

## **Langzeitverhalten von Gebietsniederschlägen Ergebnisse aus KLIWA**

Thomas Reich

Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Berlin

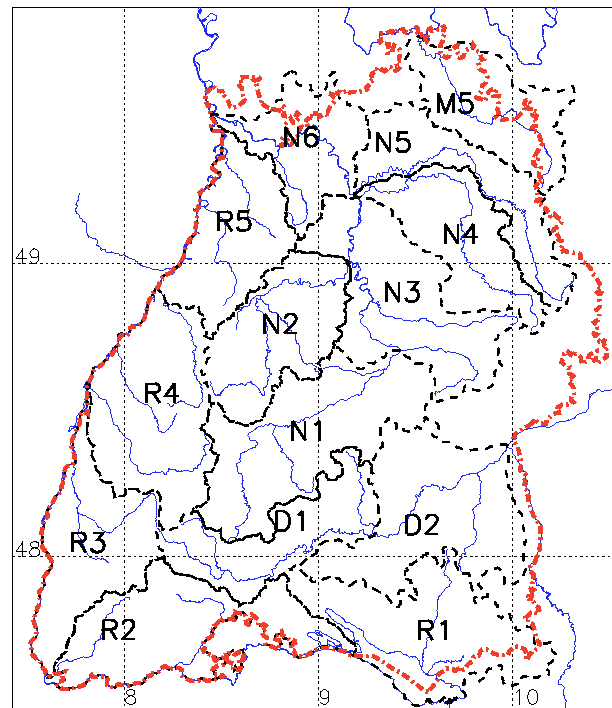
Im Rahmen des KLIWA-Projektes wurden für das Land Baden-Württemberg und den Zeitraum von 1931 bis 1997 aus etwa 600 teils kurzen, teils sehr langen Niederschlags-Messreihen unter Ausnutzung klimatologisch-statistischer Hintergrundinformationen Reihen von Tageswerten des Niederschlags an 707 Gitterpunkten berechnet. Diese Gitterpunkt-reihen wurden in einem weiteren Arbeitsschritt zu 14 Gebietswertreihen zusammengefasst und anhand statistischer Auswertungen zu Monatswertreihen verdichtet. Die derart gewonnenen Monatswertreihen sollten auf vorhandene Sprünge oder Trends untersucht werden.

Der Berechnung der Gitterpunktwerte hat das Verfahren BONIE zugrunde gelegen, das ursprünglich für operationelle Zwecke, z.B. zur Hochwasservorhersage, konzipiert war, das aber auch für hydroklimatologische Untersuchungen eingesetzt werden kann. Es bildet eine beliebige Menge an räumlich unregelmäßig vorliegenden Messwerten auf ein regelmäßiges Netz von Gitterpunkten ab, dessen Maschenweite in Ost-West-Richtung 6' und in Nord-Süd-Richtung 4' beträgt; die Gitterpunkte haben also einen Abstand von etwa sieben Kilometern.

Die Grundlage von BONIE bildet ein heuristisches Lernverfahren, bei dem mit Hilfe einer numerischen Klassifikation anhand hinreichend langer Reihen von Tageswerten der Niederschlagshöhe in Abhängigkeit von Relief und Wetterlage verschiedene charakteristische räumliche Verteilungsmuster in einer bestimmten Analyseregion getrennt und die unterschiedlichen mathematisch-statistischen Eigenschaften dieser Muster – vor allem die räumliche Korrelation, aber auch die Abhängigkeit vom Relief und von der geographischen Lage – abgeleitet werden. Anhand der Messwerte eines konkreten Tages wird stets das zugehörige, als Hintergrundfeld bezeichnete Muster wiedererkannt.

Mit der Hintergrundinformation ist es möglich, auch bei lokalen Datenausfällen (Lücken) die räumliche Verteilung der Niederschläge genauer als durch andere Verfahren zu bestimmen. Die Analyseregionen haben eine Größenordnung von etwa 10.000 km<sup>2</sup> und sind meist mit großen Flusseinzugsgebieten bzw. deren Teilen identisch. Die Gitterpunktwerte werden mit Hilfe des dem Kriging verwandten Verfahrens der statistischen Interpolation anhand aller im Gebiet verfügbaren Messwerte interpoliert. Auf Grund dieses Ansatzes erreicht der Interpolationsfehler im statistischen Mittel ein Minimum. Das Hintergrundfeld lässt sich also mit einem ad hoc gewählten Rohling vergleichen, aus dem mit dem Werkzeug der statistischen Interpolation die Feinheiten der tatsächlichen Niederschlagsverteilung herausgearbeitet werden. Die Gebietswertberechnung erfolgt durch arithmetische Mittelung der Gitterpunktwerte. Abbildung 1 zeigt die Grenzen der Gebiete in Baden-Württemberg, für die die nachfolgend präsentierten Auswertungen erfolgten. Die vierzehn Gebiete haben eine durchschnittliche Größe von 1500 bis 2500 km<sup>2</sup>.

### KLIWA: Grenzen der Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg



© Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie

Abbildung 1

Für jedes dieser Gebiete wurden monatlich aus den Tageswerten folgende Parameter berechnet: die Summe - also der eigentliche Monatswert -, der Mittelwert und die Standardabweichung sowie der höchste Tageswert. Da die Tageswerte nicht normalverteilt sind, wurden zusätzlich noch wichtige Quantile (Median, unteres und oberes Quartil, oberes Dezil sowie der Quartilabstand) und Überschreitungshäufigkeiten für geläufige Schwellenwerte (0.1 mm/d, 1 mm/d, 2 mm/d, 5 mm/d, 10 mm/d, 15 mm/d, 20 mm/d und 50 mm/d) bestimmt - also 17 Parameterreihen für jedes Gebiet.

Jede der insgesamt 238 Reihen wurde mit Hilfe mehrerer statistischer Verfahren untersucht: Zunächst wurde der Jahresgang aus den Reihen eliminiert. Die derart gefilterten Reihen wurden mit den Shift-Tests nach Alexandersson und nach Buishand sowie mit der Bruchpunktanalyse nach Mann, Whitney und Pettit auf Inhomogenitäten geprüft. Darüber hinaus erfolgte eine Überprüfung auf Trend nach den Verfahren von Alexandersson und Moberg und von Mann und Kendall.

Im Folgenden soll eine kleine Auswahl der insgesamt 238 Reihen gezeigt werden. Bei den grafischen Darstellungen wurden vorzugsweise fünfjährig übergreifende Mittelwerte der ungefilterten Reihen verwendet. Auf Grund der großen Varianz der Einzelwerte, die sich nur in geringem Maße auf den Jahresgang zurückführen lässt, werden andernfalls signifikante Sprünge in den Reihen nur unzureichend wahrgenommen.

Abgesehen von "Schein-Inhomogenitäten" am Beginn oder am Ende einer Reihe, die durch vereinzelte extreme Werte an diesen exponierten Positionen vorgetäuscht werden, und mit Ausnahme weniger künstlicher Brüche in den Reihen, die durch die unterschiedliche Anzahl der zur Gebietswertberechnung verwendeten Messreihen in verschiedenen Zeitabschnitten begründet sind, treten bei den meisten Auswertegrößen vorrangig Inhomogenitäten in den sechziger und siebziger Jahren auf. Diese Änderungen lassen sich zwar nicht immer mit hinreichender Signifikanz nachweisen, und in vielen Fällen widersprechen sich die einzelnen

Tests bei der Wahrscheinlichkeit, mit der die stets zugrunde liegende Nullhypothese "Homogenität" bzw. "Trendfreiheit" zurückzuweisen ist, doch sind die Brüche in einem beachtlichen Teil der Reihen bei der Darstellung der übergreifenden Mittel in der Regel sichtbar.

Als Beispiel mögen der Median, der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung der Tageswerte des Gebietsniederschlags im Gebiet N1, am Oberlauf des Neckar, dienen, die in Abbildung 2 dargestellt sind.

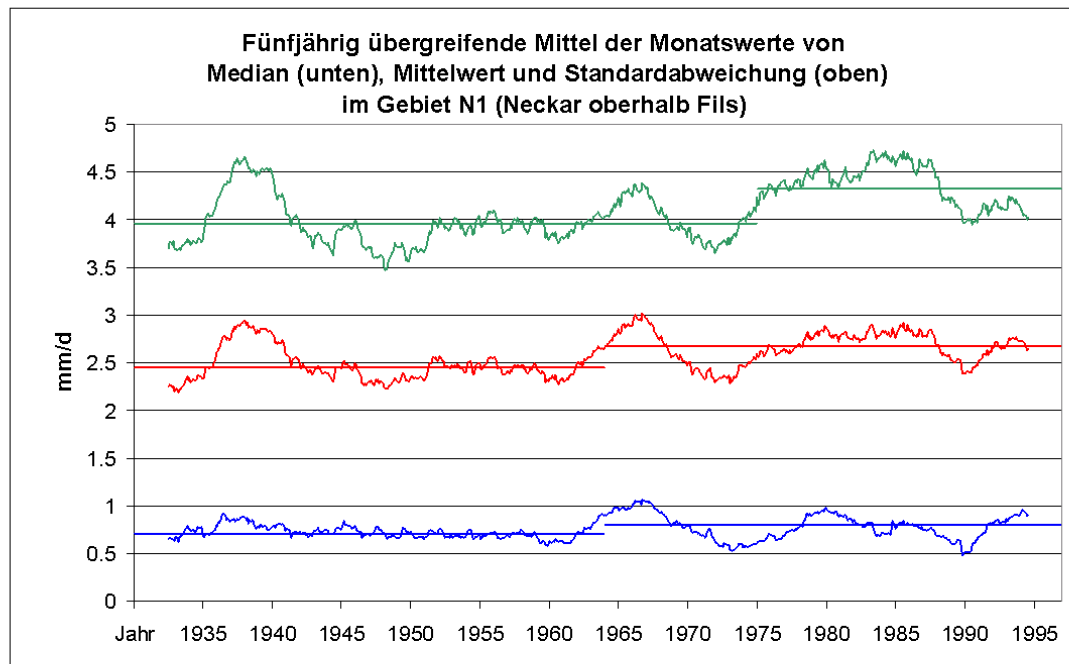


Abbildung 2

Median und Mittelwert weisen einen Bruch Ende 1964 auf, wobei der Inhomogenität der Medianwertreihe bei einer Wahrscheinlichkeit von etwa 67% (nach Mann, Whitney u. Pettit) keine Signifikanz beizumessen ist. Die Wahrscheinlichkeit für einen Bruch in der Mittelwertreihe liegt nach dem gleichen Test dagegen schon bei 96,5%. Die Reihe der Standardabweichungen weist einen noch größeren Sprung auf, die Wahrscheinlichkeit einer Inhomogenität lässt sich auf 97,5% schätzen; allerdings tritt der Bruch erst im Jahre 1976 ein. Tatsächlich handelt es sich nicht um abrupte Änderungen der Reihen, sondern um gleitende Übergänge zwischen den beiden Reihenabschnitten. Der Trendtest nach Alexandersson und Moberg belegt für die Mittelwerte eine Trendlänge von 10 Monaten, für die Standardabweichungen 27 Monate; für die Medianwerte wird der Übergang von diesem Test nicht erkannt. Zusammenfassend lässt sich folgern, dass in den Jahren zwischen 1964 und 1977 eine Veränderung der Häufigkeitsverteilung der Tageswerte des Niederschlags stattgefunden hat, die sich am besten als eine Erhöhung der Schiefe und Varianz definieren lässt. Die Erhöhung der arithmetischen Mittelwerte bei einer nicht signifikanten Veränderung des Medians ist wegen der einseitigen Beschränkung der Verteilung nur eine Folge dieser Vergrößerung von Schiefe und Varianz. Kurzum: Die Häufigkeit starker Niederschläge hat in den sechziger und siebziger Jahren zugenommen.

Allerdings ist einzuschränken, dass die nachgewiesenen Veränderungen gering sind im Vergleich zu regionalen Unterschieden. Zur Verdeutlichung soll ein Vergleich zweier Reihen der höchsten Tageswerte des jeweiligen Monats (Monatsmaxima) in Abbildung 3 dienen.

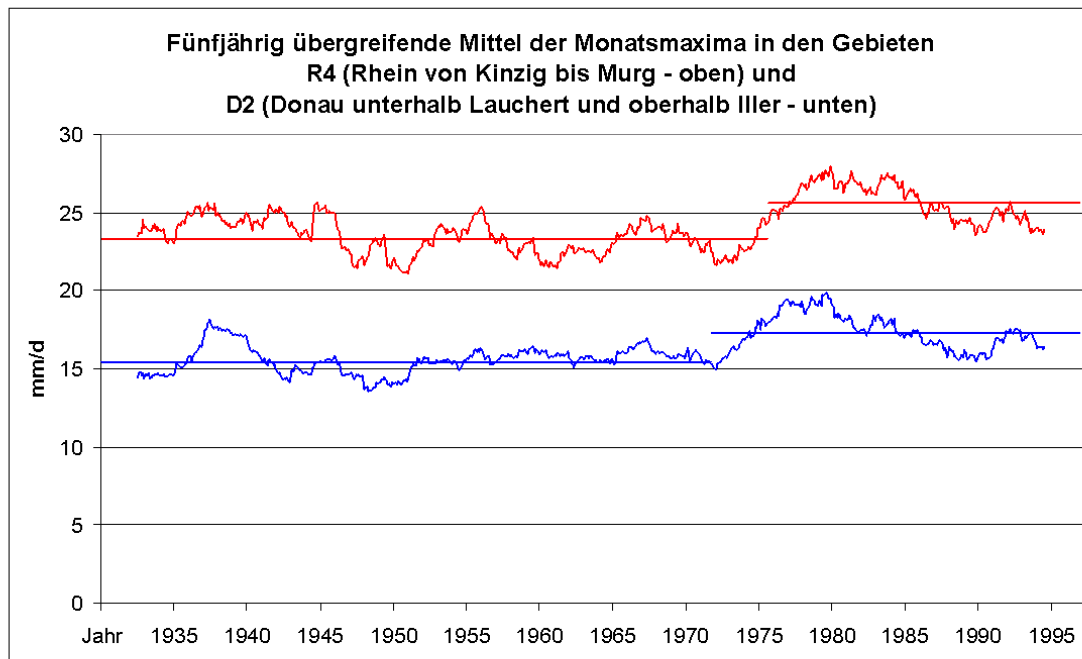


Abbildung 3

Während die Reihe der Monatsmaxima im Gebiet R4 (Rhein von Kinzig bis Murg) auf Grund der Exposition an der Westflanke des Schwarzwaldes im Mittel etwa 8 mm höhere Werte aufweist als das im Lee von Schwarzwald und Schwäbischer Alb gelegene Gebiet D2 (Donau unterhalb Lauchert und oberhalb Iller), betragen die Unterschiede innerhalb der Reihen infolge der mit 95% bzw. 97% Wahrscheinlichkeit nachweisbaren Inhomogenitäten 1976 bzw. 1972 nur etwa 2 mm.

Ein letzter Beleg für die Zunahme starker Niederschläge sei die Reihe der Überschreitungshäufigkeiten für den Schwellenwert von 15 mm/d – hier für das Gebiet N6 (Neckar zwischen Jagst und Mündung) –, die in Abbildung 4 dargestellt ist. Es ist zu bedenken, dass es sich hierbei nicht um Punktwerte  $\geq 15$  mm/d handelt, sondern um den Mittelwert in einem etwa 2000 km<sup>2</sup> umfassenden Areal. Auch wenn der Verlauf der Kurve durch relativ starke Variationen gekennzeichnet ist, lässt sich der Anstieg im Jahre 1976 um 0,3 Tage – mehr als 20% – pro Monat nicht übersehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich tatsächlich um eine Inhomogenität handelt, liegt nach Mann, Whitney und Pettit bei 94%.

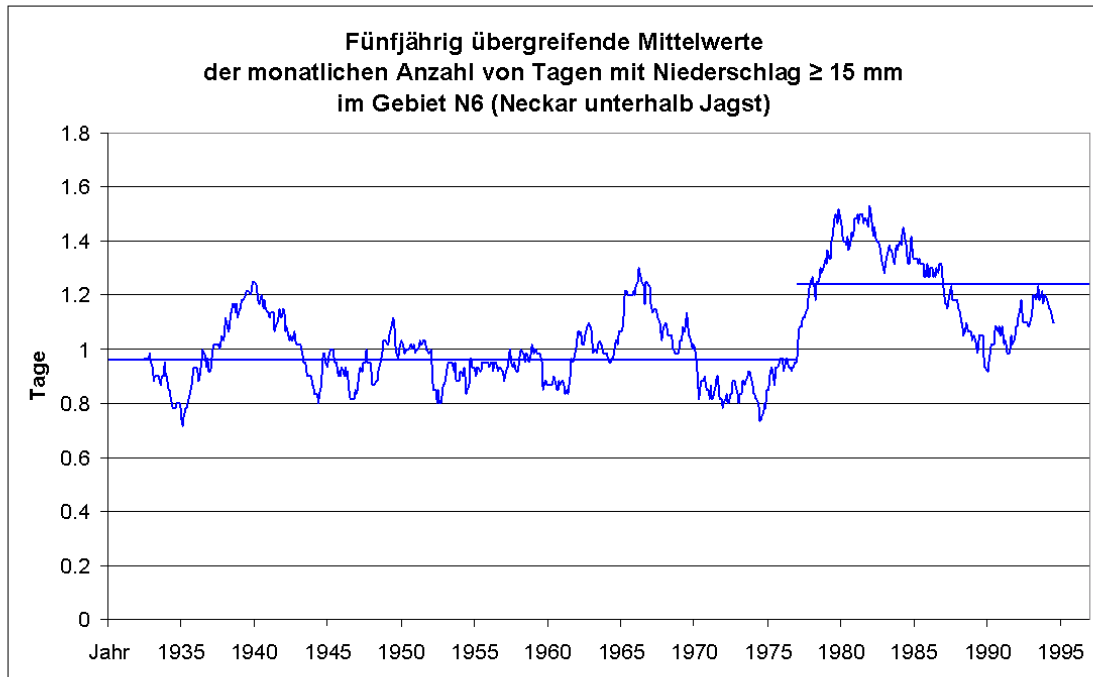


Abbildung 4

Ungeachtet der Tatsache, dass nicht in allen vorliegenden Reihen derart deutliche Brüche sichtbar werden, lässt sich doch ein gewisser Umbruch in der Zeit um 1970 nicht leugnen. Es stellt sich mithin die Frage nach den Gründen.

Zu Erhellung der Ursachen bieten sich natürlicherweise die Formen der atmosphärischen Zirkulation an. Basierend auf der jüngsten Fassung des Katalogs der Großwetterlagen in Mitteleuropa, herausgegeben von Gerstengarbe, Werner und Rüge, sind in Abbildung 5 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 zonaler und gemischter Zirkulationsformen beginnt, während die Häufigkeit meridionaler Zirkulationsformen zurückgeht.

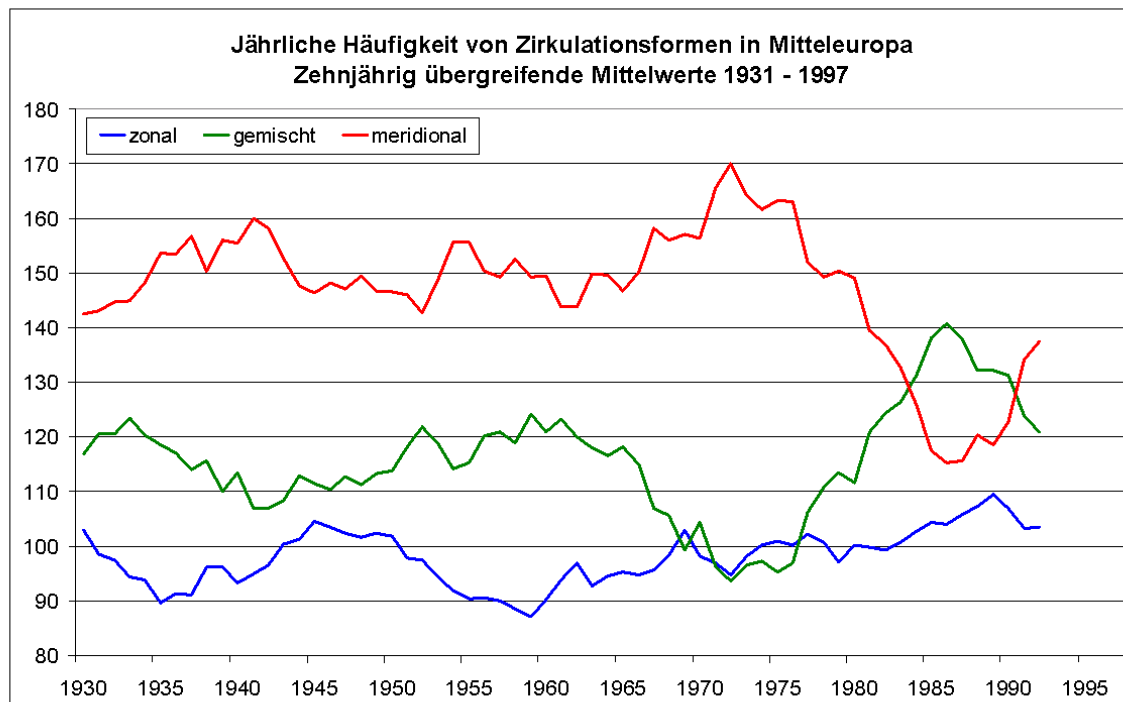


Abbildung 5

Eine stärkere Differenzierung dürfte sich ergeben, wenn sowohl die Häufigkeiten der Zirkulationsformen als auch die Monatswertreihen der statistischen Parameter nach Jahreszeiten getrennt werden. Derartige Untersuchungen sind für den weiteren Projektverlauf geplant. Sollten sich tatsächlich Zusammenhänge zwischen einer erhöhten Häufigkeit zonaler und gemischter Zirkulationsformen und der Vergrößerung der Varianz der täglichen Niederschlagshöhen, wie sie sich an den Monatsreihen ablesen lässt, ergeben, wäre damit die Grundlage für weiterführende Szenariountersuchungen gelegt.

---

**Literatur:**

- Alexandersson, H.: "A homogeneity test applied to precipitation data", J. of Climatology 6 (1986), S. 661-675
- Alexandersson, H. u. Moberg, A.: "Homogenization of swedish temperature data. Part 1: homogeneity test for linear trends" Internat. J. of Climatology 17 (1997), S. 25-34
- Buishand, T.A.: "Some methods for testing the homogeneity of rainfall records", J. of Hydrology 58 (1982), S. 11-27
- 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)
- Kremser, U. u. Reich, T.: "Die Bestimmung der Gebietsniederschlagshöhen mit der Methode der optimalen Interpolation am Beispiel des Selke-Einzugsgebietes" Z. Meteorol. 41 (1991)2, S. 122-129
- Mann, H.B.: "Nonparametric Tests against trend", Econometrica 13 (1945) S.245-259
- Pettit, A.N.: "A non-parametric approach to the change-point problem", Applied Statistics 28 (1979), S. 126-135
- Reich, T.: "Generation of homogeneous datasets of diurnal precipitation in a mesoscale grid", Proc. Of the 2<sup>nd</sup> European conference on applied climatology ECAC98 (1998), S. 145