



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

202

**Homogenitätsprüfung und Homogenisierung klimatologischer
Meßreihen im Deutschen Wetterdienst**

von
Jutta Herzog
Gerhard Müller-Westermeier



Zitationsvorschlag:

Herzog, Jutta; Müller-Westermeier, Gerhard: Homogenitätsprüfung und Homogenisierung klimatologischer Meßreihen im Deutschen Wetterdienst. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1998.

(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 202)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de

Mail: bibliothek@dwd.de

Deutscher Wetterdienst



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

202

**Homogenitätsprüfung und Homogenisierung
klimatologischer Meßreihen im Deutschen Wetterdienst**

von
Jutta Herzog und Gerhard Müller-Westermeier

Offenbach am Main 1998
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Zur Herstellung dieses Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

ISSN 0072-4130

ISBN 3-88148-336-5

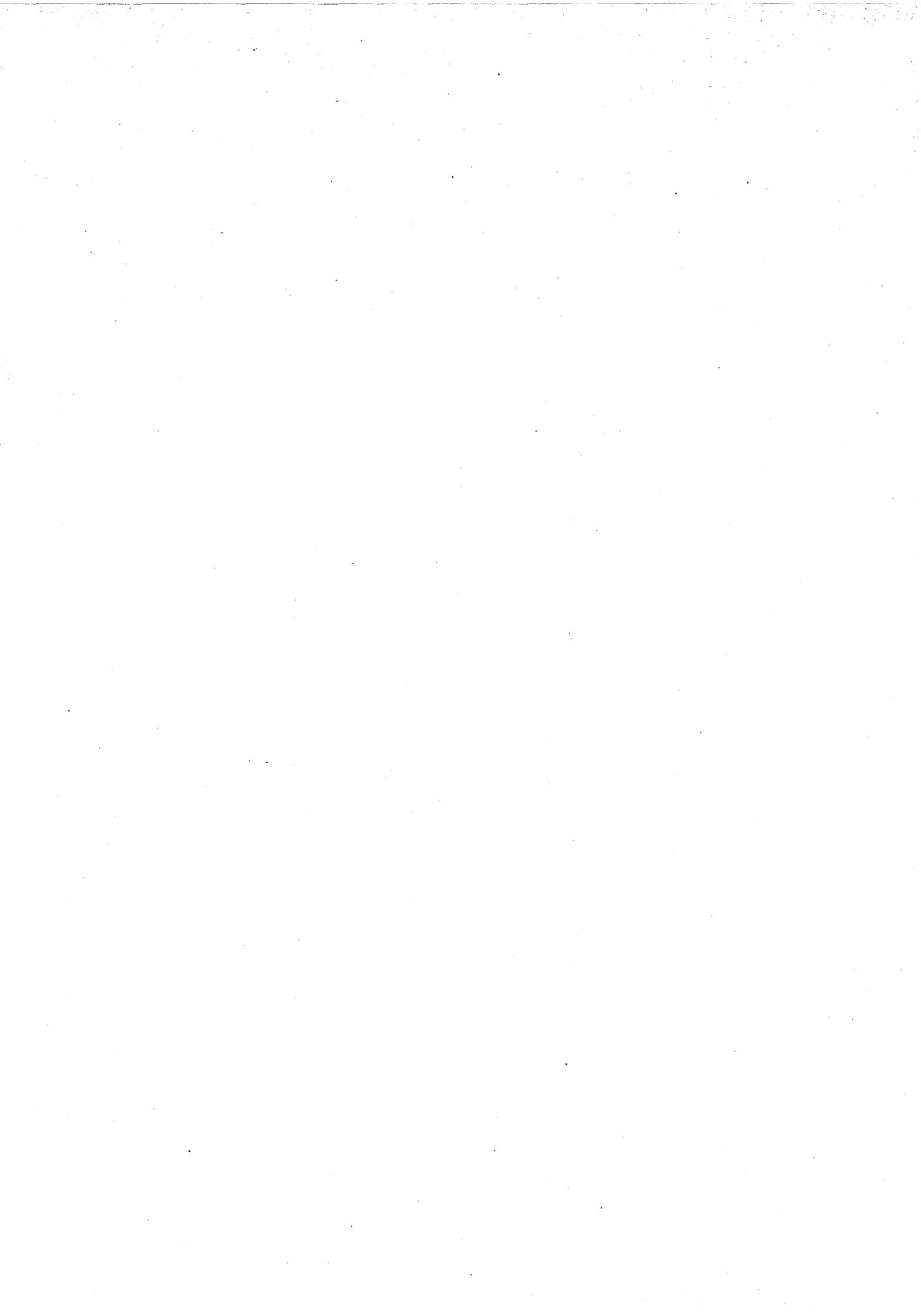
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Deutschen Wetterdienstes in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm, oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Herausgeber und Verlag:
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach am Main

Anschriften der Autoren:
Dipl.-Met. 'in Jutta Herzog
Dipl.-Met. Gerhard Müller-Westermeier
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach am Main

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung / Abstract	5
1 Einleitung	7
2 Grundsätze der Homogenitätsprüfung	7
2.1 Art der Homogenitätsprüfung	7
2.2 Vergleich verschiedener Homogenitätstests	8
2.3 Anwendung der Homogenitätsprüfung auf klimatologische Zeitreihen	9
3 Homogenitätsprüfung klimatologischer Meßreihen im Deutschen Wetterdienst	10
3.1 Prüfung klimatologischer Referenzperioden mit dem Buishandtest	10
3.2 Prüfung langer klimatologischer Meßreihen mit dem Alexanderssontest	19
3.3 Homogenisierung abgeleiteter Parameter	22
3.4 Geplantes weiteres Vorgehen	25
4 Literatur	26

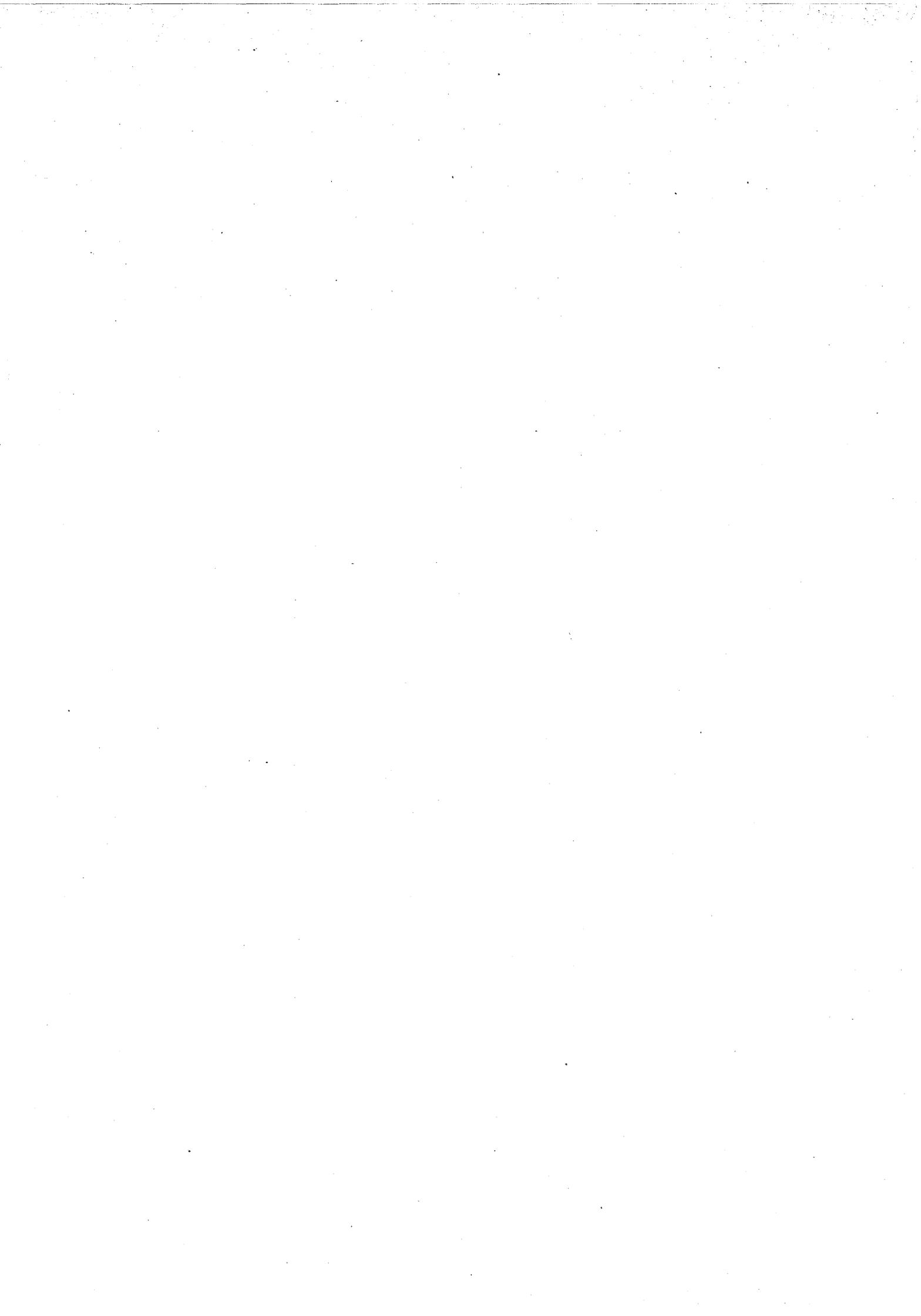


Zusammenfassung

Es werden die Verfahren zur Homogenitätsprüfung und Homogenisierung klimatologischer Meßreihen, die im Deutschen Wetterdienst verwendet werden, vorgestellt. Grundlage bilden die relativen Homogenitätstests nach Buishand und nach Alexandersson, die die Zeitreihe der Differenzen bzw. Quotienten der zu untersuchenden Zeitreihe und einer aus Nachbarstationen gebildeten Referenzreihe auf zeitliche Konstanz prüfen. Die Zeitreihen monatlicher Grundgrößen wie Mitteltemperatur und Niederschlagshöhe werden iterativ geprüft und homogenisiert, bis keine statistisch signifikanten Inhomogenitäten mehr auftreten. Zur Homogenisierung abgeleiteter Größen, wie der Zahl der Tage, an denen bestimmte Schwellenwerte der Grundgrößen überschritten werden, werden die Tageswerte der Grundgrößen mit Hilfe der Korrekturfaktoren für die Monatswerte modifiziert und die Monatskenngrößen aus den überarbeiteten Tageswerten neu abgeleitet.

Abstract

The homogeneity tests and homogenization procedures for climatological time series used in the Deutscher Wetterdienst are presented. Based on the relative homogeneity tests of Buishand and Alexandersson, which test the time series of the difference or of the quotient of the time series to be tested and a reference time series computed from neighbouring stations, the temporal homogeneity of basic monthly parameters like mean temperature and amount of precipitation are tested and homogenized iteratively until no further statistically significant inhomogeneity can be detected. To homogenize derived parameter like the number of days, when certain threshold values of the basic parameter are reached, the daily values of the basic parameter are modified by the correction factor for the monthly values and the monthly values are derived from the so processed daily values.



1 Einleitung

Zur Untersuchung von Klimavariationen und klimatischen Trends, insbesondere zur Erkennung einer möglichen anthropogenen Erwärmung und ihrer regionalen Ausprägung sowie zur Verifikation klimatologischer Modellrechnungen sind lange Meßreihen hoher Qualität für verschiedene meteorologische Parameter von grundlegender Bedeutung.

Als Basis zur Berechnung statistischer Kenngrößen klimatologischer Parameter für Referenzperioden sind ebenfalls homogene Meßreihen notwendig.

Leider sind die meteorologischen Meßreihen nicht nur durch die Variationen des Klimas, sondern auch durch nichtklimatische Veränderungen beeinflusst. Störungen in den vorhandenen Meßreihen durch Veränderungen in der Meß- und Auswertemethodik, durch Beobachterwechsel und durch Veränderungen in der Umgebung der Stationen sowie durch Stationsverlegungen liegen in der gleichen Größenordnung wie die zu erwartenden klimatischen Trends. Daher ist eine Erkennung solcher Inhomogenitäten und eine entsprechende Homogenisierung der Meßreihen Voraussetzung für ihre klimatologische Nutzung.

Grundsätzlich ist keine strenge Trennung zwischen Homogenitätsprüfung und Trendanalyse möglich, da in beiden Fällen nach Veränderungen im Verlauf der Zeitreihen gesucht wird. Ob es sich dabei um eine Inhomogenität, d. h. um eine nicht klimatisch begründete Beeinflussung der Zeitreihe oder um einen klimatischen Trend handelt, kann nur durch die an die statistische Analyse anzuschließende Ursachenforschung geklärt werden, wobei das Ergebnis gelegentlich nicht eindeutig sein wird.

Die Problematik der Homogenitätsprüfung, insbesondere der Ursachenanalyse, und der Homogenisierung meteorologischer Zeitreihen wird im folgenden anhand von Beispielen diskutiert.

2 Grundsätze der Homogenitätsprüfung

2.1 Art der Homogenitätsprüfung

Bei der Homogenitätsprüfung wird unterschieden zwischen der relativen und der absoluten Homogenitätsprüfung.

Während die absoluten Testverfahren sich nur auf die zu untersuchende Zeitreihe selbst stützen, wird bei der relativen Homogenitätsprüfung die zu untersuchende Zeitreihe mit einer Referenzreihe, die aus Nachbarstationen gebildet wird, verglichen. Sie ist besonders geeignet, Inhomogenitäten einzelner Stationen wie sie vor allem durch Stationsverlegungen verursacht werden, nachzuweisen, da man davon ausgehen kann, daß echte klimatische Veränderungen in einem einheitlichen Gebiet weitgehend gleichartig verlaufen und somit Abweichungen im Verlauf der Zeitreihen nur durch künstliche Veränderungen hervorgerufen worden sein können.

Die relative Homogenitätsprüfung versagt jedoch, wenn Inhomogenitäten durch zeitgleiche Veränderungen im gesamten Meßnetz in Folge von Änderungen in Beobachtungs- und Auswertungsvorschriften hervorgerufen werden. Außerdem ist das Verfahren nicht mehr durchführbar, wenn man sehr weit in die Vergangenheit zurückgeht, da dann nicht mehr genug gute Nachbarstationen vorhanden sind.

Zur Trendanalyse und Homogenitätsprüfung können neben speziellen Zeitreihentests grundsätzlich alle statistischen Tests verwendet werden, die zwei Stichproben miteinander vergleichen, wobei der Vergleich sukzessive auf verschiedene Teile der Zeitreihe, bzw. bei der relativen Homogenitätsprüfung auf die Differenz zwischen zu prüfender Reihe und Referenzreihe oder eine andere Größe zur Beschreibung der Beziehung zwischen den beiden Zeitreihen anzuwenden ist.

Es ist zu unterscheiden zwischen verteilungsabhängigen Tests, die nur auf normalverteilte Stichproben angewendet werden können, und verteilungsunabhängigen Tests. Die verteilungsabhängigen Tests haben i. a. eine größere Teststärke, jedoch ist die Vorbedingung der Normalverteilung in der Klimatologie oft nicht gegeben.

2.2 Vergleich verschiedener Homogenitätstests

In mehreren Untersuchungen (AUGTER, 1985; HERZOG, KALB, MÜLLER-WESTERMEIER, 1995) wurden zahlreiche Tests verglichen, insbesondere

- Abbe-Test,
- Craddock-Test,
- Mitchell-Test,
- Buishand-Test,
- Mann-Kendall-Trendtest,
- Progressive-Analysis-Trendtest,
- Worsley's Likelihood-Ratio-Test,
- Wald-Wolfowitz-Test,
- Cochran-Test,
- Hartley-Test,
- Bartlett-Test,
- Kolmogorow-Smirnow-Test,
- Schnelltest von Tukey,
- Trendtest von Cox und Stuart,
- H-Test von Kruskal und Wallis,
- U-Test von Mann-Whitney,
- Trendtest von Moore und Wallis,
- progressiver Mann-Kendall-Test,
- Test mit Hilfe des Spearmanschen Rangkorrelationstests,
- Lagetest von Rosenbaum,
- Dispersions-Trend-Test von Cox und Stuart,
- Kamat-Test,
- Rangdispersionstest von Siegel und Tukey,
- Moses-Test,
- Dispersionstest von Rosenbaum,
- Gleitender t-Test für die Konstanz des Mittelwerts,

- t-test zum Vergleich der Mittelwerte der zu testenden Zeitreihe und der Referenzzeitreihe,
- F-Test zum Vergleich der Varianz der zu testenden Zeitreihe und der Referenzzeitreihe,
- Helmert- und Abbe-Kriterium,
- Gleitender Chi-Quadrat-Test zum Vergleich der Häufigkeitsverteilungen von Teilen der Zeitreihe,
- Q-Test von Buishand,
- Alexanderssons Standard Homogenitätstest.

Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

Von den verteilungsabhängigen Tests zur Stationarität des Mittelwerts können primär als echter Zeitreihentest der Q-Test von Buishand und zusätzlich der t-Test verwendet werden. Der Zeitreihentest von Abbe und Worsley's Likelihood-Ratio-Test erwiesen sich als nicht so effektiv.

Zur Prüfung der Stationarität der Varianz sollten von den verteilungsabhängigen Tests der Cochran-Test und der F-Test verwendet werden, während Hartley-Test und Bartlett-Test weniger geeignet sind.

Bei den verteilungsunabhängigen Tests ist für die Prüfung der Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit ist gegenüber Kolmogorow-Smirnow-Test, Schnelltest von Tukey und Persistenztest von Wald und Wolfowitz dem Chi-Quadrat-Test der Vorzug zu geben.

Zur Prüfung der Stationarität des Mittelwerts sollten primär der Trendtest von Cox und Stuart sowie der H-Test von Kruskal und Wallis und der U-Test von Mann-Whitney benutzt werden, während der Trendtest von Moore und Wallis, der progressive Mann-Kendall-Test, der Test mit Hilfe des Spearmanschen Rangkorrelationstests und der nicht zeitreihenspezifische Lagetest von Rosenbaum weniger effektiv sind.

Für die verteilungsunabhängige Prüfung der Konstanz der Varianz sollten der Dispersions-Trend-Test von Cox und Stuart und der Kamat-Test benutzt werden. Die nicht zeitreihenspezifischen Tests (Rangdispersionstest von Siegel und Tukey, Moses-Test und Dispersionstest von Rosenbaum) erscheinen weniger geeignet.

In neueren Untersuchungen (HERZOG, KALB, MÜLLER-WESTERMEIER, 1995) ergab sich als effektivstes Homogenitätsprüfungs- und Homogenisierungsverfahren, der „Standard Normal Homogeneity Test“ nach Alexandersson (ALEXANDERSSON, 1986, ALEXANDERSSON und MOBERG, 1997), der auch international in der Klimatologie weit verbreitet ist.

2.3 Anwendung der Homogenitätsprüfung auf klimatologische Zeitreihen

Da bei den Einzelwerten sehr große Schwankungen auftreten können und sich Veränderungen in den nicht klimatologischen Einflußgrößen in Abhängigkeit von den Besonderheiten der individuellen Wetterlage sehr unterschiedlich auswirken können, ist eine Homogenisierung von Tageswerten oder gar einzelner Meßtermine im allgemeinen nicht möglich. Homogenisierbar sind normalerweise nur Summen- und Mittelwerte über einen mindestens einmonatigen Zeitraum. Daher werden in der Regel auch nur Zeitreihen von monatlichen oder jährlichen Kenngrößen auf Homogenität geprüft und homogenisiert.

Prinzipiell ist aber bei jeder meteorologischen Meßgröße (Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag usw.) für jede daraus abgeleitete klimatologische Kenngröße (bei der Temperatur z. B. Tagesmittelwert, tägliches Minimum und Maximum sowie Minimum am Erdboden) in Abhängigkeit von der Jahreszeit (d. h. für jeden Kalendermonat) zu den verschiedenen statistischen Kenngrößen (Mittelwert, Streuung, Perzentile der Häufigkeitsverteilung) eine Homogenitätsprüfung durchzuführen, denn die nicht klimatologischen Einflußgrößen können sich bei den einzelnen Meßgrößen, Jahreszeiten und statistischen Parametern unterschiedlich auswirken.

Dieser Aufwand ist so groß, daß man sich in der Praxis auf die Untersuchung einiger Schlüsselparameter beschränken muß, in der Hoffnung, mit der Homogenitätsprüfung dieser Kenngrößen die wesentlichen Störungen in den Meßreihen entdecken zu können.

An die statistische Analyse muß sich immer eine Suche nach den physikalischen Ursachen anschließen, wobei die Stationsgeschichte anhand der Stationsakten und ähnlicher Unterlagen genau zu untersuchen ist. Bei besonders gut dokumentierter Stationshistorie und systematischen Vergleichsmessungen bei jeder Veränderung des Meßortes, der Meßgeräte sowie des Meß- und Auswerteprogramms kann eine Homogenisierung eventuell sogar ohne statistische Analyse vorgenommen werden.

3 Homogenitätsprüfung klimatologischer Meßreihen im Deutschen Wetterdienst

3.1 Prüfung klimatologischer Referenzperioden mit dem Buishandtest

Im Deutschen Wetterdienst wurden Homogenitätsprüfungen zunächst für die international festgelegten klimatologischen Referenzperioden durchgeführt. Das Ziel war dabei nicht eine Homogenisierung der Meßreihen, sondern lediglich die Feststellung von Inhomogenitäten. Die inhomogenen Reihen wurden damit in homogene Teilzeiträume zerlegt. Die Mittelwerte der Teilzeiträume wurden mit Hilfe von Nachbarstationen mittels linearer Regression auf den Referenzzeitraum reduziert. Die Mittelwerte aus den verschiedenen Teilzeiträumen wurden auf ihre Brauchbarkeit für klimatologische Gutachten und zur Übertragung in den Raum (für Klimakarten) sowie für das Berichtswesen untersucht und darauf aufbauend der optimale Teilzeitraum als Basis für die offiziellen Referenzwerte ausgewählt.

Als statistische Basis diente hierbei der Q-Test von Buishand, bei dem der Extremwert der kumulativen Abweichung der Werte einer Zeitreihe von ihrem Mittelwert zur Festlegung einer Inhomogenität benutzt wird (BUISHAND, 1982). Untersucht wurden dabei Zeitreihen der Differenzen bzw. der Quotienten der zu prüfenden Zeitreihe und einer Referenzreihe.

Es wird jeweils der Extremwert Q der standardisierten kumulativen Abweichungen auf Signifikanz geprüft:

$$Q/\sqrt{n} > K(n, sig)$$

K: Signifikanzgrenze (tabelliert in Buishand, 1982)

n: Anzahl der Werte in der Zeitreihe
sig: Irrtumswahrscheinlichkeit

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}|$$

k: laufender Index in der Zeitreihe

Dabei ist

$$S_k^{**} = S_k^* / \sigma$$

σ : Standardabweichung der Zeitreihe

wobei

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})$$

y_i : Einzelwerte der Zeitreihe

\bar{y} : Mittelwert der Zeitreihe

k: Laufindex über die gesamte Zeitreihe

Das Verfahrensprinzip ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

Da der Test jeweils nur den Zeitpunkt der maximalen Inhomogenität liefert, muß der Test mit den sich ergebenden Teilzeiträumen erneut durchgeführt werden bis sich keine Inhomogenitäten mehr finden oder die Teilzeitreihen für eine sinnvolle Analyse zu kurz werden (weniger als 10 Jahre).

Es wurden die Parameter Tagesmitteltemperatur, Niederschlagshöhe und Sonnenscheindauer untersucht, wobei jeweils die Jahresmittelwerte bzw. -summen statistisch geprüft wurden und die Monatswerte reduziert wurden.

Im allgemeinen wurde die Reihe der Differenzen geprüft. Lediglich für den Parameter Niederschlag wurde die Quotientenreihe analysiert.

Die Referenzreihe wurde als Mittelwert aus den 10 besten Nachbarstationen gebildet, wobei die Kriterien der horizontale Abstand und die vertikale Höhendifferenz waren.

Es werden dabei Grenzwerte für die Suche nach Nachbarstationen angegeben. Falls nicht genug Stationen gefunden werden, wird der Suchbereich um eine wählbare Schrittweite erweitert und die Suche erneut durchgeführt.

Die horizontalen und vertikalen Grenzwerte wurden je nach untersuchtem Parameter unterschiedlich gewählt. So kann der horizontale Abstand bei der Temperatur aufgrund der starken räumlichen Korrelation relativ groß sein, während die vertikale Höhendifferenz möglichst klein sein sollte, da Inversionen den zeitlichen Verlauf von Temperatur-

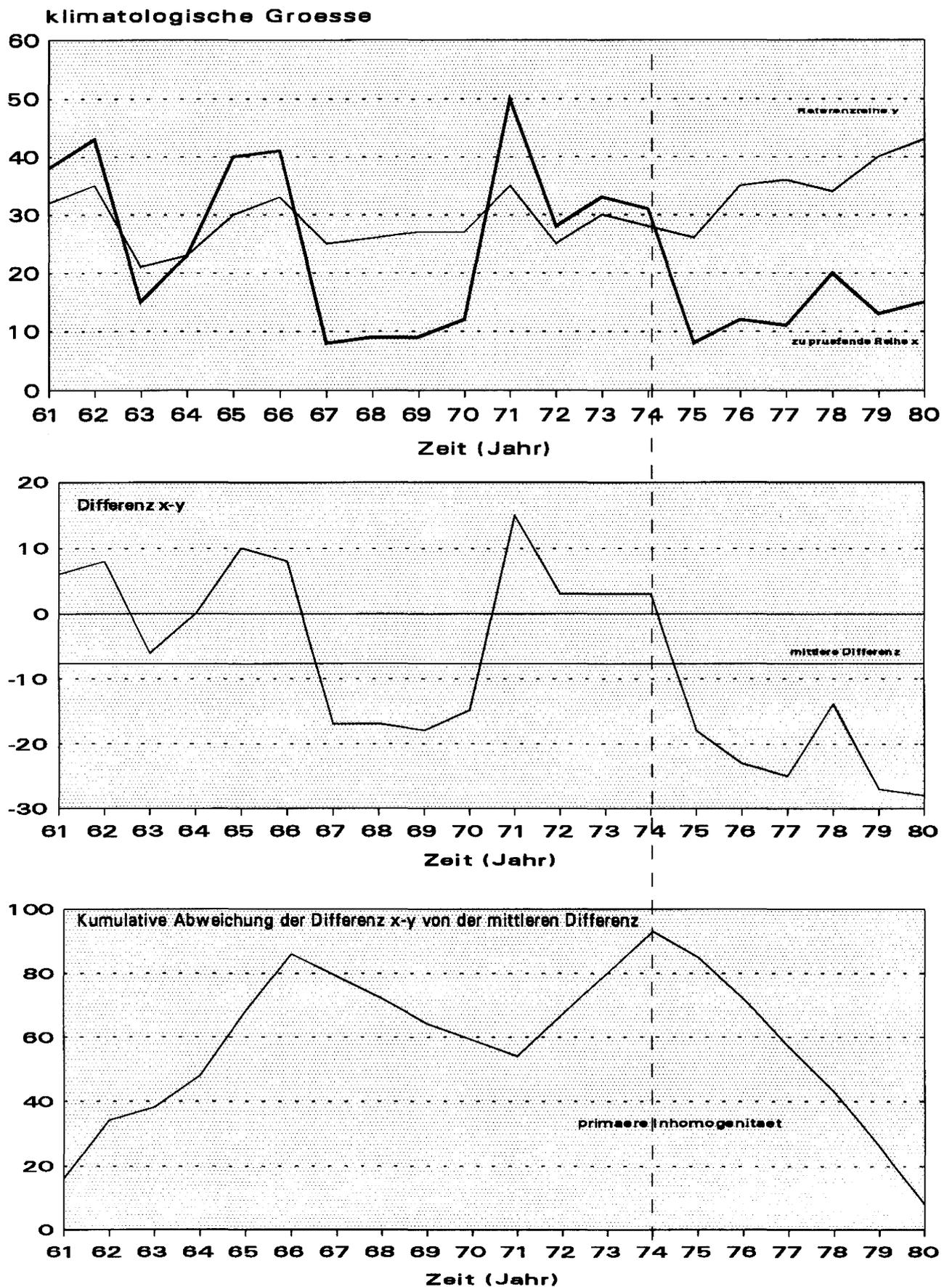


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Homogenitätsprüfung mit dem Buishandtest

Abbildung 2: Nachbarstationen und Ergebnis der Repräsentanz- und Homogenitätstests für die Jahresmitteltemperatur der Station Bad Dürkheim

 Homogenitäts- und Repräsentanzprüfung

ueberpruefte Station

Stationsnr.	Stationsname	Koordinaten in Grad,Min Breite	Laenge	Hoehe ueber NN in Metern	Zeitraum
2656	DUERKHEIM,BAD	4928	810	138	1952 - 1990

Vergleichsstationen

Stationsnr.	Stationsname	Koordinaten in Grad,Min Breite	Laenge	Hoehe ueber NN in Metern	Zeitraum
2274	KREUZNACH,BAD	4951	751	159	1947 - 1990
2613	MAINZ	4959	816	125	1948 - 1990
2664	BENSHEIM	4941	838	140	1947 - 1990
2504	GERNSHEIM-ALLMENDFELD	4945	829	90	1956 - 1990
2635	WORMS	4938	823	91	1936 - 1990
2662	DARMSTADT (WST)	4951	836	108	1949 - 1987
2688	BERGZABERN,BAD	4906	800	180	1947 - 1990
2693	HEIDELBERG	4925	840	110	1935 - 1990
2695	MANNHEIM (WEWA)	4931	833	96	1936 - 1990
2698	KARLSRUHE (WST)	4902	822	112	1876 - 1990

Element : Tagesmitteltemperatur
 Bearbeitungszeitraum : 1961 - 1990

 Ergebnisse

Repraesentanzpruefung : Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% sind die Beobachtungen nach dem
 Mann-Whitney-U-Test : repraesentant Kolmogorov-Smirnov-Test : repraesentant Mittelwerttest : repraesentant

Mittelwert der Stationsreihe : 9.85
 Mittelwert der Gebietsmittelreihe : 10.10

Der Koeffizient der linearen Korrelation von Stationsreihe und Gebietsmittelreihe = .90

Homogenitaetspruefung : Die Reihe ist inhomogen
 Der Extremwert der kumulativen Abweichungen tritt 1974 auf

Eine Optimierung ist nicht moeglich, dazu gibt es zu wenig Stationen : N = 10 KS = 10

meßreihen entkoppeln können. Beim Niederschlag sollte hingegen der horizontale Abstand möglichst gering sein, da insbesondere bei konvektiven Niederschlägen die horizontalen Unterschiede schon auf kleinstem Raum sehr groß werden können. Der vertikale Höhenunterschied ist andererseits in mitteleuropäischem Klima beim Niederschlag fast ohne Bedeutung, solange man unterhalb der niederschlagsbildenden Wolken bleibt.

Bei sehr ruhigem Zeitreihenverlauf findet das Testverfahren oft auch Inhomogenitäten, die nur zu sehr geringen Unterschieden in den Mittelwerten vor und nach der Inhomogenität führen. Diese Inhomogenitäten sind zwar statistisch signifikant, für die praktische klimatologische Nutzung der Zeitreihe jedoch ohne Belang.

Um solche unwesentlichen von klimatologisch bedeutsamen Inhomogenitäten zu unterscheiden, wurden als weiteres Prüfkriterium die Größe der Differenz der auf einen gemeinsamen Referenzzeitraum reduzierten Teilzeiträume vor und nach der Inhomogenität eingeführt. Für die Temperatur wurde eine statistisch signifikante Inhomogenität nur dann als wesentlich klassifiziert, wenn die reduzierten Jahresmittelwerte sich um mehr als 0.2 K unterschieden, oder bei einem Monatsmittelwert die Differenz 0.5 K erreichte.

Beim Niederschlag wurde als Kriterium für die praktische Bedeutung der Inhomogenität eine Differenz zwischen den reduzierten mittleren Jahresniederschlägen von 100 mm oder 10% festgelegt. Bei der Sonnenscheindauer lautete das Kriterium 100 Stunden oder 10%.

Beispielhaft ist die Homogenitätsprüfung der Jahresmitteltemperatur der nebenamtlichen Klimastation Bad Dürkheim in den Abbildungen 2–7 dargestellt.

Abbildung 2 zeigt die für die Referenzreihe ausgewählten Nachbarstationen und das Ergebnis des Homogenitätstests und mehrerer Tests, die die Repräsentanz einer Station relativ zu den Nachbarstationen abschätzen. Abbildung 3 stellt den zeitlichen Verlauf der zu prüfenden Meßreihe im Vergleich zur Referenzreihe dar. Die Inhomogenität ist hier noch weitgehend durch die starke Unruhe der Zeitreihen verdeckt. In Abbildung 4 ist die Zeitreihe der Differenzen zwischen der zu prüfenden Reihe und der Referenzreihe dargestellt. Die Inhomogenität ist nun schon deutlich erkennbar. Abbildung 5 zeigt schließlich die kumulativen Abweichungen. Die Inhomogenität im Jahre 1974 ist hier durch ein auffälliges Minimum markiert. Das Ergebnis der Homogenitätsprüfung mit den Angaben zur Ursache der Inhomogenität, die sich aus dem Studium der Stationsakten ergibt, wird in einer Karteikarte zusammengefaßt (Abbildungen 6 und 7). Wie häufig finden sich zwar einige Anlässe für Inhomogenitäten (Verlegungen 1977, 1987 und 1988), für den festgestellten Zeitpunkt der Inhomogenität läßt sich aber nur ein Beobachterwechsel nachweisen. Erst 3 Jahre später treten Verlegungen auf, die als Ursache für die Inhomogenität der Temperaturmeßreihe in Betracht kommen könnten.

Leider ist diese unsichere Nachweislage typisch für viele Stationen. Häufig sind die Stationsakten so unvollständig, daß die Ursache der Inhomogenitäten nicht festgestellt werden konnte.

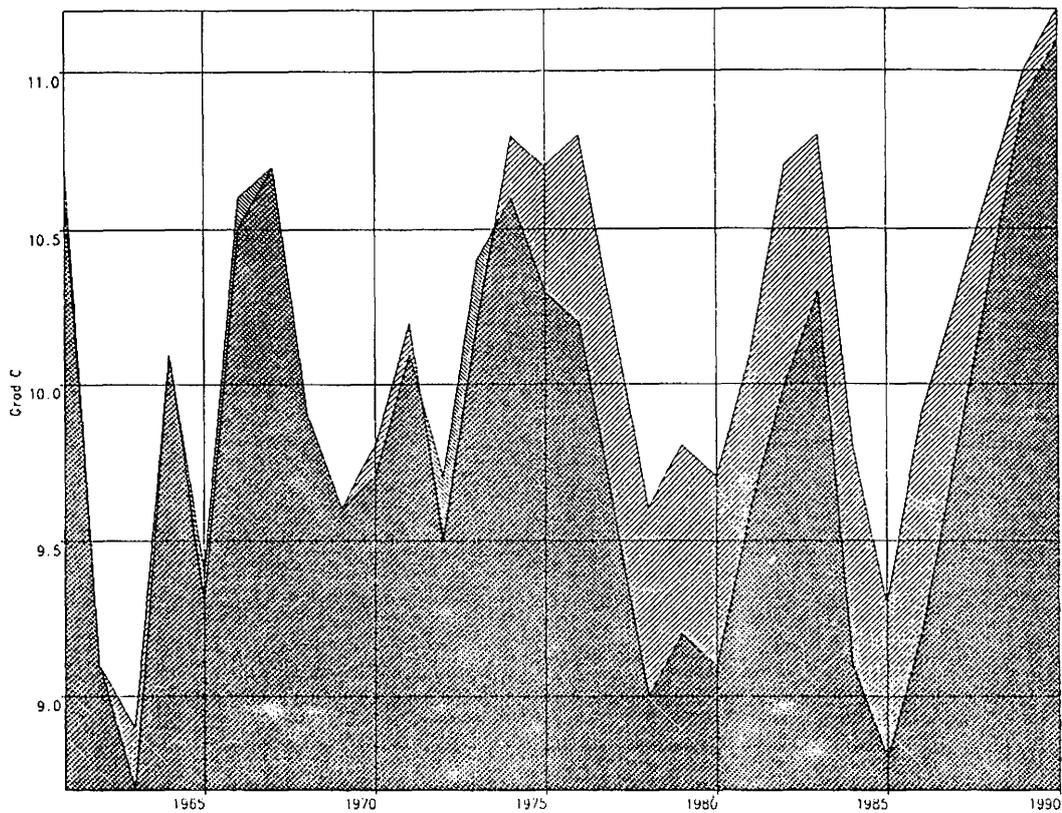


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der zu prüfenden Meßreihe und der Referenzreihe für die Jahresmitteltemperatur der Station Bad Dürkheim

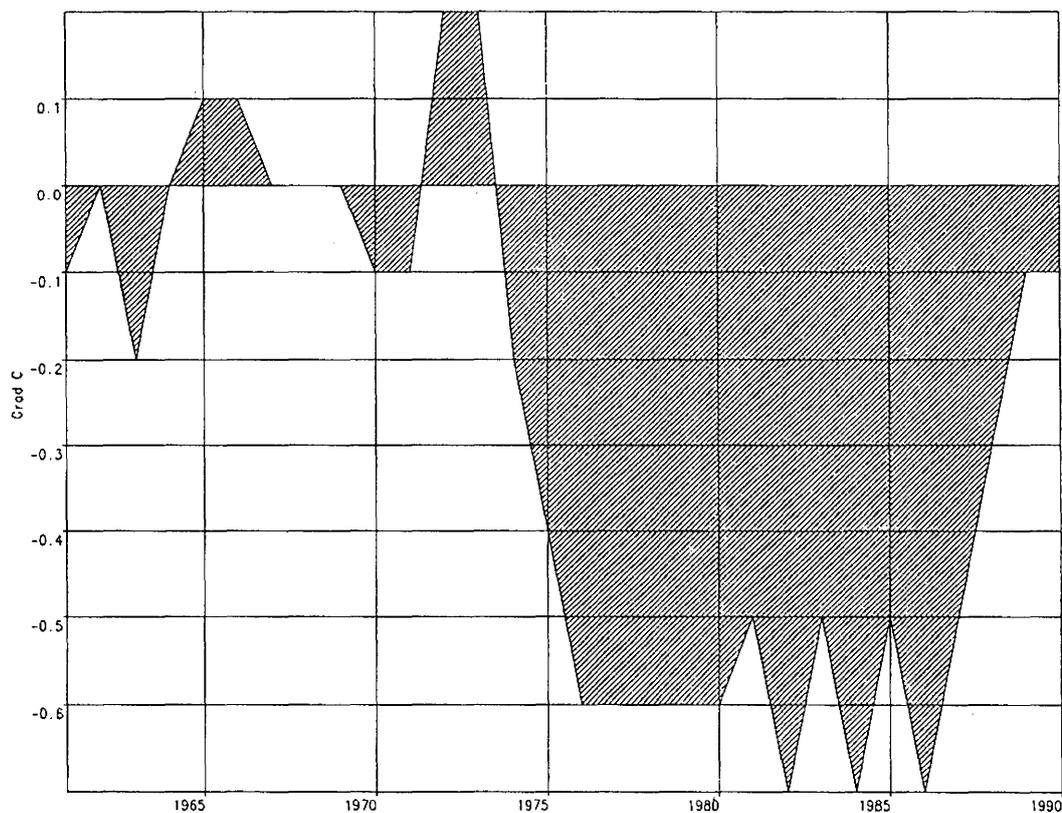


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Differenz zwischen der zu prüfenden Meßreihe und der Referenzreihe für die Jahresmitteltemperatur der Station Bad Dürkheim

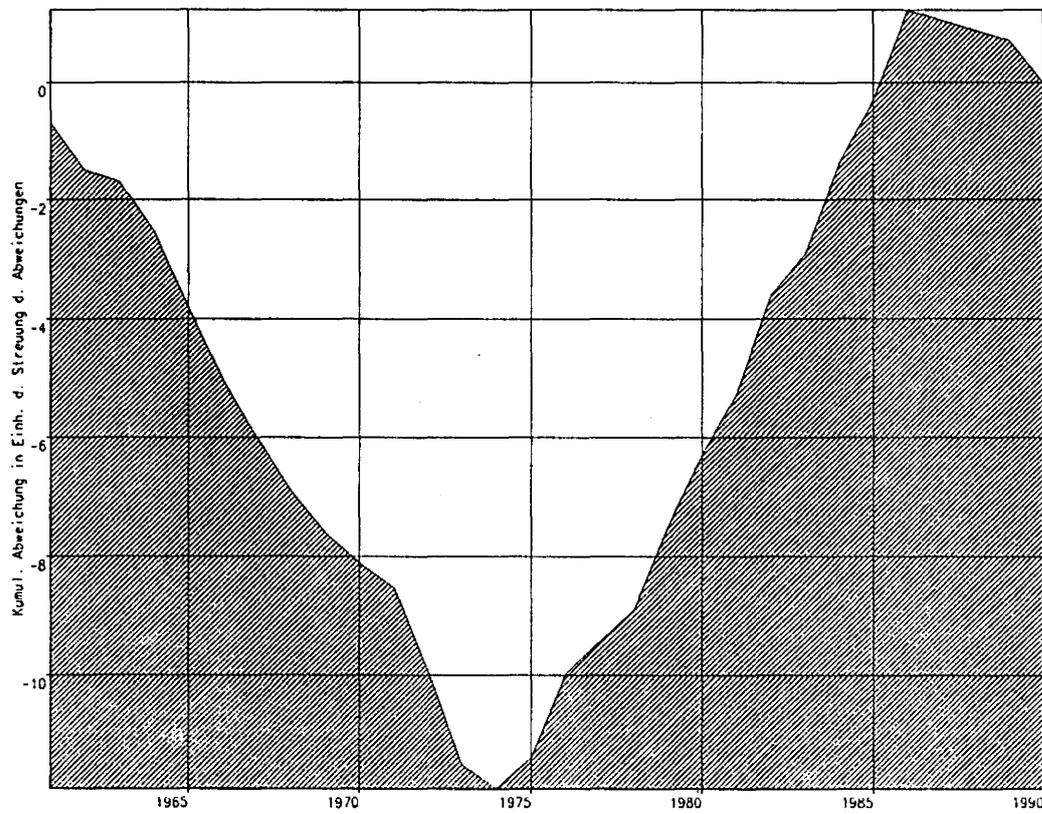


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der kumulativen Abweichungen zwischen der zu prüfenden Meßreihe und der Referenzreihe für die Jahresmitteltemperatur der Station Bad Dürkheim

Abbildung 6: Seite 1 der Karteikarte mit den Ergebnissen der Repräsentanz- und Homogenitätsprüfung

WA	STATIONSNAME	STAT.-NR.	ELEMENT	PARAMETER
TR	Dürkheim, Bad	2656	Temperatur	Jahresmittel
BEARBEITUNGSZEITRAUM: 1961-1990				
REPRÄSENTANZPRÜFUNG		ERLÄUTERUNGEN		
REPRÄSENTANT <input checked="" type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEIN				
HOMOGENITÄTSPRÜFUNG				
INHOMOGENITÄTEN <input type="checkbox"/> NEIN <input checked="" type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> GERING				
		s. RÜCKSEITE		
		<input checked="" type="checkbox"/> WESENTLICH		
REDUKTIONSZEITRÄUME: 1961-1974 / 1975-1980				
ANWENDUNGSBEREICH	ZEITRAUM	STATIONS-LAGE: 49°28' 08"10'		
BERICHTSWESEN		Bad Dürkheim liegt am Austritt des Isenbachtals aus dem Pfälzer Wald in der Rheinebene. Das geschlossene Waldgebiet reicht bis fast an die Ortsgrenze heran. Soweit nicht Wald vorhanden ist, wird das von W nach E abfallende Gelände als Weinanlage genutzt. Die Station liegt am SE-Rand des nach NW auf fast 500 m NN ansteigenden Heidenfelses/Peterkopfes. Die Thermometerhütte ist ca. 700 m NE des vorherigen Standortes im Gartengelände der Beobachterin aufgestellt. Aufgrund der unterschiedlichen topographischen Verhältnisse ist ein Sprung in der langen Reihe zu erwarten.		
GUTACHTEN				
KARTEN				
BEFRAGUNG D. WA		ANSCHREIBEN:	AZ:	
ERGEBNIS:		ANTWORT:	AZ:	

Abbildung 7: Seite 2 der Kartelkarte mit den Ergebnissen der Repräsentanz- und Homogenitätsprüfung

LISTE DER INHOMOGENITÄTEN		
ZEITPUNKT	AUSWIRKUNG	URSACHE
1974	Temperaturabnahme	<p>Am 20. 4. 77 wurde die Station von der Kläranlage nach Dr. Kaufmann Str. 4 verlegt.</p> <p>Am 16. 7. 77 Verlegung nach Weinstr.-Süd 79.</p> <p>Am 13. 9. 77 wurden die Beobachtungen an der jetzigen Station wegen Unfähigkeit des Beobachters eingestellt.</p> <p>Am 26. 11. 77 wurde ein neuer Beobachter gefunden und die Station in die Sonnenwendstr. 90 verlegt.</p> <p>Da auch dieser Beobachter ausschied, ruhte die Station vom 21. 10. 87 (nach nochmaliger Verlegung) bis 14. 4. 88 und wurde dann in die Sonnenwendstr. 18 verlegt.</p>
BEMERKUNGEN		
Am 1. 1. 74 Beobachterwechsel		

3.2 Prüfung langer klimatologischer Meßreihen mit dem Alexanderssonstest

Inzwischen wurde auch die Homogenitätsprüfung längerer klimatologischer Zeitreihen in Angriff genommen. Verfahren hierfür wurden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts zur Aufbereitung langer meteorologischer Zeitreihen für klimatologische Zwecke entwickelt.

Als Grundlage wird der Alexanderssonstest (Standard Normal Homogeneity Test [SNHT]) verwendet. Er wird auf die Zeitreihe der Differenzen oder Quotienten der Werte der zu untersuchenden Zeitreihe und einer Referenzreihe angewendet.

Der Test prüft die standardisierte Zeitreihe

$$z_i = \frac{q_i - \bar{q}}{S_q}$$

mit

S_q : Streuung der q_i

und

$$q_i = \frac{b_i}{a_i}$$

oder

$$q_i = b_i - a_i$$

wobei

b_i : Elemente der zu testenden Zeitreihe

a_i : Elemente der Referenzzeitreihe

Die Testgröße ist

$$T_0 = \max_{1 \leq v \leq n} \{T_v\} = \max_{1 \leq v \leq n} [v\bar{Z}_1^2 + (n-v)\bar{Z}_2^2]$$

mit

$$\bar{Z}_1(v) = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v z_i$$

und

$$\bar{Z}_2(v) = \frac{1}{n-v} \sum_{i=v+1}^n z_i$$

Der Zeitpunkt der Inhomogenität ist dann

$$v_0 = (v \text{ für } t_v = \max)$$

Die Referenzreihe wird wie bei der Prüfung der Referenzzeiträume aus den Zeitreihen von Nachbarstationen bestimmt. Dabei werden nur Nachbarstationen berücksichtigt, die für den ganzen zu untersuchenden Zeitraum vorliegen, da sonst durch das Hinzukommen oder Wegfallen einzelner Stationswerte Inhomogenitäten in der Referenzreihe auftreten können.

Auch der Alexanderssontest kann jeweils nur die stärkste Inhomogenität einer Zeitreihe erkennen. Er liefert aber neben dem Zeitpunkt der Inhomogenität auch die notwendige Korrektur zur Homogenisierung der Zeitreihe. Die Reihe wird daher entsprechend der gefundenen Inhomogenität korrigiert und erneut geprüft, so daß eine zweite Inhomogenität gefunden werden kann. Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis die Zeitreihe entsprechend der gewählten statistischen Signifikanzgrenze homogen ist.

Das Verfahren wird auf die Zeitreihen der verschiedenen Monatswerte angewendet. Am Anfang und am Ende der Zeitreihen wird das Testergebnis unzuverlässig, weil die eine der beiden zu vergleichenden Teilzeitreihen so kurz wird, daß sich Einzelereignisse in unvertretbarer Weise bemerkbar machen können. Das Testergebnis kann auch von Monat zu Monat variieren sowohl in Bezug auf die Erkennung einer Inhomogenität überhaupt als auch auf den Zeitpunkt innerhalb der Zeitreihe.

Daher kann die Homogenitätsprüfung nicht automatisch erfolgen. Vielmehr ist eine Überarbeitung erforderlich, damit das Ergebnis in sich konsistent wird. Dabei sind alle verfügbaren Metadaten, insbesondere die Stationsakten zu Rate zu ziehen. Inhomogenitäten in den ersten und letzten 5 Jahren der Zeitreihe werden übergangen, wenn die Metadaten keine eindeutigen Hinweise auf Inhomogenitäten geben. Ansonsten werden die berechneten Termine der Inhomogenitäten den Ereignissen aus der Stationsgeschichte, die die wahrscheinliche Ursache darstellen, angepaßt. Falls keine Ursache gefunden werden kann, wird einheitlich der am häufigsten auftretende, bzw. der mittlere Termin gewählt. Sofern in einzelnen Monaten keine signifikante Inhomogenität erkannt wurde, werden die Korrekturwerte der benachbarten Monate übernommen.

Zur Zeit werden die mittlere Tagesmitteltemperatur und die Niederschlagshöhe aller Meßreihen, die vor 1900 beginnen, bearbeitet. Um genügend Nachbarstationen zur Bildung der Referenzreihe zur Verfügung zu haben, wird bei der Niederschlagshöhe jeweils der Zeitraum ab 1891 geprüft. Bei der Temperatur konnte die zu untersuchende Periode auf die Zeit ab 1881 ausgedehnt werden.

Die Ergebnisse werden zunächst tabellarisch zusammengetragen, wobei alle bekannten Besonderheiten der Stationsgeschichte aufgelistet werden.

Ein Beispiel für die Homogenitätsprüfung von Zeitreihen der Temperatur zeigt Abbildung 8 mit der nebenamtlichen Klimastation Herford. Es treten in den verschiedenen Monaten insgesamt 5 Inhomogenitätsphasen auf (1887–97, 1934, 1941–47, 1953–57, 1978–84). Während die Inhomogenität 1934 nur in einem Monat (November) auftritt, und daher als zufälliges Ereignis anzusehen ist, wie es bei 10prozentiger Irrtumswahrscheinlichkeit auch bei einer homogenen Reihe gelegentlich auftritt, sind die Inhomogenitäten am Ende des vorigen Jahrhunderts und in den Vierziger- und Fünfzigerjahren unseres Jahrhunderts offenbar wesentlich.

Abbildung 8: Beispiel für das Ergebnis der Homogenitätsprüfung von Monatswerten einer langen Temperaturreihe

Inhomogenitäten der Station
1524 Herford
Zeitraum 1881-1996
Monatsmitteltemperaturen

Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
automatische Korrekturen											
				1887/-0.6	1886/-0.6	1886/-0.7		1897/-0.3	1897/-0.2		
										1934/0.3	
1941/0.3	1943/0.2						1945/0.5	1947/0.3			
			1957/0.4	1953/0.4	1953/0.5	1955/0.5			1953/0.3		1955/0.2
		1983/0.4				1984/0.4		1978/0.2			
endgültige manuell überarbeitete Korrekturen											
		1891/-0.2	1891/-0.4	1891/-0.6	1891/-0.6	1891/-0.6	1890/-0.4	1890/-0.3	1890/-0.2		
1957/0.2	1956/0.2	1956/0.3	1956/0.4	1956/0.4	1956/0.5	1956/0.5	1956/0.5	1956/0.4	1956/0.3	1956/0.2	1956/0.2

(Jahr der Inhomogenität / Korrektur (K) bei der Homogenisierung)

Ursache der Inhomogenität: 1891: Verlegung (Einrichtung einer Station 3. Ordnung auf dem Gelände der neu erbauten Bürgerschule) am 01. 12. 1890
1957: Beobachterwechsel am 01. 02. 1957

Weitere Besonderheiten der Stationsgeschichte:

- 01. 09. 1882: Einrichtung einer Station 2. Ordnung
- 15. 09. 1883: Verlegung
- 01. 04. 1885: Verlegung
- 01. 01. 1890: Verlegung
- Ab 01. 12. 1890: Nur noch Niederschlagsmeßstelle (bis 07. 11. 1944)
- 01. 01. 1895: wieder Station 2. Ordnung
- 01. 10. 1900: Wegen Neubauten wird die Hütte geringfügig versetzt.
- 01. 10. 1908: Wegen weiterer Bebauung nochmalige Versetzung der Hütte
- 10. 07. 1927: Beobachterwechsel
- 03. 07. 1928: Verlegung
- Nach Kriegsende wurde das Wohnhaus des Beobachters durch die britische Besatzungsmacht beschlagnahmt. Die Beobachtungen konnten nur unter schwersten Bedingungen durchgeführt werden. Das Beobachtungsmaterial von Dezember 1944 bis April 1946 ging bis auf wenige Niederschlagsbeobachtungen verloren.
- 13. 07. 1974: Verlegung innerhalb des Geländes
- 01. 06. 1984: Beobachterwechsel

Für die erste Inhomogenität finden sich auch Ursachen in den Stationsakten (größere Verlegung 1891, weitere Verlegung 1890). Für den zweiten größeren Inhomogenitätsbereich läßt sich leider nur ein Beobachterwechsel 1957 nachweisen, so daß die Inhomogenität auf diesen Termin festgelegt wird, obwohl dieses Ereignis als Ursache für die Inhomogenität unbefriedigend erscheint. Die Inhomogenitäten 1978–84 zeigen wieder zufälligen Charakter. Teilweise (z. B. im März) dürften sie auf eine unrichtige Terminierung der Inhomogenität 1957 zurückzuführen sein.

Während viele Inhomogenitäten in allen Jahreszeiten nachzuweisen sind (im Beispiel 1957), finden sich auch immer wieder Inhomogenitäten, die nur in einzelnen Jahreszeiten auftreten, wobei der Sommer besonders oft hervortritt. Dies kann in Veränderungen des Strahlungsschutzes der Thermometer, die sich im Sommer besonders stark auswirken, begründet sein. Teilweise mag es aber auch durch die im Vergleich zu den Wintermonaten insgesamt geringere Schwankung der sommerlichen Monatsmitteltemperaturen und dem damit verbundenen besseren Signal/Rausch-Verhältnis verursacht sein.

Abbildung 9 zeigt ein typisches Beispiel für die Homogenitätsprüfung einer Niederschlagsmeßreihe mit der Niederschlagsstation Hilden. Es finden sich im Vergleich zu den Temperaturmeßreihen insgesamt weniger Inhomogenitäten, wobei ein deutliches Häufigkeitsmaximum im Winterhalbjahr festzustellen ist. Hierfür sind sicherlich zu einem großen Teil die Besonderheiten der Messung festen Niederschlags verantwortlich, da sich Veränderungen in der Stationslage und in der Stationsumgebung sowie in der Sorgfalt der Messungen bei der Schneemessung besonders stark auswirken. Eine andere Ursache für das Wintermaximum der Inhomogenitäten dürften die sommerlichen Starkniederschläge sein, die in zu einem schlechten Signal/Rausch-Verhältnis führen.

Typisch an dem gezeigten Beispiel ist leider auch, daß sich die Ursachen der Inhomogenitäten nicht feststellen lassen, da bei den Niederschlagsstationen recht häufig überhaupt keine Hinweise in den Stationsunterlagen zu finden sind.

Aufbauend auf den festgestellten Terminen und Korrekturfaktoren der Inhomogenitäten werden die Meßreihen der monatlichen Mitteltemperatur und der Niederschlagshöhe an die gegenwärtige Stationslage angepaßt. Diese homogenisierten Meßreihen werden in einem gesonderten Archiv zusammengefaßt. Sie sollen die Basis für weitergehende Untersuchungen bilden, und bei der Abgabe von Daten an externe Nutzer soll grundsätzlich auf diese aufgearbeiteten Zeitreihen zurückgegriffen werden, um dem Anwender aufwendige eigene Prüfungen zu ersparen und ihn vor Fehlschlüssen zu schützen, die zu erwarten sind, wenn die Entstehungsgeschichte der Daten nicht genau bekannt ist.

3.3 Homogenisierung abgeleiteter Parameter

Neben den Zeitreihen von Mittelwerten der klimatologischen Grundgrößen sind Zeitreihen abgeleiteter Größen wie der Anzahl von Frosttagen, Eistagen, Sommertagen, Tagen, an denen eine bestimmte Niederschlagshöhe überschritten wurde, u.ä. von großer Bedeutung.

Bei der Homogenisierung dieser Zeitreihen stellen sich besondere Probleme. Zum einen finden sich nicht sehr viele lange Reihen dieser Parameter, so daß die Auswahl von

Inhomogenitäten der Station
78384 Hilden
Zeitraum 1891-1995
Niederschlagshöhe

Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
automatische Korrekturen											
											1901/1.22
1917/1.18	1912/1.18	1914/1.26								1912/1.12	
										1976/0.89	
endgültige manuell überarbeitete Korrekturen											
1912/1.18	1912/1.18	1912/1.26								1912/1.12	1911/1.22

(Jahr der Inhomogenität / Korrekturfaktor bei der Homogenisierung)

Ursache der Inhomogenität: unbekannt

Abbildung 9: Beispiel für das Ergebnis der Homogenitätsprüfung von Monatswerten einer langen Niederschlagsmeßreihe

Nachbarstationen schwierig wird, zum anderen handelt es sich häufig um seltene Ereignisse, bei denen die Homogenitätstests keine brauchbaren Ergebnisse bringen. Letzteres gilt insbesondere für Ereignisse mit starken jahreszeitlichen Häufigkeitsschwankungen, die in den Übergangsmontaten nur sehr selten auftreten.

Es wurde daher versucht, für diesen speziellen Zweck eine Homogenisierung der zugrunde liegenden Einzelwerte vorzunehmen und die Bestimmung der abgeleiteten Größen auf der Basis dieser modifizierten Einzelwerte durchzuführen.

Im Rahmen der Forschungsprojekts zur Aufbereitung langer meteorologischer Meßreihen für klimatologische Zwecke wurden die Ergebnisse der direkten Homogenisierung der abgeleiteten Größen für das Jahr und die Monate, in denen die Häufigkeit groß genug war, mit den Berechnungen aufgrund der modifizierten Einzelwerte verglichen. Eine schematische Darstellung des Vergleichsverfahren zeigt Abbildung 10.

Dabei ergaben sich weitgehend ähnliche Ergebnisse, so daß dieses Homogenisierungsverfahren als brauchbar angesehen werden kann (HERZOG und MÜLLER-WESTERMEIER, 1997). Ein Beispiel für einen abgeleiteten Parameter aus dem Komplex der Temperaturmessungen zeigt das Diagramm 11 mit der Zeitreihe der Anzahl von Frosttagen (Tagesminimumtemperatur unter 0 Grad C) im Januar an der Wetterstation Bremen.

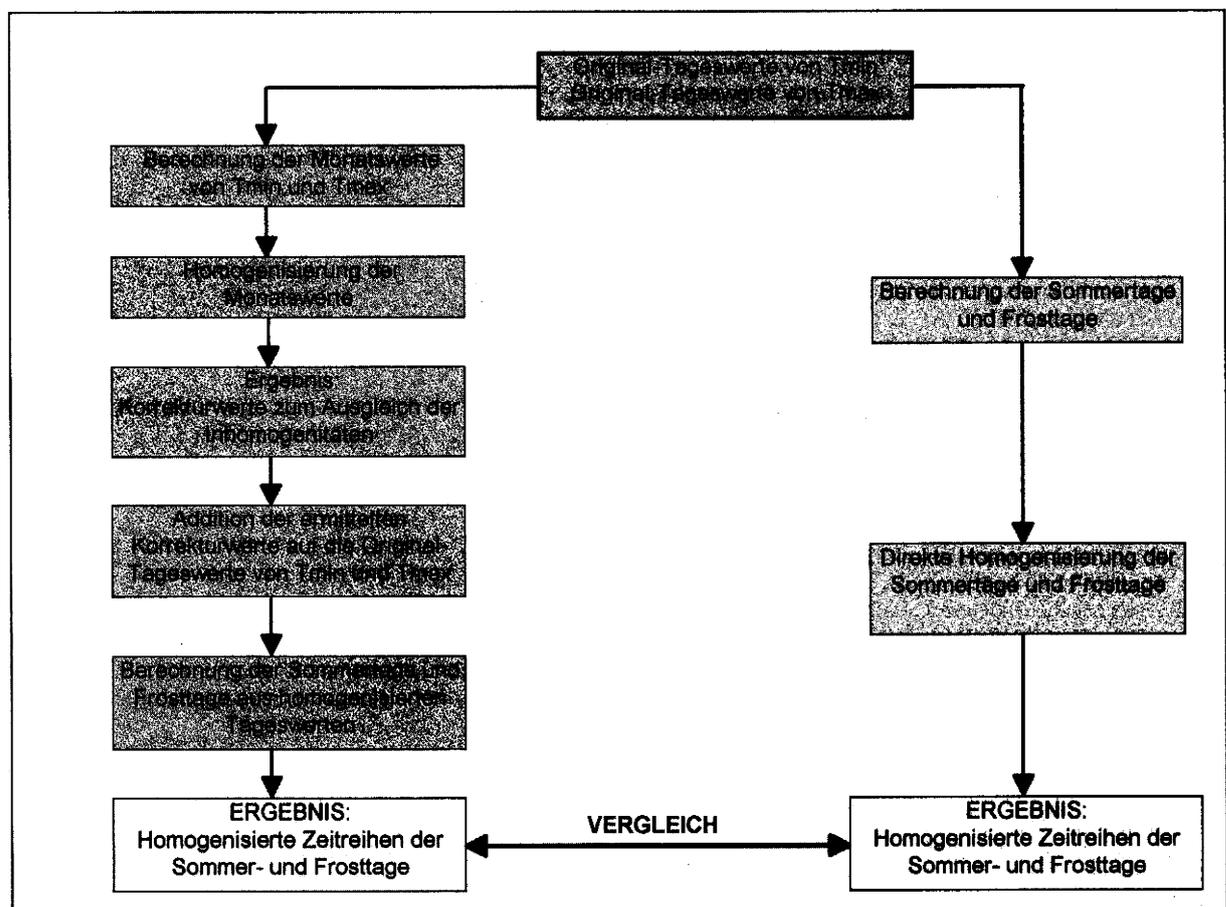


Abbildung 10: Homogenisierungsverfahren für abgeleitete Parameter – Beispiel Sommertage/Frosttage

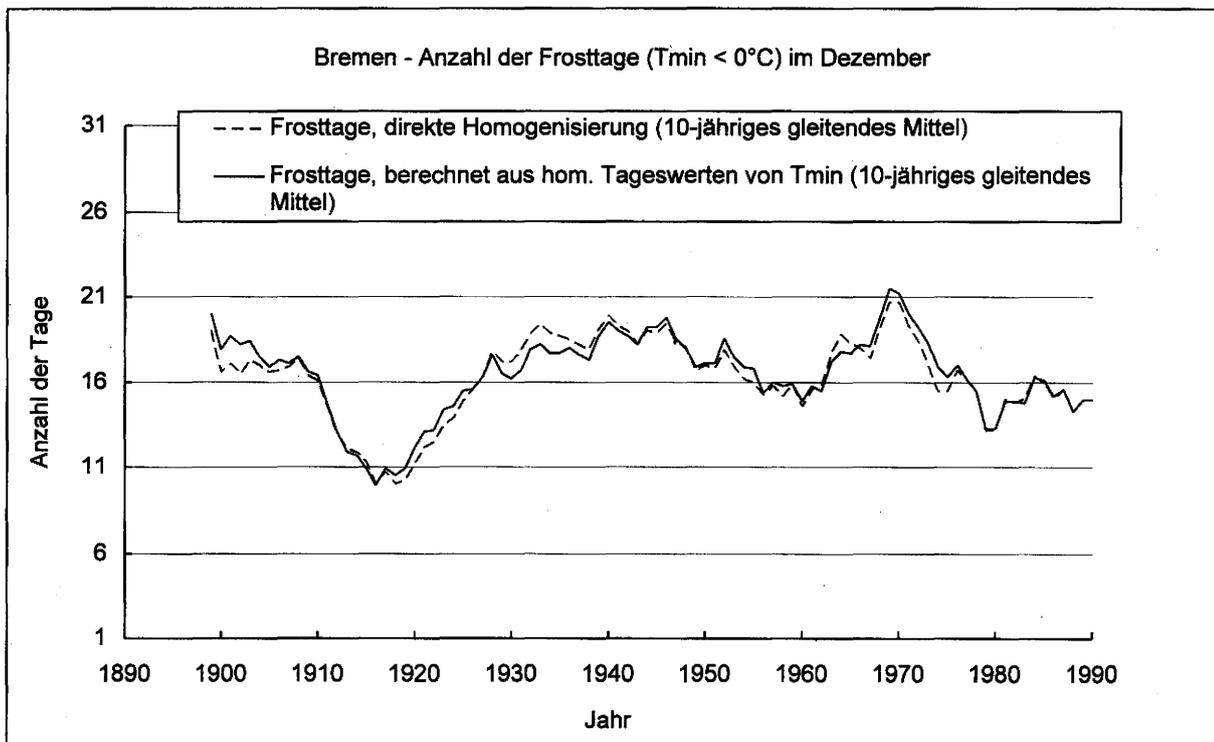


Abbildung 11: Ergebnis der Homogenisierung von Frosttagen im Dezember in Bremen mit Hilfe der unterschiedlichen Homogenisierungsverfahren für abgeleitete Parameter

Das Verfahren zur Homogenisierung abgeleiteter Größen unter Verwendung modifizierter Einzelwerte der Grundgrößen hat unter anderem auch den praktischen Vorteil, daß nach der Homogenitätsprüfung weniger Grundparameter eine Vielzahl abgeleiteter Größen ohne neue Homogenitätsprüfungen homogenisiert werden kann.

Es muß jedoch ausdrücklich betont werden, daß die modifizierten Einzelwerte nicht als homogenisierte Zeitreihe von täglichen Werten verwendet werden dürfen. Eine solche Homogenisierung ist nicht möglich, weil die Ursachen für die Inhomogenitäten sich im Einzelfall sehr unterschiedlich auswirken können. Nur durch die monatliche Summation für die Auszählungen können die Fehler bei der Modifikation der Einzelwerte sich soweit ausgleichen, daß brauchbare Ergebnisse entstehen.

3.4 Geplantes weiteres Vorgehen

Es sollen zunächst alle auf IT-Datenträger vorliegenden Meßreihen der monatlichen Mitteltemperatur und des Niederschlags, die vor 1900 beginnen und weitgehend vollständig sind, auf Inhomogenitäten geprüft und homogenisiert werden.

Soweit Arbeitskapazität vorhanden ist, sollen alle Meßreihen dieser Parameter und der anderen monatlichen Kenngrößen der verschiedenen klimatologischen Parameter entsprechend bearbeitet werden.

Daneben liegt im Archiv der Deutschen Wetterdienstes noch eine beträchtliche Zahl von längeren Zeitreihen in Form von Originalaufzeichnungen vor, die noch nicht auf IT-

Datenträger übertragen sind. Hier ist eine entsprechende Nacherfassung erforderlich, um diese Daten nutzbar zu machen. Insbesondere für das Gebiet der neuen Bundesländer ist eine Verdichtung des auf IT-Datenträgern verfügbaren Netzes längerer klimatologischer Meßreihen für verschiedene klimatologische Auswertungen dringend erforderlich.

Es sind außerdem Untersuchungen durchzuführen, um die Abhängigkeit der Korrekturfaktoren für die verschiedenen klimatologischen Parameter von unterschiedlichen Wetterlagen sowie auch von den Größen selbst zu ermitteln. Dies sollte zu einer Verbesserung der Homogenisierung abgeleiteter Größen führen und eventuell auch eine Homogenisierung von Tageswerten ermöglichen.

4 Literatur

ALEXANDERSSON, H. (1986)

A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data
J. Climatology 6, 661–675

ALEXANDERSSON, H., MOBERG, A. (1997)

Homogenization of Swedish temperature data
International Journal of Climatology 17, 1, 25–54

AUGTER, G. (1985)

Bericht zum Werkvertrag

„Verteilungsfreie und verteilungsabhängige absolute Tests für die Konstanz des Mittelwertes und der Streuung von Zeitreihen“

(unveröffentlicht)

BUIHAND, J. A. (1982)

Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records
J. Hydrol. 58, 11–27

CONRAD, V., SCHREIER, O. (1927)

Die Anwendung des Abbeschen Kriteriums auf geophysikalische Beobachtungsreihen
Gerl. Beitr. Geophys. 17, 372–378

CRADDOCK, J. M. (1979)

Methods for Comparing Annual Rainfall Records for Climatic Purposes
Weather 43, 332–346

HELMERT, F. R. (1924)

Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate
Leipzig-Berlin

HERZOG, J., KALB, M., MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1995)

Aufbereitung langer meteorologischer Meßreihen für klimatologische Zwecke
Zwischenbericht zum BMFT-Forschungsprojekt
(unveröffentlicht)

HERZOG, J., MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1997)
Homogenization of Various Climatological Parameters in the German Weather Service
Proceedings of the First Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data,
101–112
Budapest, Hungary, 6–12 October 1996

