4 und D7) gibt es ebenfalls eine winterliche Zunahme des Medians, ganzjährig aber keinen signifikanten Rückgang.

Eine Besonderheit stellen die vier Gebiete D10, D11, D13 und D14 dar. Hier treten im Winter die einzigen negativen Tendenzen auf. Dies ist insofern bemerkenswert, als der Südosten des Untersuchungsgebietes auch bei anderen Auswertgrößen anderes Verhalten zeigte als die übrigen Gebiete. Auch wenn die Signifikanz nicht hinreichend ist – der Median geht auch im Sommer und im Gesamtjahr zurück.

Signalisiert der allgemeine Anstieg des Medians den wachsenden Anteil relativ kleiner Tageswerte, das heißt Gebietswerte von weniger als etwa einem Millimeter pro Tag, am Gesamtniederschlag, so bedeutet dies für das südöstliche Bayern, dass der Gesamtniederschlag zunehmend immer weniger aus eben diesen kleinen Tageswerten, sondern vielmehr aus höheren Tageswerten gebildet wird.

Diese Schlussfolgerung ist natürlich so vage wie die Signifikanz ihres Nachweises, denn der Tagesmittelwert steigt hier weder im Gesamtjahr noch im Winter so stark, dass der Trend gegenüber der hohen Variabilität der Reihen ins Gewicht fiele.

Die einzige Auswertgröße, bei der im Winter im Südosten wenigstens ein signifikanter Trend nachweisbar ist, stellt die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d dar (Abb. 6.15). Doch handelt es sich hier allein um das Gebiet der Isar; das Gebiet des Inn und vor allem das der Salzach, aber auch das Zwischengebiet D7 verhalten sich auch in diesem Falle anders als die umgebenden Gebiete. Die beiden einzigen rückläufigen Trends (Gebiete D7 und D13) wer-

den allerdings — bei näherer Prüfung des zugrunde liegenden Datenmaterials — durch die Häufung einzelner hoher Gebietswerte in den Jahren 1936/37 bzw. 1945/46 bestimmt.

Wie bei der Diskussion der Datenverfügbarkeit in Abschnitt 2.2.2 bereits festgestellt wurde, lassen sich derartige Wirkungen aus der ungünstigen Messnetzgeometrie bzw. der unzureichenden Messstellendichte erklären. Der Eindruck des allgemein zunehmenden Trends der Überschreitungshäufigkeiten wird davon nicht beeinträchtigt.

Dabei ist zu beachten, dass dort, wo im Sommer rückläufige Trends auftreten (Gebiete M3, M5, N5, N2), im Winter nur schwache oder nicht signifikante Trends auftreten. Im Gesamtjahr sind hier signifikant rückläufige Tendenzen zu beobachten.

Andererseits lassen sich dort, wo im Sommer signifikant wachsende Überschreitungshäufigkeiten auftreten, auch im Winter stark positive Trends nachweisen, nämlich im Norden und Nordosten Bayerns. Wachsen die Überschreitungshäufigkeiten im Gebiet E1 beispielsweise im Sommer um 0.7 % pro Jahr, so nehmen sie im Winter jährlich sogar um 1.4 % zu — ein Trend, der sich in dieser Form sicher nicht extrapolieren lässt. Andererseits zeigen diese Tendenzen, wie sehr in den vergangenen Jahren in diesem Bereich die Häufigkeit starker Niederschläge zugenommen hat.

Ähnlich verhält sich die Entwicklung im Gebiet N2 und den im Norden und Süden angrenzenden Bereichen (N6, R5, N1 und D2). Dort nimmt die Häufigkeit starker Niederschläge im Winter um fast 0.7 % und im Sommer um 1.3 % pro Jahr zu; allerdings sind diese beiden Maxima durch einen Streifen nicht signifikanter Trends getrennt.

Nicht oder höchstens schwach signifikant sind auch die Tendenzen in den südlichen Gebieten. Wie auch im Sommer und im Gesamtjahr kommt es hier zu vergleichsweise nur geringfügigen Änderungen.

Zusammenfassend ist die langfristige Veränderung des Niederschlagsregimes im Winter demnach folgendermaßen einzuschätzen:

- In den meisten Gebieten kommt es im Winter zu einer Zunahme der Niederschläge,

die sich sowohl durch eine Erhöhung der mittleren täglichen Niederschlagserwartung als auch durch eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Tagen mit sehr hohen Niederschlägen auszeichnet.

- Eine vergleichsweise geringe und wenig signifikante Verstärkung der Niederschläge erfährt daneben der Bereich des Alpenvorlandes. Hier tritt zwar auch eine gewisse Verstärkung auf; sie lässt sich jedoch statistisch nur in den wenigsten Fällen mit hinreichender Signifikanz nachweisen.

6.2 Veränderungen in den einzelnen Untersuchungsgebieten

6.2.1 Vorbemerkung

In den folgenden Teilabschnitten finden sich kurze Angaben zu den während des Untersuchungszeitraums in den einzelnen Gebieten aufgetretenen Veränderungen. Es handelt sich dabei um bearbeitete Auszüge aus den dieser Publikation zugrundeliegenden Länderberichten [18] und [19].

In diesem Zusammenhang wurden nicht nur auf Gesamtjahr, Sommer und Winter bezogene Fakten zitiert, sondern, soweit nützlich, auch auf Ergebnisse der Auswertung der anderen Jahreszeiten (vgl. Abschnitt 2.4) verwiesen.

Aussagen über relative Änderungen einzelner Auswertegrößen im Text — z.B. in Prozent oder in Bruchteilen des Mittelwertes — beziehen sich stets auf den zugrunde liegenden Untersuchungszeitraum von 67 Jahren und sind nicht, wie in den Tabellen, die stets einen Auszug der Tafeln aus den vorangehenden Kapiteln darstellen, auf den Bezugsrahmen eines ganzen Jahrhunderts normiert.

Grund für die Normierung auf 100 Jahre ist es, den Vergleich der Änderungen mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen zum Problem des Klimawandels zu vereinfachen. In den folgenden Textabschnitten sollen aber die tatsächlich eingetretenen Veränderungen in den 67 Jahren von 1931 bis 1997 beschrieben werden, ohne sie auf einen Zeitraum von 100 Jahren zu extrapolieren.



6.2.2 Gebiet D1: Donau bis Lauchert

Bei der ganzjährigen Auswertung zeigen sich im Gebiet D1 wenig starke Veränderungen. Seit 1940 nimmt der Tagesmittelwert geringfügig, aber signifikant zu, ebenso die Standardabweichung. Die Variabilität wird also größer. Das zeigt sich auch und vor allem an dem um 40 % abnehmenden Unteren Quartil.

Im Frühjahr nehmen Tagesmittel und Standardabweichung ebenfalls geringfügig zu, Unteres Quartil und Medianwert wachsen allerdings ebenso an, und auch die Häufigkeit hoher Tageswerte nimmt zu. Es findet also im Frühjahr weniger eine Erhöhung der Variabilität statt, vielmehr eine generelle Zunahme der Niederschläge.

Im Sommer ändern sich Tagesmittel und Standardabweichung nicht — abgesehen von einem erst in den letzten Jahren einsetzenden Aufwärtstrend. Das Untere Quartil verringert

sich drastisch. Abnehmende Tendenz zeigen auch Medianwert und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, vor allem in den letzten Jahrzehnten, auch wenn kein signifikanter Trend über den Gesamtzeitraum vorliegt.

Analoge Folgerungen lassen sich für die Niedrigwasserperiode ziehen, mit dem Unterschied, dass der abnehmende Trend des Tagesmittels signifikant ist und das Untere Quartil und der Median einen noch stärkeren Rückgang zeigen.

Im Herbst schwächt sich die rückläufige Tendenz der genannten Größen wieder ab. Die Häufigkeit starker Niederschläge nimmt zu.

Im Winter nehmen Mittelwert und Standardabweichung zu. Das Untere Quartil erhöht sich nur im letzten Jahrzehnt. Median und die Häufigkeit starker Niederschläge dagegen wachsen seit Jahrzehnten schwach aber signifikant an.

Tabelle 6.1 Gebiet D1: Donau bis Lauchert – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.83	4.35	0.1046	0.915	1.012
	absoluter Trendbetrag	0.182	0.550	–0.061	–0.039	0.179
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1940	1946	1965	1965	1946
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.743	1.387	–0.257	–0.895	0.518
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.62	5.35	0.1327	1.234	1.542
	absoluter Trendbetrag	–0.487	–0.248	–0.208	–0.339	–0.192
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1960	1980	1952
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1983	1982	1953	1984	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	9.132	11.021	–0.380	8.886	4.926
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.58	3.95	0.1053	0.877	0.856
	absoluter Trendbetrag	0.732	1.239	0.011	0.209	0.379
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1976	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1963	1986	1938	1963
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.830	4.013	0.779	0.693	1.720

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.3 Gebiet D2: Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller

Im Gebiet D2 nimmt das Tagesmittel bei ganzjähriger Auswertung erst in den letzten fünf Jahrzehnten des Untersuchungszeitraums zu. Bei der Standardabweichung ist ein genereller Aufwärtstrend zu verzeichnen. Bei zunehmender Variabilität gehen Unteres Quartil und Median zurück, während die Häufigkeit starker Niederschläge wächst.

Die gleiche Tendenz ist im Frühjahr zu verzeichnen, allerdings mit dem Unterschied, dass auch der Median zunimmt, demnach eine generelle Zunahme der Niederschläge vorliegt.

Im Sommer verändern sich Tagesmittel und Standardabweichung erst in den letzten beiden Jahrzehnten. Unteres Quartil und Median nehmen über den Gesamtzeitraum hin ab, in den letzten Jahrzehnten aber zu — es hat also eine Tendenzwende mit einer Zunahme der Variabilität stattgefunden. Das zeigt sich auch an dem Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

In der Niedrigwasserperiode nimmt zwar das Tagesmittel auch in den letzten Jahren weiter

ab, bei den übrigen Größen ist ebenso wie im Sommer eine Tendenzwende in den letzten Jahrzehnten zu verzeichnen: Unteres Quartil und Median nehmen im Gesamtzeitraum zwar drastisch ab, in den letzten Jahren ist aber eine Wende der Entwicklung zu erkennen.

Im Herbst zeigt sich in den letzten Jahren eine signifikante Abnahme sowohl des Tagesmittels als auch der Standardabweichung. Unteres Quartil und Median nehmen generell ab, wobei der Rückgang des Unteren Quartils sich in den achtziger Jahren umkehrt. Der Zuwachs der Häufigkeit starker Niederschläge ist mit 25 % unübersehbar, wenn auch auf Grund der hohen Variabilität nicht signifikant.

Im Winter verdoppelt sich der Zuwachs der Häufigkeit starker Niederschläge und ist damit mit mehr als 95 % signifikant. Das Tagesmittel wächst über den Gesamtzeitraum kontinuierlich, seit 1978 allerdings lässt sich ein geringer Abwärtstrend feststellen. Eine ähnliche Entwicklung nimmt der Median. Der Rückgang des Unteren Quartils ist nur in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums signifikant.

Tabelle 6.2 Gebiet D2: Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertgröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.48	3.92	0.0735	0.748	0.817
	absoluter Trendbetrag	0.137	0.733	−0.031	−0.114	0.202
	Trendsignifikanz	< 80%	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1972	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1946	1941	1965	1965	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.719	1.247	−0.233	−1.319	0.488
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.57	5.27	0.0948	1.192	1.557
	absoluter Trendbetrag	−0.215	0.480	−0.045	−0.430	0.162
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1971	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1979	1980	1980	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	6.135	7.975	0.718	5.060	5.952
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.88	2.98	0.0752	0.581	0.338
	absoluter Trendbetrag	0.418	0.788	−0.008	0.082	0.257
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1976	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1978	1963	1965	1965	1937
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−3.774	2.592	−0.493	−1.321	0.368

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.4 Gebiet D3: Iller

Das Gebiet der Iller weist bei ganzjähriger Auswertung kaum wesentliche Veränderungen auf. Eine allmähliche Vergrößerung der Standardabweichungen ist durch die schwach signifikante Inhomogenität der Reihe im Jahre 1973 und einen entsprechenden partiellen Trend mit Beginn 1941 gesichert, der nahezu einen ganzen Millimeter Zuwachs bringt. Ein Trend über den Gesamtzeitraum erweist sich dagegen nicht als signifikant.

Dass die Varianz der Reihe zunimmt, belegt die Abnahme des Unteren Quartils, die für den Gesamtzeitraum schwach, für den Zeitabschnitt nach 1965 hoch signifikant ist, ebenso wie der partielle Trend bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, der im Jahre 1941 beginnt. Die Anzahl der Tage ohne Niederschlag oder mit vernachlässigbaren Tageswerten nimmt also ab, die der starken Gebietsniederschläge dagegen zu.

Außer dem Unteren Quartil weist auch bei jahreszeitlicher Auswertung keine andere Reihe signifikante Trends über den gesamten Untersuchungszeitraum auf. Diese Tendenzen treten in der Niedrigwasserperiode und im Herbst auf.

Dennoch nehmen im Frühjahr Standardabweichung und Monatsmaximum zu; der Nachweis dieser Änderung lässt sich allerdings nur anhand der Homogenitätstests führen, die in den ersten beiden Fällen für eine hohe Signifikanz der Änderungen sprechen. Signifikante rückschreitend optimierte Trends lassen sich bei Standardabweichung, Unteren Quartil und

der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nachweisen; sie beginnen zwischen 1962 und 1970.

Im Sommer lässt sich anhand der Homogenitätsprüfung eine leichte Erhöhung des Monatswerts und des Tagesmittels nachweisen; die Mittelwertdifferenz an der Sprungstelle von 1954 entspricht aber nur etwa 5 % der Werte. Bei der Trendanalyse sind derart schwache Entwicklungen nicht nachweisbar. Ähnlich geringfügig sind die Änderungen der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Signifikante rückschreitend optimierte Trends treten im Sommer nur bei Unteren Quartil und Median auf. Der negative Trend des Medians seit 1953 ist der einzige Beleg für den andernorts wesentlich deutlicheren Rückgang der Niederschläge im Sommer.

Während der Niedrigwasserperiode stellt der bereits erwähnte negative Trend des Unteren Quartils die auffälligste Veränderung dar. Auch der Median nimmt langfristig ab, während die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d seit 1946 kontinuierlich leicht signifikant wächst.

Im Winter nehmen die Niederschläge um etwa 12 % in 67 Jahren zu. Auf Grund der hohen Varianz ist dieser Trend jedoch nicht hinreichend signifikant. Weitere Charakteristika sind ein anhaltender leichter Rückgang des Unteren Quartils und die Zunahme der Häufigkeit von Gebietsniederschlägen größer als 15 mm/d.

Tabelle 6.3 Gebiet D3: Iller – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	4.71	6.68	0.1977	1.798	2.800
	absoluter Trendbetrag	0.274	0.620	−0.068	0.106	0.170
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1973	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	1941	1965	–	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	1.492	−0.730	–	0.917
Sommer	Langjähriger Mittelwert	6.48	8.45	0.3568	3.040	4.443
	absoluter Trendbetrag	0.065	0.587	−0.106	−0.259	0.004
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1954	–	–	–	1955
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1982	1953	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	3.786	−2.616	–
Winter	Langjähriger Mittelwert	3.90	5.65	0.1421	1.329	1.945
	absoluter Trendbetrag	0.711	0.849	−0.024	0.539	0.484
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1985	1988	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1965	1981	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	−1.263	−8.567	–

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.5 Gebiet D4: Donau unterhalb Iller bis oberhalb Wörnitz/Lech

Bei ganzjähriger Auswertung weist von den im Gebiet D4 erhobenen Reihen nur das Untere Quartil einen signifikant fallenden Trend auf. Tagesmittel und Standardabweichung haben Bruchpunkte in den Jahren 1964 bzw. 1973; die Differenzbeträge sind jedoch nur geringfügig und wirken sich nicht hinreichend auf die Signifikanz der entsprechenden Trends aus. Erst bei Trendbeginn in den vierziger Jahren werden die Tendenzen signifikant. Das gilt auch für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Die optimierten Trends von Unterem Quartil und Median beginnen erst 1965.

Das Frühjahr zeigt Inhomogenitäten von Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d zu Beginn der sechziger Jahre. Bei den Trends über den Gesamtzeitraum finden sich keine Hinweise auf Veränderungen – mit Ausnahme von Unterem Quartil und Median; die Zunahme des Tagesmittels um mehr als 9 % ist nicht groß genug, um Signifikanz zu erlangen.

Während des Sommers weisen ebenfalls nur Median und Unteres Quartil signifikante Trends über den Gesamtzeitraum von 1931 bis 1997 auf. Beide Größen nehmen im Untersuchungszeitraum ab, im Falle des Medians ist die Signifikanz nur schwach. Wird der Untersuchungszeitraum bis 1953 verkürzt, erreicht die Signifikanz dieses rückschreitend optimierten Trends aber ein Niveau von 99 %. Die rückschreitend optimierten Trends sind in drei Fällen zu kurz, um als Signal für andauernde Klimaänderungen zu gelten – vielmehr stellen sie nur

lineare Anpassungen an kurzperiodische Schwankungen dar. Lediglich die Tendenzen bei Standardabweichung und Median charakterisieren den Rückgang der Niederschläge bei gleichzeitiger Erhöhung der Variabilität.

Ähnliche Aussagen lassen sich über die Niedrigwasserperiode von August bis Oktober machen. Die Trends bei Unterem Quartil und Median sind von hoher Signifikanz. Das Tagesmittel nimmt zwar von 1931 bis 1997 um mehr als 8 % ab, wirklich signifikant ist der Abwärtstrend aber erst ab 1973. Gleiches gilt für die Standardabweichung und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Insgesamt aber lässt sich wie für den Sommer auch für die Niedrigwasserperiode ein Rückgang der Niederschläge bei wachsender Variabilität vermerken.

Der Herbst bringt keine überraschenden Ergebnisse. Nur Unteres Quartil und Median weisen signifikante Trends über den Gesamtzeitraum auf; sie nehmen jeweils um etwa 27 % bzw. 23 % in 67 Jahren ab.

Der Winter schließlich ist geprägt durch die deutliche Zunahme der Niederschläge. In vier Reihen sind sowohl signifikant zunehmende Trends über den gesamten Untersuchungszeitraum als auch entsprechende rückschreitend optimierte Trends nachzuweisen: Tagesmittel und Standardabweichung nehmen im Winter um mehr als 20 % zu, der Median um nahezu 30 % und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d sogar um nahezu 80 %. Das Untere Quartil zeigt nur einen kurzen partiellen Trend, dessen Relevanz für die langfristige Entwicklung jedoch zweifelhaft ist.

Tabelle 6.4 Gebiet D4: Donau unterhalb Iller bis oberhalb Wörnitz/Lech – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.52	3.93	0.0859	0.789	0.806
	absoluter Trendbetrag	0.223	0.582	−0.027	−0.023	0.180
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1973	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1946	1941	1965	1965	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.698	1.121	−0.136	−0.610	0.400
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.59	5.23	0.1175	1.283	1.493
	absoluter Trendbetrag	−0.176	0.315	−0.045	−0.476	0.036
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1971	–	–	–	1992
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1946	1971	1953	1979
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.999	1.355	0.459	−1.583	7.362
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.95	3.05	0.0865	0.602	0.383
	absoluter Trendbetrag	0.658	0.983	0.011	0.264	0.452
	Trendsignifikanz	≥ 95 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 90 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1977	1973	–	–	1954
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1963	1984	1938	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.695	2.744	−1.152	0.384	0.452

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.6 Gebiet D5: Lech

Die ganzjährige Auswertung der Reihen des Lechgebietes zeigt nur einen signifikanten Trend – die Verringerung des Unteren Quartils um 28 % in 67 Jahren. Werden die Daten der dreißiger Jahre außer Acht gelassen, ergeben sich auch für Tagesmittel, Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d signifikant zunehmende rückschreitend optimierte Trends.

Das Frühjahr ist kaum durch signifikante Änderungen ausgezeichnet. Lediglich der um 42 % wachsende Median weist einen entsprechenden Trend auf und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d zeigt einen hoch signifikanten Bruch im Jahre 1967. Im Jahr danach beginnt ein schwach signifikanter, leicht ansteigender partieller Trend.

Der Sommer zeigt den aus anderen Gebieten bekannten Abwärtstrend des Unteren Quartils, im Übrigen aber keinerlei beachtenswerte Tendenzen. Inhomogenitäten der Standardabweichung und des Monatsmaximums geben mit sehr geringer Signifikanz Hinweise auf eine geringfügige Zunahme der Variabilität.

Veränderungen, die sich bereits im Sommer

abzeichnen, treten in der Niedrigwasserperiode stärker hervor: Unteres Quartil und Median gehen im Gesamtzeitraum signifikant zurück, das Untere Quartil um 170 %, der Median um 39 %.

Im Herbst macht sich der beschriebene Rückgang noch immer bemerkbar, soweit es die Trends von Unterem Quartil und Median betrifft. Beim Tagesmittelwert stellt sich 1954 ein schwach signifikanter zunehmender Trend ein, nachdem in den vierziger Jahren relativ hohe Werte aufgetreten waren.

Der Winter schließlich sorgt für einen Zuwachs des Tagesmittels um 14 % – leider jedoch nicht mit der erforderlichen Signifikanz. In Anbetracht der hohen Variabilität aller Größen reicht nur ein Zuwachs von mehr als 30 % für ein Ergebnis mit der notwendigen Sicherheit hin, wie er beim Unteren Quartil und bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d auftritt. Partielle Trends von Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d zeigen, wie die über den Gesamtzeitraum sichtbaren aber nicht bzw. nur schwach signifikanten Trends sich in den letzten Jahrzehnten verstärkt und ihre Signifikanz deutlich erhöht haben.

Tabelle 6.5 Gebiet D5: Lech – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.73	5.65	0.1279	1.233	1.889
	absoluter Trendbetrag	0.287	0.582	−0.053	0.024	0.304
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1954	1964	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1941	1965	1965	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.804	1.409	−0.472	−1.112	0.811
Sommer	Langjähriger Mittelwert	5.53	7.84	0.2192	2.162	3.463
	absoluter Trendbetrag	0.274	1.112	−0.116	−0.257	0.372
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1964	–	1952	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	.	1980	1983	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	1.307	9.414	–
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.73	4.25	0.0853	0.847	0.891
	absoluter Trendbetrag	0.579	0.600	0.046	0.212	0.442
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	1988	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1963	1974	1980	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−7.116	3.041	−0.245	−4.762	2.217

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.7 Gebiet D6: Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber

Bei ganzjähriger Auswertung fallen zunächst die vier signifikanten Trends bei der Analyse des Gesamtzeitraums ins Auge: Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen zu, Unteres Quartil und Median gehen zurück.

Die rückschreitende Trendanalyse zeigt, dass auch das Tagesmittel signifikant zunimmt; diese Tendenz beginnt 1948. Auch die beiden anderen positiven Trends verstärken sich etwa zur gleichen Zeit; die rückschreitend optimierten Trends des Unteren Quartils und des Medians beginnen dagegen erst Mitte der sechziger Jahre.

Im Frühjahr erweisen sich Unteres Quartil und Median über den Gesamtzeitraum signifikant trendbehaftet. Tagesmittel und Standardabweichung nehmen zwar auch zu, aber ein signifikanter Trend ist erst zu Beginn der vierziger Jahre feststellbar.

Im Sommer nehmen mit Ausnahme der Standardabweichung alle Auswertegrößen ab, wobei nur für Unteres Quartil und Median ein signifikanter Nachweis geführt werden kann. Tagesmittel, Standardabweichung und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen seit den siebziger Jahren zu — ein Zeichen

für den Zuwachs an Variabilität in der warmen Jahreszeit.

Auch in der Niedrigwasserperiode haben nur Unteres Quartil und Median signifikante Trends: Die Beträge des Rückgangs beider Größen sind beträchtlich höher als im Sommer. Standardabweichung und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wachsen seit Mitte der vierziger Jahre.

Den Herbst kennzeichnet auch der Rückgang des Unteren Quartils und des Medians, im Gegensatz zur Niedrigwasserperiode aber nehmen Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im gesamten Beobachtungszeitraum zu. Mit Ausnahme des Unteren Quartils verstärken sich diese Tendenzen spätestens zu Beginn der fünfziger Jahre.

Im Winter endlich kehren sich die Tendenzen endgültig um. Tagesmittel, Standardabweichung, Unteres Quartil und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen gleichermaßen zu, wenn auch mit höchst unterschiedlichem Betrag. Sind es beim Tagesmittel nicht einmal 18 % in 67 Jahren, so erreicht die Überschreitungshäufigkeit nahezu 80 % des Mittelwertes. Das lässt darauf schließen, dass sich die Zunahme der Niederschläge im Winter vor allem aus der größeren Häufigkeit von Tagen mit hohem Gebietsniederschlag ergibt.

Tabelle 6.6 Gebiet D6: Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber — Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.24	3.49	0.0899	0.700	0.564
	absoluter Trendbetrag	0.140	0.511	−0.024	−0.105	0.156
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1977	1983	–	1973
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1948	1964	1965	1945
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.562	1.271	−0.214	−0.540	0.388
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.98	4.46	0.1064	1.004	0.965
	absoluter Trendbetrag	−0.335	0.019	−0.097	−0.470	−0.264
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1958	–	–	–	1946
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1971	1979	1931	1981	1979
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.027	6.656	−0.135	5.163	2.742
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.97	2.97	0.1086	0.669	0.358
	absoluter Trendbetrag	0.515	0.960	0.089	0.147	0.424
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1973	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1946	1978	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.560	0.981	0.196	−3.668	1.848

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.8 Gebiet D7: Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab

Auf Grund der räumlichen Nähe zum Gebiet D6 liegt die Vermutung nahe, dass die zeitliche Entwicklung in diesem Gebiet ähnlich abläuft. Dies ist jedoch nicht bzw. nur in geringem Maße der Fall.

Bei ganzjähriger Auswertung ergeben sich keinerlei signifikante Trends über den Gesamtzeitraum von 1931 bis 1997. Nicht einmal das Untere Quartil, das in nahezu allen Nachbargebieten starke Rückgänge aufweist, zeigt hier eine merkliche Veränderung.

Erst wenn man die rückschreitend optimierten Trends betrachtet, nehmen sowohl Tagesmittelwert als auch Standardabweichung seit Beginn der vierziger Jahre signifikant zu. Der Rückgang des Unteren Quartils findet nur in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums statt.

Im Frühjahr treten signifikante Trends bei Unterem Quartil und Median auf, der erste fallend, der zweite zunehmend; die Beträge unterscheiden sich deutlich vom Nachbargebiet.

Während im Frühjahr der Median in 67 Jahren um 27 % zunimmt, geht er während des Sommers im selben Zeitraum um etwa den gleichen Betrag zurück. Diese Größe weist auch den einzigen signifikanten Trend des Sommers auf. Aus der rückschreitenden Analyse geht hervor, dass diese Tendenz im Grunde erst zu Beginn der fünfziger Jahre einsetzt, sie ist dann allerdings derart stark, dass sie auf die beiden vorangehenden Jahrzehnte zurückwirkt.

Ein Trend der Standardabweichung, der 1960 beginnt, ist nur schwach signifikant. Tendenzen anderer Größen — Tagesmittel, Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d — sind kurzfristig und daher schwer interpretierbar.

In der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober nehmen Unteres Quartil und Median sehr stark ab, was für den Gesamtzeitraum trotz starker Schwankungen zu hoch signifikanten Testergebnissen führt.

Im Herbst kehrt sich — unter Verringerung der Signifikanz — der Trend des Unteren Quartils um. Die anderen Größen lassen nur signifikante partielle Trends erkennen: Das Tagesmittel nimmt seit 1953 signifikant zu, der Median wächst seit 1957 sogar hoch signifikant.

Im Winter endlich zeigt sich ein deutlicher Ausgleich der spätsommerlichen Defizite. Tagesmittel, Unteres Quartil und Median nehmen signifikant zu, während die Häufigkeit der Überschreitung von 15 mm/d zurückgeht. Die Trends sind im Vergleich zu denen in der Niedrigwasserperiode moderat, aber stets über den gesamten Zeitraum nachweisbar, was vor allem im Zusammenhang mit dem Tagesmittel erwähnenswert ist.

Der hoch signifikante Rückgang der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d vom Jahre 1955 an präzisiert wie oft die Beschreibung der allgemeinen tendenziellen Entwicklung; mehr noch gilt dies für den Trend der Standardabweichung nach 1963, da diese Größe für den Gesamtzeitraum nicht signifikant zunimmt.

Tabelle 6.7 Gebiet D7: Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab – Übersicht über die Auswertungsergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.27	3.73	0.0605	0.596	0.745
	absoluter Trendbetrag	0.118	0.398	−0.002	−0.058	0.122
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1973	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1941	1963	1985	1981
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.438	0.887	−0.143	−3.056	−3.173
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.30	5.14	0.0862	0.935	1.443
	absoluter Trendbetrag	−0.115	0.697	0.009	−0.374	0.293
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1958	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1982	1960	1971	1953	1975
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.922	2.704	0.334	−1.184	−2.324
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.75	2.82	0.0599	0.498	0.18
	absoluter Trendbetrag	0.298	0.324	0.016	0.106	−0.154
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 95 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1962
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1963	1981	1981	1955
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−4.472	2.180	−0.572	−3.847	−1.313

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.9 Gebiet D8: Naab

Das Gebiet der Naab ist das nördlichste der Donau-Teilgebiete. Die ganzjährige Entwicklung ist gekennzeichnet durch eine schwach signifikante Zunahme des Tagesmittelwertes von 9 % über den Gesamtzeitraum von 1931 bis 1997. Die Signifikanz dieser Entwicklung vergrößert sich, wenn man die lineare Anpassung erst mit dem Jahre 1948 beginnen lässt. Ebenso vergrößern sich die Standardabweichung und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Dem gegenüber kommt es ab 1965 zu einer Abnahme des Unteren Quartils um 24 % und zu einem Rückgang des Medians.

Der übereinstimmende Beginn des rückschreitend optimierten Trends der drei Größen Tagesmittel, Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Jahre 1948 weist darauf hin, dass im Naabgebiet offensichtlich in dieser Zeit eine relevante Veränderung des Niederschlagsregimes eingesetzt hat.

Im Frühjahr weisen Tagesmittel, Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d ähnliche Tendenzen auf, auch wenn die rückschreitend optimierten Trends den Befund nicht in jedem Falle stützen wie bei der ganzjährigen Auswertung.

Der Sommer ist gekennzeichnet durch mehr oder minder starke Rückgänge von Unterem Quartil und Median. Alle anderen Trends erweisen sich als zu schwach, um Veränderungen

mit hinreichender Signifikanz nachweisbar zu machen.

Dagegen zeigt sich in der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober, dass auch die Anzahl der Tage mit Niederschlägen von mehr als 15 mm/d signifikant zunimmt, während Unteres Quartil und Median stark zurückgehen. Das schwache Anwachsen der Standardabweichung, signifikant erst im partiellen Trend ab 1945, unterstreicht diese Entwicklung.

Während des Herbstes ändern sich die Tendenzen insofern, als die Zunahme der Standardabweichungen über den gesamten Untersuchungszeitraum mit hinreichender Signifikanz fassbar wird und der Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d sich vergrößert.

Die Wintermonate sind auch im Naabgebiet gekennzeichnet von einer ausgeprägten Zunahme der Niederschläge und ihrer Variabilität. Das Tagesmittel wächst während des 67-jährigen Untersuchungszeitraums um mehr als 26 %, die Standardabweichung um mehr als 32 %. Die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d zeigt sogar einen relativen Zuwachs von nahezu 78 %; und auch das Untere Quartil nimmt im Gesamtzeitraum um 28 % zu, selbst wenn dieser Aufwärtstrend sich seit 1965 umgekehrt hat und in eine schwache Abnahme übergegangen ist. Ein besonderes Detail sollte darin gesehen werden, dass sich die rückschreitend optimierten Trends bei drei der Größen mit den Gesamttrends nahezu decken.

Tabelle 6.8 Gebiet D8: Naab – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.31	3.61	0.0882	0.717	0.633
	absoluter Trendbetrag	0.317	0.875	−0.032	−0.039	0.425
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 95 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1976	1983	–	1978
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1948	1965	1965	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.684	1.769	−0.228	−0.674	0.892
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.97	4.52	0.1103	0.997	1.020
	absoluter Trendbetrag	−0.115	0.317	−0.112	−0.248	0.316
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	= 99 %	= 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1958	–	1980	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1959	1958	1936	1983	1959
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.097	2.098	−0.170	4.697	1.526
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.23	3.35	0.1155	0.780	0.522
	absoluter Trendbetrag	0.875	1.618	0.048	0.209	0.606
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1976	–	–	1964
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1965	1981	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.929	1.672	−0.475	−4.583	0.637

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.10 Gebiet D9: Regen

Südöstlich der Naab im Bereich des Bayerischen Waldes gelegen, unterliegt das Gebiet des Regen ähnlichen Einflüssen wie das Gebiet D8. Allerdings erweisen sich die Trends bei ganzjähriger Auswertung schwächer als in D8. Deshalb lässt sich die steigende Tendenz des Tagesmittels erst ab 1948 signifikant nachweisen, nicht aber für den gesamten Untersuchungszeitraum. Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen über den Gesamtzeitraum zu; die Signifikanz erhöht sich allerdings für partielle Trends mit Beginn 1948. Das Untere Quartil nimmt ab, mit einer – vermutlich vorübergehenden – Verstärkung nach 1977.

Im Frühjahr erhöhen sich zwar die Tagesmittel, der Zuwachs ist allerdings nicht hinreichend signifikant. Statistisch nachweisbar sind nur die Trends des Unteren Quartils und des Medians, wobei der Rückgang des Unteren Quartils sich nach 1965 noch verstärkt.

Im Sommer weist einzig das Untere Quartil einen durchgehenden signifikanten Trend nach unten auf. Der Rückgang des Medians wird erst bei der Reduktion des Trends auf den Beginn 1953 signifikant. Weder Tagesmittelwert noch Standardabweichung sind sichtbaren tendenziellen Veränderungen unterworfen. Die rückschreitend optimierten Trends beschreiben dagegen nur zeitweilige und kurzfristige Entwicklungen.

Wie auch in anderen Gebieten zeigt sich in

der Niedrigwasserperiode ein anderes Verhalten der Zeitreihen. Wenn auch das Tagesmittel keiner tendenziellen Entwicklung unterworfen ist, sind Standardabweichung, Unteres Quartil, Median und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d durch signifikante Trends beschreibbar. Die Standardabweichung wächst wie die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d; dafür gehen das Untere Quartil und der Median zurück.

Auch im Regengebiet schwächen sich die Trends beim Übergang der Auswertung auf den Herbst teilweise ab: bei der Standardabweichung nur geringfügig, dafür beim Unteren Quartil und beim Median um so deutlicher. Lediglich die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d weist einen noch stärkeren Zuwachs auf als in der Zeit von August bis Oktober. Die erwähnenswerten rückschreitend optimierten Trends beginnen um 1950: Tagesmittel, Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Im Winter zeigen weder Unteres Quartil noch Median signifikante Veränderungen. Statt dessen nehmen Tagesmittel und Standardabweichung jeweils um etwa 20 % in 67 Jahren zu. Der Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d erreicht fast 70 %. Die partiellen Trends beginnen für das Tagesmittel 1948, für die beiden anderen Größen bereits 1932, umfassen dem Grunde nach also den gesamten 67-jährigen Untersuchungszeitraum.

Tabelle 6.9 Gebiet D9: Regen – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.76	4.28	0.100	0.865	0.984
	absoluter Trendbetrag	0.263	0.640	−0.033	0.076	0.308
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1948	1977	1978	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.794	1.841	−0.416	−1.886	0.936
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.64	5.45	0.1311	1.265	1.562
	absoluter Trendbetrag	−0.223	0.107	−0.052	−0.227	−0.290
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	= 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1941	–	–	1952	1940
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	–	1979	1953	1981
	Rückschr. opt. Trendbetrag	5.073	–	−0.806	−0.1055	5.663
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.62	3.91	0.1232	0.893	0.846
	absoluter Trendbetrag	0.760	1.294	0.008	0.291	0.852
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	1988	1979
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1932	1965	1978	1932
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.362	1.468	−0.760	−3.144	0.933

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.11 Gebiet D10: Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar

Das Zwischengebiet D10 ist weniger stark exponiert als die beiden nördlichen Nachbargebiete. Infolgedessen machen sich auch nicht alle Veränderungen im Niederschlagsregime dort in der gleichen Weise intensiv bemerkbar. Dem entsprechend ist bei ganzjähriger Auswertung auch kein signifikanter Trend des Tagesmittels nachweisbar, und der Zuwachs sowohl der Standardabweichung als auch der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d ist geringer als in D8 oder D9. Lediglich Unteres Quartil und Median zeigen relativ starke Rückgänge im Verlauf der 67-jährigen Untersuchungsperiode.

Die rückschreitend optimierten Trends des Tagesmittels, der Standardabweichung und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d beginnen in den vierziger Jahren und kennzeichnen damit das eigentliche Einsetzen der tendenziellen Entwicklung.

Im Frühjahr sind die Trends von Tagesmittel und Standardabweichung zwar positiv, aber nicht hinreichend signifikant. Lediglich der Median nimmt in 67 Jahren um 27 % zu, während das Untere Quartil im gleichen Zeitraum um 48 % zurückgeht.

Der Sommer ist, wie auch in anderen Gebie-

ten, durch einen Rückgang der Niederschläge gekennzeichnet, der sich im Gebiet D10 allein durch den Rückgang des Unteren Quartils und des Medians bemerkbar macht. Dies entspricht einer Zunahme trockener Tage bzw. von Tagen mit geringen Niederschlägen.

In der Niedrigwasserperiode zeigen sich auch im Gebiet D10 die augenfälligsten Hinweise auf einen Rückgang der Niederschläge, vor allem im starken Rückgang des Unteren Quartils und des Medians. Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen im gleichen Zeitraum zu.

In den Herbstmonaten ist der Rückgang des Unteren Quartils und des Medians deutlich geringer, der Zuwachs der Standardabweichung und der Überschreitungshäufigkeit besteht nahezu in gleichem Maße wie in der Niedrigwasserperiode.

Im Winter schließlich nehmen die Niederschläge eindeutig und teils in hohem Maße zu, wie an den Trends von Tagesmittel, Standardabweichung und Unterem Quartil feststellbar ist. Das Tagesmittel wächst in 67 Jahren um 11 %, die Standardabweichung um 15 %. Die Zunahme der Standardabweichung verstärkt sich nach 1963; ab 1970 weist auch die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d einen signifikanten Trend auf.

Tabelle 6.10 Gebiet D10: Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar – Übersicht über die Auswertungsergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.32	3.81	0.0635	0.611	0.750
	absoluter Trendbetrag	0.134	0.545	−0.025	−0.158	0.191
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1948	1974	1965	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.443	1.273	−0.290	−0.871	0.570
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.21	5.05	0.0864	0.934	1.323
	absoluter Trendbetrag	−0.198	0.268	−0.089	−0.494	−0.055
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 95 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1961	–	–	–	1942
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1983	1982	1953	1953	1982
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.680	5.934	−0.133	−1.117	6.416
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.04	3.22	0.0742	0.606	0.493
	absoluter Trendbetrag	0.342	0.727	0.035	−0.068	0.169
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	1988	1957
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1982	1963	1981	1981	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−5.003	2.472	−0.717	−3.457	1.224

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.12 Gebiet D11: Isar

Das Isargebiet ist das größte der untersuchten Gebiete; entsprechend stark werden lokale Eigenheiten bei der Betrachtung der Gebietswerte ausgeglichen.

Bei der ganzjährigen Auswertung weisen nur Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d signifikante Trends auf: Das Untere Quartil geht um 36 % zurück, die Überschreitungshäufigkeit nimmt in 67 Jahren um 17 % zu. Ein partieller Trend des Medians, der seit 1936 einen signifikanten Rückgang beschreibt, vervollständigt das Bild. Die Häufigkeit geringer Niederschläge geht gegenüber der der ergiebigen zurück. Das belegen auch die schwachen, wenn auch nicht signifikanten Anstiege von Tagesmittel und Standardabweichung um 4 % bzw. 7 %.

Auch im Frühjahr lässt sich nur der Rückgang des Unteren Quartils durch einen signifikanten Trend beschreiben. Tagesmittel, Standardabweichung und andere Größen nehmen zwar zu, aber dieser Zuwachs ist gering. Erst die in den sechziger Jahren einsetzenden rückschreitend optimierten Trends belegen den Zuwachs der Niederschläge im Frühjahr.

Im Sommer tritt lediglich eine geringfügige Minderung des Unteren Quartils um 13 % in 67 Jahren auf. Allerdings setzt 1943 ein rückschreitend optimierter Trend der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d ein, der mit dem nicht signifikanten linearen Trend der Standardabweichung korrespondiert — die Homogenitätsprüfung der Reihe der Standardabweichung lässt allerdings sehr wohl auf eine signifikante

Veränderung schließen, die hier als Bruchpunkt im Jahre 1964 hervortritt.

In der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober treten rückläufige Trends des Unteren Quartils und des Medians auf. Der lineare Trend des Tagesmittels, der ohne Signifikanz auf einen Rückgang der Niederschläge um 7 % in 67 Jahren schließen lässt, ist vergleichsweise gering.

Im Herbst setzt sich der langfristige Rückgang des Unteren Quartils und des Medians fort, wenn auch mit verringerten Beträgen. Beim Tagesmittelwert ist seit 1945 ein leichter, schwach signifikanter Anstieg zu verzeichnen. Das Gleiche lässt sich bei der Häufigkeit der Tage mit Gebietsniederschlägen größer als 15 mm/d erkennen.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Gebieten ist an der Isar auch im Winter keinerlei signifikante Zunahme der Niederschläge beobachtbar. Lediglich die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nimmt in 67 Jahren um 30 % zu. Dementsprechend ist auch der rückschreitend optimierte Trend der Standardabweichung zu interpretieren.

Zusammenfassend lässt sich folgern, dass das Gebiet D11 im Vergleich mit den übrigen Gebieten zu den Bereichen Bayerns gehört, in denen sich das Niederschlagsregime in den vergangenen Jahrzehnten am wenigsten geändert hat. Dieser Befund könnte mit der Größe des Gebietes in Zusammenhang stehen. Möglicherweise hätte sich ein anderes Bild geboten, wenn das Gebiet nach Ober- und Unterlauf getrennt untersucht worden wäre.

Tabelle 6.11 Gebiet D11: Isar – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.25	4.81	0.1481	1.146	1.318
	absoluter Trendbetrag	0.180	0.508	−0.079	−0.182	0.341
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1954	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1980	1936	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	0.506	−0.415	0.690
Sommer	Langjähriger Mittelwert	4.85	6.70	0.2652	2.069	2.587
	absoluter Trendbetrag	0.313	1.413	−0.052	−0.354	0.515
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1964	–	1971	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1980	1983	1943
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	1.751	8.074	1.687
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.36	3.59	0.0931	0.749	0.542
	absoluter Trendbetrag	0.192	0.201	−0.010	−0.054	0.243
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1953
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1963	1984	1981	1984
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−6.313	2.087	−0.466	−4.365	−6.304

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.13 Gebiet D12: Vils / Rott

Das Zwischengebiet D12 weist bei der ganzjährigen Auswertung einen deutlichen Zuwachs der Niederschläge auf, wie aus den signifikanten Trends des Tagesmittels und der Standardabweichung, aber auch des Unteren Quartils und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d erkennbar wird. Mit Ausnahme des Unteren Quartils verstärken sich diese Trends bei der rückschreitenden Analyse, wenn man den Beginn der tendenziellen Entwicklung in die vierziger Jahre verlegt.

Im Frühjahr verstärkt sich der positive Trend des Tagesmittels, während der der Standardabweichung ebenso wie der der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d schwächer sind. Das Untere Quartil nimmt ab, während der Median zunimmt. Mit Ausnahme des Unteren Quartils werden diese Tendenzen bei Anwendung der rückschreitend optimierten Trends, die alle in den vierziger Jahren einsetzen, verstärkt und nehmen damit auch an Signifikanz zu.

Auch im Sommer nehmen Tagesmittel und Standardabweichung zu. Die Zunahme des Tagesmittels um 11 % in 67 Jahren stellt den Höchstwert für diese Größe in Bayern dar, und auch die Zunahme des Unteren Quartils um 14 % ist für diese Jahreszeit ungewöhnlich. Statt dessen fällt der Median und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d steigt um 40 % an. Die partiellen Trends von Tagesmittel, Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit beginnen sämtlich in den dreißiger Jahren — ein Hinweis darauf, dass rückschreitend optimierter und Gesamttrend als weitgehend identisch bezeichnet werden können.

Auch in der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober nimmt das Tagesmittel über den Gesamtzeitraum zu; allerdings wird diese Tendenz erst bei rückschreitender Optimierung mit einem Beginn im Jahre 1942 signifikant. Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen gleichzeitig stark zu, wogegen der Rückgang des Unteren Quartils und des Medians im Vergleich mit anderen Gebieten geringfügig bleibt. Die rückschreitend optimierten Trends weisen auf den Beginn der vierziger Jahre als Startpunkt der tendenziellen Entwicklung.

Im Herbst ist der Zuwachs des Tagesmittels erst bei einem Trendbeginn Anfang der fünfziger Jahre signifikant. Die einzigen Auswertegrößen, die einen signifikanten Trend über den gesamten Untersuchungszeitraum aufweisen, sind Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d; beide nehmen um 49 % bzw. 39 % in 67 Jahren zu.

Der stärkste Trend des Gebietsniederschlags tritt im Winter auf — das Tagesmittel wächst in 67 Jahren um 18 %. Auch Standardabweichung, Unteres Quartil und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wachsen, letztere um mehr als 60 %. Im Gegensatz zu den anderen Jahreszeiten beginnen die partiellen Trends relativ spät und sind daher für die langfristige Entwicklung von geringerer Bedeutung.

Insgesamt lässt sich die Entwicklung im Gebiet D12 als stetige Zunahme der Gebietsniederschläge in allen Jahreszeiten beschreiben, deren Schwerpunkt allerdings in den kühleren Jahreszeiten liegt.

Tabelle 6.12 Gebiet D12: Vils / Rott — Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.45	4.07	0.0635	0.630	0.852
	absoluter Trendbetrag	0.517	1.130	0.006	−0.021	0.538
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1973	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1945	1965	1970	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.742	1.990	−0.171	0.636	0.757
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.56	5.73	0.0847	1.019	1.637
	absoluter Trendbetrag	0.604	1.838	0.018	−0.362	0.970
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1954	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1932	1933	1957	1953	1936
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.695	2.065	0.140	−1.226	1.220
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.95	3.11	0.0647	0.555	0.413
	absoluter Trendbetrag	0.525	0.965	0.016	0.037	0.378
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1973	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1963	1974	1981	1987
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−5.714	2.594	−0.357	−2.589	−9.732

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.14 Gebiet D13: Alz / Salzach

Das Gebiet von Alz und Salzach ist bei ganzjähriger Auswertung im Wesentlichen von gleichbleibenden Niederschlägen geprägt. Zwar haben die meisten Größen eine positive Tendenz, deren Beträge allerdings sind so gering, dass sich keinerlei Signifikanz findet.

Einzige Ausnahme bilden Unteres Quartil und Median, die beide langfristig zurückgehen. Der Trend des Medians gewinnt zwar nur bei der rückschreitenden Analyse Signifikanz, doch der Beginn des partiellen Trends liegt im Jahre 1934, kann also als langfristig relevant eingestuft werden.

Auch im Frühjahr erweist sich nur das Untere Quartil als diejenige Größe, die signifikanten Änderungen unterworfen ist; sie nimmt in 67 Jahren um 39 % ab. Selbst die rückschreitend optimierten Trends, andernorts für die langfristige Entwicklung nicht zu vernachlässigen, sind in der Mehrzahl irrelevant.

Im Sommer schließlich ist kaum eine signifikante Veränderung in den Reihen zu ermitteln. Nur der Median ist vom Jahre 1953 an einem signifikanten Rückgang unterworfen, dessen Betrag aber keineswegs überdurchschnittlich ist. Übertragen auf den gesamten Untersuchungszeitraum ergibt sich ein relativer Trendbetrag von weniger als 15 %.

Allein in der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober zeigen sich drastische Änderungen des Unteren Quartils, nämlich ein Rückgang um 161 % in 67 Jahren. In der glei-

chen Zeit nimmt der Median um immerhin 41 % ab. Die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wächst im gleichen Zeitraum um 18 %; das reicht aber nicht für einen signifikanten Trend hin. Erst bei der rückschreitenden Analyse und bei einem Trendbeginn im Jahre 1943 lässt sich ein schwach signifikantes Ergebnis nachweisen. Das Tagesmittel nimmt in der Niedrigwasserperiode zwar auch ab, aber der Rückgang um 8 % in 67 Jahren reicht in Anbetracht der Variabilität dieser Größe nicht aus, dem Trend die nötige Signifikanz beizumessen, und ein entsprechender partieller Trend ist auch nicht zu ermitteln.

Während des Herbstes lässt sich ebenfalls nur für das Untere Quartil ein signifikanter Trend für den gesamten Untersuchungszeitraum nachweisen; alle anderen Größen ändern sich nur um relativ geringe Beträge. Allerdings lassen sich für den Herbst eine Reihe rückschreitend optimierter Trends von langfristiger Relevanz nachweisen. Sie betreffen das Tagesmittel, den Median und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Bei diesen drei Größen ist seit dem Ende der fünfziger Jahre ein deutlicher Zuwachs zu erkennen.

Im Gegensatz zum Herbst lassen sich im Winter keinerlei signifikante Änderungen nachweisen. Auch die partiellen Trends müssen auf Grund ihrer geringen Dauer für die langfristige Entwicklung als unerheblich angesehen werden.

Tabelle 6.13 Gebiet D13: Alz / Salzach – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	4.61	6.83	0.1700	1.628	2.676
	absoluter Trendbetrag	0.162	0.352	−0.083	−0.230	0.493
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1980	1934	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	0.738	−0.572	–
Sommer	Langjähriger Mittelwert	6.58	9.07	0.3225	2.889	4.333
	absoluter Trendbetrag	0.363	1.397	−0.063	−0.628	0.960
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1980	1953	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	2.108	−2.123	–
Winter	Langjähriger Mittelwert	3.69	5.64	0.1034	1.166	1.791
	absoluter Trendbetrag	0.086	0.016	−0.048	−0.048	−0.170
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1985	1974	1980	1985
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−11.420	−29.780	−0.629	−7.699	−13.660

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.15 Gebiet D14: Inn

Ähnlich dem Gebiet von Alz und Salzach ist das Inngebiet bei ganzjähriger Auswertung im Wesentlichen von gleichbleibenden Niederschlägen geprägt. Auch hier haben die meisten Größen eine positive Tendenz, und auch hier sind die Beträge so gering, dass sich keinerlei Signifikanz findet. Einzige Ausnahme bilden wie in D13 Unteres Quartil und Median, die beide langfristig zurückgehen, wobei nur beim Unteren Quartil mit 27 % Rückgang in 67 Jahren eine signifikante Tendenz vorliegt. In beiden Reihen verstärken sich die Trends in der zweiten Hälfte des Analysezeitraums; die partiellen Trends beginnen jeweils 1965.

Im Frühjahr ist zwar eine Zunahme des Tagesmittels zu verzeichnen; angesichts der großen Variabilität ist dieser Zuwachs jedoch nicht signifikant. Auch hier weist nur das Untere Quartil eine signifikante rückgängige Tendenz auf. Bei den partiellen Trends ist darüber hinaus noch der Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d erwähnenswert.

Im Sommer zeigen sich keinerlei beachtenswerte Tendenzen über den Gesamtzeitraum; die rückschreitend optimierten Trends des Unteren Quartils und des Medians, die in den fünfziger Jahren beginnen, sprechen für einen schwachen Rückgang der Tage mit geringem Niederschlag bei gleichzeitiger Erhöhung der Varianz.

Während der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober ist ein Rückgang der Nieder-

schläge erkennbar, auch wenn die Tendenz des Tagesmittels nicht signifikant ist. Das Untere Quartil geht um 134 % zurück, der Median nimmt um 44 % ab, während die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 29 % in 67 Jahren zunimmt. Die rückschreitende Trendanalyse zeigt, dass der letztgenannte Trend offenbar erst im Jahre 1946 einsetzt; er ist aber stark genug, um auch bei der Ausdehnung auf die vorangehenden 15 Jahre noch eine signifikante Veränderung anzuzeigen.

Für den Herbst zeigen sich die gleichen Tendenzen, wenn auch im Falle des Unteren Quartils und des Medians wesentlich schwächer. Außerdem deuten die Ergebnisse der rückschreitenden Analyse darauf hin, dass sich die tendenzielle Entwicklung der Medianwertreihe im Jahre 1957 umkehrt. Allein der Trend der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d hat sich gegenüber der Niedrigwasserperiode um etwa ein Prozent auf 30 % in 67 Jahren verstärkt.

Im Winter sind keine langfristigen signifikanten Veränderungen der Niederschläge zu verzeichnen. Keine einzige der zehn Auswertegrößen weist einen signifikanten Trend auf, und die rückschreitend optimierten Trends sind zu kurz, um Rückschlüsse auf langfristige Veränderungen zuzulassen. Alles in allem weist das Inngebiet wie die ihm benachbarten Bereiche vergleichsweise wenig langfristige Änderungen auf.

Tabelle 6.14 Gebiet D14: Inn – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.47	5.25	0.1343	1.161	1.547
	absoluter Trendbetrag	0.186	0.485	−0.055	−0.246	0.365
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1954	–	–	1953
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1965	1965	1933
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	−0.290	−1.104	0.468
Sommer	Langjähriger Mittelwert	5.09	7.26	0.2385	2.052	2.751
	absoluter Trendbetrag	0.158	1.233	−0.021	−0.623	0.397
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1952	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1956	1953	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	0.412	−2.376	–
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.66	4.06	0.0984	0.812	0.851
	absoluter Trendbetrag	0.180	0.277	−0.013	−0.105	0.325
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1985	1974	1980	1987
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−7.246	−15.010	−0.416	−4.467	−13.580

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.16 Gebiet D15: Donau unterhalb Isar bis Landesgrenze

Das Gebiet D15 weist bei ganzjähriger Auswertung nur zwei Reihen mit signifikanten Tendenzen auf: Unteres Quartil mit einem Rückgang um fast 30 % und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d mit einem Zuwachs von 23 % in 67 Jahren.

Bei Tagesmittel und Standardabweichung zeigen sich signifikante partielle Trends mit Beginn gegen Ende der vierziger Jahre; beide Größen nehmen von diesem Zeitpunkt an zu.

Das Frühjahr ist gekennzeichnet durch die Zunahme des Medians bei gleichzeitigem Rückgang des Unteren Quartils. Wenn auch die Beträge dieser langfristigen Trends nicht übereinstimmen, so doch das Vorzeichen der Tendenz. Das Gleiche gilt für den zunehmenden rück-schreitend optimierten Trend des Tagesmittels, der 1946 beginnt.

Im Sommer gehen sowohl Unteres Quartil als auch Median stetig zurück. Auch das Tagesmittel nimmt ab, allerdings wird die erforderliche Signifikanz wiederum erst beim rück-schreitend optimierten Trend mit dem Beginn im Jahre 1954 erreicht.

Während der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober kommt es zu einem langfristigen Rückgang des Unteren Quartils und des Medians, wenn auch mit höheren Beträgen als im Sommer. Tagesmittel und Standardabweichung sind durch schwach signifikante partielle Trends mit Beginn im Verlauf der vierziger Jahre charakterisiert.

Im Herbst treten im Gebiet D15 keine signifikanten Trends über den gesamten Untersuchungszeitraum auf. Erst in der Zeit zwischen 1948 und 1957 setzen bei fünf der Größen partielle Trends ein, die für eine signifikante Erhöhung der Niederschläge und ihrer Variabilität in den vergangenen fünf Jahrzehnten sprechen.

Im Winter kommt es ebenfalls zu einer Erhöhung der Niederschläge, wobei hier die große Varianz der Einzelwerte keine signifikante Sicherung dieser Annahme zulässt. Lediglich der Rückgang des Unteren Quartils um 33 % und die Zunahme der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 48 % ist mit Signifikanz zu bestätigen.

Tabelle 6.15 Gebiet D15: Donau unterhalb Isar bis Landesgrenze – Übersicht über die Auswertungsergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.01	4.81	0.1039	0.881	1.318
	absoluter Trendbetrag	0.382	0.614	–0.045	0.033	0.452
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1978	1981	–	1973
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1949	1971	1986	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.792	1.928	–0.476	–5.034	0.990
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.82	5.79	0.1419	1.282	1.816
	absoluter Trendbetrag	–0.121	–0.033	–0.083	–0.585	0.282
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1986	1968	1953	1975
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–1.682	12.199	–0.529	–1.755	–4.250
Winter	Langjähriger Mittelwert	3.03	4.70	0.1239	0.955	1.323
	absoluter Trendbetrag	1.011	1.329	–0.060	0.283	0.948
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	1988	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1986	1968	1981	1981	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–14.330	6.427	–0.927	–4.633	0.948

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.17 Gebiet E1: Elbe

Das Gebiet E1, in dem diejenigen Einzugsgebietsteile Bayerns zusammengefasst wurden, die dem Stromgebiet der Elbe zuzuordnen sind, zeigt bei ganzjähriger Auswertung für den gesamten Untersuchungszeitraum von 1931 bis 1997 eine deutliche Zunahme der Niederschläge und ihrer Varianz.

Das Tagesmittel wächst in 67 Jahren um 10 %, die Standardabweichung um 15 % und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 48 %; die partiellen Trends beginnen in den vierziger Jahren und kennzeichnen damit den wahrscheinlichen Beginn dieser tendenziellen Entwicklung.

Mit Verzögerung geht das Untere Quartil um 13 % zurück. Die rückgängigen partiellen Trends des Unteren Quartils und des Medians beginnen allerdings erst in den sechziger Jahren, sind also erst für die zweite Hälfte des Untersuchungszeitraums gültig.

Im Frühjahr lässt sich keine genaue Aussage über die Zunahme der Niederschläge machen. Zu sichern sind lediglich die positiven Trends des Unteren Quartils, des Medians und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Der Sommer zeichnet sich vor allem durch den Rückgang des Unteren Quartils und des Medians aus; diese Tendenzen verstärken sich in den fünfziger Jahren. Auch die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d beginnt von den fünfziger Jahren an zuzunehmen. Die Trends

der übrigen Auswertegrößen verdienen dagegen weniger Beachtung.

In der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober verstärken sich die bereits im Sommer erkennbaren Trends. Vor allem Unteres Quartil und Median nehmen drastisch ab, während die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 41 % in 67 Jahren zunimmt.

Der Herbst ist gekennzeichnet durch einen deutlichen Zuwachs an Varianz, wie sich aus den positiven Trends der Standardabweichung mit 18 % und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d mit 44 % in 67 Jahren ableiten lässt. Für das Tagesmittel ist kein signifikanter Trend bestimmbar.

Der Winter zeichnet sich durch eine relativ starke Niederschlagszunahme aus. Allein das Tagesmittel vergrößert sich in 67 Jahren signifikant um 27 %. Der Zuwachs der Standardabweichung im gleichen Zeitraum ist nur um etwa ein Prozent geringer. Der Median wächst um mehr als 38 % und die Häufigkeit von Tagen mit einem Gebietsniederschlag von mehr als 15 mm/d sogar um 95 %. Für derart starke Veränderungen gilt, dass derartige Trends nicht willkürlich in die Zukunft fortgeführt werden können. Die partiellen Trends von drei der vier genannten Größen beginnen bereits in den dreißiger Jahren, sprechen also für einen frühen Beginn der Tendenz. Lediglich der Zuwachs der Standardabweichung beginnt erst mit dem Jahr 1948.

Tabelle 6.16 Gebiet E1: Elbe – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.37	3.72	0.1008	0.748	0.686
	absoluter Trendbetrag	0.360	0.846	–0.020	0.074	0.488
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1965	–	–	1965
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1946	1946	1965	1964	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.733	1.595	–0.224	–0.604	0.857
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.95	4.68	0.1137	0.920	1.129
	absoluter Trendbetrag	–0.032	0.566	–0.062	–0.312	0.357
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1954	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1971	1985	1954	1954	1958
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.302	9.837	–0.237	–1.228	1.727
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.30	3.37	0.1440	0.891	0.562
	absoluter Trendbetrag	0.941	1.319	–0.025	0.511	0.800
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 90 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1974	1977	–	–	1965
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1948	1965	1931	1937
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.029	2.247	–0.439	0.606	1.059

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.18 Gebiet M1: Main oberhalb Regnitz

Der Oberlauf des Mains zeichnet sich bei ganzjähriger Auswertung durch einen Zuwachs des Tagesmittels um 9 % und der Standardabweichung um 15 % in 67 Jahren aus. Im selben Zeitraum geht das Untere Quartil um 18 % zurück und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d erhöht sich um 38 %. Die drei zunehmenden Tendenzen setzen – unter Berücksichtigung der rückschreitenden Analyse – während der vierziger Jahre ein, der Rückgang des Unteren Quartils erst zu Beginn der fünfziger Jahre. In der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums nimmt auch der Median signifikant ab.

Der positive Trend des Tagesmittels und der Standardabweichung sind im Frühjahr noch stärker. Der Rückgang des Unteren Quartils allerdings ist geringfügig und nicht signifikant. Die Überschreitungshäufigkeit des Tageswertes von 15 mm/d dagegen steigt um 53 %. Die partiellen Trends sind überwiegend kurz und irrelevant für die Beurteilung der langzeitlichen Entwicklung. Ausnahmen bilden die Standardabweichung, bei der der Aufwärtstrend im Jahre 1947 einsetzt, und der Median, der in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums signifikant abnimmt.

Der Sommer ist geprägt vom Rückgang des Unteren Quartils und des Medians mit relativen Trends von 57 % und 26 % in 67 Jahren. Alle anderen Größen weisen keinerlei relevante Langzeittrends auf. Der Rückgang des Tages-

mittels um 5 % ist ohne hinreichende Signifikanz.

Auch die Niedrigwasserperiode von August bis Oktober wird beherrscht vom Rückgang des Unteren Quartils und des Medians. Der Rückgang des Tagesmittels um 11 % ist nicht signifikant; erst der rückschreitend optimierte Trend mit Beginn 1966 erfüllt das statistische Kriterium. Ebenso verhält es sich mit der Standardabweichung und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, die erst nach 1945 bzw. nach 1967 statistisch signifikante Änderungen zeigen.

Im Herbst nimmt das Tagesmittel wieder zu, doch der Zuwachs reicht nicht für die geforderte Signifikanz aus. Nur der abgeschwächte, aber noch deutlich vorhandene Rückgang des Unteren Quartils und des Medians sowie der Zuwachs der Standardabweichung und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d prägen das Bild.

Im Winter treten die stärksten relativen Trends auf: Das Tagesmittel wächst um 25 %, die Standardabweichung um 27 % und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d gar um 71 % in 67 Jahren. Auch Unteres Quartil und Median, in den vorausgehenden Jahreszeiten rückgängig, wachsen während des 67-jährigen Zeitraums um 16 % bzw. 34 %. Es handelt sich also um eine allgemeine Zunahme der Niederschläge, die nicht nur die geringfügigen oder die starken Niederschläge, sondern die gesamte Häufigkeitsverteilung umfasst.

Tabelle 6.17 Gebiet M1: Main oberhalb Regnitz – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.40	3.68	0.1084	0.770	0.686
	absoluter Trendbetrag	0.329	0.797	−0.029	−0.020	0.388
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 95 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1965	1971	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1942	1948	1952	1965	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.601	1.734	−0.194	−1.025	0.797
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.86	4.33	0.1239	0.941	0.980
	absoluter Trendbetrag	−0.226	−0.122	−0.106	−0.359	−0.071
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1975	–	1974	1971	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1980	1953	1953	1982
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.591	6.161	−0.428	−1.781	9.444
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.42	3.51	0.1539	0.924	0.642
	absoluter Trendbetrag	0.905	1.388	0.038	0.475	0.682
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1978	1976	1968	1955	1964
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1948	1971	1932	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.959	2.580	0.498	0.632	1.305

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.19 Gebiet M2: Regnitz

Das Regnitzgebiet ist nach dem Gebiet der Isar die zweitgrößte räumliche Einheit der vorliegenden Untersuchung, im Gegensatz zu jener treten im Gebiet M2 aber keine derart großen orographischen Gegensätze auf wie in D11.

Bei der ganzjährigen Auswertung erweist sich die Zunahme des Tagesmittelwertes von 6 % in 67 Jahren als nicht signifikant, bei der rückschreitenden Analyse zeigt sich jedoch, dass die Tendenz, wenn ihr Beginn um zehn Jahre verschoben wird, durchaus an Signifikanz gewinnt. Die Standardabweichung nimmt auch bei Analyse der gesamten Reihe signifikant zu, jedoch verstärkt sich die Zunahme ab etwa 1945. Weitere positive Trends finden sich beim Unteren Quartil und bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Allerdings darf der Trend des Unteren Quartils nicht überbewertet werden, denn hier zeigt sich in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums wieder ein Rückgang.

Das Frühjahr zeichnet sich durch einen elfprozentigen Zuwachs des Tagesmittels aus, der sich Mitte der vierziger Jahre verstärkt. Unteres Quartil und Median nehmen langfristig ebenso zu wie die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, die in 67 Jahren um 29 % wächst.

Im Sommer nimmt das Tagesmittel um 11 % in 67 Jahren ab; die scheinbare Umkehr des Trends im Jahre 1975 spiegelt allerdings mehr die Tatsache wider, dass die Amplitude der kurzzeitigen Schwankungen sich in dieser Zeit verringert hat, so dass auch kleine Veränderungen zur guten Anpassung eines linearen Trends führen. Unteres Quartil und Median gehen

ebenfalls zurück, wobei zu beachten ist, dass die optimale Anpassung eines Trends bei der rückschreitenden Analyse mit einem Beginn im Jahre 1953 erreicht werden kann.

In der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober vergrößert sich der Rückgang des Tagesmittels auf 12 % in 67 Jahren. Der Rückgang des Unteren Quartils erreicht nahezu 130 % in der selben Zeit, der des Medians 80 %. In allen drei Fällen ist mit dem Rückgang der Auswertegröße eine Verringerung von deren Variabilität verbunden.

Der Herbst lässt sich durch eine Vergrößerung der Varianz bei geringer Zunahme der Niederschläge charakterisieren. Das Tagesmittel weist erst ab 1953 einen signifikanten Aufwärtstrend auf, doch sowohl Standardabweichung als auch die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen über den ganzen Untersuchungszeitraum um 20 % bzw. 56 % zu. Dagegen nehmen Unteres Quartil und Median ab. Die rückschreitend optimierten Trends dieser vier Größen beginnen zwischen 1941 und 1953 und verweisen damit auf den eigentlichen Beginn der tendenziellen Entwicklung aller Veränderungen des Herbstes im Regnitz-Gebiet.

Im Winter ist wiederum eine starke Zunahme der Niederschläge zu erkennen. Tagesmittel, Standardabweichung, Unteres Quartil und Median sowie die Häufigkeit der Tage mit mehr als 15 mm/d Gebietsniederschlag wachsen mehr oder weniger signifikant während des gesamten Untersuchungszeitraums. Auch in diesem Gebiet ist also ein Anwachsen der Niederschläge insgesamt festzustellen.

Tabelle 6.18 Gebiet M2: Regnitz — Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.23	3.54	0.0738	0.676	0.576
	absoluter Trendbetrag	0.199	0.584	0.011	−0.062	0.199
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 90 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1976	1981	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1945	1965	1965	1945
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.506	1.555	−0.176	−0.796	0.607
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.81	4.31	0.0912	0.899	0.925
	absoluter Trendbetrag	−0.460	−0.293	−0.043	−0.513	−0.322
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 95 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1946
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1975	1975	1953	1953	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.510	3.822	−0.148	−0.872	3.968
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.10	3.21	0.1015	0.730	0.423
	absoluter Trendbetrag	0.644	1.188	0.052	0.338	0.484
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 90 %	≥ 99 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1948	1983	1932	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.686	2.279	−1.021	0.450	0.944

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.20 Gebiet M3: Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale

Das Gebiet M3 weist bei ganzjähriger Auswertung der Daten keine signifikanten Änderungen des Tagesmittels auf. Der rückschreitend optimierte Trend mit Beginn 1970 ist nur auf Grund geringer Veränderungen bei ebenso geringer Variabilität signifikant. Statt dessen gehen Unteres Quartil und Median trotz starker Variationen zurück, und auch die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nimmt um etwa 15 % in 67 Jahren ab.

Im Frühjahr kommt es nicht zu einer signifikanten Erhöhung des Tagesmittels, Unteres Quartil, Median und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wachsen aber in 67 Jahren um Beträge zwischen 34 % und 51 %, wobei auch bei diesen Größen eine Zunahme der Amplitude der kurzzeitigen Variationen zu beobachten ist.

Während des Sommers ergibt sich ein Rückgang des Tagesmittels und der Standardabweichung um 22 % bzw. 23 % in 67 Jahren. Das Untere Quartil fällt um 136 % und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 63 %. Es kommt also sowohl zu einer Verringerung der Niederschlagsmenge als auch der Häufigkeit ergiebiger Niederschläge.

Die Niedrigwasserperiode wird ebenfalls von einem Rückgang des Tagesmittels bestimmt, wenn auch die Standardabweichung nicht in dem gleichen Maße abnimmt. Die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d sinkt um mehr als 50 %.

Erst im Herbst nimmt der Rückgang des Tagesmittels ein Ende; es ist kein signifikanter Trend mehr nachweisbar. Statt dessen wächst die Standardabweichung um 14 % in 67 Jahren. Unteres Quartil und Median nehmen zwar noch ab, jedoch weniger als in der Niedrigwasserperiode.

Das Tagesmittel des Winters wächst in 67 Jahren um mehr als 13 %, während das Untere Quartil um 17 % zurückgeht. Dieser Rückgang besteht allerdings hauptsächlich in einer Verringerung der Variabilität. Ähnliche Vorsicht ist bei Beurteilung des Anstiegs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 31 % geboten. Auch hier treten starke Variationen auf, die sich in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums verringern. Mithin ist für diese Jahreszeit zu folgern, dass die Niederschlagszunahme vorrangig durch Tage mit ergiebigen Niederschlägen verursacht wird.

Tabelle 6.19 Gebiet M3: Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	1.95	3.25	0.0527	0.504	0.486
	absoluter Trendbetrag	−0.056	0.057	−0.043	−0.091	−0.106
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1974	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1946	1965	1965	1973
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.955	0.941	−0.230	−0.760	1.170
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.47	4.08	0.0579	0.657	0.841
	absoluter Trendbetrag	−0.791	−1.403	−0.118	−0.314	−0.795
	Trendsignifikanz	≥ 95 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1975	1946	1971	–	1947
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1935	1953	1953	1932
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−1.369	−1.610	−0.222	−0.760	−0.865
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.80	2.90	0.0805	0.548	0.368
	absoluter Trendbetrag	0.359	0.665	−0.020	0.097	0.170
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1985
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1971	1965	1986	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.568	5.259	−0.351	−4.963	1.505

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.21 Gebiet M4: Fränkische Saale

Das an der Nordwestgrenze Bayerns gelegene Gebiet der Fränkischen Saale zeichnet sich durch einen Zuwachs der Standardabweichung bei ganzjähriger Auswertung aus, während das Tagesmittel keinerlei signifikanten tendenziellen Änderungen unterworfen ist. Unteres Quartil und Median gehen in 67 Jahren um 61 % bzw. 31 % zurück, während im selben Zeitraum die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 33 % wächst. Der Beginn der entsprechenden rückschreitend optimierten Trends ist zu weit gestreut, als dass sich ein ungefährer einheitlicher Beginn der zeitlichen Entwicklung festlegen ließe.

Für das Frühjahr liegt ein signifikant zunehmender Trend des Tagesmittels von 12 % in 67 Jahren vor. Die Standardabweichung wächst im selben Zeitraum um 19 %. Das Untere Quartil zeigt keine Veränderung, während der Median um 15 % abnimmt. Die Überschreitungshäufigkeit lässt einen starken zunehmenden Trend von 72 % erkennen, der aber hauptsächlich auf Veränderungen in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums zurückzuführen ist.

Der Sommer ist geprägt durch den signifikanten Rückgang des Tagesmittels, des Unteren Quartils und des Medians, wobei die partiellen Trends zeigen, dass der Rückgang der

Niederschlagsmenge über den gesamten Untersuchungszeitraum andauert, während der der Niederschlagshäufigkeit, auf die man durch das Untere Quartil schließen kann, erst in den fünfziger Jahren einsetzt.

In der Niedrigwasserperiode gehen Mittelwert, Unteres Quartil und Median stark zurück. Die langfristige Abnahme des Tagesmittels um 25 % in 67 Jahren weist auf die Dramatik des Rückgangs hin.

Im Herbst ist von einem Rückgang des Tagesmittels keinerlei signifikanter Hinweis zu finden. Statt dessen vergrößert sich die Standardabweichung um 22 % in 67 Jahren, und entsprechend wächst die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 27 %, während Unteres Quartil und Median noch rückläufige Tendenzen aufweisen.

Während des Winters vergrößert sich das Tagesmittel zwar um 16 %, es handelt sich dabei aber nicht um einen signifikanten Betrag. Dagegen ist der Zuwachs der Standardabweichung mit 21 % sehr wohl signifikant. Das Untere Quartil nimmt in 67 Jahren um 18 % ab, der Median jedoch nicht. Entsprechend der Vergrößerung der Standardabweichung erhöht sich auch die Häufigkeit der Überschreitung von 15 mm/d, und zwar um den verhältnismäßig hohen Wert von 83 %.

Tabelle 6.20 Gebiet M4: Fränkische Saale – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.40	3.71	0.1085	0.750	0.684
	absoluter Trendbetrag	−0.023	0.631	−0.099	−0.347	0.332
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 99 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1964	1970	1970	1964
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1942	1965	1965	1953
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−2.927	1.224	−0.385	−1.042	0.672
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.76	4.23	0.119	0.856	0.915
	absoluter Trendbetrag	−1.022	−0.791	−0.290	−0.838	−0.317
	Trendsignifikanz	≥ 95 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 99 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1972	–	1972	1971	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1954	1953	1982
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−1.044	−0.804	−0.372	−1.487	6.448
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.52	3.71	0.1575	0.943	0.706
	absoluter Trendbetrag	0.599	1.185	−0.042	0.113	0.874
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1978	–	–	1965
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1948	1965	1939	1950
	Rückschr. opt. Trendbetrag	3.335	2.125	−0.457	0.423	1.602

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.22 Gebiet M5: Tauber

Das Taubergebiet M5 lässt bei ganzjähriger Auswertung eine Verringerung der Niederschläge über den Untersuchungszeitraum erkennen. Besonders Unteres Quartil, Median und die Häufigkeit starker Niederschläge gehen zurück. Die ebenfalls rückläufigen Trends von Tagesmittel und Standardabweichung haben nicht die erforderliche Signifikanz.

Das Frühjahr ist gekennzeichnet von einer Abnahme des Tagesmittels, der Standardabweichung, des Unteren Quartils und der Häufigkeit starker Niederschläge in den letzten 20 Jahren. Über den Gesamtzeitraum nimmt das Untere Quartil jedoch, wie auch der Median, um etwa 18 % zu.

Im Sommer ist ein erheblicher und in jedem Falle signifikanter Rückgang *aller* Größen zu beobachten. Die rückschreitende Analyse zeigt, dass es sich hierbei teils um langfristige Tendenzen handelt, die schon in den dreißiger Jahren beginnen, wie bei Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, bzw. spätestens zu Beginn der fünfziger Jahre einsetzen. Gleiches gilt für die Niedrigwasserperi-

ode, auch wenn der Abwärtstrend von Unterem Quartil und Median sich im letzten Jahrzehnt umzukehren scheint.

Im Herbst nehmen Tagesmittel und Standardabweichung seit den fünfziger Jahren stetig zu. Die Erhöhung der Variabilität zeigt sich auch an den gegenläufigen Tendenzen von Unterem Quartil mit einem Rückgang und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d mit einem Zuwachs.

Im Winter schließlich kommt es zu einer generellen, seit den sechziger Jahren verstärkten Zunahme von Tagesmittel und Standardabweichung. Die anderen Größen wachsen ebenfalls, wenn auch nicht in außergewöhnlichem Maße. Darüber hinaus zeigen die partiellen Trends von Unterem Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums wieder einen Rückgang, was darauf hindeutet, dass zwar die Niederschlagsmenge wächst, aber nicht durch häufigere Niederschlagstage oder mehr extreme Ereignisse, sondern vor allem durch eine Zunahme der durchschnittlichen Tageswerte.

Tabelle 6.21 Gebiet M5: Tauber — Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.07	3.46	0.0531	0.527	0.540
	absoluter Trendbetrag	−0.156	−0.018	−0.037	−0.105	−0.262
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1983	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1968	1965	1965	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.128	1.981	−0.220	−0.749	−0.282
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.59	4.27	0.0529	0.660	0.886
	absoluter Trendbetrag	−0.980	−1.310	−0.155	−0.368	−0.858
	Trendsignifikanz	≥ 95 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 95 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1971	1946	1956	–	1941
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1935	1951	1953	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−1.622	−1.627	−0.182	−1.053	−0.858
Winter	Langjähriger Mittelwert	1.92	3.09	0.0767	0.578	0.358
	absoluter Trendbetrag	0.418	0.874	0.050	0.133	0.077
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1940
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1963	1965	1938	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.392	3.754	−0.350	0.317	−3.027

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.23 Gebiet M6: Main unterhalb Fränkische Saale bis Landesgrenze

Das im äußersten Nordwesten gelegene Gebiet N6 zeigt bei ganzjähriger Auswertung keinerlei langfristigen Trend außer dem Rückgang des Unteren Quartils um 40 % in 67 Jahren. Auch die relevanten partiellen Trends des Medians — rückläufig ab 1965 — und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d — zunehmend ab 1948 — lassen keine Folgerung auf größere Veränderungen zu, da Tagesmittel und Standardabweichung sich langfristig kaum verändern. Bei Untersuchung der einzelnen Jahreszeiten ändert sich jedoch das Bild.

So nehmen im Frühjahr nahezu alle Größen stetig zu. Das Tagesmittel wächst um 17 %, das Untere Quartil um 43 %, der Median um 35 % und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 50 % — jeweils in 67 Jahren. Die Zunahme der Standardabweichung, die nach diesen Befunden ebenfalls zu erwarten wäre, bleibt mit 9 % unter der Nachweisgrenze.

Im Sommer dagegen kommt es zu einer Umkehrung der Trends. Tagesmittel und Standardabweichung nehmen ebenso ab wie Unteres

Quartil, Median und die Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwertes 15 mm/d. Die rück-schreitende Analyse zeigt, dass drei der fünf Größen diesen Rückgang eigentlich erst seit Beginn der fünfziger Jahre aufweisen.

Während der Niedrigwasserperiode von August bis Oktober zeigen nur Tagesmittel, Unteres Quartil und Median einen signifikanten Rückgang.

Der Herbst lässt sich zwar auch noch durch einen starken Rückgang des Unteren Quartils und des Medians charakterisieren, das Tagesmittel aber verändert sich nicht, und der nicht unerhebliche Anstieg der Standardabweichung von 14 % bleibt unterhalb der erforderlichen Signifikanzgröße.

Auf diese Weise zeigt lediglich der Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit die jahreszeitliche Wende in den Tendenzen an.

Im Winter schließlich wachsen nahezu alle Größen in 67 Jahren nicht unbeträchtlich zwischen 14 % und 27 % an, doch nur beim Unteren Quartil lässt sich mit hinreichender Signifikanz der Nachweis führen.

Tabelle 6.22 Gebiet M6: Main unterhalb Fränkische Saale bis Landesgrenze – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.52	3.98	0.0946	0.756	0.815
	absoluter Trendbetrag	0.062	0.210	−0.056	−0.061	0.112
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1983	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1979	1979	1965	1965	1948
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−2.948	−5.129	−0.376	−1.082	0.494
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.87	4.42	0.0955	0.882	1.050
	absoluter Trendbetrag	−0.967	−1.402	−0.200	−0.444	−0.696
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1975	1946	1971	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1965	1953	1953	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−2.064	−3.878	−0.385	−1.668	−0.696
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.56	3.90	0.1367	0.869	0.791
	absoluter Trendbetrag	0.587	0.885	0.029	0.249	0.322
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1971	1968	1965	1939	1971
	Rückschr. opt. Trendbetrag	3.481	5.207	−0.449	0.432	2.466

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.24 Gebiet N1: Neckar oberhalb Fils

Am Oberlauf des Neckar kommt es bei ganzjähriger Auswertung während des Gesamtzeitraums zu einem zehnprozentigen Zuwachs des Tagesmittels und der Standardabweichung.

Das Untere Quartil geht zurück, während die Häufigkeit starker Niederschläge deutlich wächst — also zunehmende Variabilität während des gesamten Jahres.

Im Frühjahr verdoppelt sich die Zunahme des Tagesmittels, und ebenso wachsen Unteres Quartil, Medianwert und die Häufigkeit starker Niederschläge. Die Standardabweichung nimmt ebenfalls zu, jedoch nicht signifikant.

Der Sommer ist gekennzeichnet durch einen Rückgang der Niederschläge, was vor allem an den signifikanten Trends des Unteren Quartils, des Medianwertes und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d deutlich wird. Tagesmittel und Standardabweichung nehmen nicht signifikant zu, und ihre rückschreitend optimier-

ten Trends sind zu kurz, um weiter reichende Folgerungen abzuleiten.

Noch stärker ist der Rückgang in der Niedrigwasserperiode. Hier nimmt auch das Tagesmittel signifikant ab. Allerdings wachsen die Häufigkeiten starker Niederschläge seit Ende der vierziger Jahre signifikant an.

Der Herbst ist vor allem geprägt durch die Abnahme von Unterem Quartil und Medianwert bei gleichzeitigem Anwachsen der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um nahezu 50 %.

Während des Winters kommt es wie auch in anderen Gebieten zu einer über alle Zeitreihen sichtbaren Zunahme der Niederschläge — sowohl in der Menge (Tagesmittel, Median), als auch in der Variabilität (Standardabweichung, Unteres Quartil und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d). Die Nachweise signifikanter Inhomogenitäten und Trends ergänzen einander in deutlicher Weise.

Tabelle 6.23 Gebiet N1: Neckar oberhalb Fils — Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.56	4.07	0.0734	0.755	0.832
	absoluter Trendbetrag	0.395	0.629	−0.009	0.079	0.289
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 80 %	< 80 %	≥ 90 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1976	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1941	1965	1964	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.721	1.240	−0.258	−0.772	0.670
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.30	5.12	0.0755	0.990	1.294
	absoluter Trendbetrag	−0.213	−0.139	−0.071	−0.302	−0.527
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1983	1979	1953	1983	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	6.242	5.824	−0.205	5.952	4.156
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.19	3.46	0.0892	0.708	0.567
	absoluter Trendbetrag	0.926	1.337	−0.045	0.471	0.649
	Trendsignifikanz	≥ 95 %	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 90 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1976	1976	1988	–	1954
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1981	1938	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.982	1.363	−1.102	0.662	0.649

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.25 Gebiet N2: Neckar von Fils bis oberhalb Kocher (ohne Enz)

Im Gegensatz zum Oberlauf des Neckar kommt es im Gebiet N2 bei ganzjähriger Auswertung nicht zu einem Zuwachs über den Gesamtzeitraum. Statt dessen nehmen Unteres Quartil, Medianwert und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d signifikant ab. Erst in den letzten Jahrzehnten zeichnet sich wieder eine schwache Zunahme der Häufigkeit starker Niederschläge ab.

Im Frühjahr kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Niederschläge, wie der rückschreitend optimierte Trend des Tagesmittels mit Beginn 1943 und die Trends von Unterem Quartil und Medianwert zeigen.

Der Sommer ist dagegen von einem allgemeinen Rückgang nahezu aller Größen gekennzeichnet. In vier von fünf Fällen ist dieser Rückgang signifikant. Nur die Standardabweichung weist keinen signifikanten Trend auf. Allerdings beginnt sich dieser Rückgang etwa seit 1980 bei Tagesmittel, Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d und auch bei der Standard-

abweichung umzukehren, wie an den rückschreitend optimierten Trends zu erkennen ist. Die Trends von Unterem Quartil und Median dagegen verstärken sich seit Beginn der fünfziger Jahre.

Auch in der Niedrigwasserperiode ist ein starker Rückgang bei den meisten Parametern zu erkennen. Im Herbst lässt sich eine Zunahme sowohl der Niederschlagsmenge als auch der Variabilität seit den fünfziger Jahren erkennen. Der starke Rückgang von Unterem Quartil und Median kehrt sich wie in der Niedrigwasserperiode während der achtziger Jahre um. Allerdings nimmt die Häufigkeit starker Niederschläge seit 1954 signifikant zu.

Während des Winters kommt es kaum zu langfristigen Veränderungen von hinreichender Signifikanz. Lediglich das Untere Quartil nimmt zu. Die wenigen substanziellen Veränderungen, die sich aus den Ergebnissen der rückschreitenden Analyse erkennen lassen, erlauben den Rückschluss auf eine Erhöhung der Variabilität in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums.

Tabelle 6.24 Gebiet N2: Neckar von Fils bis oberhalb Kocher (ohne Enz) – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.58	4.10	0.0729	0.749	0.816
	absoluter Trendbetrag	−0.014	0.172	−0.027	−0.190	−0.200
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1977	1983	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1945	1965	1965	1968
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.193	1.080	−0.280	−0.719	1.346
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.28	5.04	0.0780	0.987	1.289
	absoluter Trendbetrag	−0.624	−0.515	−0.062	−0.655	−0.887
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 95 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1974	1971	1969
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1979	1953	1953	1979
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.419	7.391	−0.182	−1.467	4.842
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.26	3.54	0.0913	0.731	0.512
	absoluter Trendbetrag	0.284	0.697	0.025	0.021	0.113
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1977
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1981	1963	1981	1978	1985
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−5.759	3.339	−1.169	−3.932	−6.795

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.26 Gebiet N3: Enz

Im Enzgebiet (N3) erhöhen sich bei ganzjähriger Auswertung sowohl Tagesmittel als auch Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, während das Untere Quartil signifikant abnimmt. Es lässt sich mithin von einer Zunahme der Niederschläge bei gleichzeitiger Erhöhung der Variabilität sprechen.

Im Frühjahr wachsen die Tagesmittel doppelt so stark wie bei ganzjähriger Auswertung. Auch die meisten anderen Größen nehmen zu, am auffälligsten die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Das Bild im Sommer erweist sich gegenüber dem Frühjahr als nahezu spiegelbildlich: Alle Größen nehmen ab, am stärksten Unteres Quartil, Median und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Abnahme der Niederschläge bei gleichzeitiger Zunahme der Variabilität kennzeichnen die

Niedrigwasserperiode. Der Rückgang des Unteren Quartils und der Medianwerte bei gleichzeitigem Anwachsen der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d verdeutlichen dies. Die Abnahme des Tagesmittels um 11 % in 67 Jahren ist dagegen auf Grund der großen Varianz der Reihe nicht signifikant.

Im Herbst kehrt sich der negative Trend der Tagesmittel um. Seit Beginn der fünfziger Jahre ist ein signifikanter Zuwachs sowohl des Tagesmittels als auch der Standardabweichung nachweisbar. Unteres Quartil und Median gehen zurück, die Häufigkeit der Niederschläge größer als 15 mm/d erhöht sich jedoch im Mittel um mehr als ein Prozent pro Jahr.

Im Winter verstärkt sich diese Entwicklung noch. Das Tagesmittel wächst um 27 %, die Standardabweichung um 32 %, und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d sogar um 90 % in 67 Jahren. Ein Rückgang ist einzig noch beim unteren Quartil zu erkennen.

Tabelle 6.25 Gebiet N3: Enz – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.64	4.18	0.0861	0.791	0.921
	absoluter Trendbetrag	0.419	0.880	−0.039	−0.066	0.607
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 90 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1964	1976	–	–	1965
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1948	1965	1965	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.557	1.634	−0.318	−0.863	0.682
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.12	4.87	0.0842	0.933	1.284
	absoluter Trendbetrag	−0.399	−0.306	−0.064	−0.501	−0.329
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1971	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1979	1953	1953	1953
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.087	6.529	−0.274	−1.352	−1.412
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.54	3.97	0.1099	0.874	0.831
	absoluter Trendbetrag	1.015	1.919	−0.047	0.324	1.113
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 99 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1976	1976	1970	–	1977
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1965	1938	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.132	1.978	−0.483	0.587	1.113

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.27 Gebiet N4: Kocher

Bei ganzjähriger Auswertung sind im Gebiet N4 nur wenige beachtenswerte Veränderungen erkennbar. Signifikante, abnehmende Trends weisen nur das Untere Quartil und der Median auf. Die Standardabweichung wächst seit etwa 1950 langsam an, gleichzeitig aber lassen sich für die letzten beiden Jahrzehnte Rückgänge beim Tagesmittel und bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nachweisen.

Das Frühjahr ist gekennzeichnet durch ein langsames Wachsen von Tagesmittel, Median und Standardabweichung ab 1944. Allerdings weist das Untere Quartil als einzige Größe einen signifikanten Aufwärtstrend auf.

Im Sommer sind, wie in anderen Gebieten auch, negative Trends des Tagesmittels, des Unteren Quartils, des Medians und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nachweisbar. Nur der Rückgang der Standardabweichung mit etwa 12 % in 67 Jahren erreicht nicht die erforderliche Signifikanz.

In der Niedrigwasserperiode sind ebenfalls abnehmende Trends des Tagesmittels, des Unteren Quartils und des Medians zu verzeichnen. Die Varianz wächst seit etwa 1950 leicht an.

Im Herbst nehmen Tagesmittel und Standardabweichung seit den fünfziger Jahren zu. Unteres Quartil und Median fallen während des gesamten Untersuchungszeitraums, die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nimmt statt dessen zu — eine stetige Vergrößerung der Variabilität.

Im Winter läßt sich ein geringfügiger Zuwachs der Niederschläge nachweisen. Die Zunahme ist allerdings nur bei Standardabweichung und Unterem Quartil signifikant. Weder der Zuwachs des Tagesmittels um etwa 15 % noch der der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 30 % in 67 Jahren reichen angesichts der starken Variationen dieser Größen für die erforderliche Signifikanz aus.

Tabelle 6.26 Gebiet N4: Kocher – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.66	4.26	0.0741	0.744	0.986
	absoluter Trendbetrag	0.040	0.526	−0.033	−0.228	0.139
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1977	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1977	1948	1965	1965	1983
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−2.694	1.466	−0.342	−0.992	−4.423
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.17	5.01	0.0656	0.893	1.418
	absoluter Trendbetrag	−0.810	−0.487	−0.137	−0.779	−0.604
	Trendsignifikanz	≥ 90 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 95 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1971	1971	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1980	1953	1953	1986
	Rückschr. opt. Trendbetrag	4.920	8.164	−0.275	−1.396	−9.151
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.60	4.02	0.1067	0.853	0.881
	absoluter Trendbetrag	0.590	1.506	0.078	0.105	0.393
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1979	1931	1939	1978	1977
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−5.362	1.538	0.167	−4.277	−5.213

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.28 Gebiet N5: Jagst

Im Gebiet N5 lassen sich bei ganzjähriger Auswertung nur geringe Veränderungen erkennen. Der einzige signifikante Trend betrifft das Untere Quartil. Zwar werden bei der rückschreitenden Analyse auch bei den anderen vier Auswertegrößen signifikante Tendenzen gefunden, die die zweite Hälfte des Analysezeitraums betreffen, und auch die Beträge dieser Trends sind nicht vernachlässigbar, doch der Zeitpunkt des Beginns ist von 1948 bis 1978 derart weit gestreut, dass es schwer fällt, in diesem Zusammenhang von einer einheitlichen Entwicklung zu sprechen.

Auch im Frühjahr ist kein signifikanter Trend des Tagesmittels festzustellen, dagegen weisen Unteres Quartil und Median beträchtlichen Zuwachs auf. Die rückschreitende Analyse zeigt aber für das Tagesmittel und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d von den vierziger Jahren an eine nicht unerhebliche Zunahme, so dass wenigstens für die letzten fünf Jahrzehnte von einem Anwachsen der Niederschläge im Gebiet N5 gesprochen werden kann.

Im Sommer ist die rückläufige Tendenz der Niederschläge und ihrer Variabilität wie in den anderen Gebieten klar zu erkennen, wenn sich auch die Abnahme der Standardabweichung mit weniger als 10 % in 67 Jahren nicht signifikant nachweisen lässt.

Während der Niedrigwasserperiode nehmen Unteres Quartil und Medianwert ab, wogegen die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d keinen signifikanten Rückgang aufweist.

Im Herbst nehmen das Untere Quartil und der Medianwert über den gesamten Zeitraum hin ab, die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wächst mit nahezu 40 % stetig an, während Monatswert und Tagesmittel im Verlauf der 67 Jahre keine signifikante Veränderung zeigen.

Im Winter schließlich zeigt sich im Gebiet N5 eine signifikante Zunahme von Tagesmittel und Standardabweichung. Selbst das Untere Quartil nimmt um mehr als 40 % in 67 Jahren zu. Dies entspricht in vollem Umfang der verbreiteten Zunahme der Niederschläge in der kühleren Jahreshälfte.

Tabelle 6.27 Gebiet N5: Jagst – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.50	3.93	0.0803	0.750	0.782
	absoluter Trendbetrag	0.062	0.295	−0.033	−0.085	−0.089
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1983	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1948	1961	1965	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.261	1.105	−0.258	−0.962	−1.820
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.98	4.55	0.0839	0.934	1.109
	absoluter Trendbetrag	−0.647	−0.635	−0.126	−0.426	−0.847
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1975	–	1941
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1980	1987	1953	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−1.479	6.878	1.005	−1.615	−0.847
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.49	3.79	0.1093	0.839	0.697
	absoluter Trendbetrag	0.688	1.365	0.068	0.199	0.270
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1931	1938	1980	1978
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.688	1.365	0.158	−3.441	−4.633

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.29 Gebiet N6: Neckar unterhalb Jagst

Am Unterlauf des Neckar (Gebiet N6) lässt sich die Entwicklung bei ganzjähriger Auswertung eindeutig auf eine Vergrößerung der Variabilität bei konstanten Bilanzen beschreiben: die Reihen von Tagesmittel und Median zeigen keine signifikanten Trends, Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen zu, das Untere Quartil geht zurück.

Im Frühjahr kommt es zu einem Anwachsen aller entscheidenden Parameter: Tagesmittel um 15 %, Unteres Quartil um 81 %, Median um 50 % und die Häufigkeit starker Niederschläge um 36 % in 67 Jahren.

Der Sommer ist auch im Gebiet N6 durch einen stetigen Rückgang der meisten Auswertegrößen charakterisiert. Allerdings sind die relativen Trendbeträge weniger stark als in anderen Gebieten, und nur die Trends von Tagesmittel und Unterem Quartil erreichen Signifikanz. Die partiellen Trends sind mit Ausnahme der Standardabweichung signifikant rückläufig und beginnen 1953 bzw. 1960.

In der Niedrigwasserperiode ist zwar der Rückgang des Tagesmittels stärker als im Sommer, auf Grund der großen Schwankungen von Jahr zu Jahr besteht aber keine hinreichende Signifikanz mehr. Unteres Quartil und Median gehen stark zurück, während die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d dagegen nahezu konstant bleibt.

Im Herbst ist zwar keine wesentliche Veränderung des Tagesmittels feststellbar, dafür vergrößert sich aber die Standardabweichung. Die Vergrößerung der Variabilität ist wiederum auch am Rückgang von Unterem Quartil und Median, andererseits an der Zunahme der Häufigkeit starker Niederschläge nachzuvollziehen.

Der Winter bringt, wie andernorts auch, eine Verstärkung der Niederschläge, erkennbar an der Zunahme der Tagesmittel um 20 %, der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d um 55 % in 67 Jahren. Das Wachstum der Standardabweichung ist zwar nicht signifikant, ergänzt aber mit einem Betrag von 21 % auch das Bild der zunehmenden Variabilität.

Tabelle 6.28 Gebiet N6: Neckar unterhalb Jagst – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.75	4.43	0.0815	0.751	1.046
	absoluter Trendbetrag	0.274	0.662	–0.010	0.013	0.388
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 90 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1977	–	–	1978
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1948	1965	1980	1946
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–3.760	1.639	–0.230	–2.422	0.702
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.04	4.85	0.0633	0.804	1.224
	absoluter Trendbetrag	–0.582	–0.449	–0.074	–0.274	–0.373
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	1952	1941
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1953	–	1953	1953	1960
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–1.170	–	–0.156	–0.970	–1.342
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.84	4.40	0.1312	0.948	1.025
	absoluter Trendbetrag	0.856	1.411	0.062	0.260	0.847
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 90 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1975	–	1988	1978
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1959	1948	1979	1932
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.107	3.739	0.218	–4.736	0.942

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.30 Gebiet R1: Hochrhein / Bodensee

Das Gebiet R1 zeigt bei ganzjähriger Auswertung kaum nennenswerte Veränderungen. Nur der rückläufige Trend des Unteren Quartils ist als signifikante Tendenz im Gesamtzeitraum ausgewiesen. Das seit Mitte der vierziger Jahre signifikant zunehmende Tagesmittel hat einen Zuwachs von 1 mm in 100 Jahren. Sollte sich diese Tendenz über den Untersuchungszeitraum hinaus fortsetzen, könnte sie durchaus von Belang sein. Derartige Folgerungen sind aber ohne hinreichend gesicherte Szenariorechnungen nicht zu rechtfertigen. Ebenso wie das Tagesmittel nehmen auch Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d seit den vierziger Jahren signifikant zu; der Rückgang des Unteren Quartils verstärkt sich seit Mitte der sechziger Jahre.

Im Frühjahr nehmen Unteres Quartil und Median zu, während für das Tagesmittel erst mit Beginn im Jahre 1943 ein signifikanter Trend vorliegt, der einem Zuwachs von 1 mm in 67 Jahren entspricht.

Der Sommer zeigt signifikante Trends nur beim Unteren Quartil und beim Median. Der

schwache Rückgang des Tagesmittels und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d sind nicht signifikant. Die Ergebnisse der rückschreitenden Analyse führen zu relativ kurzen Tendenzen und lassen daher keine schlüssige Aussage zu. Ein ähnliches Resultat zeigt die Analyse der Trends in der Niedrigwasserperiode.

Der Herbst ist im Bodenseegebiet keinen weitgehenden Veränderungen unterworfen. Ein signifikanter Rückgang ist nur für das Untere Quartil nachzuweisen. Im Verein mit der nicht signifikanten Zunahme der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d deutet dies auf eine geringe Erhöhung der Variabilität hin.

Der Winter erweist sich als ebenso ereignisarm. Die Zunahme der meisten Größen um 10 % in 67 Jahren ist zwar nicht unerheblich, aber auf Grund der starken Variation der Zeitreihen meist nicht signifikant. Wesentliche Änderungen zeigen sich nur bei der rückschreitenden Analyse in der zweiten Hälfte bzw. im letzten Drittel des Untersuchungszeitraums und sprechen für eine Zunahme sowohl der Niederschläge selbst als auch deren Variabilität.

Tabelle 6.29 Gebiet R1: Hochrhein / Bodensee — Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.31	5.23	0.0890	0.963	1.561
	absoluter Trendbetrag	0.126	0.505	−0.045	−0.079	−0.016
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1972	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1946	1941	1965	1978	1940
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.978	1.657	−0.233	−2.048	0.707
Sommer	Langjähriger Mittelwert	4.56	6.80	0.1326	1.507	2.612
	absoluter Trendbetrag	−0.264	0.335	−0.138	−0.675	−0.183
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1946	–	–	1960	1943
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1980	1979	1980	1983	1979
	Rückschr. opt. Trendbetrag	5.916	9.620	0.662	5.795	5.034
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.66	4.16	0.0842	0.788	0.871
	absoluter Trendbetrag	0.424	0.660	0.022	0.090	0.044
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1963	1965	1981	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.538	3.363	−0.586	−5.844	2.635

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.31 Gebiet R2: Rhein bis Wiese

Der Hochrhein unterhalb des Bodensees (Gebiet R2) zeigt bei ganzjähriger Auswertung signifikante Tendenzen nur beim Unteren Quartil (fallend) und bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d (zunehmend). Der daraus resultierende Zuwachs an Varianz zeigt sich bei der Standardabweichung signifikant nur in einem partiellen Trend mit Beginn 1945. Geringfügig früher setzt auch ein partieller zunehmender Trend des Tagesmittels ein.

Das Frühjahr ist gekennzeichnet durch eine signifikante Zunahme sowohl des Tagesmittels als auch des Unteren Quartils, des Medians und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d. Der relative Zuwachs liegt je nach Größe zwischen 17 % und 47 % in 67 Jahren.

Im Sommer dagegen nehmen eben dieselben Größen kontinuierlich um Beträge zwischen 12 % und 62 % ab. Bemerkenswert ist, dass sich der Rückgang des Tagesmittels in dem 1954 einsetzenden partiellen Trend ge-

genüber dem Gesamttrend fast verdreifacht. Auch dies ist ein Beleg für den Beginn einer Klimaänderung in den fünfziger Jahren.

Während der Niedrigwasserperiode kommt es lediglich zu einem signifikanten Rückgang des Unteren Quartils und des Medians. Alle anderen Auswertegrößen zeigen keine Veränderungen.

Ähnlich verhalten sich Unteres Quartil und Median im Herbst: Der langfristig rückläufige Trend ist kurzfristig von einem zunehmenden abgelöst worden. Gleichzeitig ist aber auch hier wieder seit Beginn der fünfziger Jahre eine signifikante Zunahme des Tagesmittels (1 mm in 43 Jahren) zu verzeichnen.

Der Winter schließlich ist geprägt von einer Zunahme sowohl der Niederschläge selbst als auch von deren Variabilität: Der Mittelwert wächst um 26 %, die Standardabweichung um 25 % und die Häufigkeit starker Niederschläge um 53 % – jeweils in 67 Jahren.

Tabelle 6.30 Gebiet R2: Rhein bis Wiese – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.59	5.57	0.1122	1.110	1.827
	absoluter Trendbetrag	0.414	0.814	–0.031	–0.017	0.508
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1945	1965	1976	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.862	1.663	–0.347	–2.125	0.662
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.93	5.86	0.1281	1.324	1.945
	absoluter Trendbetrag	–0.709	–0.575	–0.119	–0.788	–0.765
	Trendsignifikanz	= 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 90 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	1960	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1982	1953	1983	1986
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–2.021	8.996	–0.329	6.134	–20.690
Winter	Langjähriger Mittelwert	3.89	5.96	0.1311	1.239	2.284
	absoluter Trendbetrag	1.493	2.216	0.059	0.563	1.811
	Trendsignifikanz	< 80 %	≥ 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	1976	1976	–	1934	1976
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1931	1963	1986	–	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	1.653	6.748	0.921	–	1.961

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.32 Gebiet R3: Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig

Das Gebiet R3 zeigt bei ganzjähriger Auswertung wenig Veränderung. Der Rückgang des Unteren Quartils stellt den einzigen durchgängigen Trend dar. Rückschreitend optimierte Trends beginnen in den vierziger Jahren, sprechen aber nur für eine verhältnismäßig geringe Zunahme des Tagesmittels und der Standardabweichung.

Das Frühjahr ist von einer signifikanten Zunahme der Niederschläge gekennzeichnet: Tagesmittel, Median, Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d wachsen um Beträge zwischen 23 % und 78 %.

Im Sommer findet sich am Oberrhein ebenfalls eine Umkehrung der Tendenzen, auch wenn nur zwei der Reihen – Unteres Quartil und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d – signifikante rückläufige Trends über den Gesamtzeitraum aufweisen. Die Niederschläge gehen schwach, aber kontinuierlich zurück, was sich vor allem in der zunehmenden Häu-

figkeit geringer und der abnehmenden Häufigkeit stärkerer Gebietsniederschläge ausdrückt.

Während der Niedrigwasserperiode treten ähnliche Tendenzen auf.

Der Herbst bringt bei konstantem bzw. seit den fünfziger Jahren schwach zunehmendem Tagesmittel einen Rückgang von Unterem Quartil und Median, aber einen Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, was eine Zunahme der Variabilität zur Folge hat – auch die Standardabweichung wächst seit 1945 signifikant an.

Im Winter beginnt die (sich im Frühjahr fortsetzende) positive Tendenz der Niederschläge. Das Tagesmittel wächst im Gesamtzeitraum von 67 Jahren um 14 %, während das Untere Quartil zurückgeht. Alle anderen Größen lassen nur partielle Trends während der letzten drei bzw. vier Jahrzehnte erkennen; entscheidend sind die Zunahme von Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d seit 1959.

Tabelle 6.31 Gebiet R3: Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.08	4.72	0.0975	0.978	1.190
	absoluter Trendbetrag	0.265	0.370	−0.026	0.032	0.168
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1941	1945	1981	1965	1981
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.707	1.064	−0.918	−1.078	−2.486
Sommer	Langjähriger Mittelwert	3.76	5.76	0.0912	1.162	1.771
	absoluter Trendbetrag	−0.628	−0.661	−0.127	−0.400	−0.758
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	1936	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1968	1953	1954	1986
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−2.151	−5.595	−0.240	−1.574	−16.970
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.73	4.03	0.1160	0.986	0.741
	absoluter Trendbetrag	0.572	0.649	−0.031	0.296	0.261
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1976	1959	1965	1977	1959
	Rückschr. opt. Trendbetrag	−4.027	3.007	−0.513	−2.755	1.213

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.33 Gebiet R4: Rhein von Kinzig bis Murg

Bei ganzjähriger Auswertung lassen sich im Gebiet R5 keinerlei Veränderungen über den gesamten Untersuchungszeitraum nachweisen. Erst in der zweiten Hälfte der 67-jährigen Periode kommt es nach den Ergebnissen der rückschreitenden Analyse zu Tendenzen, die zu einer Vergrößerung der Variabilität führen. Standardabweichung und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d nehmen seit 1945 bzw. seit 1970 zu, Unteres Quartil und Median gehen seit 1965 zurück.

Im Frühjahr ist eine deutliche Verstärkung der Niederschläge erkennbar. Das ist belegt durch die signifikant zunehmenden Trends des Tagesmittelwerts, des Unteren Quartils und des Medianwerts. Der Zuwachs der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, der nach der rückschreitenden Analyse im Jahre 1941 einsetzt, ergänzt das Bild.

Im Sommer kommt es zu einer Abnahme der Niederschläge und deren Variabilität, belegt durch die signifikanten rückläufigen Trends von Tagesmittel und Unterem Quartil. Die rück-

schreitend optimierten Trends von Standardabweichung, Median und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, die verhältnismäßig früh einsetzen, bestätigen diesen Befund.

In der Niedrigwasserperiode ist die Abnahme der Tagesmittelwerte zwar ebenso stark, aber auf Grund der größeren Varianz der Zeitreihe nicht mehr signifikant. Statt dessen fallen die starken negativen Tendenzen von Unterem Quartil und Medianwert ins Auge.

Im Herbst nehmen Unteres Quartil und Medianwert zwar noch ab, aber alle anderen Größen zeigen eine schwach zunehmende, allerdings nicht hinreichend signifikante Tendenz, d.h. es kommt im Herbst zu einer leichten Zunahme der Niederschläge bei gleichzeitiger Erhöhung der Variabilität.

Der Winter ist gekennzeichnet durch eine allgemeine Zunahme der meisten Größen, es erweist sich jedoch nur der Trend des Unteren Quartils mit einem Zuwachs von 23 % in 67 Jahren als signifikant. Das gilt auch für die rückschreitend optimierten Trends.

Tabelle 6.32 Gebiet R4: Rhein von Kinzig bis Murg – Übersicht über die Auswerteergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	3.96	5.95	0.1469	1.322	2.073
	absoluter Trendbetrag	0.401	0.632	0.007	0.041	0.317
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1977	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	1945	1965	1965	1970
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	1.752	–0.408	–1.177	2.156
Sommer	Langjähriger Mittelwert	4.38	6.45	0.1449	1.586	2.363
	absoluter Trendbetrag	–0.936	–1.157	–0.082	–0.597	–0.831
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 95 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1954	1938	1953	1953	1938
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–1.997	–1.693	–0.246	–1.728	–1.347
Winter	Langjähriger Mittelwert	4.04	5.94	0.1975	1.477	2.169
	absoluter Trendbetrag	0.967	1.315	0.068	0.487	0.607
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 80 %	< 80 %	< 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	1988	–
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	–	–	1965	–	–
	Rückschr. opt. Trendbetrag	–	–	–0.751	–	–

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



6.2.34 Gebiet R5: Rhein unterhalb Murg bis oberhalb Neckar

Bei ganzjähriger Auswertung ist im nördlichsten Abschnitt des Oberrheins (Gebiet R5) eine schwache Zunahme der Niederschläge und ihrer Variabilität zu verzeichnen, wobei nur das Untere Quartil und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d signifikante Ergebnisse aufweisen. Tagesmittel und Standardabweichung zeigen signifikante rückschreitend optimierte Trends mit Beginn 1948.

Im Frühjahr ist eine große Zunahme des Unteren Quartils, des Medians und der Häufigkeit starker Niederschläge zu beobachten. Die Tagesmittel nehmen um mehr als 12 % zu, der Trend ist aber erst ab 1943 signifikant.

Im Sommer gehen wie überall die Niederschläge und die Variabilität zurück. Signifikante Trends haben das Tagesmittel mit 13 % in 67 Jahren, sowie Unteres Quartil, Median und die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d.

Die Niedrigwasserperiode bietet ein ähnliches Bild, allerdings hat sich der Rückgang des Tagesmittels verstärkt, während die Häufigkeit starker Niederschläge nicht mehr signifikant zunimmt.

Der Herbst ist gekennzeichnet durch einen Zuwachs an Variabilität. Das belegen nicht nur der positive Trend der Standardabweichung, sondern auch die gegenläufigen Tendenzen von Unterem Quartil und Median auf der einen und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d auf der anderen Seite.

Im Winter schließlich sind bei fast allen Größen starke Tendenzen nach oben nachweisbar – sowohl bei Tagesmittel und Standardabweichung mit 16 % bzw. 20 % in 67 Jahren, als auch beim Unteren Quartil und bei der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d mit Zuwächsen von 40 % bzw. 70 % in dem 67-jährigen Untersuchungszeitraum. Niederschlagshöhe und Variabilität nehmen also eindeutig zu.

Tabelle 6.33 Gebiet R5: Rhein unterhalb Murg bis oberhalb Neckar – Übersicht über die Auswertergebnisse

		Auswertegröße				
		Tagesmittel ¹	Standardabweichung ¹	Unteres Quartil ¹	Median ¹	Tage ≥ 15 mm/d ²
Jahr	Langjähriger Mittelwert	2.49	4.05	0.0710	0.691	0.838
	absoluter Trendbetrag	0.187	0.512	0.009	0.027	0.228
	Trendsignifikanz	< 80 %	< 80 %	≥ 90 %	< 80 %	≥ 80 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1976	–	–	1972
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1948	1948	1981	1965	1941
	Rückschr. opt. Trendbetrag	0.692	1.550	–0.706	–0.710	0.671
Sommer	Langjähriger Mittelwert	2.95	4.76	0.0588	0.777	1.234
	absoluter Trendbetrag	–0.596	–0.563	–0.045	–0.293	–0.962
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	< 80 %	≥ 99 %	≥ 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	–	–	–	1980
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1987	1982	1954	1953	1971
	Rückschr. opt. Trendbetrag	8.243	11.326	–0.199	–1.171	–4.126
Winter	Langjähriger Mittelwert	2.28	3.62	0.0938	0.769	0.602
	absoluter Trendbetrag	0.567	1.070	0.058	0.235	0.646
	Trendsignifikanz	≥ 80 %	≥ 80 %	≥ 99 %	< 80 %	≥ 95 %
	Bruchpunkt (Jahr)	–	1974	–	–	1977
	Rückschr. opt. Trend ab (Jahr)	1970	1959	1965	1939	1931
	Rückschr. opt. Trendbetrag	2.726	4.080	–0.455	0.407	0.646

1 Trendbeträge in mm/100Jahre

2 Trendbeträge in Tagen/100 Jahre



7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion der möglichen Ursachen für die gefundenen Veränderungen

Fasst man die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Untersuchungsergebnisse zusammen, so ergibt sich das Bild einer langsamen, vor allem während der sechziger und siebziger Jahre hervortretenden Veränderung des Niederschlagsregimes, die zum einen in einer innerjährlichen Umverteilung der Niederschläge und zum anderen in einer Umformung der Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Gebietsniederschlags besteht.

In starker Verkürzung lässt sich sagen, dass die Niederschläge sich ohne jahreszeitliche Differenzierung langfristig nur wenig verändern, dass es aber im Sommer weniger häufig regnet und dass weniger extreme Niederschläge auftreten, wogegen im Winter sowohl die Menge als auch die Variabilität der Niederschläge und damit die Häufigkeit extremer Werte zunehmen. Dabei setzen einzelne Veränderungen bereits vor oder um 1960 ein, andere vollziehen sich erst gegen Ende der siebziger oder Anfang der achtziger Jahre.

Zur Erhellung der Ursachen bieten sich natürlicherweise die Formen der atmosphärischen Zirkulation an. Basierend auf dem Katalog der Großwetterlagen in Mitteleuropa, herausgegeben von GERSTENGARBE, WERNER und RÜGE [9], sind in Abb. 7.1 zehnjährig übergreifende mittlere Häufigkeiten der drei Zirkulationsformen dargestellt. Es kann wohl kaum als Zufall gelten, dass gerade in der Zeit, in der in den meisten der untersuchten Gebietswertreihen eine

Veränderung zu verzeichnen ist, ein sichtbar zunehmender Trend der Häufigkeit zonalen und gemischter Zirkulationsformen beginnt, während die Häufigkeit meridionaler Zirkulationsformen zurückgeht.

Bei der **ganzjährigen Darstellung** fällt vor allem der nahezu spiegelbildlich angeordnete Tendenzwechsel in der Häufigkeit von gemischten und meridionalen Zirkulationsformen in den siebziger Jahren ins Auge, der mit den in Tabelle 4.1 auf Seite 32 zusammengestellten signifikanten Veränderungen – vor allem in den Jahren 1973 und 1976/77 – bei Standardabweichungen und Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d der täglichen Gebietsniederschläge korrespondiert. Daneben sei auf den langsamen Anstieg der zonalen Zirkulationsformen verwiesen, der im Jahre 1960 beginnt – entsprechend weiteren Maxima der in der Abb. 4.1 und den folgenden Diagrammen dargestellten Bruchpunkthäufigkeit.

Anders als in der Bruchpunktstatistik finden sich im Zeitpunkt des Beginns rückschreitend optimierter Trends keine derart eindeutigen Häufigkeitsgipfel (vgl. Abb. 5.1 ff). Bemerkenswert erscheint aber die zunehmende Häufigkeit kurzzeitiger Trends nach 1975. Wird hier die Tendenz in der Häufigkeit der Zirkulationsformen aus Abb. 7.1 gleichsam in den Reihen des Gebietsniederschlags nachvollzogen?

Ein Blick in Tabelle 5.13 auf Seite 51 zeigt, dass in acht Gebieten am unteren Main und

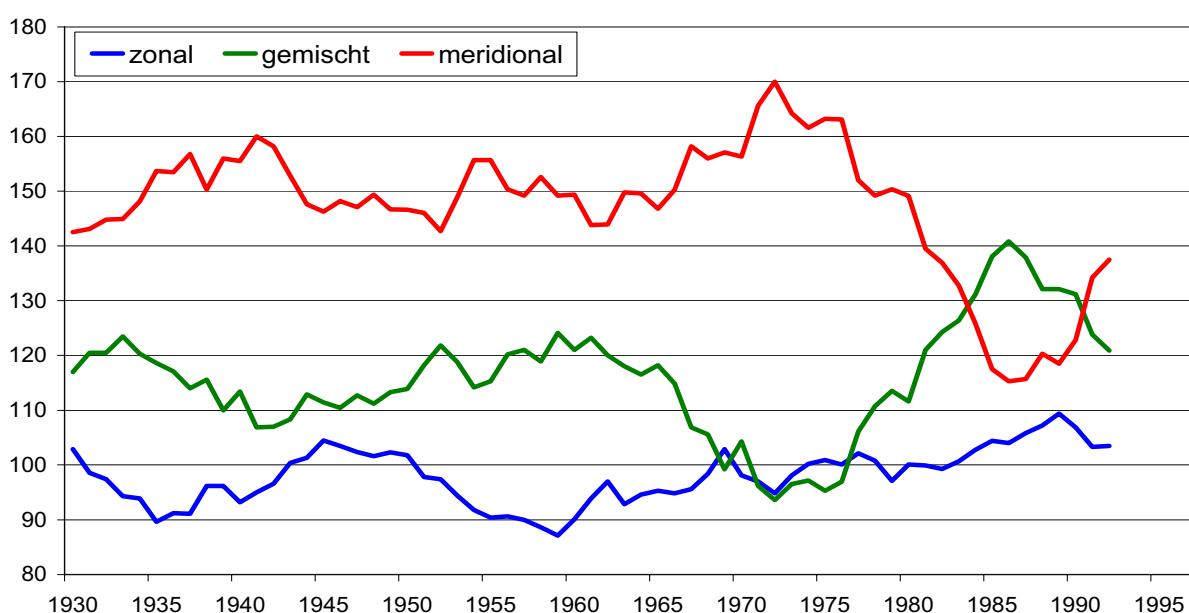


Abb. 7.1: Jährliche Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa; zehnjährig übergreifende Mittelwerte 1931 – 1997

Neckar rückschreitend optimierte Trends des Tagesmittels mit Beginn zwischen 1970 und 1981 auftreten; die unterschiedliche Richtung der Tendenzen könnte sich durch die unterschiedliche orographische Exposition der Gebiete bei eben jenen gemischten bzw. meridionalen Zirkulationsformen erklären lassen.

In allen übrigen Gebieten setzen die rückschreitend optimierten Trends des Tagesmittelwertes überwiegend während der vierziger Jahre ein; dies gilt in noch viel höherem Maße — mit nur zwei Ausnahmen — für die rückschreitenden Trends der Standardabweichung.

Derartige Tendenzen lassen sich angesichts der wegen der großen Variabilität der Niederschlagsreihen nicht unbeträchtlichen statistischen Unsicherheit mit der Zunahme der Häufigkeit zonaler Zirkulationsformen seit den fünfziger Jahren begründen. Diese Erklärung ließe sich — unter Ausnahme einiger weniger Gebiete — auch auf die zunehmende Häufigkeit der Überschreitung von 15 mm/d Niederschlagshöhe übertragen.

Andererseits ist der nahezu ausnahmslose Rückgang des Unteren Quartils — indirekt also die Zunahme der Häufigkeit „trockener“ Tage — und des Medians seit den sechziger Jahren wohl nicht als Resultat der wachsenden Häufigkeit von Westwetterlagen zu deuten.

Natürlich besteht die Möglichkeit, dass die widersprüchlichen Tendenzen aus der ganzjährigen Analyse durch Überlagerung jahreszeitlicher Erscheinungen verursacht werden. Es bleibt mithin zu fragen, ob ähnliche Befunde auch bei der jahreszeitlichen Betrachtung klar

hervortreten.

Im **Sommer** bieten die Analyseergebnisse kein einheitliches Bild, was den genauen Zeitpunkt der Veränderung betrifft. Im Sommer treten Brüche (abgesehen von 15 Inhomogenitäten in dem wiederholt erwähnten „verdächtigen“ Zeitraum vor 1948) in den Jahren zwischen 1952 und 1992 auf; allerdings liegt der Schwerpunkt mit 12 Bruchpunkten im Jahre 1971 (vgl. Abb. 4.3).

Bei Analyse der Trends ergeben sich beim Tagesmittelwert, der die Bilanz der Niederschläge charakterisiert, überwiegend negative Tendenzen, wenn auch nur in wenigen Fällen signifikant. Beim Unteren Quartil und beim Median sind die Beträge erheblich. Andererseits ist im gleichen Auswertez Zeitraum in manchen Gebieten eine Vergrößerung der Varianz feststellbar, wie an der Zunahme der Standardabweichung und der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d erkennbar wird. Hierbei gibt es allerdings auch regionale Unterschiede. So verhalten sich Teile des Maingebietes (mit einer Verringerung der Varianz) anders als z.B. das Alpenvorland. Es wäre auch hier zu prüfen, inwiefern dabei regionale Effekte wie Luv und Lee von Mittelgebirgen bzw. der orographische Einfluß der Alpen eine Rolle im Detail spielen.

Die Statistik der Zirkulationsformen im Sommer (Abb. 7.2) zeigt adäquate Besonderheiten. Zum einen geht die Häufigkeit der zonalen Zirkulationsformen in den Jahren von etwa 1950 bis 1980 kontinuierlich zurück, zum anderen verringert sich zwischen 1960 und 1970 die Häufigkeit der gemischten Zirkulationsformen,

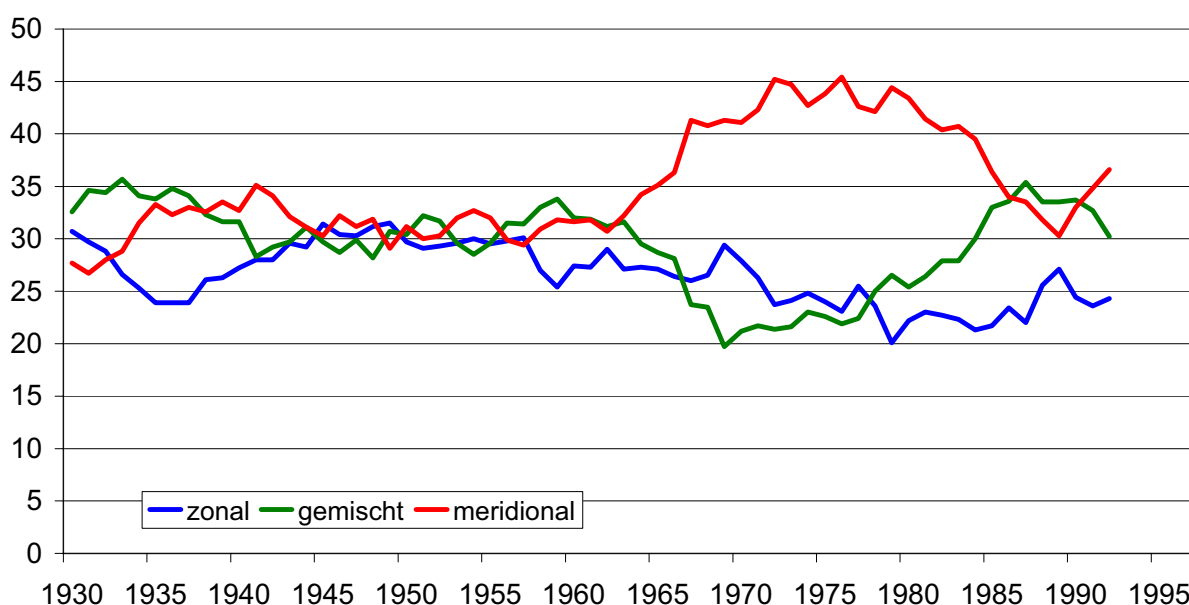


Abb. 7.2: Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa 1931 - 1997 (zehnjährig übergreifende Mittelwerte) im Sommer



um anschließend langsam wieder zuzunehmen.

Offenbar sind die Veränderungen im Niederschlagsregime durch mehr als nur einen Faktor bestimmt. Die kumulativen Wirkungen von Zirkulationsänderungen wachsen langsam und allmählich, bis das in der Häufigkeitsverteilung der Gebietsniederschläge angewachsene Signal gleichsam aus dem Rauschen der statistischen Unsicherheit heraustritt. Dies kann — entsprechend dem zufälligen Charakter der ursächlichen Prozesse — durchaus mit Verzögerung eintreten.

Ungeachtet dessen zeigt sich bei Betrachtung von Abb. 5.3, dass der rückschreitend optimierte Trend bei 52 der 165 ausgewerteten Reihen in den Jahren 1953 und 1954 einsetzt. Da es sich bei diesen Reihen überwiegend um die negativen Tendenzen des Unteren Quartils und des Medians handelt, erscheint der Zusammenhang mit dem Rückgang der Zonalzirkulation um so wahrscheinlicher. Allerdings lassen sich für die anderen Auswertegrößen derart einheitliche Folgerungen nicht oder nur sehr bedingt ableiten (vgl. Tabelle 5.15).

Der **Winter** wird klar dominiert von einer stetig zunehmenden Häufigkeit zonaler Zirkulation, die Mitte der vierziger bis Mitte der sechziger Jahre zwar stagniert, sich danach aber um so mehr erhöht (Abb. 7.3). Gleichzeitig zeigen sich seit etwa 1965 eine Zunahme der Häufigkeit gemischter und ein Rückgang der Häufigkeit meridionaler Zirkulation.

Und gerade im Winter zeigt sich die Übereinstimmung zwischen dem Wechsel in der Häufigkeit der Wetterlagen und den Verände-

rungen im Niederschlagsregime am deutlichsten.

Anhand von Abb. 5.4 lässt sich feststellen, dass etwa ein Viertel der rückschreitend optimierten Trends im Winter vor 1940 beginnen, faktisch also mit dem Gesamttrend übereinstimmen.

Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass die überwiegende Mehrheit der für den Winter in den Reihen identifizierten Inhomogenitäten während der siebziger Jahre auftreten (vgl. Tabelle 4.3). Es ist dies gerade die Zeit, in der die Meridionalzirkulation ihren Rückgang hat und ihre Häufigkeit hinter die der Zonalzirkulation zurückfällt.

Charakteristisch ist weiterhin, dass ein Teil der rückschreitend optimierten Trends auch relativ spät einsetzt. Dies fällt vor allem beim Unteren Quartil auf, dessen räumlich unterschiedliche Tendenzen bereits im vorangehenden Kapitel beschrieben worden sind.

Ganz unbestritten aber ist natürlich die Zunahme sowohl des Tagesmittels als auch der Standardabweichung in allen Untersuchungsgebieten, auch wenn der Nachweis nicht überall mit der gewünschten Signifikanz erfolgt. Nicht von der Hand zu weisen ist auch die Folgerung, dieser Zuwachs sei eine Folge der veränderten Wetterlagenhäufigkeit.

Mitunter wird die Veränderung einzig auf die Zunahme des Auftretens der zyklonalen Westwetterlage zurückgeführt, wie etwa in [5]. Der in dieser Arbeit postulierte Anstieg der langjährigen Mittelwerte während der Wintermonate „um etwa 30 Prozent“ (S.289) lässt sich an-

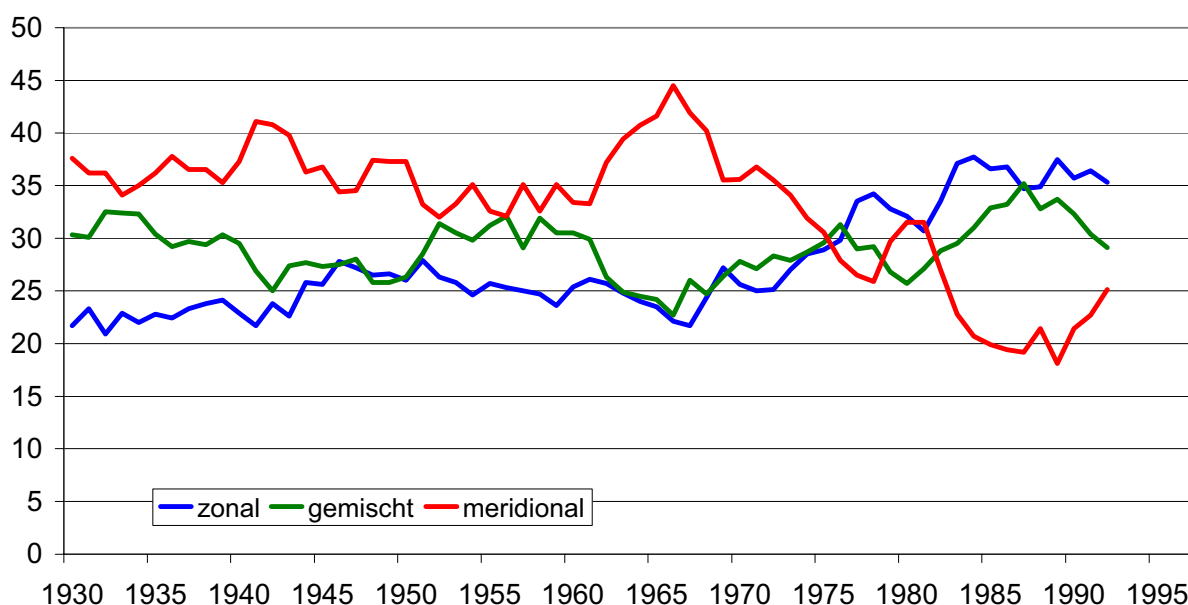


Abb. 7.3: Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa 1931 - 1997 (zehnjährig übergreifende Mittelwerte) im Winter

hand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zwar in Einzelfällen nachvollziehen, wenn auf eine Periode von 100 Jahren extrapoliert wird (vgl. Abb. 6.11), kaum jedoch, wenn man den Zuwachs auf den durch Daten belegten 67-jährigen Untersuchungszeitraum beschränkt. Nur in wenigen Gebieten ist für den Tagesmittelwert eine Zunahme von 25 % oder mehr nachweisbar. 30 % werden weder in Baden-Württemberg noch in Bayern erreicht; nur in zwei Gebieten (N1 und E1) wird die Schwelle von 27 % überschritten.

Das schließt natürlich nicht aus, dass einzelne lokale Messreihen tatsächlich sehr starke Tendenzen aufweisen. Außerdem ist auch ein Zuwachs von „nur“ 20 % oder 25 % nicht nur signifikant, sondern auch in hohem Maße hydrologisch relevant. Allein die Erklärung durch das vermehrte Auftreten der zyklonalen Westlage erscheint anhand der Kurvenverläufe in Abb. 7.3 einseitig und unangemessen, denn auch die Gruppe der gemischten Zirkulationsformen mit den durchaus ebenso niederschlagsträchtigen Nordwest- oder Troglagen nimmt im fraglichen Zeitraum um einen durchaus vergleichbaren Betrag zu.

Wie bereits angedeutet, wachsen die kumulativen Wirkungen von Zirkulationsänderungen

langsam und allmählich, bis die in der Folge verursachten Änderungen in der Häufigkeitsverteilung der Gebietsniederschläge als signifikantes Signal gleichsam aus dem Rauschen der statistischen Unsicherheit heraustreten. Dies kann auch mit Verzögerung eintreten, namentlich dann, wenn es sich um eine stark von zufälligen Fluktuationen beeinflusste Größe wie den Niederschlag handelt. Auf diese Weise lassen sich die unterschiedlichen Zeitpunkte für das Einsetzen der in den vorangehenden Kapiteln identifizierten Inhomogenitäten und partiellen Trends in den insgesamt sehr hoch varianten Reihen der verschiedenen Auswertegrößen erklären.

Generell ist anzumerken, dass der verwendete beschreibende mathematisch-statistische Apparat nur die Grundlage für die weitere Untersuchung der Veränderungen in den Niederschlagsverhältnissen liefern kann. Grundlegendes Verständnis könnte durch eine Verknüpfung der hier präsentierten Befunde mit anderen Analysen im Rahmen weiterführender Szenariorechnungen erreicht werden. Dazu bilden die für die vorliegende Untersuchung gewählten Auswertegrößen eine angemessene Basis.



Anhang

8 Die Berechnung der Gitterpunktwerte aus Niederschlagsbeobachtungen

8.1 Allgemeines

Ergänzend zu der stark verkürzten Darstellung der methodischen Grundlagen und Probleme bei der Berechnung der Gitterpunktwerte in Abschnitt 2.1 auf S. 8 soll an dieser Stelle eine detaillierte, wenn auch nicht umfassende Beschreibung folgen.

Wie bereits erklärt, besteht das Grundprinzip des zur Berechnung der Gitterpunktwerte verwendeten Verfahrens BONIE darin, Messwerte von irregulär im Gebiet verteilten Messstellen auf ein Netz von regelmäßig angeordneten Gitterpunkten zu interpolieren. Die Maschenweite dieses Gitternetzes wurde mit 4' in Nord-Süd-Richtung und 6' in Ost-West-Richtung festgelegt, was einem Raster von etwa 7x7 km entspricht.

In Meteorologie, Geophysik und Geographie haben sich dazu in der Vergangenheit verschiedene Verfahren etabliert, die unter verschiedenen Begriffen firmieren, im Grunde genommen jedoch auf ein und dasselbe Prinzip zurückgehen. Als Initiatoren gelten L. S. GANDIN für die „Optimale Interpolation“ und D. G. KRIGE für das „Kriging“. Beide Bezeichnungen erweisen sich bei näherer Betrachtung als wenig hilfreich, da die subsummierten Interpolationsmethoden zum einen nur im statistischen Sinne einer Minimierung des durchschnittlichen Interpolationsfehlers „optimal“ sind, zum anderen der analoge Ansatz von KRIGE im Laufe der Jahrzehnte beträchtlich erweitert wurde, so dass heute die einzelnen Methoden durch diverse Attribute wie „ordinary“, „universal“ oder „external Drift“ vom ursprünglichen, der GANDINschen Methode adäquaten simple Kriging unterschieden werden müssen. Einen relativ guten Überblick über das mathematische Instrumentarium bietet das Buch von H. WACKER-NAGEL [16]. Im Folgenden soll daher der neutrale Begriff „statistische Interpolation“ verwendet werden.

Anstelle einer Ausdehnung in Analogie zu den genannten fortgeschrittenen Methoden verwendet BONIE den ursprünglichen Ansatz in Verbindung mit den Ergebnissen einer statistischen Analyse des vorhandenen Datenmaterials in Gestalt von so genannten Hintergrundfeldern, räumlichen Verteilungsmustern des Niederschlags mit unterschiedlichen statistischen Eigenschaften, die – ohne nähere Definition – externen Einflüssen in Form unter-

schiedlicher atmosphärischer Bedingungen entsprechen, wie sie häufig mit unscharfen Begriffen wie „Wetterlage“ und „Geländeeinfluß“ verknüpft werden. Die Entscheidung des Verfahrens, für das vorliegende Beobachtungsintervall, z.B. einen Tageswert, ein bestimmtes Verteilungsmuster (Hintergrundfeld) zugrunde zu legen, führt dann in der Regel zur Wahl eines speziell angepassten Parametersatzes bei der Interpolation.

Die eigentliche Gebietswertberechnung erfolgt dann durch arithmetische Mittelung der Gitterpunktwerte. Bei hinreichend geringem Gitterpunkt Abstand entspricht das arithmetische Mittel der Gitterpunktwerte dem räumlichen Integral der Messungen – dem tatsächlichen Gebietswert. Bei Berechnung mehrerer aufeinanderfolgender Gebietswerte ist es nicht von erheblichem Belang, ob an jeder der verfügbaren Messstellen auch ein verwertbarer Wert vorliegt, solange nur die Anzahl der vorhandenen Messungen insgesamt groß genug ist. Mehr noch – im Gegensatz zu konventionellen Langzeituntersuchungen, die sich auf lange, ununterbrochene und möglichst homogene Stationsreihen beziehen, kann auf diese Weise die große Zahl der aus sehr unterschiedlichen Gründen relativ kurzen Messreihen einbezogen werden und damit die Genauigkeit der Gebietswertschätzung erhöhen.

Das Modell von BONIE basiert auf der Grundvorstellung einer meteorologischen Feldgröße f . Mit dem Index i bezeichnen wir vorläufig den Ort $i = 1, \dots, N$; der Index t soll statt dessen den konkreten Zeitpunkt bezeichnen bzw., wenn wir es – wie beim Niederschlag – mit einer zeitlich integrierten Messung zu tun haben, das entsprechende Messintervall $t = 1, \dots, M$. Wir verstehen mithin unter f_{it} den numerischen Wert der Feldgröße f am Orte i zur Zeit t . Der beobachtete Wert der Feldgröße f_{it}^o lässt sich als eine Linearkombination aus zwei Bestandteilen darstellen, nämlich aus dem sogenannten Hintergrundfeld f_{it}^b und der Abweichung Δf_{it} , die sich wiederum aus der Anomalie des aktuellen Wertes vom Hintergrundfeld Δf_{it}^a und dem Beobachtungsfehler Δf_{it}^o zusammensetzt:

$$\begin{aligned} f_{it} &= f_{it}^b + \Delta f_{it} \\ \Delta f_{it} &= \Delta f_{it}^a + \Delta f_{it}^o \end{aligned} \quad (8.1)$$

Dabei ist das Hintergrundfeld (die englischsprachige Literatur benutzt auch gern das Wort "preliminary field" oder "first guess") als der systematische, durch den externen Einfluss geprägte Anteil der aktuellen Feldverteilung anzusehen, der sich in erster Näherung als Erwartungswert einer Menge von Ereignissen $t \in A_k$ (im Folgenden Hintergrundfeldklasse A_k genannt) darstellt, die dem entsprechenden Verteilungsmuster entsprechen. Es lässt sich durch die für jede Hintergrundfeldklasse speziell definierten Parameter einer Funktion des Ortes i bzw. der Koordinaten des Messpunktes auf der Erdoberfläche beschreiben:

$$f_{it|t \in A_k}^b = f(\lambda_i, \phi_i, h_i | t \in A_k) \quad (8.2)$$

wobei λ und ϕ die geographischen Koordinaten und h die Geländehöhe repräsentieren. Auf diese Weise lassen sich z.B. die durch Luv- und Lee-Effekte hervorgerufenen Unterschiede in der Niederschlagsverteilung wenigstens in erster Näherung beschreiben. Jede Klasse A_k wird dann durch einen anderen Parametersatz zur Definition der Funktion Abb. 8.2 repräsentiert. Als Typ der Funktion kommt prinzipiell jede beliebige mathematische Beschreibung in Frage; in der Regel werden möglichst einfache Beziehungen (z.B. Polynome 2. Grades) verwendet.

Der Ablauf von BONIE lässt sich bei Verwendung eines regelmäßigen Gitterpunktnetzes mithin – nach Korrektur der Eingangsdaten in Bezug auf systematische Anteile am Beobachtungsfehler Δf_{it}^o – in zwei Schritte gliedern:

- Erkennen der Hintergrundfeldverteilung für das spezielle Messintervall einschließlich Bereitstellung der durch Abb. 8.2 definierten Werte für Mess- und Gitterpunkte und
- Interpolation der Anomalien Δf_{it}^a an den Gitterpunkten und Berechnung der aktuellen Gitterpunktwerte.

Den methodischen Grundlagen dazu sind die beiden folgenden Abschnitte gewidmet.

8.2 Bestimmung der Hintergrundfeldverteilungen

Das Problem der Hintergrundfeldverteilungen lässt sich seinerseits in zwei Teilprobleme gliedern:

- Bestimmen und Optimieren der Klassen A_k anhand historischen Datenmaterials und
- Ermitteln der aktuellen Hintergrundfeldklasse ohne Hilfe externer Kriterien, d.h. nur anhand der vorliegenden Niederschlagsmesswerte.

Das erste Problem besteht in einer numerischen Klassifikation des vorliegenden histori-

schen Datenmaterials. Die Grundlagen dazu sind an anderer Stelle (vgl. [11],[12],[13]) ausführlich beschrieben worden, so dass hier nur eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Details erfolgen soll. Eine numerische Klassifikation dient dazu, bestimmte numerisch beschriebene Objekte derart zusammenzufassen, dass die Ähnlichkeiten der Objekte innerhalb einer Klasse maximal und zwischen den Klassen minimal wird. Objekte in diesem Falle sind die einzelnen "Niederschlagsereignisse" t (Tages- bzw. Stundenwerte); ihre numerische Repräsentation erfolgt durch die Beobachtungswerte f_{it}^o in Form einer Matrix F , wobei die Anzahl der Spalten N der Anzahl der Messstellen und die Anzahl der Zeilen M der beobachteten Messintervalle bzw. "Ereignisse" entspricht.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1N} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M1} & f_{M2} & \dots & f_{MN} \end{bmatrix} \quad (8.3)$$

Ohne Beschränkung der Allgemeingültigkeit soll zunächst der Fall $N = 2$ betrachtet werden. Beim Aufbau eines kartesischen Diagramms mit den Achsen f_1 und f_2 wäre jedes "Ereignis" als Punkt in diesem Diagramm dargestellt. Die meisten Punkte würden in der Nähe des Koordinatenursprungs liegen – Intervalle mit geringen Niederschlägen an beiden Stationen. Andere Punkte haben niedrige Werte an der einen und hohe Werte an der anderen Station, wieder andere Intervalle weisen hohe Zahlenwerte an beiden Stationen auf. Diese Punkte bilden Häufungen (Cluster); jede dieser Häufungen repräsentiert eine unterschiedliche Hintergrundfeldklasse mit besonderen statistischen Eigenschaften.

Für den Fall $M \rightarrow \infty$ resultiert daraus für das zweidimensionale Kontinuum ein Punktdichtediagramm. Bei einer numerischen Klassifikation müssen stückweise lineare Grenzen zwischen den Punktdichtemaxima bestimmt werden, die der Zuordnung der Punkte zu den Klassen dienen. Auf diese Weise lässt sich die aktuelle Hintergrundfeldklasse bei vorgegebenen Messwerten ermitteln.

Die eigentliche Klassifikation wird mit einem Optimierungsalgorithmus vorgenommen, bei dem eine vordefinierte Initialklassifikation bzw. Startpartition anhand eines Gütekriteriums solange verbessert wird, bis ein lokales Optimum gefunden ist. Auf eine mathematische Formulierung der Einzelheiten soll mit Verweis auf die zitierte Literatur im Folgenden verzichtet werden.



Ein globales Optimum des Gütekriteriums lässt sich praktisch nicht ermitteln, da die Zahl der möglichen Gruppierungen eine BELLSche Zahl in Abhängigkeit von der Ereignisanzahl M und der Anzahl der gefundenen Klassen K ist.

$$B = \sum_{K=1}^M \frac{1}{K!} \sum_{k=1}^K (-1)^k (K-k)^M \quad (8.4)$$

Schon für nur 50 Ereignisse ergibt sich daraus die Anzahl von 1.86×10^{47} möglichen Partitionen. In der Regel lassen sich allerdings auch suboptimale Lösungen recht gut nutzen, wenn das Gütekriterium dem Zweck der Klassifikation angepasst ist.

Im vorliegenden Falle wird das 1963 publizierte Kriterium $g(A_k)$ von WARD [17] verwendet. Dieses Kriterium erscheint in der Literatur unter verschiedenen Namen (incremental sum of squares, Abstandsquadratsummen-Kriterium, Spur-W-Kriterium) und in verschiedenen Schreibweisen.

$$g(A_k) = \sum_{\left(\begin{array}{l} t=1 \\ t \in A_k \end{array} \right)}^{M_k} \sum_{i=1}^N (f_{it} - f_{i.}^{(k)})^2 \quad (8.5)$$

$$W = \sum_{k=1}^K g(A_k) = \text{Min}$$

Jede mit Hilfe des Kriteriums gebildete Klasse A_k lässt sich durch eine Hypersphäre definieren, deren Radius bei gleichem Gütemaß allein durch die Objektanzahl M_k der jeweiligen Klasse bestimmt wird. Bei Minimierung des Kriteriums ist ein Maximum an Homogenität innerhalb der Gruppen erzielt; die in einer Klasse vereinigten Feldverteilungen ähneln sich, soweit dies anhand des vorliegenden Datenmaterials möglich ist.

Um andererseits die Unterschiede zwischen den Klassen zu maximieren, muss ein weiteres Kriterium D (s. Gleichung (8.6)) angewandt werden, das auf den russischen Mathematiker DOROFUEK [8] zurückgeht. Diejenige Klassenanzahl K , bei der dieses Kriterium ein Maximum annimmt, sollte die optimale Klassenanzahl für die gesuchte Partition kennzeichnen. Für den Fall mehrerer nahezu gleich großer Maxima von D allerdings ergibt sich ein Dilemma, dessen Lösung durch andere Erwägungen gefunden werden muss. So sollte darauf geachtet werden, dass die Anzahl M_k der Ereignisse in jeder Klasse einen bestimmten Mindestwert nicht unterschreitet, damit die Schätzung der Parameter

für Gleichung Abb. 8.2 möglichst stabil bleibt.

$$D = \frac{DQZ - DQI}{DQT}$$

$$DQZ = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N (f_{i.}^{(k)} - f_{i.})^2$$

$$DQI = \dots$$

$$= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{M_k} \sum_{\left(\begin{array}{l} t=1 \\ t \in A_k \end{array} \right)}^{M_k} \sum_{i=1}^N (f_{it} - f_{i.}^{(k)})^2 \quad (8.6)$$

$$DQT = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \sum_{i=1}^N (f_{it} - f_{i.})^2$$

$$M = \sum_{k=1}^K M_k$$

Sind diese Parameter festgelegt, so wird bei Einordnung eines aktuellen Ereignisses mit f_{it}^o diejenige Hintergrundfeldklasse verwendet, bei der eine gesondert definierte normierte Distanz minimal wird. Entsprechend Gleichung Abb. 8.1 können die lokalen Anomalien berechnet und mit dem im folgenden Abschnitt beschriebenen Interpolationsverfahren auf die Gitterpunkte übertragen werden.

8.3 Interpolation der Anomaliewerte

Bei den folgenden Interpolationsproblemen wird stets ein sphärisches Koordinatensystem zugrunde gelegt. Das neben dem λ - ϕ -Koordinatensystem häufig anzutreffende Gauß-Krüger-System lässt sich in der Regel nur dann anwenden, wenn die betrachteten Einzugsgebiete klein genug sind; andernfalls kommt es zu Inkonsistenzen, da sich die Hoch- und Rechtswerte des Gauß-Krüger-Systems nicht ohne weiteres von einem der 3 Grad breiten Streifen auf den nächsten übertragen lassen.

Ausgehend von der orthodromen Entfernung d_{ig}^o der Gitterpunkte von den Niederschlagsmessstellen i lässt sich als einfachste Interpolationsmethode das modifizierte Polygonverfahren definieren. Dabei wird dem jeweiligen Gitterpunkt g derjenige Messwert i zugeordnet, für den d_{ig}^o minimal wird.

Die Verwandtschaft dieses mitunter auch als nearest-neighbour-Methode bezeichneten Vorgehens mit dem klassischen THIESSEN-Verfahren wird deutlich, wenn man den Gitterpunkt Abstand im Gebiet immer weiter verringert. Die Anzahl der einer Messstelle zugeordneten Gitterpunkte ist den wirklichen Polygonflächen äquivalent.

Dieses Verfahren ist – wie auch die vom Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie verwendete SPHEREMAP-Methode nach SHEPARD und WILLMOTT (vgl. [15]) – im Programmkomplex von BONIE implementiert worden, das Verfahren verwendet jedoch als Standard die Methode der statistischen Interpolation, die in der Meteorologie vor allem zur Datenassimilation in der numerischen Wettervorhersage benutzt worden ist.

Eine eingehendere Darstellung der theoretischen Grundlagen kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Ausführliche Informationen finden sich neben dem bereits zitierten Werk von WACKERNAGEL [16] in der umfassenden Monographie von DALEY [6]. Für den Gitterpunkt g wird der Schätzwert der Feldgröße f nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\hat{f}_{gt} = f_{gt}^b + \sum_i w_i (f_{it}^o - f_{it}^b)^2 \quad (8.7)$$

Ziel der Schätzung der Interpolationsgewichte w_i ist es, den Interpolationsfehler im Durchschnitt aller Beobachtungen t zu minimieren:

$$\varepsilon_g^2 = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (f_{gt} - \hat{f}_{gt})^2 \quad (8.8)$$

= Min

Grundlage der Berechnung der Interpolationsgewichte ist (ohne Herleitung) das folgende Gleichungssystem:

$$\sum_{i=1}^N (a_{ij} + o_{ij}) w_i = a_{gj} \quad (8.9)$$

$j = 1, \dots, N$

wobei die a_{ij} bzw. a_{gj} für die Korrelation der Anomalien vom Hintergrundfeld an den Stationen i und j bzw. am Gitterpunkt g und an der Station j stehen. Mit o_{ij} wird die Korrelation der Beobachtungsfehler an den Stationen i und j bezeichnet.

Ohne nähere Erörterung sei postuliert, dass die Beobachtungsfehler Δf_{it}^o , d.h. diejenigen „Mess“-Fehler, die durch die Datenerhebung an einem konkreten Ort und den dadurch bedingten Mangel an Repräsentativität gegenüber der Umgebung – in der Geostatistik (Kriging)

wird dafür der Begriff „Nugget-Effekt“ verwendet – verursacht werden, nicht miteinander korreliert sind, d.h. $o_{ij} = 0$ für $i \neq j$ (gerätebedingte Fehler werden in Abschnitt 2.2.3 behandelt).

Verallgemeinert man den Ansatz von Gleichung Abb. 8.9 auf ein System mit G Gitterpunkten, d.h. G rechten Seiten, so lautet er in Matrixschreibweise:

$$(A + O) W_G = A_G \quad (8.10)$$

mit $(A + O)$ als quadratischer Matrix mit N Zeilen. W_G und A_G dagegen sind Matrizen mit N Zeilen und G Spalten. Die Koeffizienten der Matrizen A bzw. A_G lassen sich aus empirischen Korrelationskoeffizienten schätzen und durch einen analytischen Ausdruck der folgenden allgemeinen Form als Funktion der orthodromen Entfernung d_{ij} bzw. d_{gj} anpassen:

$$a(d) = p_0 \frac{e^{-p_1 d^{e_1}} \cos(p_2 d^{e_2} + p_3)}{p_4 d^{e_3} + 1} \quad (8.11)$$

Durch diese sehr allgemeine Formulierung kann der Verlauf der räumlichen Korrelationsfunktion praktisch an jede beliebige, durch die empirischen Korrelationskoeffizienten gegebene Form angepasst werden. Im praktischen Ansatz werden meist einige der Parameter p_k und Exponenten e_k auf Standardwerte zurückgeführt; $p_1 = 0$ z.B. führt zu einer Streichung des Exponentialterms, $p_3 = 0$ lässt die Phasenverschiebung bei einer „durchschwingenden“ Korrelationsfunktion verschwinden usw.

Die derart nach Gleichung Abb. 8.10 geschätzten Gewichtungsfaktoren erfüllen die Bedingung Abb. 8.8, den statistischen Interpolationsfehler zu minimieren. Allerdings ist diese Bedingung nur für eine große Anzahl von Fällen erfüllt, im Einzelfalle kann es Abweichungen vom Optimum geben.

Die Anwendung auf den Niederschlag hängt allerdings zum einen entscheidend von der Qualität der Anpassung an die empirischen räumlichen Korrelationsfunktionen und zum anderen von der Genauigkeit und der Schnelligkeit des zur Lösung von Gleichung Abb. 8.10 verwendeten Algorithmus ab.

Mehrere Jahre der quasi-operativen Erprobung im Deutschen Wetterdienst haben die Robustheit der implementierten Algorithmen erwiesen. Es bestand mithin kein Grund, das Verfahren nicht auch zur Bestimmung langer Reihen von Gitterpunktniederschlägen als Basis für die Berechnung von Gebietswerten zu verwenden, solange einige im folgenden Abschnitt zu diskutierende Sonderfälle berücksichtigt werden.



8.4 Besonderheiten bei der Berechnung der Interpolationsgewichte

Die Größe der Interpolationsgewichte der einzelnen Messpunkte für einen speziellen Gitterpunkt ist weniger von der Entfernung vom Gitterpunkt, dafür aber um so stärker von der Lage der Messpunkte zueinander abhängig. Eine ausführliche Diskussion dazu findet sich bei WACKERNAGEL (a.a.O. S. 93–99) mit vielen anschaulichen Beispielen. An dieser Stelle soll nur auf zwei spezielle Aspekte eingegangen werden, die in engem Zusammenhang stehen können — die Abschirmung von Messpunkten und negative Interpolationsgewichte — und damit im Zusammenhang die Gefahr überhöhter Extrapolationen.

Das in Abb. 8.1 dargestellte Beispiel für die Berechnung der Interpolationsgewichte ist nur eine schematische Darstellung, da ein reales Beispiel auf Grund der großen Anzahl verwendeter Stationen schwer zu überschauen wäre. Im Beispielschema wird der Gitterpunkt nur aus 6 (obere Zeile) bzw. 7 Stationswerten (untere Zeile) berechnet. Für die Station G wurde ein Datenausfall simuliert. Die Unterschiede der Interpolationsgewichte sind nicht allein aus der Entfernung der Stationen von dem markierten Gitterpunkt erklärbar, sondern auch und vor allem durch die Lage der Stationen zueinander.

Es zeigt sich z.B., dass die Station C, die von dem Gitterpunkt aus hinter Station B liegt, ein Interpolationsgewicht < 0.0 aufweist. Negative Interpolationsgewichte treten in der Regel dann auf, wenn der Gradient der zu interpolierenden Feldgröße in der Umgebung des Gitterpunktes auf ein Minimum oder Maximum am Gitterpunkt selbst hindeuten scheint. Sie ermöglichen das Auftreten von Gitterpunktwerten, die größer bzw. kleiner sind als der größte bzw. kleinste gemessene Wert. Kein anderes Interpolationsverfahren (mit Ausnahme der sog. "Gradientkorrektur" beim Spheremap-Verfahren (vgl. RUDOLF et al. [15]) ermöglicht diese Art der Anpassung an den vermutlich natürlichen Verlauf der Feldgrößen. Im vorliegenden Beispiel wird diese Eigenschaft allerdings weniger deutlich als der enorme Effekt eines nicht gemessenen bzw. nicht gemeldeten Messwertes. Der Wert der Station G ist zwar um 0.1 mm geringer als der an der Station B gemessene und nur 0.2 mm höher als der an Station E, doch die Wirkung (Erhöhung) auf den berechneten Gitterpunktwert beträgt nahezu 0.6 mm.

Die anhand des beschriebenen Beispiels verdeutlichten Eigenarten können sich unter bestimmten Bedingungen unvorteilhaft bemerkbar machen. Im Falle einer inhomogenen Verteilung der Messpunkte — entweder bei Auftreten größerer räumlicher Lücken oder bei Messungen an zwei unmittelbar benachbarten Stationen ohne entsprechende Messwerte auf der gegenüberliegenden Seite des Gitterpunktes — kann ein räumlicher Gradient überbewertet und unzulässig weit extrapoliert werden, so dass der interpolierte Gitterpunktwert zum "Ausreißer" wird.

Solche Fälle treten vorrangig an Gitterpunkten an den Rändern der Analyseregionen auf, und zwar vor allem bei großflächigen Ausfällen von Messungen (z.B. in den Jahren 1945 und 1946), aber auch bei Messstellenverlegungen mit zeitweiliger Parallelmessung im gleichen Ort (d.h. bei Stationsentfernungen, die wesentlich geringer sind als die Entfernung zum betreffenden Gitterpunkt).

Wie es zu derartigen Entgleisungen der Interpolationsgewichte kommt, ist außerordentlich schwer zu veranschaulichen (vgl. WACKERNAGEL [16]). Es soll zu diesem Zweck auf den einfachsten Fall von zwei Messpunkten und einem Gitterpunkt zurückgegriffen werden, die auf einer Geraden (der x-Achse) liegen. Dabei behalten Gitterpunkt ($x = 0$) und erster Messpunkt ($x_1 = -2$) ihre Position bei, während der zweite Messpunkt (x_2) entlang der x-Achse bewegt wird.

In den folgenden drei Abbildungen ist die Abhängigkeit der Interpolationsgewichte w_1 und w_2 , des Interpolationsfehlers und des Interpolationsergebnisses N (bei vorgegebenen "Niederschlags-Anomaliewerten" $N_1 = +1$ bzw. $N_2 = -1$) von der Lage des Messpunktes x_2 dargestellt — und zwar für eine einfache Korrelationsfunktion der Gestalt

$$r = 1/(|x|^2 + 1),$$

aber mit unterschiedlichen Annahmen über den Messfehler $\sigma_{ij} = 0.00, 0.03$ bzw. 0.50 . Man sollte beachten, dass es sich hierbei nicht um den gerätebedingten Fehler handelt, sondern um den Fehler der Messung gegenüber der in der Umgebung der Messstelle typischen Niederschlagsverteilung, d.h. einen Fehler der räumlichen Repräsentanz einer jeglichen Messung.

Die Berechnung der Interpolationsgewichte w_1 bzw. w_2 lässt sich dann auf folgende Gleichungen vereinfachen:

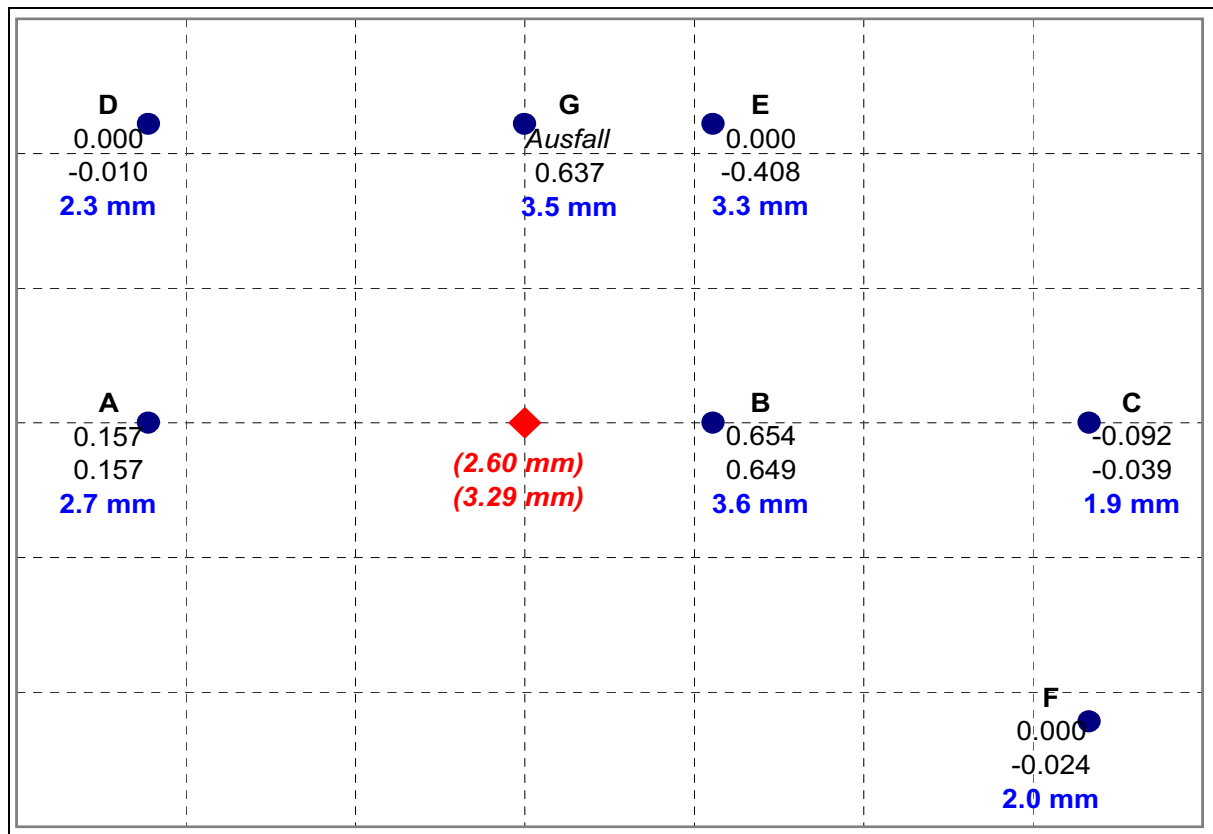


Abb. 8.1: Veranschaulichung der Veränderungen von Interpolationsgewichten bei Daten-ausfall (Station G) und deren Auswirkung auf die Berechnung eines Gitterpunktes (nach WACKERNAGEL [16])

$$w_1 = \frac{a_{10}(1 + o_{22}^2) - a_{20}a_{12}}{(1 + o_{11}^2)(1 + o_{22}^2) - a_{12}^2} \quad (8.12)$$

$$w_2 = \frac{a_{20}(1 + o_{11}^2) - a_{10}a_{12}}{(1 + o_{11}^2)(1 + o_{22}^2) - a_{12}^2}$$

Für den Interpolationsfehler gilt dann:

$$\varepsilon_0^2 = 1 - \left(\frac{a_{10}^2 1 + o_{22}^2 + a_{20}^2 1 + o_{11}^2 - 2a_{10}a_{20}a_{12}}{1 + o_{11}^2 1 + o_{22}^2 - a_{12}^2} \right) \quad (8.13)$$

Und für den zu interpolierenden Gitterpunkt-wert:

$$N = w_1 N_1 + w_2 N_2 \quad (8.14)$$

In Abb. 8.2 ist deutlich zu erkennen, wie bei großer Nähe der beiden Messpunkte auf Grund der gegensätzlichen „Messwerte“ N_1 und N_2 ein starker Gradient extrapoliert wird, der für $x_1 < x_2$ zu sehr kleinen und für $x_1 > x_2$ zu sehr großen Interpolationsergebnissen von N führt.

Im Falle von $x_1 = x_2$ ergibt sich eine Singularität; der Interpolationswert N ist unbestimmt. Für den Fall $x_2 = 0$ ergibt sich erwartungsgemäß ein Interpolationswert von $N = -1$ und der Interpolationsfehler verschwindet.

Setzt man einen plausiblen Messfehler von 3% an (Abb. 8.3), so ist der interpolierte Wert N im Falle $x_1 = x_2$ zwar nicht mehr unbestimmt, aber im Falle einer nicht völligen Übereinstimmung treten noch immer außerordentlich starke Gradienten auf und der interpolierte Wert N wird zum „Ausreißer“, d.h. sein Betrag ist um ein mehrfaches größer bzw. kleiner als der der beiden „Messwerte“. Für $x_2 = 0$ ergeben sich nahezu die gleichen Ergebnisse wie für den Fall eines verschwindenden Messfehlers.

Erst wenn ein unangemessen hoher Messfehler angenommen wird, verschwinden die hohen Gradienten im Falle $x_1 \approx x_2$ und damit die Gefahr, einen „Ausreißer“ zu inter- bzw. besser zu extrapolieren (Abb. 8.4). Dieses „Wohlverhalten“ des Algorithmus wird aber erkauft durch einen hohen Interpolationsfehler; im Falle $x_2 = 0$ führt das dazu, dass statt des am Ort gemessenen Wertes von $N_2 = -1$ ein wesentlich geringerer Betrag berechnet wird.

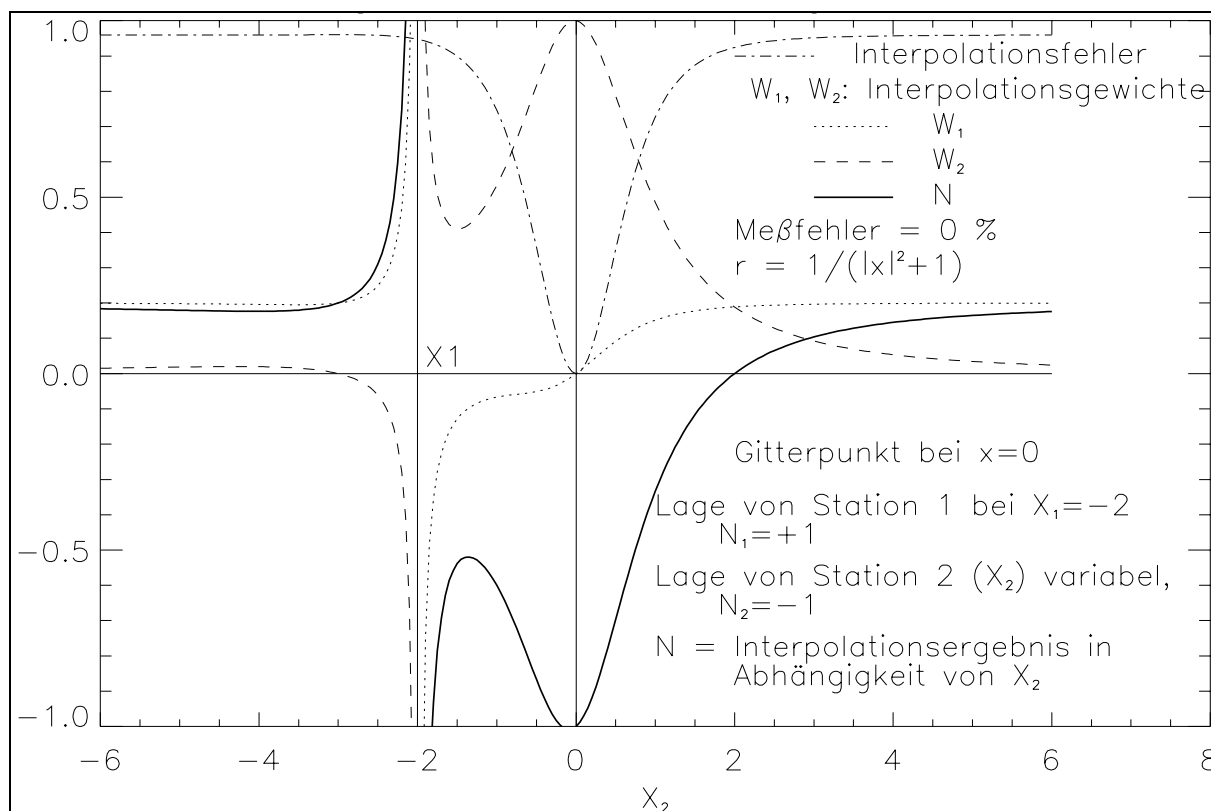


Abb. 8.2: Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme absolut repräsentativer Messungen (Nugget-Effekt = 0.00)

Ein eindeutig zu hoch angesetzter Messfehler verhindert also "Ausreißer", verwischt andererseits aber regionale Extrema — und gerade die treue Wiedergabe solcher tatsächlichen Extremwerte stellt ja einen der Vorteile des Verfahrens der statistischen Interpolation dar.

An dieser Stelle muss die Häufigkeit des Auftretens derartiger „Ausreißer“-Werte genannt werden. Im Rahmen aller Berechnungen von Gitterpunktniederschlägen für das Projekt KLIWA, also sowohl in Baden-Württemberg als auch in Bayern, ergab sich eine Auftrittshäufigkeit kleiner 0.002 % (am häufigsten im Neckargebiet sowie in den Jahren 1945 und 1946). In Anbetracht dieser geringen Häufigkeit erscheint die Unterdrückung mit Hilfe eines hohen Messfehleransatzes und damit die Beeinflussung des Gesamtcharakters des Datenmaterials ungerechtfertigt.

Statt dessen wurde zu dem pragmatischen Mittel der Winsorisierung der berechneten „Ausreißer“ gegriffen. Basis der Winsorisierung ist ein verteilungsunabhängiger Ausreißertest nach DIXON [7], bei dem der Quotient aus der Differenz zwischen dem größten, d.h. dem ver-

dächtigen Wert z_n und dem nächst größten Wert z_{n-1} der Stichprobe und andererseits dem Range $z_n - z_1$ der Gesamtstichprobe als Testgröße berechnet wird:

$$T = \frac{z_n - z_{n-1}}{z_n - z_1} \quad (8.15)$$

Überschreitet T eine bestimmte von n abhängige Signifikanzschwelle, so ist z_n als „Ausreißer“ zu betrachten. Setzt man anstelle von z_n den jeweiligen Gitterpunktswert, für z_{n-1} bzw. z_1 den größten bzw. den kleinsten gemessenen Niederschlagswert ein, so ergibt sich ein pragmatisches Kriterium für die Beibehaltung des interpolierten Gitterpunktswertes. Wird der berechnete Wert mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% verworfen, so wird statt dessen der entsprechend Gl. (8.15) höchste zulässige Wert eingefügt.

Auf diese Weise kann einerseits die Wirkung extremer Interpolationsgewichte durch eine ungünstige Geometrie des Messnetzes und andererseits die allzu glättende Wirkung zu hoch angesetzter Messfehler gleichermaßen vermieden werden.

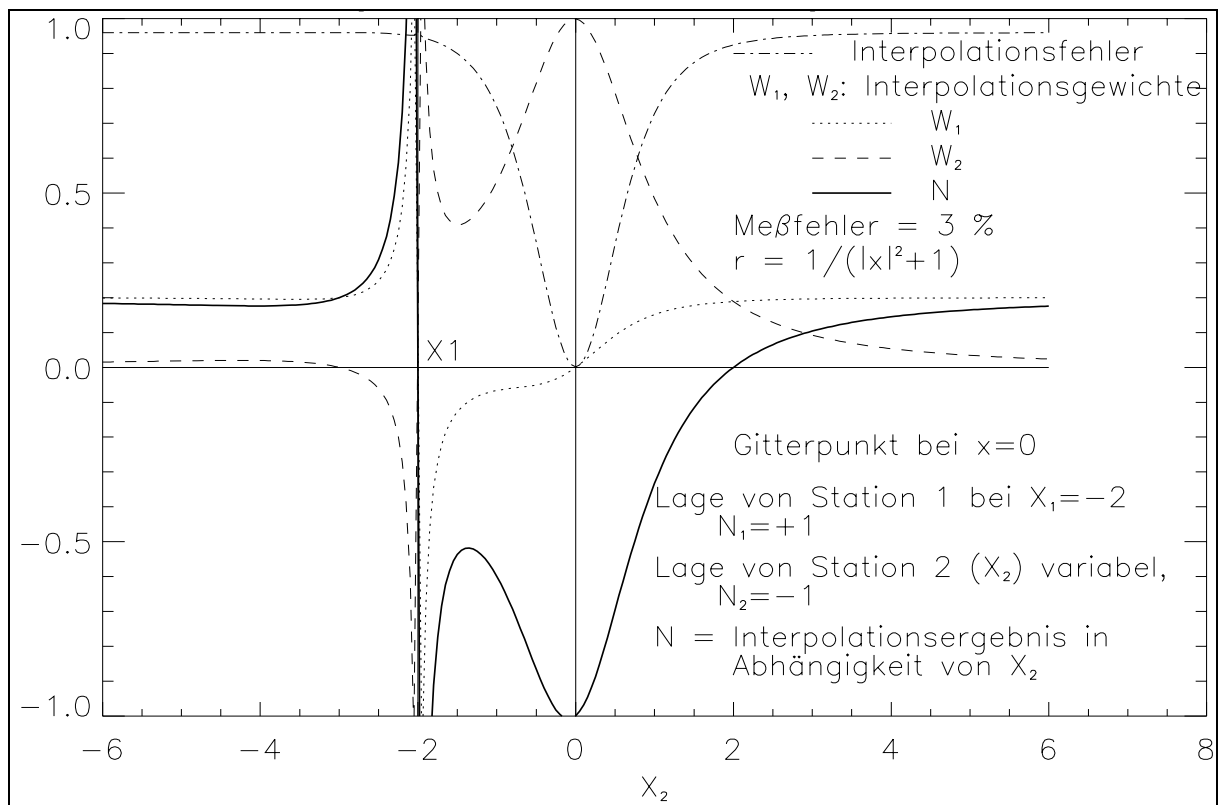


Abb. 8.3: Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme eines Repräsentativitätsfehlers von 3% (Nugget-Effekt = 0.03)

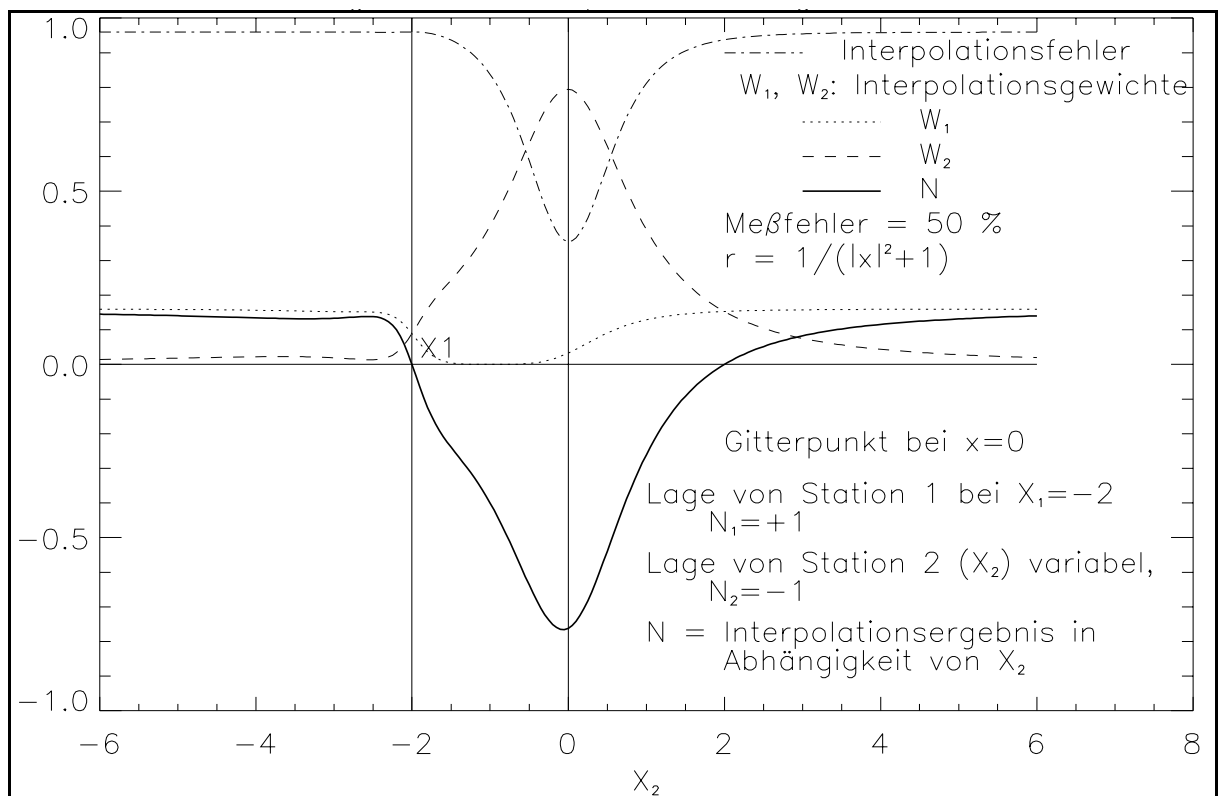


Abb. 8.4: Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme eines Repräsentativitätsfehlers von 50% (Nugget-Effekt = 0.5)



9 Tabellenverzeichnis

	Seite
2.1 Die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern	13
4.1 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte bei ganzjähriger Auswertung	32
4.2 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte im Sommer	34
4.3 Eintrittsjahr der signifikanten Bruchpunkte im Winter	34
5.4 Relativer Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung	38
5.1 Signifikanz der Trends ≥ 80 % über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 bei ganzjähriger Auswertung	39
5.2 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung	39
5.3 Absoluter Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung	40
5.4 Relativer Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung	40
5.4 Relativer Trend der Auswertegrößen bei ganzjähriger Auswertung	40
5.7 Absoluter Trend der Auswertegrößen im Sommer	41
5.8 Relativer Trend der Auswertegrößen im Sommer	41
5.5 Signifikanz der Trends ≥ 80 % über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 im Sommer	42
5.6 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen im Sommer	42
5.7 Absoluter Trend der Auswertegrößen im Sommer	43
5.8 Relativer Trend der Auswertegrößen im Sommer	43
5.8 Relativer Trend der Auswertegrößen im Sommer	43
5.9 Signifikanz der Trends über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 im Winter	48
5.10 Langjährige Mittelwerte der Auswertegrößen im Winter	48
5.11 Absoluter Trend der Auswertegrößen im Winter	49
5.12 Relativer Trend der Auswertegrößen im Winter	49
5.13 Beginn der signifikanten rückschreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung	51
5.14 Betrag der signifikanten rückschreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung	51
5.15 Beginn der signifikanten rückschreitend optimierten Trends im Sommer	54
5.16 Betrag der signifikanten rückschreitend optimierten Trends im Sommer	54
5.17 Beginn der signifikanten rückschreitend optimierten Trends im Winter	55
5.18 Betrag der signifikanten rückschreitend optimierten Trends im Winter	55
6.1 Gebiet D1: Donau bis Lauchert – Übersicht über die Auswerteergebnisse	73
6.2 Gebiet D2: Donau unterhalb Lauchert bis oberhalb Iller – Übersicht über die Aus- werteergebnisse	75
6.3 Gebiet D3: Iller – Übersicht über die Auswerteergebnisse	77
6.4 Gebiet D4: Donau unterhalb Iller bis oberhalb Wörnitz/Lech – Übersicht über die Auswerteergebnisse	79
6.5 Gebiet D5: Lech – Übersicht über die Auswerteergebnisse	81
6.6 Gebiet D6: Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber – Übersicht über die Auswerte- ergebnisse	83
6.7 Gebiet D7: Donau unterhalb Lech bis oberhalb Naab – Übersicht über die Auswerteergebnisse	85
6.8 Gebiet D8: Naab – Übersicht über die Auswerteergebnisse	87
6.9 Gebiet D9: Regen – Übersicht über die Auswerteergebnisse	89
6.10 Gebiet D10: Donau unterhalb Naab bis oberhalb Isar – Übersicht über die Auswerteergebnisse	91
6.11 Gebiet D11: Isar – Übersicht über die Auswerteergebnisse	93
6.12 Gebiet D12: Vils / Rott – Übersicht über die Auswerteergebnisse	95
6.13 Gebiet D13: Alz / Salzach – Übersicht über die Auswerteergebnisse	97
6.14 Gebiet D14: Inn – Übersicht über die Auswerteergebnisse	99
6.15 Gebiet D15: Donau unterhalb Isar bis Landesgrenze – Übersicht über die Auswerteergebnisse	101
6.16 Gebiet E1: Elbe – Übersicht über die Auswerteergebnisse	103
6.17 Gebiet M1: Main oberhalb Regnitz – Übersicht über die Auswerteergebnisse	105
6.18 Gebiet M2: Regnitz – Übersicht über die Auswerteergebnisse	107
6.19 Gebiet M3: Main unterhalb Regnitz bis oberhalb Fränkische Saale – Übersicht über die Auswerteergebnisse	109



		Seite
6.20	Gebiet M4: Fränkische Saale — Übersicht über die Auswerteergebnisse	111
6.21	Gebiet M5: Tauber — Übersicht über die Auswerteergebnisse	113
6.22	Gebiet M6: Main unterhalb Fränkische Saale bis Landesgrenze — Übersicht über die Auswerteergebnisse	115
6.23	Gebiet N1: Neckar oberhalb Fils — Übersicht über die Auswerteergebnisse	117
6.24	Gebiet N2: Neckar von Fils bis oberhalb Kocher (ohne Enz) — Übersicht über die Auswerteergebnisse	119
6.25	Gebiet N3: Enz — Übersicht über die Auswerteergebnisse	121
6.26	Gebiet N4: Kocher — Übersicht über die Auswerteergebnisse	123
6.27	Gebiet N5: Jagst — Übersicht über die Auswerteergebnisse	125
6.28	Gebiet N6: Neckar unterhalb Jagst — Übersicht über die Auswerteergebnisse . .	127
6.29	Gebiet R1: Hochrhein / Bodensee — Übersicht über die Auswerteergebnisse . . .	129
6.30	Gebiet R2: Rhein bis Wiese — Übersicht über die Auswerteergebnisse	131
6.31	Gebiet R3: Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig — Übersicht über die Auswerteergebnisse	133
6.32	Gebiet R4: Rhein von Kinzig bis Murg — Übersicht über die Auswerteergebnisse	135
6.33	Gebiet R5: Rhein unterhalb Murg bis oberhalb Neckar — Übersicht über die Auswerteergebnisse	137



10 Abbildungsverzeichnis

	Seite
2.1	Grenzen der Analyseregionen in Baden-Württemberg und Bayern 9
2.2	Verfügbarkeit der Datenreihen von 1931 bis 1997 in den Analyseregionen 1 bis 3 (Baden-Württemberg) 10
2.3	Verfügbarkeit der Datenreihen von 1931 bis 1997 in den Analyseregionen 4 bis 10 (Bayern) 11
2.4	Die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern 12
2.5	Beispielhafte Veranschaulichung einiger Auswertegrößen anhand einer tatsäch- lichen Teilstichprobe (links) bzw. einer geordneten Stichprobe (rechts) mit den selben Daten – Tageswerten des Gebietsniederschlags im Gebiet M5 (Tauber) vom Januar 1931 14
2.6	Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Tagesmittelwert“ im Taubergebiet 15
2.7	Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Standardabweichung“ im Taubergebiet 16
2.8	Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Unteres Quartil“ im Taubergebiet 16
2.9	Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Median“ im Taubergebiet 17
2.10	Monatliche Einzelwerte, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum 1931 – 1997 für die Auswertegröße „Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d“ im Taubergebiet 17
2.11-1	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D1 18
2.11-2	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D2 18
2.11-3	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D3 18
2.11-4	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D4 18
2.11-5	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D5 18
2.11-6	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D6 18
2.11-7	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D7 19
2.11-8	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D8 19
2.11-9	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D9 19
2.11-10	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D10 19
2.11-11	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D11 19
2.11-12	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D12 19
2.11-13	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D13 19
2.11-14	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D14 19
2.11-15	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet D15 20
2.11-16	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet E1 20
2.11-17	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M1 20
2.11-18	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M2 20
2.11-19	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M3 20
2.11-20	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M4 20
2.11-21	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M5 20
2.11-22	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet M6 20
2.11-23	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N1 21
2.11-24	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N2 21
2.11-25	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N3 21
2.11-26	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N4 21
2.11-27	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N5 21
2.11-28	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet N6 21
2.11-29	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R1 21
2.11-30	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R2 21
2.11-31	Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R3 22

	Seite
2.11-32 Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R4	22
2.11-33 Jahreswerte des Gebietsniederschlags und Trend im Gebiet R5	22
3.1 Unteres Quartil, Verlauf des Trendbetrags und Signifikanz der Trends der Teilzeitreihen 1931/1997 bis 1987/1997, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst	28
3.2 Unteres Quartil, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und Trend über den Gesamtzeitraum, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst	29
3.3 Unteres Quartil, fünfjährig übergreifende Mittelwerte und rückschreitend optimierter Trend, Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) im Herbst . . .	29
4.1 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in allen 495 untersuchten Reihen (3 Auswerteziträume mit je 165 Reihen)	30
4.2 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen bei ganzjähriger Auswertung	30
4.3 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen im Sommer .	30
4.4 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 165 untersuchten Reihen im Winter . . .	30
4.5 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 33 untersuchten Reihen des Unteren Quartils bei ganzjähriger Auswertung	31
4.6 Anzahl signifikanter Bruchpunkte in den 33 untersuchten Reihen der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung	31
4.7 Tagesmittelwert, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet M2 (Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung	33
4.8 Standardabweichung, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet M2 (Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung	33
4.9 Median, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet R1 (Hochrhein / Bodensee) im Sommer	35
4.10 Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d, fünfjährig übergreifende Mittelwerte im Gebiet D8 (Naab) im Winter	35
5.1 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends in allen 495 untersuchten Reihen	36
5.2 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends bei ganzjähriger Auswertung	36
5.3 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends im Sommer	37
5.4 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends im Winter	37
5.5 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends des Unteren Quartils bei ganzjähriger Auswertung	37
5.6 Häufigkeit des Beginns der rückschreitend optimierten Trends der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung	37
5.7 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet N1 (Neckar oberhalb Fils) bei ganzjähriger Auswertung	38
5.8 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Unteren Quartils über den Gesamtzeitraum im Gebiet D11 (Isar) bei ganzjähriger Auswertung	38
5.9 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet M1 (Main oberhalb Regnitz) bei ganzjähriger Auswertung	41
5.10 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet R4 (Rhein von Kinzig bis Murg) im Sommer	44
5.11 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Unteren Quartils über den Gesamtzeitraum im Gebiet M5 (Tauber) im Sommer	44
5.12 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet M5 (Tauber) im Sommer . . .	45
5.13 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d über den Gesamtzeitraum im Gebiet D11 (Isar) im Sommer	45
5.14 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes über den Gesamtzeitraum im Gebiet D8 (Naab) im Winter	46
5.15 Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung über den Gesamtzeitraum im Gebiet E1 (Elbe) im Winter	46



	Seite	
5.16	Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Medians über den Gesamtzeitraum im Gebiet D14 (Inn) im Winter	47
5.17	Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte des Tagesmittelwertes im Gebiet D6 (Wörnitz, Altmühl, Schwarze Laber) bei ganzjähriger Auswertung	50
5.18	Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung im Gebiet R3 (Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Kinzig) im Sommer	52
5.19	Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Standardabweichung im Gebiet D13 (Alz / Salzach) im Winter	52
5.20	Rückschreitend optimierter Trend und fünfjährig übergreifende Mittelwerte der Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Gebiet M4 (Fränkische Saale) im Winter	53
6.1	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997	56
6.2	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997	57
6.3	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997	58
6.4	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997	59
6.5	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d bei ganzjähriger Auswertung für die Gesamtperiode 1931 – 1997	60
6.6	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997	61
6.7	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997	62
6.8	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997	63
6.9	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997	64
6.10	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Sommer für die Gesamtperiode 1931 – 1997	65
6.11	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Tagesmittelwert im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997	66
6.12	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Standardabweichung im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997	67
6.13	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für das Untere Quartil im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997	68
6.14	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für den Median im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997	69
6.15	Regionale Verteilung der absoluten und relativen Trends für die Überschreitungshäufigkeit von 15 mm/d im Winter für die Gesamtperiode 1931 – 1997	70
7.1	Jährliche Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa; zehnjährig übergreifende Mittelwerte 1931 – 1997	138
7.2	Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa 1931 - 1997 (zehnjährig übergreifende Mittelwerte) im Sommer	139
7.3	Häufigkeit von Zirkulationsformen in Mitteleuropa 1931 - 1997 (zehnjährig übergreifende Mittelwerte) im Winter	140
8.1	Veranschaulichung der Veränderungen von Interpolationsgewichten bei Datenausfall (Station G) und deren Auswirkung auf die Berechnung eines Gitterpunktes (nach Wackernagel [16])	147



		Seite
8.2	Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme absolut repräsentativer Messungen (Nugget-Effekt = 0.00)	148
8.3	Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme eines Repräsentativitätsfehlers von 3% (Nugget-Effekt = 0.03)	149
8.4	Abhängigkeit des Interpolationsergebnisses von der Lage der Stationen zueinander und zum Gitterpunkt für die Annahme eines Repräsentativitätsfehlers von 50% (Nugget-Effekt = 0.5)	149



11 Literaturverzeichnis

- [1] ALEXANDERSSON, H.: „A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data“, J. Climatology, 6 (1986), S. 661 – 675
- [2] ALEXANDERSSON, H. u. A. MOBERG: „Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends“, Int. J. of Climatology 17 (1997), S. 25 – 34
- [3] BLÜMEL, K. u. a.: „Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem der Klimaveränderungen.“ Ber. Dt. Wetterd. **219**, 2001, 372 S. mit Tab. und Abb.
- [4] BUSHAND, T. A.: „Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records“, J. of Hydrology 58 (1982) S. 11 – 27
- [5] CASPARY, H. J.: „Zusammenhang zwischen der Verschärfung des Hochwasserrisikos in Südwestdeutschland seit Mitte der siebziger Jahre und einem veränderten Weltklima“, GAIA **10** (2001) 4, S. 286 – 293
- [6] DALEY, J.: „Atmospheric Data Analysis“, Cambridge Univ. Press, 1991
- [7] DIXON, W. J.: „Ratios Involving Extreme Values“, Ann. Math. Statistics, **21** (1950), S. 488 – 506
- [8] DOROFUEK, A. A.: „Algoritmy obuchenia mašiny raspoznavaniu obrazov bez uchitela, osnovannye na metode potencialnyh funkcij“, Avtomatika i telemekhanika **XXVII** (1966)
- [9] GERSTENGARBE, F.-W. WERNER, P.C. u. RÜGE, U.: „Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 - 1998) Nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky“, 5., verbesserte und ergänzte Auflage, Potsdam, Offenbach a. M., (1999)
- [10] PETTIT, A. N.: „A Non-parametric Approach to the Change-point Problem“, Appl. Statist. 28 (1979), S. 126 – 135
- [11] REICH, T.: „Die räumliche Struktur des Niederschlagsfeldes. 2. Hierarchische Gruppierungsverfahren und Dendrogramme“, Z. Meteorologie, **36** (1986), S. 38 – 53
- [12] REICH, T.: „Die räumliche Struktur des Niederschlagsfeldes. 3. Nichthierarchische disjunkte Methoden der Klassifikation“, Z. Meteorologie, **36** (1986), S. 54 – 63
- [13] REICH, T.: „Eine regionale Gliederung der DDR auf der Basis von Monatssummen der Niederschlagshöhe“, Z. Meteorologie, **39** (1989), S. 40 – 50
- [14] RICHTER, D.: „Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers“, Ber. Dt. Wetterd., **194** (1995)
- [15] RUDOLF, B. et.al.: „Die Berechnung der Gebietsniederschläge im 2,5°-Raster durch ein objektives Analyseverfahren“, Meteor. Z., N.F. **1** (1992), S. 32 – 50
- [16] WACKERNAGEL, H.: „Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications“, Springer Verlag, 1995¹ bzw. 1998²
- [17] WARD, J. H.: „Hierarchical grouping to optimize an objective function“, J. Amer. Statist. Ass., **58** (1963), S. 236 – 244
- [18] DWD: „Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des Niederschlags (Tageswerte) in Baden-Württemberg“, KLIWA-Geb_N (A 1.1.2)/BW, 2002
- [19] DWD: „Langzeituntersuchungen von Gebietswertreihen des Niederschlags (Tageswerte) in Bayern“, KLIWA-Geb_N (A 1.1.2)/BY, 2003

Bisher erschienene KLIWA-Berichte:

Herausgeber: Arbeitskreis KLIWA
(Landesanstalt für Umweltschutz 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>

