

# Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern

*KLIWA-Projekt A 1.2.3*

*„Analyse des Langzeitverhaltens von Gebietsmittelwerten  
der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern“*

KLIWA-Berichte

Heft 5



**KLIWA**

Klimaveränderung  
und Wasserwirtschaft



---

# Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern

*KLIWA-Projekt A 1.2.3*

*„Erarbeitung und Bereitstellung von langen Reihen  
interpolierter Gitterpunktwerte (Tageswerte) und  
Analyse des Langzeitverhaltens von Gebietsmittelwerten  
der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern“*

---

KLIWA-Berichte

**Heft 5**

---



**KLIWA**

Klimaveränderung  
und Wasserwirtschaft

## **IMPRESSUM**

<b>Herausgeber</b>	Arbeitskreis KLIWA - <a href="http://www.kliwa.de">www.kliwa.de</a> (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Deutscher Wetterdienst)
<b>ISBN</b>	3-937911-17-0
<b>Bearbeitung</b>	Dipl.-Met. Adelheid Klämt Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie
<b>Redaktionelle Bearbeitung</b>	RD Dr. Th. Günther, Deutscher Wetterdienst OBR H. Straub, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg BD H. Weber, Dr. L. Zimmermann Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
<b>Umschlaglayout</b>	Stephan Riedlberger – Graphik Design, München
<b>Druck</b>	Druckhaus Fritz König GmbH Stahlgruberring 24, 81829 München
<b>Umwelthinweis</b>	Druck auf Recyclingpapier
<b>Bezug über</b>	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Referat 11 Lazarettstr. 67, 80636 München Fax: 089-9214-1689 Mail: <a href="mailto:lothar.zimmermann@lfw.bayern.de">lothar.zimmermann@lfw.bayern.de</a>

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

# Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern

## KLWA-Projekt A 1.2.3

„Erarbeitung und Bereitstellung von langen Reihen interpolierter Gitterpunktwerte (Tageswerte) und Analyse des Langzeitverhaltens von Gebietsmittelwerten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern“

---

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung .....	5
1 Einleitung .....	7
2 Datengrundlagen .....	9
2.1 Messreihen der Lufttemperatur .....	9
2.2 Regionalisierung der Stationswerte der Lufttemperatur .....	10
3 Statistische Grundlagen und Ergebnisdarstellung .....	13
3.1 Statistische Methoden .....	13
3.1.1 Trendberechnung .....	13
3.1.2 Trendtest nach MANN-KENDALL .....	14
3.2 Darstellung der Ergebnisse .....	15
4 Gebietsmittelwerte der Lufttemperatur .....	17
4.1 Mittlere regionale Verteilung und mittlerer Jahresgang .....	17
4.2 Abhängigkeit der Lufttemperatur von der Geländehöhe .....	20
4.2.1 Allgemeines .....	20
4.2.2 Regionale Unterschiede der vertikalen Temperaturgradienten .....	20
5 Zeitreihenverhalten der Gebietsmittelwerte der Lufttemperatur .....	23
5.1 Zeitreihenverhalten und Trends der Jahresmitteltemperaturen der Untersuchungsgebiete .....	23
5.2 Zeitreihenverhalten und Trends der Gebietsmitteltemperaturen im Jahresgang .....	27
5.3 Trendverhalten der Lufttemperaturen in Abhängigkeit von der Geländehöhe .....	32
5.4 Stabilität der Trends der Gebietsmitteltemperaturen .....	36
5.4.1 Darstellung der Ergebnisse .....	36
5.4.2 Trendstabilität in den Jahreswertreihen .....	36
5.4.3 Trendstabilität in den Monatswertreihen .....	38

5.5	Die Lufttemperaturtrends der Zeitreihe 1931/2000 im Vergleich zu längerfristigen Trends.....	41
5.6	Änderung der Variabilität der täglichen Lufttemperaturen.....	43
6	Die Lufttemperaturtrends in Bezug zu Veränderungen in der Häufigkeit der Wetterlagen.....	45
7	Vergleich des Trendverhaltens der Lufttemperatur mit weiteren hydrometeorologischen Größen.....	47
7.1	Potentielle Verdunstung .....	47
7.2	Schneedeckenparameter .....	48
8	Ausblick.....	51
9	Literatur.....	53
	Anlagenverzeichnis.....	55

## Zusammenfassung

Die Lufttemperatur spielt im globalen Wasserkreislauf eine besondere Rolle, da sie maßgeblich die Verdunstung und damit auch das Niederschlagsgeschehen beeinflusst. Weiterhin handelt es sich bei der Lufttemperatur um eine hydrometeorologische Größe, die im Zusammenhang mit der Veränderung unseres Klimas noch am besten mit den Klimamodellen simuliert werden kann. Insofern ist auch die Kenntnis über die Entwicklung dieser Größe in den vergangenen Jahrzehnten von besonderem Interesse.

Im Rahmen des Vorhabens KLIWA hat die Abteilung Hydrometeorologie im DWD in Abstimmung mit den Kooperationspartnern, der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, das Langzeitverhalten von Tageswerten der bodennahen Lufttemperatur in Süddeutschland untersucht. Nach eingehender Überprüfung aller verfügbaren Messreihen erwiesen sich 354 Klimastationen für eine weitergehende Regionalisierung der Lufttemperatur als geeignet. Aus den regionalisierten Messreihen wurden für 33 Untersuchungsgebiete, die Baden-Württemberg und Bayern abdecken, Zeitreihen der täglichen Gebietsmitteltemperaturen berechnet.

Folgende Ergebnisse liegen vor:

Das Trendverhalten der Lufttemperaturen in der Untersuchungsperiode 1931/2000 ist im Untersuchungsraum Baden-Württemberg und Bayern flächendeckend durch eine hoch signifikante Zunahme der Jahresmittel gekennzeichnet. Die Trends der jährlichen Gebietsmitteltemperaturen liegen zwischen 0,5 K und 1,2 K.

Im innerjährlichen Verlauf zeigen die Lufttemperaturen im Untersuchungsraum folgendes Trendverhalten:

### Winterhalbjahr (November-April)

Der zeitliche Schwerpunkt der Temperaturzunahmen liegt im Winterhalbjahr.

- Von Dezember durchgängig bis März, im Donaauraum Bayerns bereits ab Oktober bis März, nehmen die Monatsmitteltemperaturen flächendeckend zu.
- Die stärkste Erwärmung tritt im Dezember auf. Die Gebietsmittel zeigen für diesen Monat eine Zunahme zwischen 1,8 K und 2,7 K mit Signifikanz über 99 %, in vielen Gebieten auch von über 99,9 %.
- In den Monaten Januar bis März liegen die Zunahmen in den Untersuchungsgebieten Baden-Württembergs bei 0,8 K bis 2,0 K (bei leichter Überschreitung der Signifikanzschwellen von 80 % und 90 %) und in den bayerischen Untersuchungsgebieten bei 1,0 K bis 2,4 K (mit Signifikanzen > 90 % und > 95 %).
- Die Temperaturtrends der Wintermonate zeigen monatlich und regional differenzierte Abhängigkeiten von der Geländehöhe. Die Zunahmen der Lufttemperaturen sind schwerpunktmäßig auf die unteren Höhenlagen bis etwa 500 m ü. NN konzentriert. Insbesondere im Februar und März sind in den Hochlagen von Schwarzwald und Alpen nur noch geringe, teils nicht mehr signifikante Zunahmen der Monatsmittel zu verzeichnen.
- Die Temperaturzunahmen im Jahresabschnitt Dezember bis März decken sich mit einer veränderten Häufigkeit der Wetterlagen. In diesen Monaten (insbesondere im Dezember) hat die Häufigkeit der West- und Südwestlagen, bei welchen im Winterhalbjahr relativ milde ozeanische Luftmassen nach Mitteleuropa herangeführt werden, zugenommen. Abgenommen haben hingegen die winterkalten Nord- und Nordost-, Ost-, Südostlagen.
- Die Zunahmen der Lufttemperaturen in den Monaten Dezember bis März erklären die in den entsprechenden KLIWA-Teilprojekten gewonnenen Befunde ei-



ner überwiegend hoch signifikanten Zunahme der potentiellen Verdunstung und der Abnahme der Tage mit Schneedecke in diesem Jahresabschnitt. Dabei spiegeln sich auch die regionalspezifischen Unterschiede der Lufttemperaturtrends, insbesondere ihre Abhängigkeit von der Geländehöhe, im Trendverhalten von potentieller Verdunstung und der Anzahl der Tage mit Schneedecke wider.

- Der Monat April ist der einzige Monat, in dem flächendeckend ein Rückgang der Monatsmitteltemperatur zu verzeichnen ist. Bei den höheren Gebietslagen erreichen diese Abnahmen schwache Signifikanz. Sie sind hier (zusammen mit den nicht signifikanten Zunahmen der Lufttemperaturen im Februar/ März) offenbar die Ursache für die Verlängerung der Schneedeckenzeit (d.h. der Zeitspanne vom ersten bis letzten Schneedeckentag einschließlich schneedeckenfreier Tage).

### **Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober)**

Im Sommerhalbjahr sind die Trends nicht so deutlich und nicht so einheitlich ausgeprägt wie im Winterhalbjahr.

- In den Monaten Juni und September (ebenso wie im Winterhalbjahr im November) liegen im gesamten Untersuchungsraum keine statistisch nachweisbaren Änderungen der Monatsmitteltemperaturen vor. Bei den Monaten Mai und Juli treten zwar flächendeckend Zunahmen in den Zeitreihen der Monatsmittel auf – höhere Trendbeträge und Signifikanzen werden jedoch nur für Mai in einigen Donaugebieten Bayerns erreicht.

- Die stärksten Änderungen im Sommerhalbjahr ergeben sich für die Monatsmittel des August, aber auch des Oktober mit flächendeckenden und gebietsweise hoch signifikanten Zunahmen von 0,8 K bis 1,7 K. Im August liegt der Schwerpunkt der Erwärmung in den unteren Gebietslagen bis etwa 500 m ü. NN. Im Oktober zeigen sich von Gebiet zu Gebiet wechselnde Trendbeträge und Signifikanzen; die größten Zunahmen sind in den Hochlagen der Mittelgebirge und besonders der Alpen oberhalb von etwa 1000 m ü. NN zu verzeichnen.

### **Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse bestätigen den deutlichen Temperaturanstieg in der Mehrzahl der Kalendermonate, insbesondere in den letzten beiden Jahrzehnten. Dieser wird auch in der Öffentlichkeit verstärkt wahrgenommen, wie z.B. Pressemeldungen zur Verschiebung der Schneegrenze und die dadurch künftig zu erwartenden Veränderungen des Wintertourismus zeigen. Der für Süddeutschland festgestellte Temperaturanstieg liegt über dem Anstieg der globalen Mitteltemperatur, der durch das IPCC für das vergangene Jahrhundert mit 0,6 K +/- 0,2 K angegeben wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im süddeutschen Raum ebenso wie im globalen Maßstab ein erheblicher Temperaturanstieg in der jüngeren Vergangenheit stattgefunden hat. Aufgrund der Ergebnisse der globalen Klimamodelle muss davon ausgegangen werden, dass sich der Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert fortsetzt: das IPCC geht in Abhängigkeit vom verwendeten Emissionsszenario von einem Anstieg von 1,4 bis 5,8 K bis Ende des 21. Jahrhunderts aus.



## 1 Einleitung

Die Lufttemperatur ist neben der Niederschlagshöhe primäre und wichtigste Größe von Klimaklassifikationen, auch wenn eine umfassende Darstellung der klimatischen Bedingungen von Standorten oder Gebieten die Einbeziehung weiterer meteorologischer Größen wie Strahlung, Luftfeuchte, Wind usw. erfordert.

Von erheblicher Bedeutung ist die Lufttemperatur für Wasserhaushaltsprozesse – sowohl die Wasserhaushaltskomponente Verdunstung als auch die Ausbildung und Andauer einer Schneedecke und damit der zeitliche Verlauf des verfügbaren Niederschlagsdargebotes sind von der Lufttemperatur abhängig.

Nach derzeitigem Expertenwissen ist als Folge des durch das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prognostizierten globalen Temperaturanstiegs eine Intensivierung des hydrologischen Kreislaufes mit Erhöhung der Niederschlags- und der Verdunstungsraten zu erwarten.

Der Projektrahmen des zwischen den Ländern Baden-Württemberg und Bayern sowie dem Deutschen Wetterdienst vereinbarten Kooperationsvorhabens KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) umfasst im Bereich A, der Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushaltes, folgerichtig auch die Lufttemperatur.

Wesentliches Ziel von KLIWA ist es, künftige Veränderungen des Wasserhaushalts in Baden-Württemberg und Bayern als Folge möglicher Klimaveränderungen abzuschätzen. Grundlage hierfür sind flächendeckende Aufbereitungen verfügbarer, möglichst langer Messreihen hydrometeorologischer Größen und Analysen ihres Zeitreihenverhaltens mittels geeigneter statistischer Methoden. Diese Zeitreihenanalysen geben Aufschluss über die räumliche und

zeitliche Variabilität der hydroklimatischen Bedingungen des Untersuchungsraumes in den vergangenen Jahrzehnten; die Ergebnisse können für die Bewertung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt herangezogen werden.

Untersuchungszeitraum des KLIWA-Teilprojektes A 1.2.3 zum Langzeitverhalten der Lufttemperatur ist die 70-jährige Zeitreihe von 1931 bis 2000. Die Bearbeitung umfasste folgende Teilaufgaben:

- Prüfung und Aufstockung verfügbarer Stationswertereihen der Lufttemperatur.
- Regionalisierung der Stationswerte und Bereitstellung 70-jähriger Zeitreihen interpolierter Gitterpunktwerte von Tagesmitteltemperaturen für den Untersuchungsraum der Länder Baden-Württemberg und Bayern.
- Erstellung von Gebietsmittelwertreihen der Lufttemperatur und deren statistische Zeitreihenanalyse. Mit der Orientierung auf hydrometeorologische und hydrologische Problemstellungen sind in KLIWA das Trendverhalten der Lufttemperaturen im Jahresablauf (Monate) und ein eventueller Bezug der Trends zur Höhenlage von besonderem Interesse.
- Einschätzung der Auswirkungen von Lufttemperaturtrends auf weitere, mit der Lufttemperatur korrelierte hydrometeorologische Größen. Hierfür stehen die im Rahmen von KLIWA gewonnenen Untersuchungsergebnisse zum Langzeitverhalten der potentiellen Verdunstung (Teilprojekt A 1.2.1, s. [1]) und der Schneedeckenparameter (Teilprojekt A 1.1.4, s. [2]) im Untersuchungsraum Baden-Württemberg und Bayern zur Verfügung.





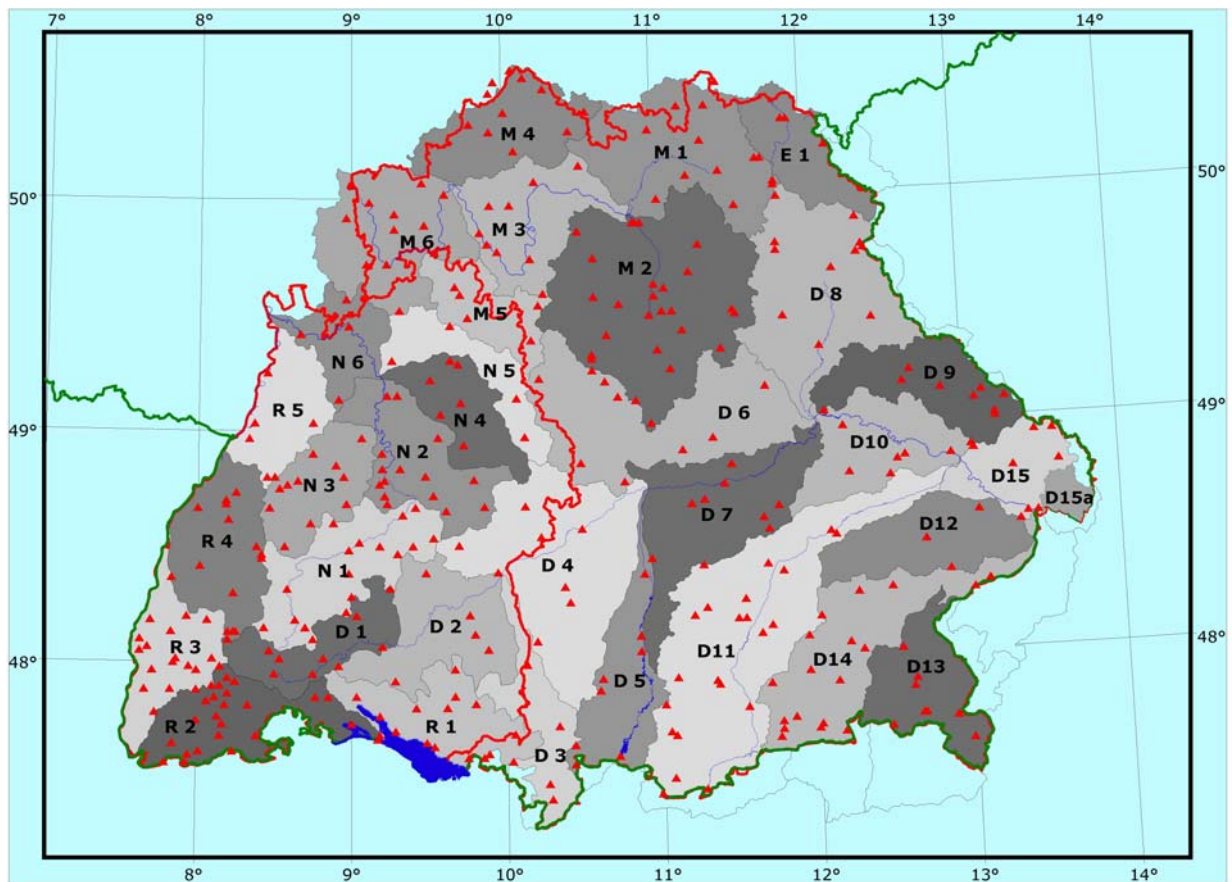
## 2 Datengrundlagen

### 2.1 Messreihen der Lufttemperatur

Aus dem Untersuchungsraum von Baden-Württemberg und Bayern liegen Messreihen der Lufttemperatur von insgesamt 354 Stationen vor, welche die regionale Temperaturverteilung repräsentativ erfassen können. Die Stationsliste einschließlich der Angabe der Koordinaten, der Höhenlage

über NN und der zugehörigen Kennziffern ist in Anlage 1 enthalten.

Von den in Abb. 2.1 angegebenen Stationen stehen aber nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum 1931/2000 geschlossene Messwertreihen der Lufttemperatur zur Verfügung.



#### Untersuchungsgebiete:

##### D Donau

- D 1 Quelle bis Lauchert
- D 2 uh. Lauchert bis oh. Iller
- D 3 Iller
- D 4 Donau, uh. Iller bis oh. Würnitz und Lech
- D 5 Lech
- D 6 Würnitz, Altmühl und Schw. Laber
- D 7 Donau, uh. Lech bis oh. Naab
- D 8 Naab
- D 9 Regen
- D 10 Donau, uh. Naab bis oh. Isar
- D 11 Isar
- D 12 Vils und Rott
- D 13 Alz und Salzach
- D 14 Inn
- D 15 Donau, uh. Isar bis Landesgrenze
- D 15a Donau, uh. Isar, oh. Pegel Achleiten

##### N Neckar

- N 1 Quelle bis oh. Fils
- N 2 Fils bis oh. Kocher (ohne Enz)
- N 3 Enz
- N 4 Kocher
- N 5 Jagst
- N 6 uh. Jagst bis Mündung

##### R Rhein

- R 1 Bodensee
- R 2 Bodensee bis Wiese
- R 3 uh. Wiese bis oh. Kinzig
- R 4 Kinzig bis Murg
- R 5 uh. Murg bis oh. Neckar

##### E 1 Elbe

##### M Main

- M 1 Main bis oh. Regnitz
- M 2 Regnitz
- M 3 Main, uh. Regnitz bis oh. Fränk. Saale
- M 4 Fränk. Saale
- M 5 Tauber
- M 6 Main, uh. Fränk. Saale bis Landesgrenze

Landesgrenzen

Abb. 2.1: Klimastationen und Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern



Im Falle verkürzter bzw. lückenhafter Messreihen erfolgte eine Datenergänzung mit Hilfe von jahreszeitlich differenzierten Regressionsbeziehungen zu vorhandenen Messreihen benachbarter Stationen. Für die Zeitspanne von 1951 bis 2000 sind mit 171 bis 250 Stationen die Anzahl und die regionale Verteilung der verfügbaren Messreihen als ausreichend zu bewerten. In den Anfangsjahren der Untersuchungsperiode bis etwa 1935 und nachfolgend, bis in die Nachkriegszeit hinein, ist die Anzahl der Stationen mit Lufttemperaturmessungen sehr gering und erforderte umfangreiche Ergänzungen von Stationsreihen. Die regionale Verteilung der in diesem Zeitreihenabschnitt vorhandenen Stationen ist insbesondere im Hinblick auf die Verteilung der Höhenlagen über NN nicht repräsentativ. Die Auswirkungen dieser schwachen Datenbasis im Anfangszeitraum der Untersuchungsperiode auf die abgeleiteten Ergebnisse sind wesentlich von der zeitlichen Auflösung (Tageswerte, Monats-, Jahreswerte) der Lufttemperatur abhängig und werden in den nachfolgenden Kapiteln problemspezifisch bewertet.

Von einigen Stationsstandorten des Untersuchungsraums existieren lange Messreihen, die zum Teil bis zum Anfang des Jahrhunderts oder noch bis vor 1900 zurückgehen. Auch diese Messreihen weisen teilweise Lücken auf (insbesondere um 1945), einige enden in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bzw. sind von Stationsverlegungen betroffen. Im Rahmen des Projektes HUK "Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem der Klimaänderungen" [3] erfolgte für die Zeitreihe 1891/1997 eine Aufbereitung (Prüfung, Ergänzung) langer meteorologischer Messreihen ausgewählter Stationen in Deutschland, von denen die Stationen Karlsruhe, Bamberg und München im KLIWA-Untersuchungsraum gelegen sind. Die insgesamt 110-jährigen geprüften Zeitreihen der Lufttemperatur dieser Stationen können zu Zeitreihenvergleichen mit der hier bearbeiteten kürzeren Reihe 1931/2000 (70 Jahre) herangezogen werden (vgl. Kapitel 5.5).

## 2.2 Regionalisierung der Stationswerte der Lufttemperatur

Im Rahmen des KLIWA-Teilprojektes zum Langzeitverhalten der Lufttemperaturen (A 1.2.3) waren für das im Gesamtprojekt abgestimmte Gitternetz von ca. 7 km x 7 km ( $\varphi = 4'$ ,  $\lambda = 6'$ ) Rasterwerte der Tagesmitteltemperaturen der Zeitreihe 1931/2000 bereitzustellen.

Für das Regionalisierungsproblem der Erstellung von Gitternetzwerten aus unregelmäßig verteilten Punktwerten (Stationsstandorte) sind in der Literatur mannigfache Verfahren beschrieben worden, beispielsweise bei [4], [5], [6]. Der Zwischenbericht zum KLIWA-Teilprojekt Lufttemperatur [7] enthält eine Betrachtung von gebräuchlichen Regionalisierungsverfahren und eine ausführliche Diskussion und Beschreibung der Theorie des **Kriging**.

Universal Kriging mit gleitendem Suchkreis wurde als das geeignetste Verfahren für die vorliegende Aufgabenstellung der Regionalisierung von Tageswerten der Lufttemperatur bei der beschriebenen Datenbasis ausgewählt.

Die Lufttemperatur ist eine räumlich ziemlich stetige Größe – sie weist eine gute räumliche Korrelation auf. Ausschlaggebend für die regionale Verteilung der Lufttemperatur ist deren Abhängigkeit von der Geländehöhe über dem Meeresspiegel (Höhe ü. NN). Diese Höhenabhängigkeit lässt sich im Allgemeinen schon durch eine lineare Regression ausreichend beschreiben, jedoch ist zu beachten, dass die Regressionskoeffizienten wetterlagenbedingt erheblich variieren und sogar unterschiedliche Vorzeichen aufweisen können. Überwiegend wird eine Temperaturabnahme, bei so genannten Inversionswetterlagen jedoch eine Temperaturzunahme mit zunehmender Geländehöhe verzeichnet.

Die Vorteile des verwendeten Kriging-Verfahrens zur Regionalisierung der Lufttemperatur sind folgende:

- Verwendung einer statistisch fundierten Korrelationsfunktion (Strukturfunktion), die variabel sein kann, z.B. je nach Wetterlage
- Nicht nur der Abstand der Stationen zum Gitterpunkt, sondern auch ihre relative Lage zueinander gehen in die Gewichte ein; die einzelnen Kriging Gewichte sind nicht unabhängig, sondern hängen von allen anderen Stationen ab (s. Schema in Abb. 2.2).

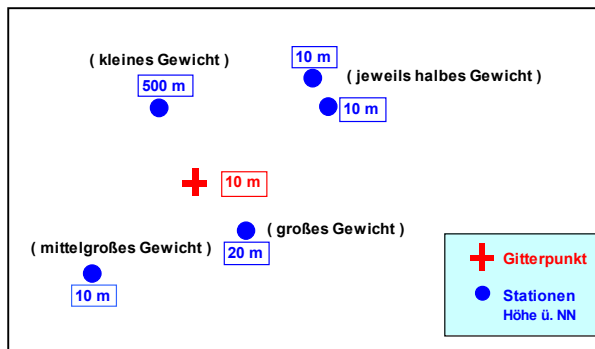


Abb. 2.2: Schema für die Wichtung der Stationsdaten

- Der Schätzfehler wird beim Kriging minimiert.
- Für die Gitterpunkte lässt sich der mittlere Schätzfehler leicht berechnen; er ist abhängig von Anzahl und Anordnung der benutzten Stationen bzw. deren Höhenlage ü. NN.
- Wenn Station und Gitterpunkt zusammen fallen, wird diesem der Stationswert zugewiesen.

Der oben bereits erwähnte Zwischenbericht zum KLIWA-Teilprojekt zur Lufttemperatur A 1.2.3 [7] enthält eine ausführliche Fehlerbetrachtung, welche sich insbeson-

dere mit der Problematik der schwachen Datenbasis zu Beginn der Untersuchungsperiode und den umfangreichen Stationsdatenergänzungen beschäftigt. Im Ergebnis ist festzustellen, dass die Messdatenbasis ab 1947 ausreichend ist, die grundlegende Temperaturverteilung auch bei Tageswerten und bei besonderen Wetterlagen durch die Regionalisierung korrekt wiederzugeben. Der mittlere Schätzfehler an den Gitterpunkten liegt im Rahmen der bei der Regionalisierung erzielbaren Genauigkeit (kleiner ca. 90 % der Standardabweichung).

Im Zeitreihenabschnitt 1931 bis 1936 sowie für das Jahr 1945 sind die regionalisierten täglichen Temperaturverteilungen nur mit großer Vorsicht zu verwenden. Abhängig von der Wetterlage kann es bei einzelnen Tagen zu einer völligen Fehleinschätzung der regionalen Temperaturverteilung mit Schätzfehlern bei einzelnen Gitterpunkten und Gitterpunktbereichen von mehreren hundert Prozent kommen. Auch die stationsbezogenen Datenergänzungen können z.B. an Tagen mit Inversionswetterlagen nicht zu einem Informationsgewinn führen, wenn aus dem „kritischen“ Höhenniveau keine echten Messwerte vorliegen.

Bei der Betrachtung von Gebietsmitteln der Lufttemperatur und deren monatlichen oder jährlichen Mittelwerten, wie sie der Analyse des Langzeitverhaltens im Kapitel 5 zugrunde liegen, ist jedoch von einer erheblichen Abschwächung der bei einzelnen Wetterlagen und Gitterpunktsbereichen zu verzeichnenden, extrem hohen Fehler auszugehen. Grundsätzlich ist aber bei der Verwendung von Gitterpunktwerten zu beachten, dass die Regionalisierung gewissermaßen eine Datenglättung darstellt.



## 3 Statistische Grundlagen und Ergebnisdarstellung

### 3.1 Statistische Methoden

#### 3.1.1 Trendberechnung

Die Analyse des Langzeitverhaltens der Lufttemperaturen im Untersuchungsraum Baden-Württemberg / Bayern konzentriert sich auf die Untersuchung der Trends in den Zeitreihen der Jahresmitteltemperaturen und im innerjährlichen Temperaturverlauf (Monatsmitteltemperaturen) sowie auf die Untersuchung der Stabilität dieser Trends über die bearbeitete 70-jährige Zeitreihe 1931/2000.

Die Berechnungen basieren auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Die Trendgerade einer Größe  $x$  - hier der Lufttemperatur - wird in ihrer Abhängigkeit von der Zeit  $t$  durch folgende Gl. (3.1) beschrieben:

$$x(t) = a + b \cdot t \quad (3.1)$$

Darin sind  $a$  und  $b$  die Koeffizienten der Trendgeraden, die nach der GAUSS'schen Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen sind [8]. Die Datenkollektive der Lufttemperatur weisen beispielsweise im Vergleich zu Niederschlagsreihen nur einen relativ geringen Schwankungsbereich auf; so genannte Ausreißer, welche infolge des quadratischen Abweichungsmaßes einen relativ hohen Einfluss auf die Abweichungsquadratsumme und damit auf die Größe der Trendkoeffizienten in (3.1) haben könnten, treten kaum auf. Für die im Gesamtprojekt KLIWA zur Abschätzung von Trends teilweise auch eingesetzte Methode der Fehlerabsolutsumme [9] besteht daher bei der zu analysierenden Größe Lufttemperatur kein Erfordernis.

Der (absolute) Trend  $T$  der Größe  $x$  ergibt sich nach der linearen Beziehung (3.1) als Differenz zwischen dem Endwert  $x_n$  zum Zeitpunkt  $t_n$  und dem Anfangswert  $x_1$  zum Zeitpunkt  $t_1$ :

$$T = x_n - x_1 \quad (3.2)$$

Im Fall der Lufttemperatur stellt der Trend eine Temperaturdifferenz dar, die in der Dimension K (Kelvin) anzugeben ist [10].

Aus der Herleitung der Koeffizienten in (3.1) bzw. des Trends (3.2) folgt, dass Trendangaben ausschließlich für das jeweils bearbeitete Zeitintervall gültig sind. Trendangaben weisen somit in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Zeitreihe eine gewisse Zufälligkeit in der Aussage zum Langzeitverhalten der betreffenden Größe auf. Insbesondere durch einzelne, bezüglich der untersuchten Größe extreme Jahre, die - zufällig - zu Beginn oder Ende der bearbeiteten Reihe auftreten, können Trendergebnisse deutlich beeinflusst werden.

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

Beim rückwärts schreitenden Trend werden die Berechnungen für Teilreihen der gesamten Untersuchungsperiode durchgeführt, die bei festem Zeitreihenende, dem Jahr 2000, jeweils am Zeitreihenanfang sukzessive um einen Wert verringert werden. Beim vorwärts schreitenden Trend wird bei festem Zeitreihenanfang, also dem Jahr 1931, jeweils am Ende der Teilreihen ein Wert hinzugenommen, bis die Gesamtreihe der Untersuchungsperiode erreicht ist.

Als minimale Zeitreihenlänge wurde ein Zeitraum von 20 Jahren vorgegeben; die Ansetzung eines ausreichenden Mindestzeitraums ist erforderlich, damit die Trendaussagen noch sinnvoll bleiben.



### 3.1.2 Trendtest nach MANN-KENDALL

Zur Bewertung der Signifikanz der nach Gl. (3.1) und (3.2) berechneten Trends wurde das Testverfahren nach MANN-KENDALL eingesetzt. Der von MANN entwickelte Trendtest lautet nach [11]:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)}{\frac{1}{2}n(n-1)} = \frac{s}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (3.3)$$

Darin ist n die Länge der untersuchten Zeitreihe und  $x_i, x_j$  sind die zu vergleichenden Datenelemente der Zeitreihe. Die Summierung erfolgt über alle möglichen, das heißt  $\frac{1}{2}n(n-1)$  Wertepaare  $(x_i, x_j)$ , für die  $i < j$  gilt.

Für  $n > 10$  ist die Testgröße  $Q_s$  näherungsweise normalverteilt mit der Varianz  $\sigma^2 = \frac{1}{18}(n(n-1)(2n+5))$  und dem Mittelwert  $\mu = 0$ . Damit ergibt sich die normierte Testgröße Q wie folgt:

$$Q = \frac{Q_s - \mu}{\sigma} = \frac{s}{\left[\frac{1}{18}n(n-1)(2n+5)\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.4)$$

Durch KENDALL erfolgte eine Modifizierung dieses Tests für den Fall identischer Zeitreihenwerte, der bei der Größe Lufttemperatur eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt. In der vorliegenden Arbeit wurde daher die modifizierte Testgröße Q nach (3.5) verwendet, in der  $b_i$  die Anzahl identischer Zeitreihenwerte  $x_i$  ist.

$$Q = \frac{s}{\left[\frac{1}{18}\left(n(n-1)(2n+5) - \sum_i b_i(b_i-1)(2b_i+5)\right)\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.5)$$

Die Testgröße Q ist standardnormalverteilt und kann mit Hilfe der tabellierten Normalverteilung [8] zur Signifikanzprüfung eingesetzt werden. Die Signifikanz S wird in % angegeben. Der Signifikanzwert  $S = 80\%$  wurde im Rahmen von KLIWA als unterster Schwellenwert für signifikante Zeitreihenänderungen festgelegt. Wird durch den Test ein Wert  $S < 80\%$  bestimmt, liegt kein signifikanter Trend vor bzw. ein Trend gilt als statistisch nicht nachweisbar. Bei Signifikanzbefunden von  $S > 80\%$  erfolgen in den Ergebnisdarstellungen graduelle Abstufungen mit Kennzeichnung von Überschreitungen der Schwellenwerte von 90 %, 95 %, 99 % und 99,9 %.

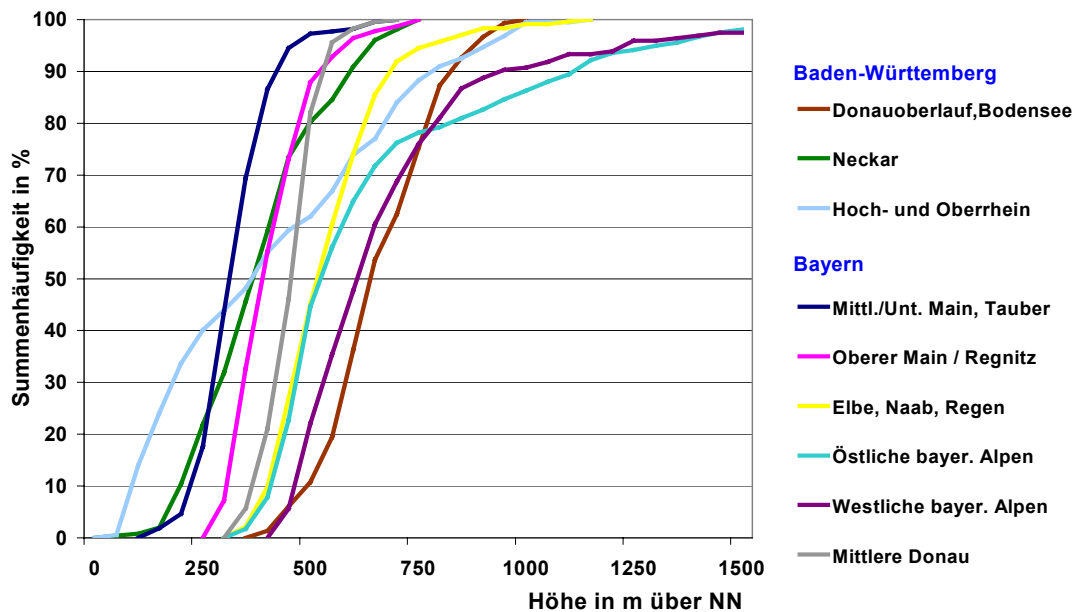
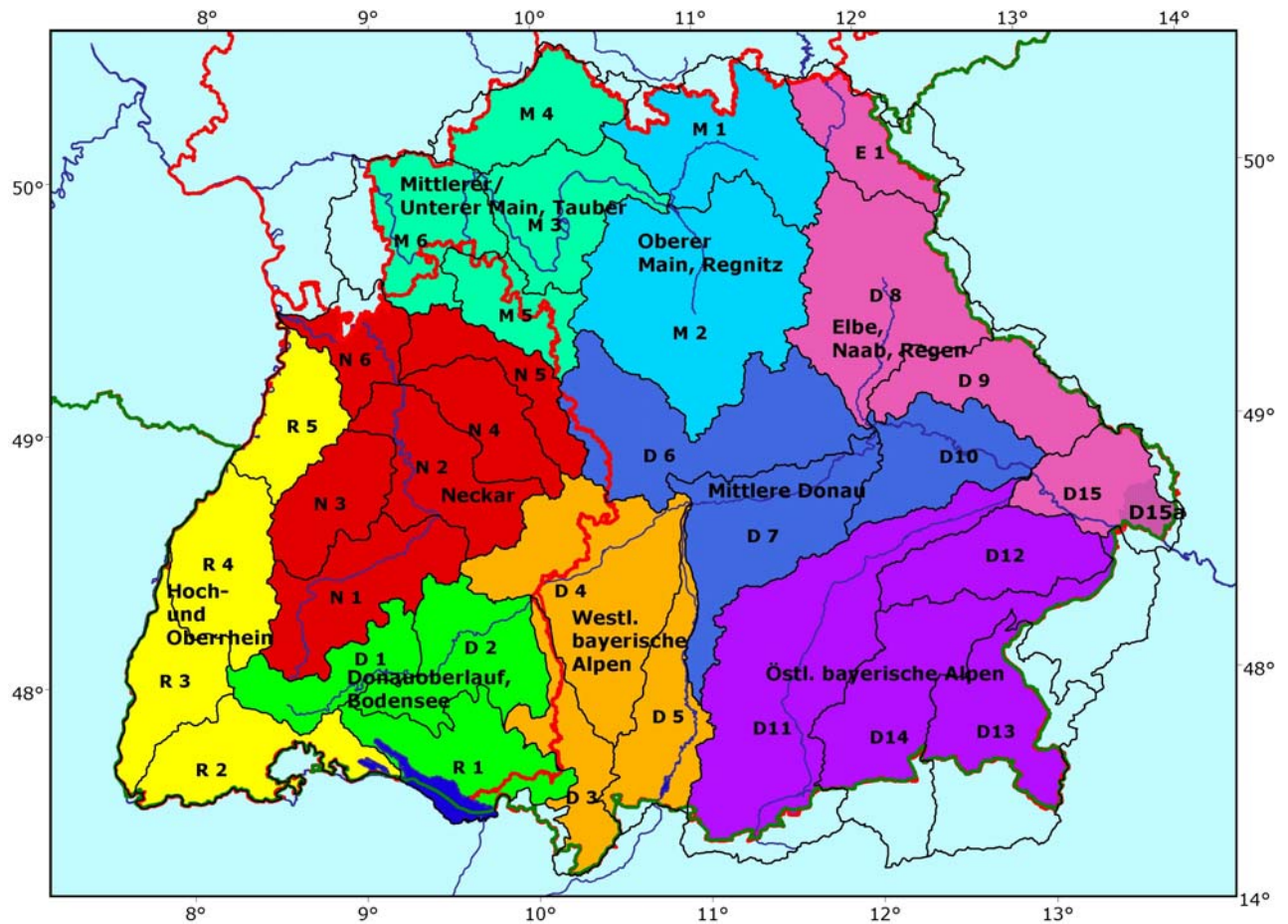


Abb. 3.1: Flächenanteile der Gitterpunkthöhen, KLIWA-Regionen Baden-Württemberg und Bayern



Untersuchungsgebiete:		
<b>D Donau</b>	<b>N Neckar</b>	<b>E 1 Elbe</b>
D 1 Quelle bis Lauchert	N 1 Quelle bis oh. Fils	<b>M Main</b>
D 2 uh. Lauchert bis oh. Iller	N 2 Fils bis oh. Kocher (ohne Enz)	M 1 Main bis oh. Regnitz
D 3 Iller	N 3 Enz	M 2 Regnitz
D 4 Donau, uh. Iller bis oh. Wörnitz und Lech	N 4 Kocher	M 3 Main, uh. Regnitz bis oh. Fränk. Saale
D 5 Lech	N 5 Jagst	M 4 Fränk. Saale
D 6 Wörnitz, Altmühl und Schw. Laber	N 6 uh. Jagst bis Mündung	M 5 Tauber
D 7 Donau, uh. Lech bis oh. Naab		M 6 Main, uh. Fränk. Saale bis Landesgrenze
D 8 Naab		
D 9 Regen	<b>R Rhein</b>	
D 10 Donau, uh. Naab bis oh. Isar	R 1 Bodensee	
D 11 Isar	R 2 Bodensee bis Wiese	
D 12 Vils und Rott	R 3 uh. Wiese bis oh. Kinzig	
D 13 Alz und Salzach	R 4 Kinzig bis Murg	
D 14 Inn	R 5 uh. Murg bis oh. Neckar	
D 15 Donau, uh. Isar bis Landesgrenze		
D 15a Donau, uh. Isar, oh. Pegel Achleiten		

Abb. 3.2: Untersuchungsgebiete und zusammengefasste KLWA-Regionen Baden-Württemberg und Bayern

### 3.2 Darstellung der Ergebnisse

Aus den täglichen Gitterpunktwerten der Lufttemperatur (s. Kapitel 2.2) wurden Zeitreihen der Gebietsmittel der Lufttemperatur für die in Abb. 3.2 gezeigten 33 KLWA-Untersuchungsgebiete und die zusammengefassten 9 Regionen von Baden-

Württemberg und von Bayern erstellt. Die Abb. 3.1 zeigt die Höhenverteilung der mittleren Rasterfeldhöhen über Normalnull (NN) für die zusammengefassten Regionen in Form von Summenprozentkurven.

Datengrundlage der Trendanalyse bildeten die Monats- und Jahresmitteltemperaturen





dieser Gebiete bzw. Regionen sowie die Lufttemperaturmittelwerte für bestimmte Niveaus der Geländehöhe über NN in den Regionen. Die Trendberechnungen wurden für alle Untersuchungsgebiete und die gewählte zeitliche Differenzierung (Monats- und Jahreswerte) durchgeführt. Den jahreszeitlichen Betrachtungen liegen die hydrologischen Halbjahre (Winterhalbjahr: November – April; Sommerhalbjahr: Mai – Oktober) bzw. die meteorologischen Jahreszeitabschnitte (Winter: Dezember – Februar; Frühjahr: März – Mai; Sommer: Juni – August; Herbst: September – November) zugrunde.

Die Untersuchungsergebnisse werden einerseits in Kartendarstellungen für das

Gesamtgebiet entsprechend der Vorlage der Abb. 3.2, andererseits in Tabellenform präsentiert, wobei jeweils ein Tabellenteil die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und je ein Tabellenteil die Untersuchungsgebiete des Donau- und des Elbe- / Maininzugsgebietes in Bayern enthalten. Das Taubergebiet (M 5) ist sowohl in den Tabellenteilen für Baden-Württemberg als auch für Bayern enthalten. Innerhalb der Tabellen werden die Untersuchungsgebiete nach ihrer mittleren Geländehöhe angeordnet, beginnend jeweils mit dem Gebiet der geringsten Höhe in Baden- Württemberg und im bayerischen Main-/Elbe- bzw. Donauroaum.

## 4 Gebietsmittelwerte der Lufttemperatur

### 4.1 Mittlere regionale Verteilung und mittlerer Jahresgang

Abb. 4.1 zeigt die Jahresmitteltemperatur der Untersuchungsperiode 1931/2000 in Rasterfelddarstellung; Abb. 4.2 gibt die Gebietsmittelwerte der mittleren Jahrestemperaturen 1931/2000 an. Aus beiden Kartenübersichten geht deutlich der Einfluss der Gelände- bzw. Gebietshöhe auf die Lufttemperatur hervor. Die höchsten mittleren Jahrestemperaturen finden sich im Untersuchungsraum im Oberrheingraben mit einer Reihe von Gitterpunktwerten größer 10 °C oder größer 10,5 °C, bzw. als Gebietsmittelwert von 9,7 °C für das Gebiet R 5 (Rhein uh. Murg bis oh. Neckar), das

mit 196 m ü. NN mittlerer Geländehöhe die geringste Höhenlage des gesamten Untersuchungsraumes aufweist. In den Gipfelregionen der Alpen liegen die Gitterpunktwerte der Jahresmitteltemperaturen unter 3 °C; die geringste Gebietsmitteltemperatur von 6,4 °C ist für das mit 872 m ü. NN mittlere Geländehöhe am höchsten gelegene Untersuchungsgebiet D 3 (Iller) zu verzeichnen. Neben dieser Höhenabhängigkeit weisen die mittleren Jahrestemperaturen als Anzeichen einer zunehmenden Kontinentalität der klimatischen Bedingungen eine schwache Abnahme von West nach Ost und Südost bei vergleichbarer Höhenlage über NN auf. (s. auch Tabellen 4.1 bis 4.3).

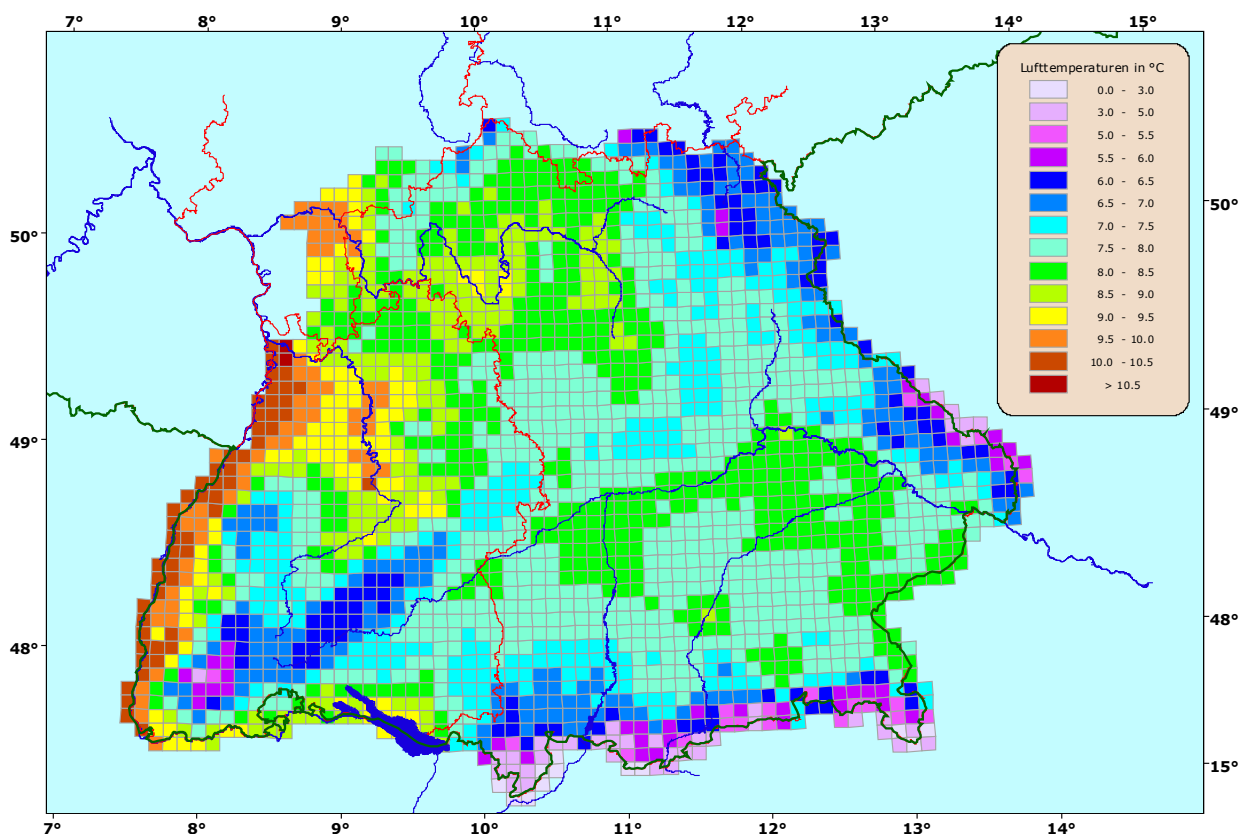


Abb. 4.1: Jahresmitteltemperatur (in °C) 1931/2000, Rasterwerte Baden-Württemberg und Bayern

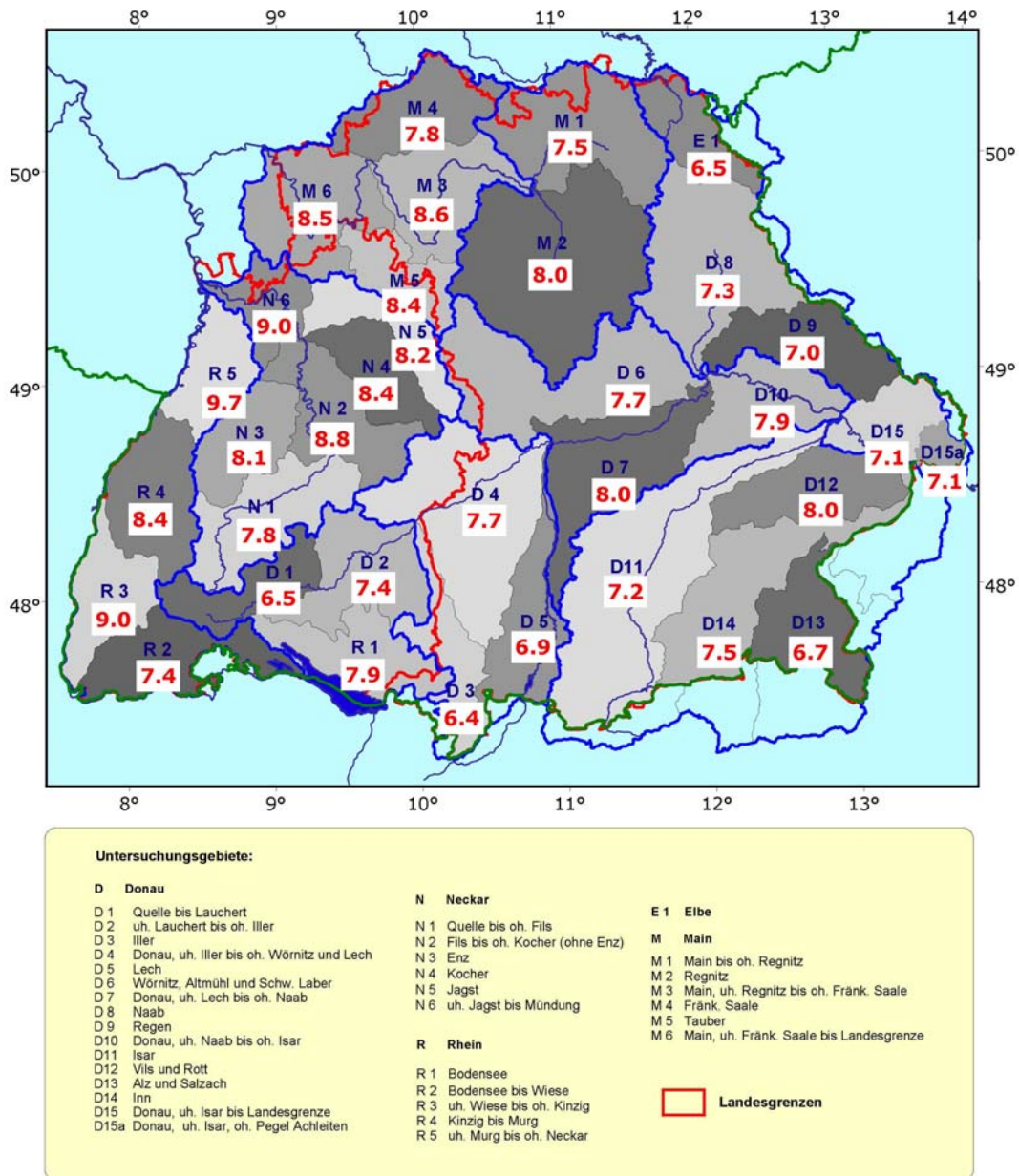


Abb. 4.2: Jahresmitteltemperaturen (in °C), Gebietsmittel 1931/2000, KLIWA-Gebiet.

In den Tabellen 4.1 bis 4.3 wird der mittlere Jahresgang der Lufttemperaturen in den Untersuchungsgebieten anhand der Monatsmitteltemperaturen angegeben. Die durchschnittlich höchsten Monatsmittel der Lufttemperatur sind im gesamten Untersuchungsraum im Juli zu verzeichnen, der durchschnittlich kälteste Monat im Jahresverlauf ist der Januar. Die mittlere Jahreschwankung – die Differenz zwischen den Monatsmitteltemperaturen dieser beiden Monate – bewegt sich bei den Untersuchungsgebieten Baden-Württembergs zwischen 17,3 K (R 4: Rhein zw. Kinzig u. Murg) und 18,6 K (R 1: Bodensee). In Bayern liegt die Jahresschwankung im Maingebiet bei 17,8 K (M 6: Main uh. Fränk.

Saale) bis 18,7 K (M 2: Regnitz); im Donauegebiet treten im Vergleich zum übrigen Untersuchungsraum die höchsten Jahreschwankungen zwischen 17,9 K in den westlichen Gebieten (D 3, D 5: Iller, Lech) und 19,4 K bis 19,7 K in den östlichsten Untersuchungsgebieten der Donau unterhalb der Isar (D 10, D 12, D 15) auf. Die zunehmende Kontinentalität äußert sich im Untersuchungsraum weniger in den Unterschieden der Jahresmitteltemperaturen sondern in der größeren Jahresschwankung. Diese ist im Wesentlichen eine Folge der kälteren und länger andauernden Winterwitterung in den östlicher gelegenen Untersuchungsgebieten. Für einen Vergleich eignen sich die in näherungsweise

**Tab. 4.1 Baden-Württemberg**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
R 5	196	0,8	1,8	5,5	9,3	13,7	16,8	18,7	18,0	14,6	9,7	4,9	1,8	9,7
N 6	282	0,1	1,1	4,8	8,7	13,1	16,2	18,0	17,4	14,0	9,2	4,3	1,1	9,0
M 5	345	-0,8	0,2	4,0	8,1	12,6	15,7	17,5	16,9	13,4	8,5	3,7	0,3	8,4
N 2	373	-0,1	0,9	4,6	8,5	12,9	16,0	17,8	17,3	13,9	9,1	4,2	0,9	8,8
N 5	396	-0,9	0,1	3,8	7,9	12,5	15,6	17,4	16,8	13,3	8,4	3,5	0,2	8,2
N 4	396	-0,6	0,4	4,1	8,1	12,6	15,7	17,5	16,9	13,5	8,6	3,7	0,4	8,4
R 3	409	0,3	1,4	4,9	8,6	12,8	15,9	17,9	17,2	14,0	9,1	4,3	1,2	9,0
R 4	452	-0,1	0,9	4,3	7,9	12,2	15,3	17,2	16,6	13,4	8,6	3,9	0,9	8,4
N 3	477	-0,4	0,5	3,8	7,6	11,9	15,1	17,0	16,4	13,1	8,4	3,6	0,5	8,1
N 1	559	-1,0	0,0	3,5	7,3	11,7	14,8	16,7	16,1	12,9	8,2	3,2	0,0	7,8
R 1	567	-1,4	-0,2	3,5	7,6	12,1	15,3	17,2	16,6	13,3	8,3	3,1	-0,3	7,9
D 2	625	-1,9	-0,7	3,0	7,1	11,5	14,6	16,5	15,9	12,6	7,7	2,5	-0,8	7,4
R 2	692	-1,4	-0,3	3,0	6,7	11,2	14,4	16,3	15,7	12,6	7,8	2,7	-0,3	7,4
D 1	790	-2,3	-1,2	2,1	5,8	10,3	13,4	15,4	14,8	11,7	6,9	1,9	-1,3	6,5

**Tab. 4.2 Bayern, Einzugsgebiete Donau**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
D10	415	-2,2	-0,8	3,3	8,0	12,8	15,9	17,5	16,9	13,4	8,2	2,9	-0,8	7,9
D12	432	-2,2	-0,7	3,3	8,1	12,8	15,9	17,5	16,9	13,4	8,2	2,9	-0,8	8,0
D7	444	-1,8	-0,5	3,4	7,9	12,5	15,6	17,4	16,8	13,4	8,3	3,0	-0,5	8,0
D6	476	-1,9	-0,7	3,1	7,5	12,1	15,2	16,9	16,4	13,0	8,0	2,7	-0,7	7,7
D8	494	-2,4	-1,2	2,6	7,1	11,9	15,0	16,7	16,1	12,6	7,6	2,3	-1,1	7,3
D4	547	-1,7	-0,5	3,3	7,5	12,0	15,1	16,9	16,3	13,0	7,9	2,8	-0,5	7,7
D15	551	-2,9	-1,5	2,2	7,1	11,9	14,9	16,5	15,9	12,5	7,4	2,1	-1,4	7,1
D9	569	-2,6	-1,4	2,1	6,7	11,6	14,7	16,3	15,8	12,3	7,3	2,1	-1,3	7,0
D15a	577	-2,8	-1,5	2,2	7,1	11,9	14,9	16,5	15,9	12,5	7,5	2,0	-1,5	7,1
D14	590	-2,1	-0,9	2,9	7,3	11,9	15,0	16,7	16,2	12,9	7,9	2,6	-0,9	7,5
D11	675	-2,1	-1,0	2,6	6,9	11,4	14,5	16,3	15,8	12,6	7,7	2,5	-0,9	7,2
D13	785	-2,5	-1,4	2,0	6,2	10,8	13,8	15,6	15,1	12,0	7,3	2,0	-1,4	6,7
D5	791	-2,1	-1,1	2,3	6,3	10,8	13,9	15,8	15,3	12,1	7,3	2,3	-1,0	6,9
D3	872	-2,5	-1,5	1,9	5,8	10,3	13,4	15,4	14,8	11,6	6,9	1,8	-1,4	6,4

**Tab.4.3 Bayern, Einzugsgebiete Main, Elbe**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
M3	276	-0,7	0,4	4,2	8,5	12,9	16,0	17,7	17,1	13,6	8,7	3,8	0,5	8,6
M6	295	-0,4	0,6	4,3	8,3	12,6	15,7	17,4	16,8	13,4	8,6	4,0	0,8	8,5
M5	345	-0,8	0,2	4,0	8,1	12,6	15,7	17,5	16,9	13,4	8,5	3,7	0,3	8,4
M4	379	-1,3	-0,3	3,4	7,7	12,1	15,2	16,8	16,3	12,8	8,0	3,1	-0,1	7,8
M2	392	-1,4	-0,3	3,4	7,7	12,4	15,6	17,3	16,7	13,1	8,2	3,2	-0,2	8,0
M1	424	-1,8	-0,8	2,9	7,2	11,9	15,1	16,7	16,1	12,7	7,8	2,8	-0,5	7,5
E1	583	-2,8	-1,8	1,8	6,1	10,9	14,1	15,7	15,1	11,7	6,9	1,9	-1,5	6,5

Tab. 4.1 bis 4.3 Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur (in °C),  
Gebietsmittelwerte 1931/2000



gleicher geographischer Breite und Höhe über NN gelegenen Gebiete R 4 (Rhein zw. Kinzig u. Murg, 452 m ü. NN) und D 12 (Vils u. Rott, 432 m ü. NN). Die mittlere Lufttemperatur beispielsweise des Januar beträgt für R 4:  $-0,1\text{ °C}$ , für D 12:  $-2,2\text{ °C}$ . In vergleichbarer Weise zeigen sich die Unterschiede in den Monatsmitteltemperaturen von November bis März. In den Sommermonaten Mai bis August sind hingegen die Monatsmitteltemperaturen im östlicher gelegenen Gebiet D 12 gegenüber R 4 am Oberrhein leicht erhöht.

## 4.2 Abhängigkeit der Lufttemperatur von der Geländehöhe

### 4.2.1 Allgemeines

Die Lufttemperatur in 2 m Messhöhe zeigt in der Regel eine Abnahme mit zunehmender Höhe des Geländes über dem Meeresspiegel (NN) – der vertikale Temperaturgradient im Gelände ist meist negativ.

Bei bestimmten, austauscharmen Wetterlagen, vorzugsweise im Herbst und Winter, nimmt die Lufttemperatur auch im Tagesmittel mit zunehmender Geländehöhe zu (Temperaturinversion). Durch Geländeformen, welche den Luftmassenaustausch einschränken, wird die Ausbildung solcher Temperaturinversionen unterstützt, so dass ihre Häufigkeit neben der Wetterlagenabhängigkeit auch lokal-klimatische Unterschiede zeigt.

Der vertikale Temperaturgradient im Gelände ist zu berechnen aus Stationsmesswerten der Lufttemperatur unter Bezug auf die Differenz der Stationshöhen über NN. Zur allgemeinen Vergleichbarkeit erfolgt eine Interpolation der Temperaturdifferenzen auf eine Höhendifferenz von 100 m und die Angabe der Gradientwerte in der Dimension  $\text{K}/100\text{ m}$ .

Die mit vorliegendem KLIWA-Teilprojekt erstellten täglichen Gitterpunktwerte der Lufttemperatur ermöglichen eine flächendeckende Berechnung des vertikalen Gradienten im Gelände auf der Grundlage eines einheitlichen Datenmaterials und die Untersuchung regionaler Unterschiede des Gradienten im Raum Baden-Württemberg/

Bayern. Diese Auswertungen erfolgten auf der Basis der Gebietseinheiten der zusammengefassten KLIWA-Regionen (vgl. Abb. 3.2), wobei die Region der mittleren Donau in Bayern (D 6, D 7, D 10) wegen der hier auftretenden geringen Differenzen bei den Geländehöhen bzw. den Rasterfeldhöhen von nur ca. 200 m (vgl. Abb. 3.1) nicht einbezogen wurde. Zur Vereinfachung der Beschreibung werden im Folgenden auch der verkürzte Begriff vertikaler Temperaturgradient und die Dimension der Temperaturdifferenz (K) verwendet, da sich die Angaben grundsätzlich auf eine Höhendifferenz von 100 m beziehen.

### 4.2.2 Regionale Unterschiede der vertikalen Temperaturgradienten

Die vertikalen Gradienten wurden aus den gerasterten täglichen Lufttemperaturen schichtweise in 100 m-Höhenstufen vom untersten bis zum obersten Rasterfeldniveau ü. NN in jeder Region berechnet. Dabei zeigte sich, dass im Mittel die Lufttemperaturänderung mit der Geländehöhe nahezu linear ist: Der Quotient aus der Temperaturdifferenz zwischen dem untersten und obersten Höhenniveau und der Höhendifferenz ist im Mittel nahezu gleich groß wie der gemittelte Gradient der einzelnen 100 m-Höhenstufen.

Der Jahresmittelwert des vertikalen Temperaturgradienten bewegt sich im Untersuchungsraum Baden-Württemberg / Bayern zwischen  $-0,40\text{ K}$  in den Alpenregionen und  $-0,63\text{ K}$  in der Region Oberer Main/Regnitz bei Variabilitäten (Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert) im Bereich von 7 % bis 10 %, je nach Region. Für den Unteren und Mittleren Main mit Tauber ist mit  $-0,57\text{ K}$  ebenfalls eine vergleichsweise starke Abnahme der Lufttemperatur mit der Geländehöhe im Jahresmittel zu verzeichnen. In der Mittelgebirgsregion von Elbe / Naab / Regen ist der Gradient mit  $-0,45\text{ K}$  nahezu so groß wie in den Alpenregionen.

Bei den drei Regionen Baden-Württembergs liegen die mittleren Jahreswerte des vertikalen Temperaturgradienten recht einheitlich zwischen  $-0,51\text{ K}$  (Region

Obere Donau, Bodensee) und  $-0,54$  K (Region Neckar).

Die Änderung der Lufttemperatur mit zunehmender Geländehöhe zeigt einen ausgeprägten, typischen Jahresgang, dessen mittlerer Verlauf in den einzelnen Regionen des Untersuchungsraumes in der Abb. 4.3 dargestellt ist. Im vieljährigen Mittel sind im gesamten Untersuchungsraum die größten Gradientenbeträge, das heißt die stärksten Abnahmen der Lufttemperatur mit zunehmender Geländehöhe im Jahresabschnitt März bis August zu verzeichnen, wobei die höchsten Beträge im Mittel im April (Mittlerer/Unterer Main, Tauber : März) auftreten. Wesentliche Ursache für die gebietsweise im Jahresabschnitt Oktober bis Februar erheblich verminderten Monatsmittel des Gradientenbetrages sind die in diesem Zeitraum häufiger auftretenden inversen Temperaturschichtungen, also Temperaturzunahmen mit zunehmender Geländehöhe. Die Höhenabhängigkeit der potentiellen Verdunstung (Verfahren Turc/Ivanov), deren Langzeitverhalten in einem weiteren KLIWA-Teilprojekt [1] untersucht wurde, zeigt einen vergleichbaren Jahresgang, der

sich offensichtlich aus der Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur ableitet.

Bei gleichem Typ des Jahresganges unterscheiden sich die einzelnen Regionen deutlich in ihren mittleren Monatswerten des vertikalen Temperaturgradienten. Die geringste jahreszeitliche Veränderlichkeit tritt in den Mainregionen im Norden Bayerns auf mit einer Jahresschwankung des Gradienten zwischen  $-0,65$  K (März) und  $-0,52$  K (September/Oktober) am Mittleren/Unteren Main mit Tauber bzw.  $-0,71$  K (April) und  $-0,52$  K (Oktober) in der Region Oberer Main/Regnitz. Die Regionen der westlichen und östlichen Alpen sowie die Mittelgebirgsregionen von Elbe / Naab / Regen zeigen die stärkste Jahresschwankung mit Gradienten von  $-0,2$  K bis  $-0,3$  K im Winter (Dezember bis Februar) und von  $-0,5$  K bis  $-0,6$  K im Sommer (Juni bis August). Die mittlere Temperaturabnahme mit zunehmender Geländehöhe ist insbesondere in den Alpenregionen in allen Monaten des Jahresablaufes geringer als in den übrigen Regionen Bayerns und Baden-Württembergs.

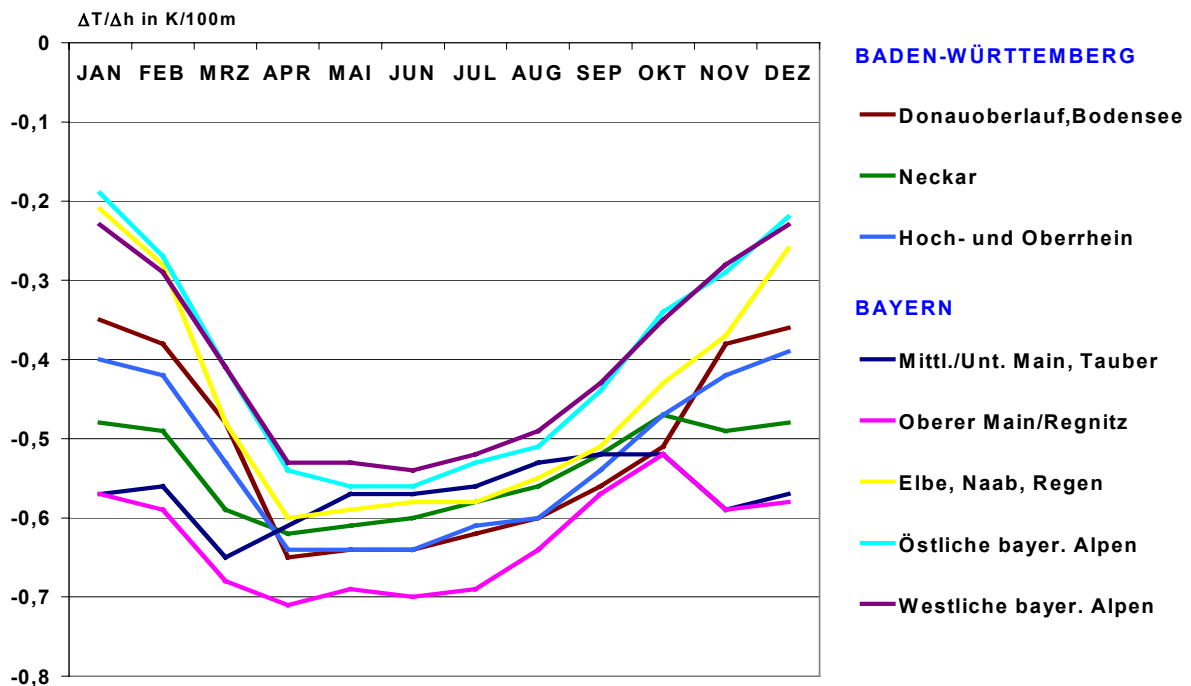


Abb. 4.3: Mittlerer Jahresgang des vertikalen Lufttemperaturgradienten  $\Delta T/\Delta h$  (in K/100m), KLIWA-Regionen in Baden-Württemberg und Bayern



In Baden-Württemberg unterscheiden sich die mittleren monatlichen Gradienten für die Regionen von Donauoberlauf / Bodensee von Hoch- und Oberrhein im gesamten Jahresverlauf nur wenig. Die Gradientenwerte schwanken im Bereich von etwa - 0,40 K im Winter bis - 0,65 K im April, Mai, Juni. Beschränkt auf den Jahresabschnitt April bis Oktober zeigen die Gradienten in der

Neckarregion im Mittel nur geringe Unterschiede zu den Gradienten in den Donau- und Rheinregionen Baden- Württembergs – im Jahresabschnitt November bis März sind die vertikalen Temperaturabnahmen in der Neckarregion mit Werten um - 0,5 K größer als in den beiden anderen Regionen.

## 5 Zeitreihenverhalten der Gebietsmittelwerte der Lufttemperatur

### 5.1 Zeitreihenverhalten und Trends der Jahresmitteltemperaturen der Untersuchungsgebiete

In Abb. 5.1 sind die Zeitreihen der Jahresmitteltemperaturen als Gebietsmittelwerte für die aus den Untersuchungsgebieten gebildeten KLIWA-Regionen (vgl. Abb. 3.2) dargestellt. Die Graphiken enthalten weiterhin die geglättete Zeitreihe (Gauss-Filter [8] mit  $T^* = 10$  Jahre) und die Trendgerade.

In den einzelnen Regionen des gesamten Untersuchungsraumes von Baden-Württemberg und Bayern zeigt sich in der Untersuchungsperiode ein grundsätzlich ähnlicher Zeitreihenverlauf der Lufttemperaturen – lediglich das Niveau der Jahres-

mitteltemperaturen ist entsprechend den mittleren Höhenlagen der Regionen verschoben. Auch im Zeitreihenverlauf der Lufttemperaturen spiegelt sich somit wider, dass die mittlere regionale Verteilung der Lufttemperaturen von deren Höhenabhängigkeit bestimmt wird und die horizontale Temperaturänderung (bei gleicher Höhenlage) demgegenüber geringfügig ist (vgl. Kapitel 2.2).

Zu Beginn der Untersuchungsperiode weisen die Jahre 1931 und 1933 unterdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen auf; am deutlichsten ausgeprägt ist diese negative Abweichung in den Alpenregionen und der Region der mittleren Donau in Bayern.

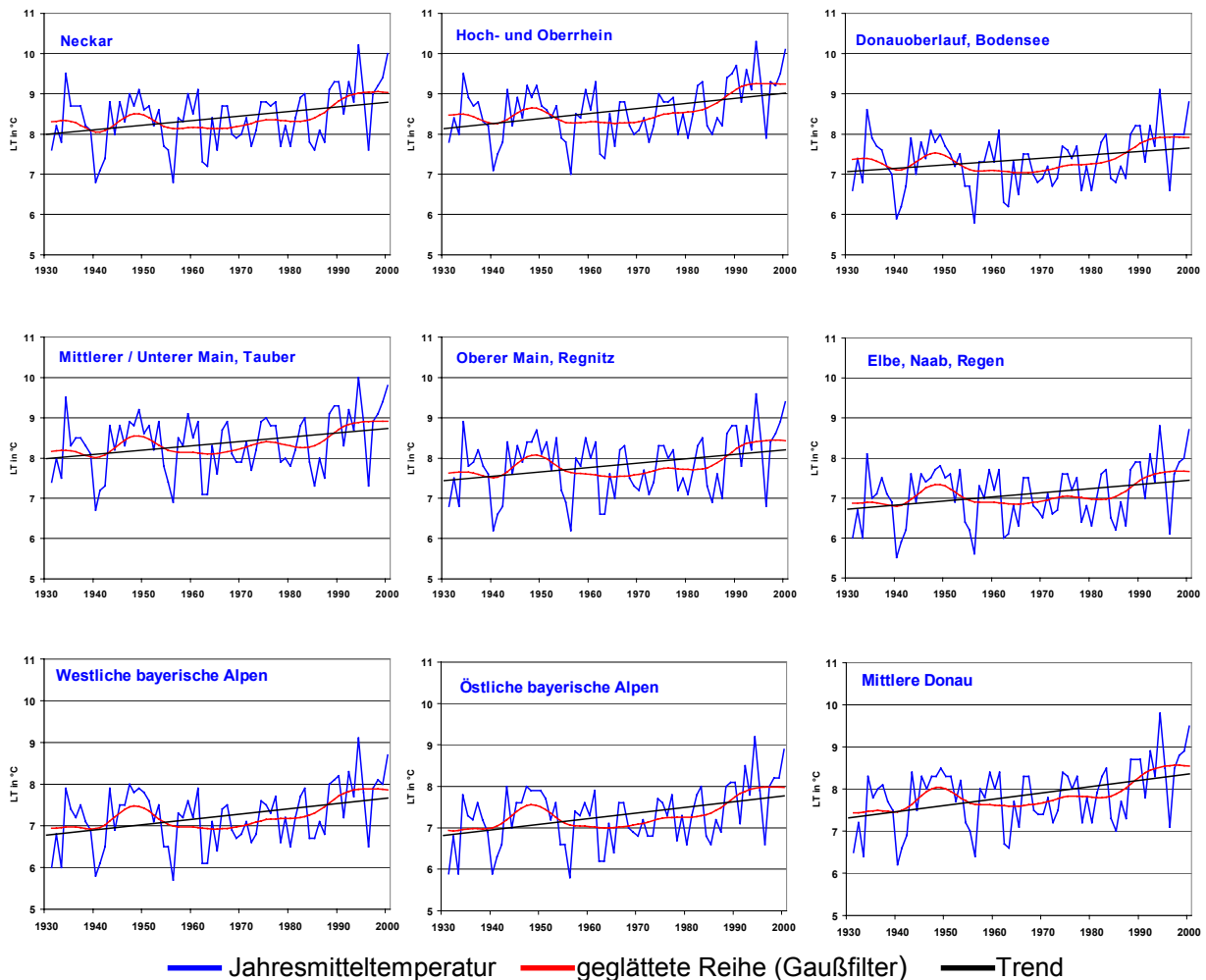


Abb. 5.1: Jahreswertreihen von Gebietsmitteltemperaturen (in °C) in den KLIWA-Regionen





Das Jahr 1934 ist hingegen in weiten Teilen Süddeutschlands eines der wärmsten in der Zeitreihe 1931/2000; die Jahresmitteltemperatur von 1934 wird verbreitet erst zum Ende des Jahrhunderts wieder erreicht und übertroffen. Die nachfolgenden Jahre bis 1937 zeigen sich auch in allen Regionen überdurchschnittlich warm, jedoch mit geringeren positiven Abweichungen als 1934. Zwischen 1943 und 1953 ist in der Untersuchungsperiode eine weitere und recht lang anhaltende Folge von überwiegend zu warmen Jahren im gesamten Untersuchungsraum Baden-Württemberg und Bayern zu verzeichnen. Die wärmsten Jahre dieses Zeitreihenabschnittes sind in den meisten Regionen 1947 und 1949 mit Abweichungen um + 0,8 K vom Mittelwert der Untersuchungsperiode. In den Untersuchungsgebieten der Alpenregionen und an der mittleren Donau wird in diesem Zeitreihenabschnitt die hohe Jahresmitteltemperatur von 1934 übertroffen. Ab Mitte des fünfziger bis Ende des achtziger Dezenniums ist im Gesamttraum eine gleichfalls lang anhaltende Periode, jedoch mit meist unterdurchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen zu verzeichnen. Das Jahr 1956 ist, ungefähr gleichrangig mit 1940, das kälteste der Zeitreihe 1931/2000. Die Abweichungen der Jahresmitteltemperaturen vom Durchschnittswert liegen in diesen Jahren bei etwa - 1,6 K. Am Ende des Untersuchungszeitraumes tritt ab 1988 wieder ein Zeitreihenabschnitt mit hohen Jahresmitteltemperaturen in allen Regionen Baden-Württembergs und Bayerns auf, der nur durch das erheblich zu kalte Jahr 1996 unterbrochen wird.

Mit der Bruchpunktanalyse nach PETTIT [16] wird bei allen Untersuchungsgebieten der wahrscheinlichste Bruch in den Jahreswertreihen der Lufttemperatur für das Jahr 1987 bestimmt. Hinsichtlich Häufigung und Betrag der positiven Abweichungen übertrifft der Zeitreihenabschnitt 1988/2000 die vorherigen warmen Jahresfolgen der Untersuchungsperiode und beeinflusst wesentlich den Trend der siebzigjährigen Gesamtreihe. Die höchste Jahresmitteltemperatur aus 1931/2000 trat 1994 auf – die Abweichungen der Gebietsmittelwerte von ihrem vieljährigen Durchschnitt erreichen in diesem Jahr bis zu + 2 K.

Die Jahresmitteltemperaturen, hier untersucht anhand von Gebietsmittelwerten, weisen in Baden-Württemberg und in Bayern für die Zeitreihe 1931/2000 flächendeckend einen hoch signifikanten positiven Trend auf (s. Abb. 5.1, Abb. 5.2). Mit den Farbsignaturen der Trendwerte wird in der Abb. 5.2 eine Abstufung ihrer Signifikanz angezeigt, was jedoch nicht darüber hinweg täuschen soll, dass sich die Signifikanz des Anstiegs der Jahresmitteltemperaturen in den Untersuchungsgebieten insgesamt auf sehr hohem Niveau bewegt. Der geringste Signifikanzwert des gesamten Untersuchungsraumes errechnet sich mit 96 % für das Untersuchungsgebiet D 2 (Donau uh. Lauchert - oh. Iller). Für zehn der betrachteten 33 Untersuchungsgebiete bewegt sich die Signifikanz der Trendwerte zwischen 96 % und der 99 %-Schwelle, bei neun Untersuchungsgebieten wird sogar der Schwellenwert von 99,9 % übertroffen.

In Baden-Württemberg sind die stärksten Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen von  $\geq 1$  K im Nordwesten in den Gebieten R 5 (Rhein uh. Murg - oh. Neckar), N 3 (Enz) und N 6 (Neckar uh. Jagst) zu finden und weisen ebenso wie der Trendwert von 0,93 K des Gebietes R 4 (Rhein uh. Kinzig - oh. Murg) eine Signifikanz von  $> 99,9$  % auf. Im südlich anschließenden Gebiet R 3 und in den Neckargebieten von Fils (N 2), Kocher (N 4) und Jagst (N 5) gehen die Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen auf 0,90 K bis 0,72 K zurück, weisen aber immer noch Signifikanzen größer 99 % auf. Auch für die Trendwerte der nördlich der Neckargebiete überwiegend bereits in Bayern gelegenen Untersuchungsgebiete M 5 (Tauber) und M 6 (Main uh. Fränk. Saale) ergeben sich Signifikanzen über 99 %. Die geringsten Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen in der Untersuchungsperiode treten in Baden-Württemberg in den Gebieten von Donauoberlauf und Bodensee (D 1, D 2, R 1), am Hochrhein (R2) und am Neckaroberlauf (N 1), das heißt in den am höchsten über NN gelegenen Untersuchungsgebieten auf. Die Trendwerte liegen hier zwischen 0,53 K und 0,67 K mit geringeren Signifikanzen im Bereich von "nur" 96 % bis 98 %.

In Bayern finden sich die stärksten Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen von  $> 1$  K (außer in D 10) in den Untersuchungsgebieten der mittleren Donau (D 6, D 7) und den südöstlichen Gebieten Bayerns, insbesondere für D 12 und D 15, wobei die Signifikanzschwelle von 99,9 % überschritten wird. Die Trends der jährlichen Gebietsmitteltemperaturen in den Untersuchungsgebieten der westlichen und der östlichen bayerischen Alpen (außer D 12, s.o.) sind mit 0,84 K bis 0,98 K im Betrag etwas geringer bei Überschreitung

des Signifikanzschwellenwertes von 99 %. Die geringsten Trendwerte von 0,60 K bis 0,83 K für die Jahresmitteltemperaturen finden sich in Bayern bei den Untersuchungsgebieten im Norden und Nordosten, d.h. im Elbegebiet (E 1), am Main bis zur Fränkischen Saale (M 1 bis M 4), an Naab (D 8) und Regen (D 9). Die Signifikanz der Trendwerte liegt bei diesen Gebieten bei 97 % bis 98 % und erreicht bei M 2 (Regnitz) und D 9 (Regen) die 99 %-Schwelle.

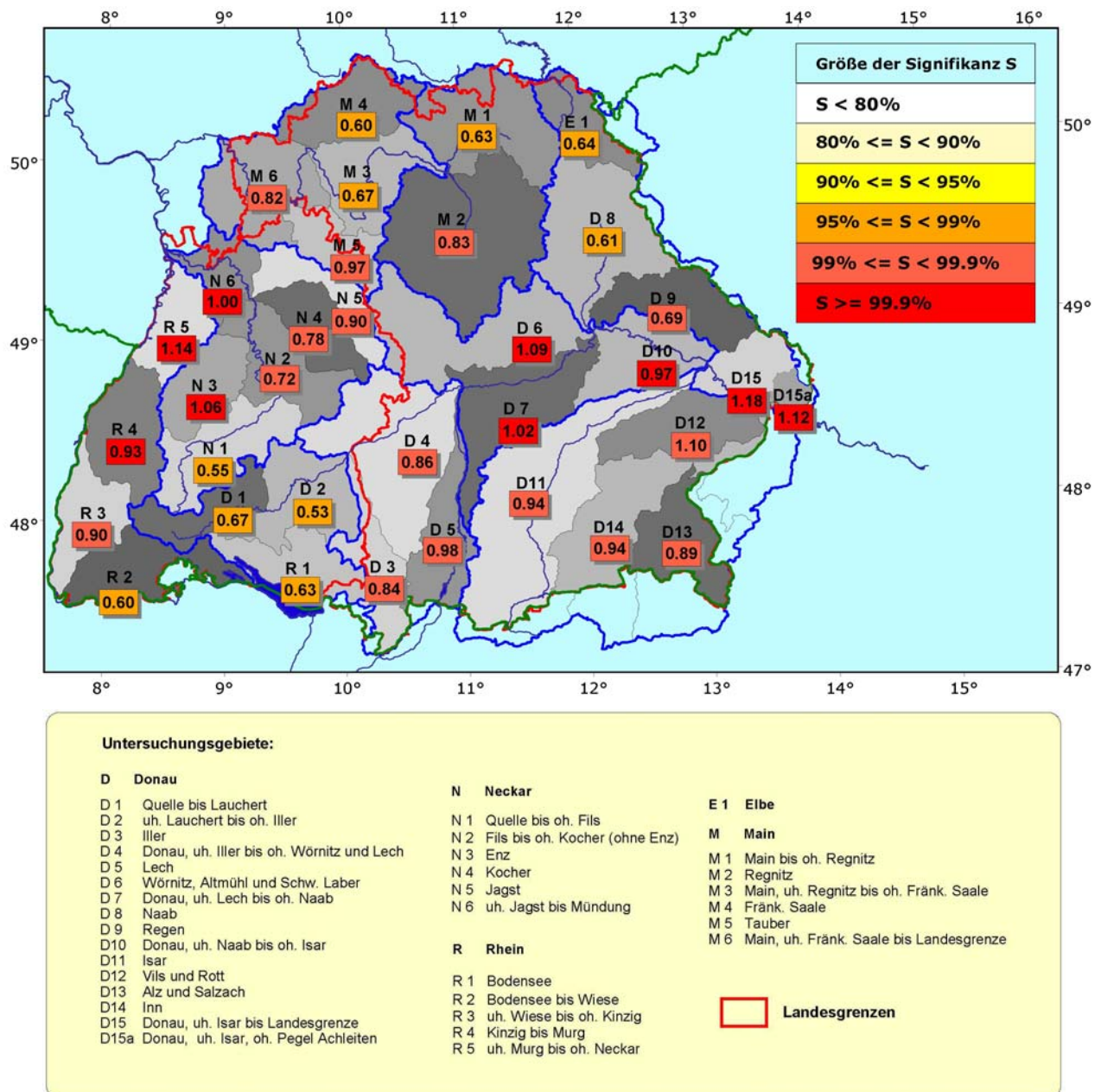


Abb. 5.2: Trend (in K/70 Jahre) mit Signifikanz der Jahresmitteltemperatur, Gebietswerte 1931/2000



**Tab. 5.1: Baden-Württemberg**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
R 5	196	1,83	1,69	1,57	-0,14	0,95	0,27	1,11	1,72	0,43	1,15	0,17	2,62	1,14
N 6	282	1,83	1,53	1,39	-0,03	0,85	0,07	0,90	1,62	0,32	0,97	0,07	2,42	1,00
M 5	345	2,02	1,46	1,45	-0,16	0,76	0,06	0,82	1,56	0,25	0,90	-0,02	2,38	0,97
N 2	373	1,75	1,38	1,18	-0,39	0,46	-0,20	0,51	0,93	-0,20	0,75	-0,06	2,38	0,72
N 5	396	1,91	1,42	1,43	-0,19	0,83	0,06	0,78	1,41	0,10	0,87	0,07	2,38	0,90
N 4	396	1,84	1,32	1,20	-0,39	0,59	-0,14	0,58	1,04	-0,14	0,78	0,00	2,38	0,78
R 3	409	1,64	1,33	0,99	-0,41	0,60	-0,05	0,83	1,32	0,28	1,39	0,21	2,59	0,90
R 4	452	1,72	1,40	0,96	-0,38	0,62	-0,06	0,79	1,41	0,36	1,46	0,18	2,56	0,93
N 3	477	1,91	1,61	1,33	-0,16	0,74	0,13	0,96	1,51	0,40	1,43	0,30	2,69	1,06
N 1	559	1,65	1,22	0,84	-0,70	0,21	-0,43	0,48	0,78	-0,33	0,85	-0,09	2,29	0,55
R 1	567	1,41	1,23	1,27	-0,82	0,39	-0,22	0,57	0,82	-0,23	0,71	0,03	1,94	0,63
D 2	625	1,46	1,16	1,10	-0,81	0,25	-0,35	0,42	0,66	-0,42	0,65	-0,10	2,12	0,53
R 2	692	1,41	1,04	0,90	-0,78	0,30	-0,32	0,73	0,93	-0,23	0,99	0,15	2,11	0,60
D 1	790	1,65	1,16	0,83	-0,66	0,32	-0,44	0,58	0,95	-0,14	1,16	0,09	2,26	0,67

**Tab. 5.2: Bayern, Einzugsgebiete Donau**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
D10	415	1,86	1,76	2,13	-0,12	1,10	0,31	0,72	1,36	-0,14	0,36	0,50	2,09	0,97
D12	432	1,92	2,06	2,36	-0,08	1,24	0,32	0,70	1,31	-0,09	0,66	0,53	2,20	1,10
D7	444	1,92	1,83	2,02	-0,30	1,02	0,23	0,67	1,34	-0,02	0,72	0,35	2,36	1,02
D6	476	1,89	1,76	2,01	-0,11	1,15	0,38	0,90	1,57	0,09	0,70	0,40	2,34	1,09
D8	494	1,64	1,21	1,37	-0,35	0,65	-0,23	0,22	0,92	-0,27	0,35	0,04	1,81	0,61
D4	547	1,90	1,67	1,63	-0,45	0,65	-0,04	0,49	1,04	-0,14	0,88	0,22	2,41	0,86
D15	551	2,12	2,05	2,07	-0,05	1,29	0,48	0,86	1,44	0,01	0,83	0,83	2,04	1,18
D9	569	1,68	1,08	1,23	-0,58	0,70	-0,13	0,35	1,00	-0,20	0,70	0,38	1,78	0,69
D15a	577	2,01	2,01	2,04	-0,13	1,20	0,33	0,74	1,43	0,01	0,87	0,77	1,90	1,12
D14	590	1,87	1,88	1,87	-0,45	0,91	-0,03	0,48	1,08	0,01	1,05	0,44	2,06	0,94
D11	675	2,06	1,87	1,64	-0,43	0,83	-0,05	0,50	1,13	0,01	1,17	0,31	2,26	0,94
D13	785	1,97	1,68	1,32	-0,88	0,64	-0,29	0,32	1,12	0,33	1,76	0,67	2,07	0,89
D5	791	2,31	1,92	1,42	-0,61	0,61	-0,16	0,53	1,23	0,24	1,58	0,32	2,52	0,98
D3	872	1,99	1,67	1,25	-0,83	0,48	-0,20	0,61	1,15	0,14	1,43	0,22	2,32	0,84

**Tab. 5.3: Bayern, Einzugsgebiete Main, Elbe**

Gebiet	Höhe m ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
M3	276	1,76	1,12	1,04	-0,37	0,55	-0,06	0,56	1,28	0,06	0,55	-0,38	1,95	0,67
M6	295	1,89	1,18	1,10	-0,41	0,53	0,00	0,76	1,46	0,30	0,81	-0,27	2,13	0,82
M5	345	2,02	1,46	1,45	-0,16	0,76	0,06	0,82	1,56	0,25	0,90	-0,02	2,38	0,97
M4	379	1,65	0,99	1,00	-0,48	0,32	-0,27	0,37	1,14	0,13	0,58	-0,27	1,84	0,60
M2	392	2,02	1,44	1,32	-0,19	0,77	-0,04	0,49	1,11	-0,10	0,72	0,07	2,20	0,83
M1	424	1,90	1,13	0,95	-0,32	0,55	-0,27	0,27	0,82	-0,20	0,65	0,03	1,99	0,63
E1	583	1,84	1,16	0,96	-0,36	0,60	-0,29	0,23	0,86	-0,10	0,73	0,06	1,88	0,64

positive/negative Trends  
Signifikanz S nach Mann-Kendall-Test

S < 80 % ;	95 % ≤ S < 99 %
80 % ≤ S < 90 % ;	99 % ≤ S < 99,9 %
90 % ≤ S < 95 % ;	99,9 % < S

Tab. 5.1 bis 5.3: Trends der Lufttemperatur, Gebietsmittelwerte in K/70 Jahre, 1931/2000

## 5.2 Zeitreihenverhalten und Trends der Gebietsmitteltemperaturen im Jahresgang

In gleicher gebietsweiser Anordnung wie die Monatsmitteltemperaturen (s. Tabellen 4.1 bis 4.3) werden in den Tabellen 5.1 bis 5.3 ihre Trends und deren Signifikanzen angegeben. Weiterhin werden die Trends der Jahresmitteltemperaturen aus der Kartendarstellung in Abb. 5.2 nochmals aufgeführt. Bereits im Überblick zeigt sich, dass über den Jahresablauf hinweg bei allen Untersuchungsgebieten positive Trends dominieren und monats- und gebietsweise sehr hohe Signifikanzen auftreten.

Eine Ausnahme bildet lediglich der Monat April, für den flächendeckend (außer R 5: Rhein u. Murg – oh. Neckar) Rückgänge in den Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen zu verzeichnen sind, die jedoch in den meisten der Untersuchungsgebiete nicht das Signifikanzniveau erreichen. Relativ starke Rückgänge von  $-0,7$  K bis zu  $-0,9$  K sind für die hochgelegenen Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg bei mittleren Gebietshöhen von  $> 500$  m ü. NN (N 1: Neckar bis oh. Fils; D 1, D 2: Donau bis oh. Iller; R 1, R 2: Hochrhein, Bodensee bis Wiese), in Bayern bei mittleren Gebietshöhen  $> 800$  m ü. NN (D 3: Iller, D 5: Lech, D 13: Alz/ Salzach) festzustellen. Bei diesen Gebieten ergeben sich auch schwache Signifikanzen. Weiterhin errechnen sich Abnahmen in den Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen von Juni, September, November; gebietsweise sind in diesen Monaten aber auch Zunahmen der Monatsmitteltemperaturen zu verzeichnen. Die Beträge dieser Zeitreihenänderungen sind jeweils nur geringfügig und weisen keine Signifikanz auf.

In den Monaten Juni, September und November treten somit in der Untersuchungsperiode 1931/2000 flächendeckend keine Änderungen der Monatsmitteltemperaturen auf. Als Ausnahme können im November die Untersuchungsgebiete der Donau mit flächendeckend positiven Tendenzen angesehen werden, wobei insbesondere im östlichen Bayern unterhalb Naab und Isar relativ hohe Zunahmen von  $0,5$  K bis  $0,8$  K

auftreten, die jedoch meist keine oder nur geringe Signifikanz aufweisen.

In allen anderen Monaten des Jahresablaufes, das heißt, im hydrologischen Winterhalbjahr von Dezember bis März und im hydrologischen Sommerhalbjahr im Mai, Juli, August und Oktober sind flächendeckend positive Trends in den monatlichen Gebietsmittelwertreihen bei überwiegend hoher Signifikanz zu verzeichnen. Die höchsten Trendbeträge und die höchsten Signifikanzwerte fallen auf das Winterhalbjahr bei einer viermonatigen Andauer von Dezember bis März. Im Donauroum Bayerns zeigt sich ein noch längerer Jahresabschnitt, von Oktober bis März, ausschließlich mit Zunahmen in den Monatsmitteltemperaturen der Untersuchungsgebiete.

Schwerpunkt der Temperaturzunahme ist der Dezember, für den in Abb. 5.3 die regionale Trendverteilung anhand der Gebietsmittelwerte in Baden-Württemberg und Bayern gezeigt wird. In fast allen Untersuchungsgebieten ist für diesen Monat eine Zunahme der Gebietsmitteltemperatur von mehr als  $2$  K zu verzeichnen. Die Höchstwerte von über  $2,5$  K treten in Baden-Württemberg in den Gebieten N 3 (Enz) und R 3, R 4, R 5 (Oberrhein) auf. In Teilen des Mainneinzugsgebietes unterhalb Regnitz und Fränkischer Saale (M 3, M 4) und im Norden und Osten Bayerns (Elbe E1, Naab D 8, Regen D 9) sind die Trends etwas kleiner als  $2$  K. Flächendeckend ist eine sehr hohe Signifikanz überwiegend mit Überschreitung des 99 %-Schwellenwertes (D 8, D 9: 98,8 %) zu verzeichnen.

Abb. 5.4 zeigt am Beispiel von vier Untersuchungsgebieten, welche im Norden bzw. Süden des Untersuchungsraumes einen West-/Ost-Querschnitt darstellen, den zeitlichen Verlauf der Monatsmitteltemperaturen des Dezember in der Untersuchungsperiode 1931/2000. Im Vergleich dieser Gebiete zeigt sich wiederum der dominierende Einfluss der Höhenlage des Gebietes auf seine durchschnittliche Monatsmitteltemperatur. Darüber hinaus weisen die Zeitreihenverläufe aller Gebiete eine große Ähnlichkeit auf. Überdurchschnittlich warme bzw. zu kalte Dezemberwitterung ist

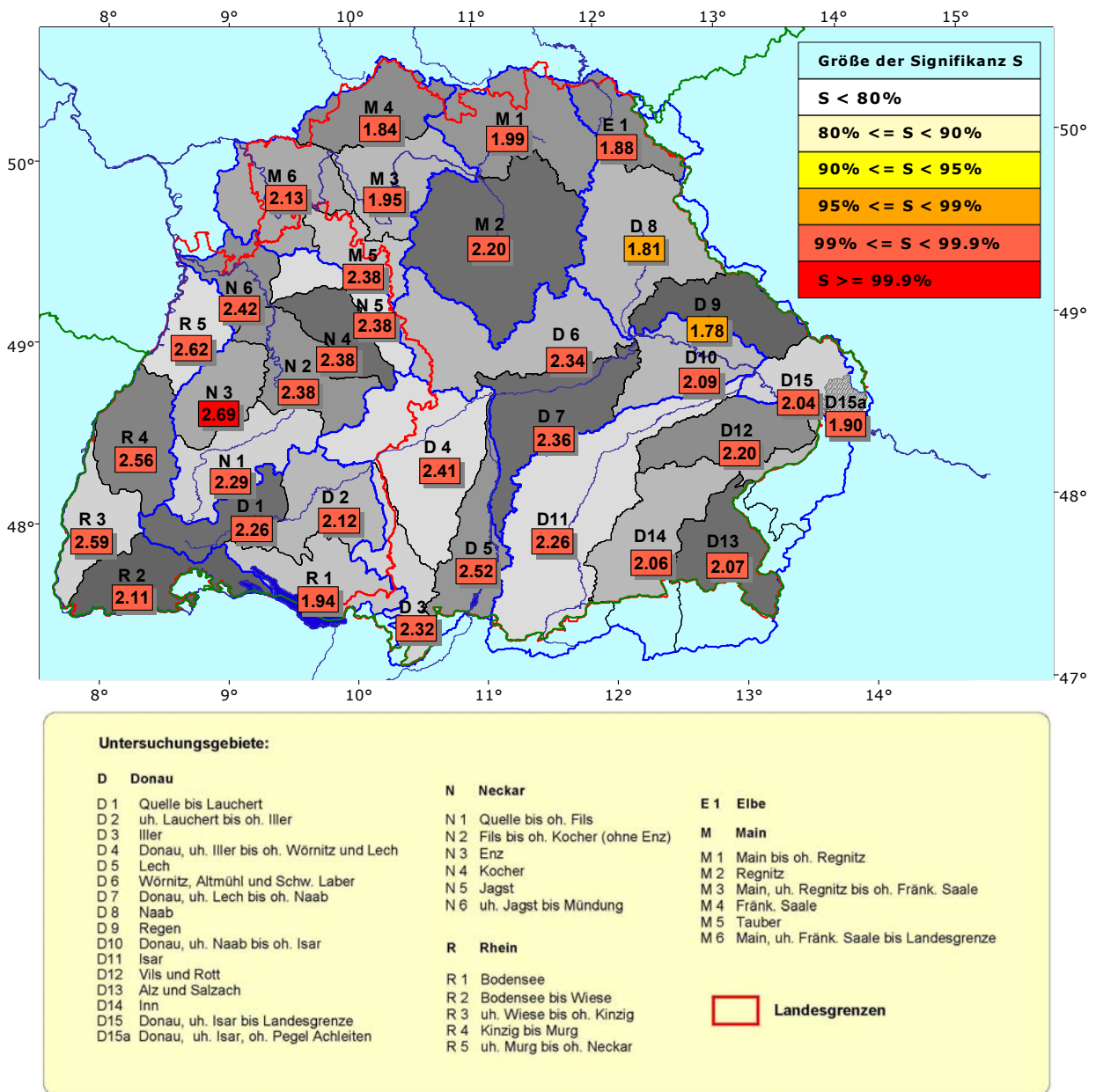


Abb. 5.3: Trend (in K/70 Jahre) der Monatsmitteltemperatur Dezember, Gebietsmittelwerte 1931/2000

zeitgleich in allen Gebieten zu verzeichnen.

In den nachfolgenden Monaten Januar, Februar, März sind die Temperaturzunahmen und auch deren Signifikanzen geringer als im Dezember. Bei der Mehrzahl der Untersuchungsgebiete bewegen sich die Anstiege in den monatlichen Zeitreihen dieses Jahresabschnittes zwischen Werten von 1 K und 2 K. In den Untersuchungsgebieten Baden-Württembergs (Tab. 5.1) wird im Januar noch die Signifikanzschwelle von 90 % überschritten, zum Februar und

März hin werden die monatlichen Trendbeträge etwas geringer, und es werden hier überwiegend nur schwächere Signifikanzen unter 90 % erreicht. Im Elbe-/Mainraum Bayerns (Tab. 5.3) zeigen die monatlichen Trends und Signifikanzen von Januar bis März etwa ähnliches Verhalten. Im Donaauraum Bayerns (Tab. 5.2) sind hingegen noch bis zum März monatliche Trendwerte um 2 K zu verzeichnen, wobei überwiegend die Signifikanzschwellen von 90 %, gebietsweise auch von 95 % erreicht werden. Auffällig ist, dass die höheren

Trendwerte und Signifikanzen von Februar/März an der mittleren Donau und den östlichen Donauebenen (D 6, D 7, D 10, D 12, D 15) auftreten. Die Untersuchungsgebiete von Main und Elbe in Bayern zeigen im Jahresabschnitt Januar bis März geringere Trendwerte mit geringerer Signifikanz; im Februar erreichen hier und in den benachbarten Gebieten von Naab und Regen (D 8, D 9) die Zunahmen in den monatlichen Gebietswertreihen überwiegend nicht mehr den Signifikanzschwellenwert von 80%.

Im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) sind die positiven Trends der Lufttemperatur hinsichtlich Betrag, Signifikanz und der

Länge der Monatsfolge mit einheitlichem Trendverhalten weniger stark ausgeprägt als im Winterhalbjahr (s. Tab. 5.1 bis 5.3). Im Mai und im Juli werden zwar flächendeckend Zunahmen in den Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen verzeichnet. Die Beträge sind jedoch verbreitet kleiner als 1 K ohne oder in nur einzelnen Gebieten von schwacher Signifikanz unter 90%. Lediglich die Untersuchungsgebiete im Donaauraum Bayerns, insbesondere an der Mittleren Donau (D 6, D 7, D 10) und die östlichen Gebiete D 12 (Vils, Rott) und D 15 (Donau uh. Isar) weisen auch im Mai Zunahmen der Gebietsmitteltemperaturen von mehr als 1 K mit Signifikanzen > 95% auf.

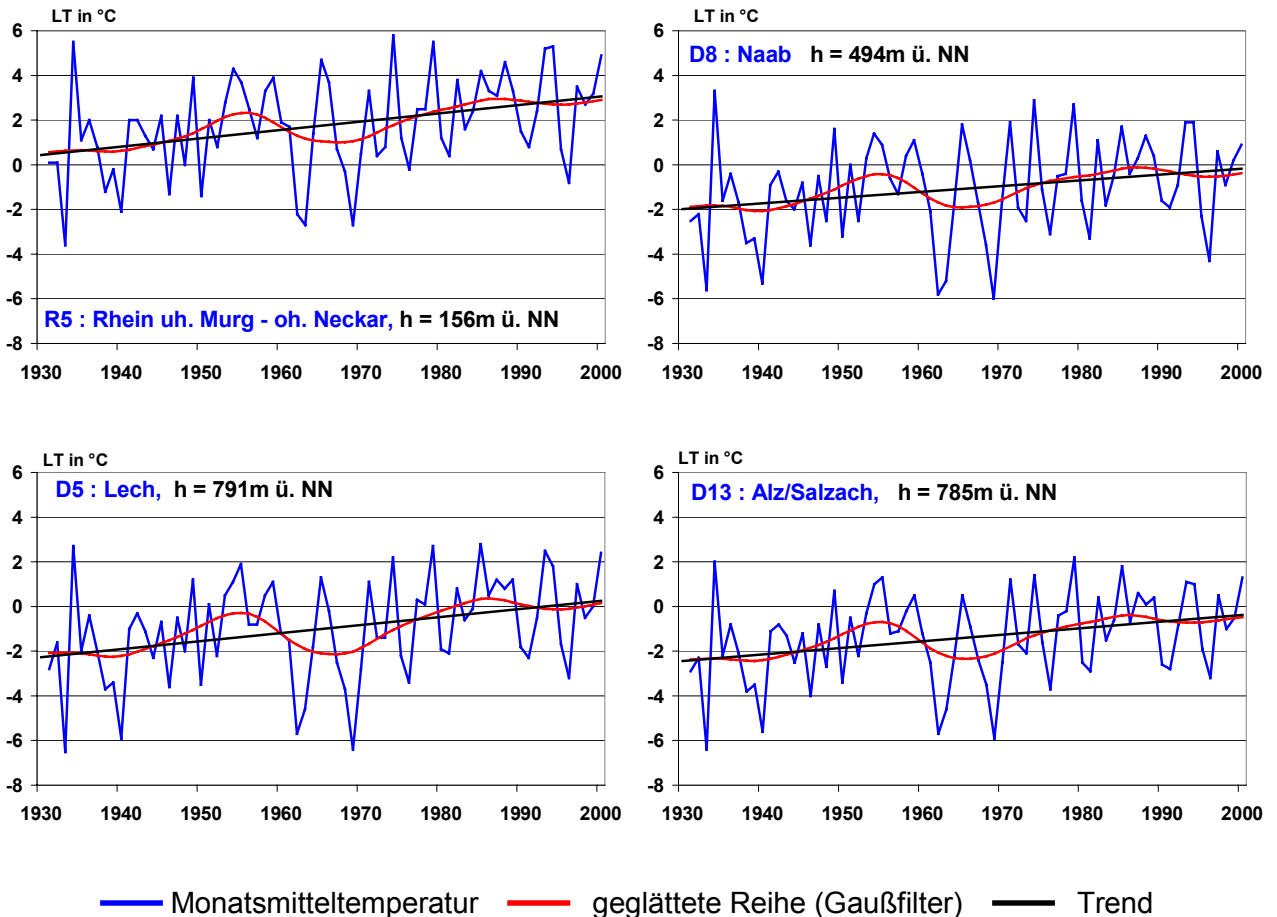


Abb. 5.4: Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen (in °C) des Dezember Gebietsmittelwerte (1931/2000) ausgewählter Untersuchungsgebiete



Der Schwerpunkt der Erwärmung fällt im Sommerhalbjahr auf den Monat August mit Zunahmen der Gebietsmitteltemperaturen im Bereich von 0,7 K und 1,7 K in der Untersuchungsperiode (s. Abb. 5.5). Die höchsten Trendbeträge mit Signifikanzen größer 99 % finden sich an Oberrhein (R 3 bis R 5), Enz (N 3) und unterem Neckar (N 6), am Main unterhalb Regnitz (M 3 bis M 6) und in den mittleren und östlichen Donauebenen Bayerns (D 6, D 7, D 10, D 12, D 15).

Die geringsten Zunahmen weisen die August-Mitteltemperaturen im Nordosten Bayerns, im Elbegebiet (E 1) und am Oberen Main (M 1), sowie in Baden-Württemberg im Bodenseegebiet (R 1), am Neckaroberlauf (N 1) und an der Donau (D 2: Lauchert bis Iller) auf. Im Gebiet D 2 ist mit + 0,66 K der geringste Trendwert des gesamten Untersuchungsraumes und die geringste Signifikanz (93 %) der Augusttrends zu finden.

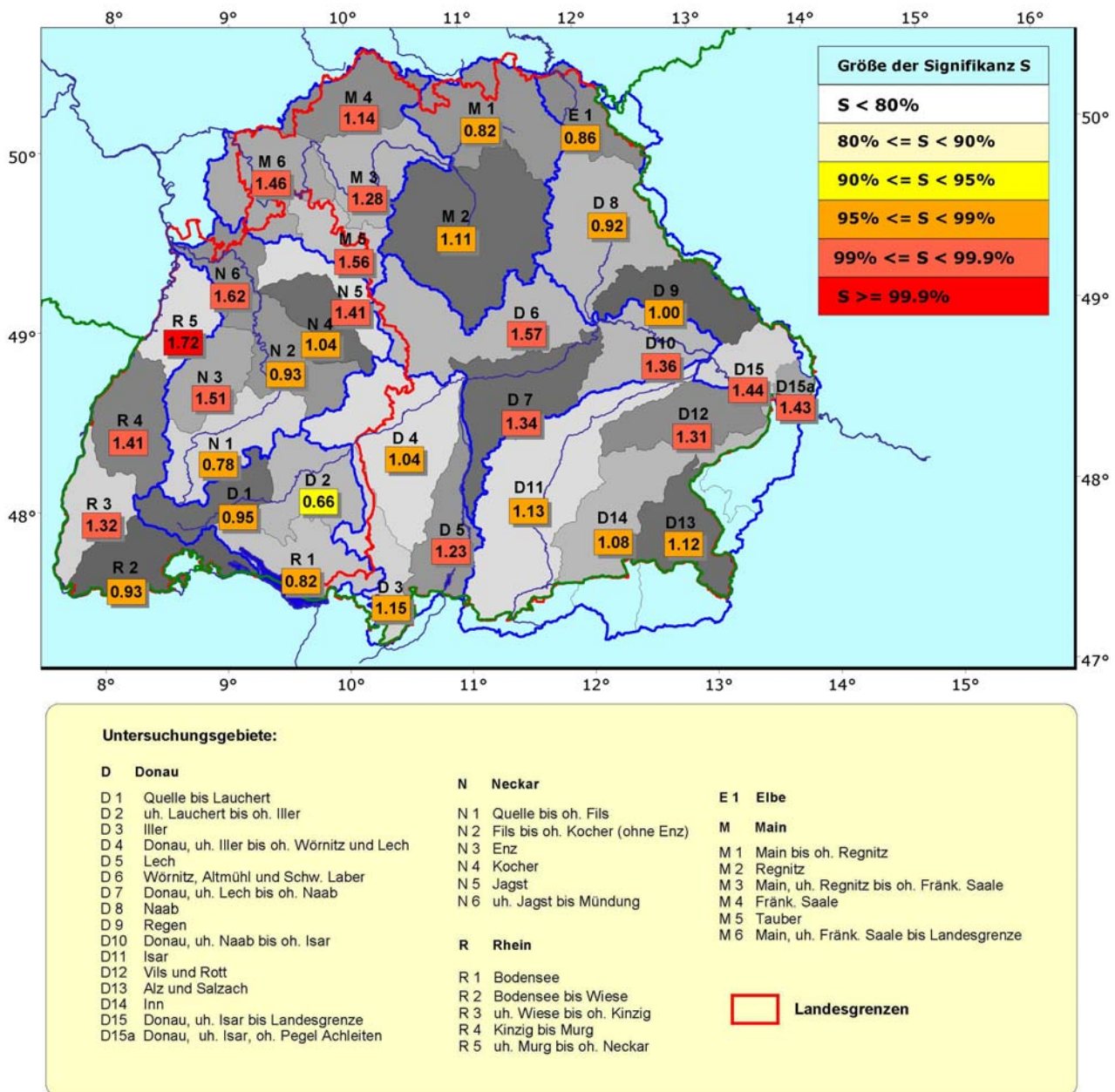


Abb. 5.5: Trend (in K/70 Jahre) der Monatsmitteltemperatur August, Gebietsmittelwerte 1931/2000

Abb. 5.6 zeigt den Zeitreihenverlauf der Augustmitteltemperaturen in den schon für die Darstellung der Dezembertemperaturen (s. Abb. 5.4) verwendeten Untersuchungsgebieten von Oberrhein (R 5), Naab (D 8), Lech (D 5) und Alz / Salzach (D 13).

Qualitativ ergibt sich eine vergleichbare Zeitreihenbewertung wie bei den Dezembertemperaturen und den Jahresmitteltemperaturen (s. Abb. 5.1): Der vieljährige Mittelwert der Gebietsmitteltemperaturen wird im Wesentlichen durch die Höhenlage des Gebietes bestimmt, darüber hinaus weisen die Zeitreihenverläufe aller Gebiete eine hohe Ähnlichkeit auf. Bei den Monatsmitteltemperaturen des August ist die 70-jährige Zeitreihe gekennzeichnet durch eine längere Periode mit meist überdurchschnittlichen Monatsmitteln von 1932 bis in die Mitte der 50er Jahre, gefolgt von einem bis zum Ende der achtziger Jahre dauernden Zeitreihenabschnitt mit überwiegend

zu kühlen Augustmonaten. In den letzten zehn Jahren der Untersuchungsperiode zeigt sich eine Häufung überdurchschnittlich zu warmer Augustmonate, welche trendbeeinflussend für die gesamte 70-jährige Zeitreihe wirkt. Die hohen Augustmitteltemperaturen der vierziger Jahre werden in diesem letzten Zeitreihenabschnitt meist übertroffen.

Flächendeckend (außer in D 8: Naab) hohe Zunahmen der monatlichen Gebietsmitteltemperaturen bei Signifikanzen überwiegend über 95 % zeigen sich auch für den Monat Oktober (siehe Tab. 5.1 bis 5.3). Die im regionalen Vergleich höchsten Trends liegen in Baden- Württemberg am Oberrhein von Wiese bis Murg (R 3, R 4) und im Enzgebiet (N 3) mit Werten um + 1,4 K, in Bayern in den Alpengebieten von Iller bis Salzach (D 3, D 5, D 11, D 14, D 13) mit einem Wertebereich von ca. + 1 K bis +1,8 K vor.

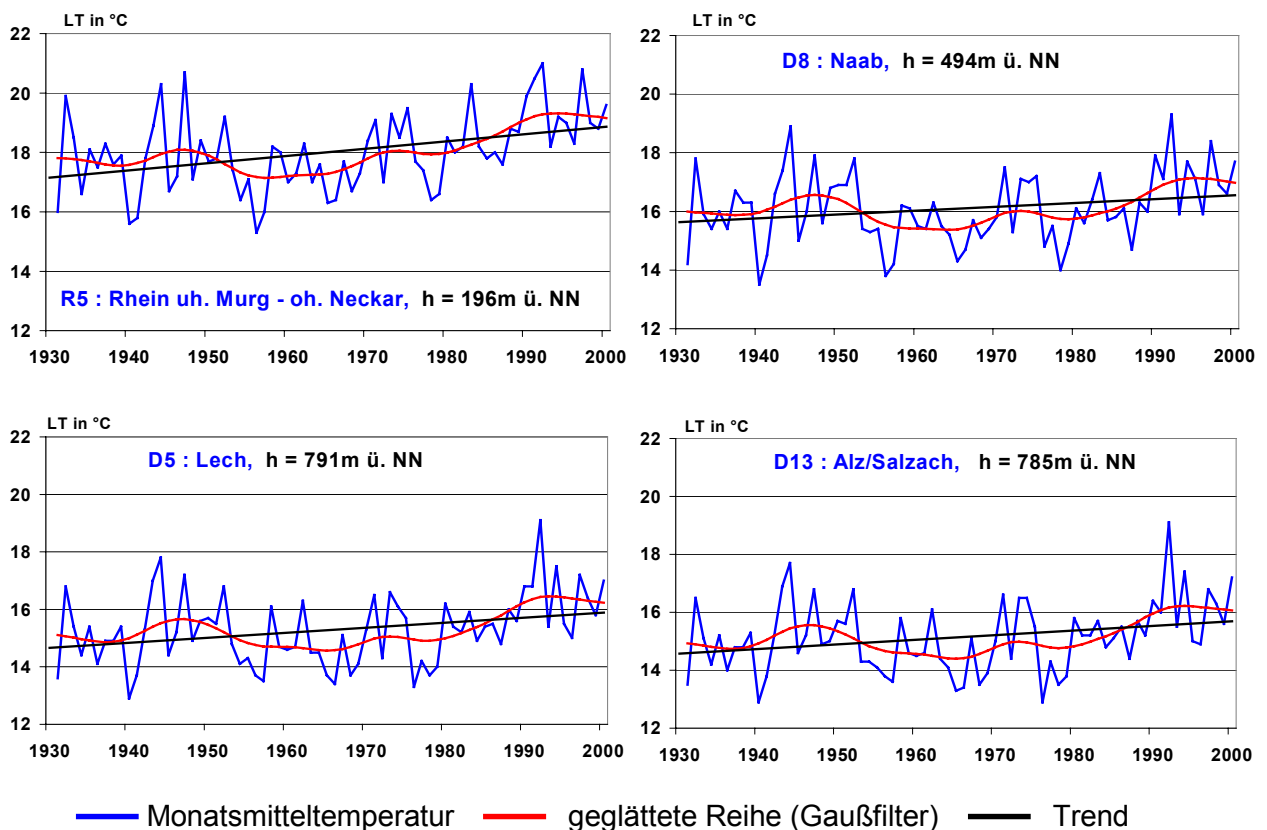


Abb. 5.6: Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen (in °C) des August, Gebietsmittelwerte (1931/2000) ausgewählter Untersuchungsgebiete





### 5.3 Trendverhalten der Lufttemperaturen in Abhängigkeit von der Geländehöhe

Aus hydrometeorologischer Sicht ist die Prüfung einer Höhenabhängigkeit im Trendverhalten der Lufttemperaturen von besonderem Interesse, weil die mit der Lufttemperatur korrelierten Größen potentielle Verdunstung und Schneedeckenparameter (und damit das Niederschlagsdarangebot) Höhenlagen-abhängige Trends zeigen [1], [2].

Die im voranstehenden Kapitel 5.2 präsentierten Ergebnisse der monatlichen Auswertungen für die hier bearbeitete Zeitreihe 1931/2000 zeigen einerseits regionale Unterschiede bei den Lufttemperaturtrends in Baden-Württemberg und Bayern, andererseits Unterschiede im Trendverhalten von Monat zu Monat. Eine Zusammenfassung der Monate zu Jahreszeitenabschnitten würde das unterschiedliche Trendverhalten in den einzelnen Monaten daher verwischen. Die gebietsbezogene und monatliche Differenzierung aus Kapitel 5.2 bildet im Folgenden die Grundlage für die Untersuchung des Trendverhaltens der Lufttemperaturen in Abhängigkeit von der Geländehöhe.

In Abb. 5.7 sind für die Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und in Bayern die Trends der Jahresmitteltemperaturen und der Monatsmitteltemperaturen August und Dezember in Abhängigkeit von der mittleren Gebietshöhe aufgetragen (vgl. Tab. 5.1 bis 5.3). Die Monate August und Dezember wurden wieder dargestellt, weil bei ihnen die stärksten Trends im Sommer- bzw. Winterhalbjahr auftreten.

Die Graphik für Baden- Württemberg lässt sowohl bei der Jahresmitteltemperatur als auch den beiden Monatsmitteltemperaturen eine deutliche Abnahme der Trendbe-

träge mit zunehmender Höhenlage des Untersuchungsgebietes erkennen.

Die entsprechenden Trends in den Untersuchungsgebieten Bayerns zeigen bei recht großer Streuung der Einzelwerte um die Ausgleichsgerade nur für August eine schwache Abnahme der Trendbeträge mit zunehmender Gebietshöhe. Bei den Jahresmitteltemperaturen und den Monatsmitteltemperaturen des Dezember wird eine Zunahme der Erwärmung mit Zunahme der mittleren Gebietshöhenlage erkennbar.

Aus einem Vergleich der Trendwerte von Untersuchungsgebieten unterschiedlicher Höhengniveaus (mittlere Gebietshöhe kleiner / größer 500 m ü. NN), lässt sich zum Beispiel für die Jahresmitteltemperaturen feststellen, dass sich bei den Gebieten im unteren Höhenbereich die Trendbeträge in Baden-Württemberg und in Bayern im gleichen Wertebereich von etwa 0,6 K bis 1,1 K bewegen. Die Trends in den Untersuchungsgebieten mit mittleren Gebietshöhen oberhalb 500 m ü. NN liegen in Bayern ebenfalls in diesem Schwankungsbereich, in Baden-Württemberg sind sie aber mit 0,5 K bis 0,7 K wesentlich geringer.

Beim Dezember sind die Trends in den Gebieten kleiner 500 m ü. NN mittlerer Gebietshöhe in Baden-Württemberg mit 2,4 K bis 2,7 K deutlich größer als in Bayern (1,8 K bis 2,4 K). Die höher gelegenen Gebiete weisen in Baden-Württemberg und in Bayern Trends in etwa dem gleichen Schwankungsbereich von 1,8 K bis 2,5 K auf.

Im August sind die Trends der Monatsmitteltemperaturen bei den Gebieten im unteren Höhenbereich in Baden- Württemberg größer und bei den Gebieten im oberen Höhenbereich kleiner als in Bayern; damit ergibt sich für Bayern eine schwächere Abnahme der Trendwerte mit zunehmender Höhenlage.

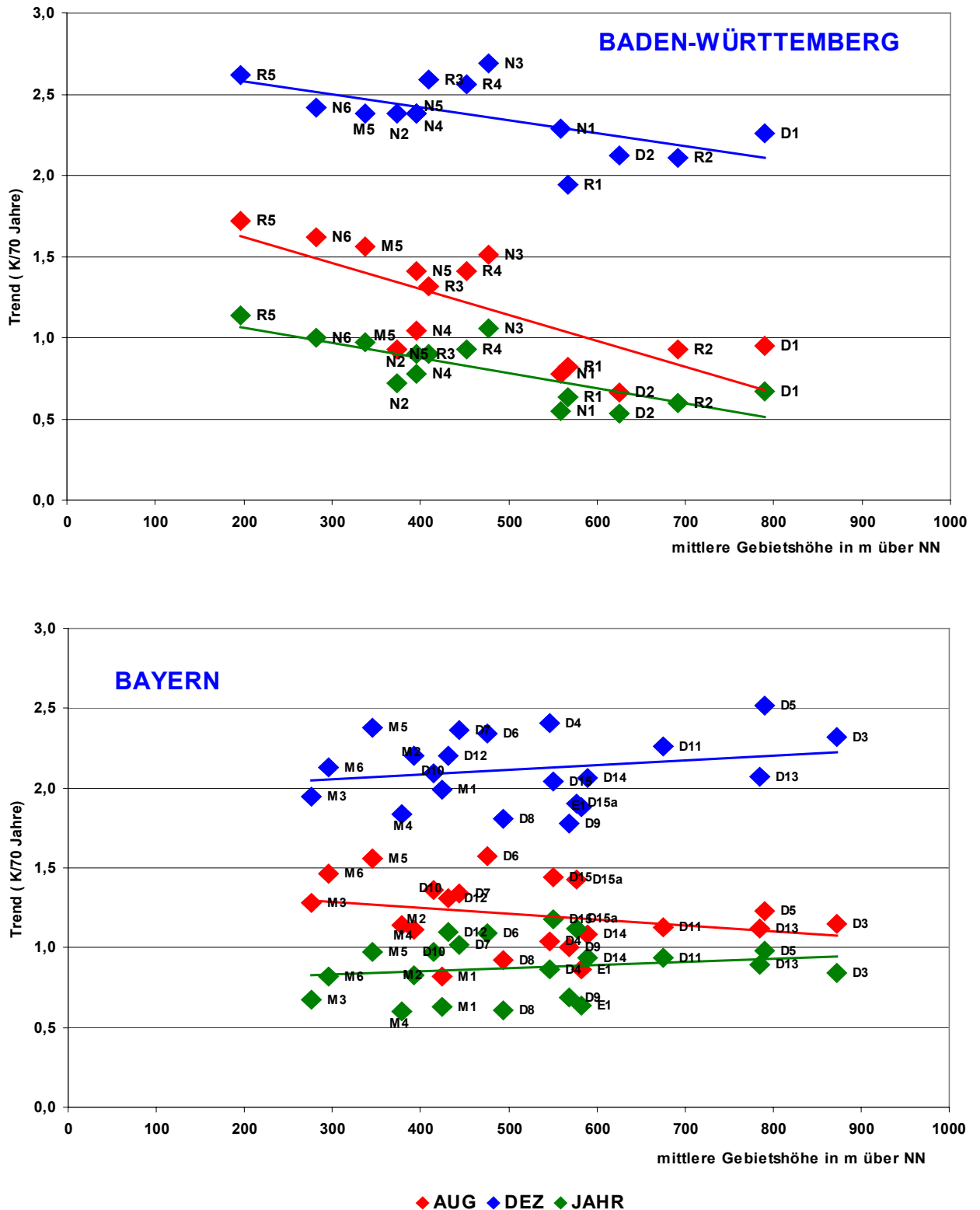


Abb. 5.7: Abhängigkeit der Lufttemperaturtrends (in K/70 Jahre) von der Höhenlage der Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg und Bayern, 1931/2000



Auch in den übrigen Monaten mit flächendeckend signifikanten Trendbefunden zeigen sich die Relationen zwischen Baden-Württemberg und Bayern ähnlich, wie in Abb. 5.7 beispielhaft für August und Dezember dargestellt: In den Monaten Januar, Februar, März sind die Lufttemperaturtrends für die Gebiete unter 500 m ü. NN in Baden-Württemberg kleiner oder etwa gleich groß wie in Bayern, für die höher gelegenen Gebiete sind hingegen in Bayern Trends in einem deutlich höheren Wertebereich zu verzeichnen, insbesondere im Januar und März (s. Tab. 5.1 bis 5.3).

Das Trendverhalten der Monatsmitteltemperaturen des Mai ist im Untersuchungsraum dadurch gekennzeichnet (s. Kapitel 5.2), dass hohe und hoch signifikante Trends auf die Donauregionen Bayerns beschränkt sind. Somit sind hier in allen Gebietshöhenstufen die Trends höher als in Baden-Württemberg (und in den Elbe/Mainregionen Bayerns).

Im Oktober sind in den Gebieten unterhalb 500 m mittlerer Gebietshöhe die Trends der Monatsmitteltemperaturen in Baden-Württemberg (0,7 K bis 1,5 K) deutlich höher als in Bayern (0,3 K bis 0,9 K); bei den höher gelegenen Gebieten gehen in Baden-Württemberg die Trendbeträge leicht zurück, in Bayern zeichnen sich aber die Gebiete der Alpenregionen mit sehr hohen Trends bis + 1,76 K im Gebiet D13 (Alz / Salzach) aus.

Die Tabellen 5.4 bis 5.6 zeigen die Ergebnisse von Trendauswertungen für jeweils drei verschiedene, charakteristische Höhenstufen je Region. Dieser Auswertung wurden die größeren Gebietseinheiten der zusammengefassten KLIWA-Regionen (s. Abb. 3.1 und Abb. 3.2) zu Grunde gelegt, damit auch aus den untersten und obersten Höhenstufen der betrachteten Gebietseinheiten noch ausreichend Rasterwerte zur Verfügung stehen. Aufgrund der unterschiedlichen Höhenstufen der Regionen ist es nicht möglich, eine solche Auswertung für einheitliche Höhenlagen durchzuführen, die in allen Regionen mit einer ausreichenden Zahl von Rasterfeldern vertreten sind und die Verteilung der Geländehöhen der Region dennoch reprä-

sentativ erfassen. (Auswertungen für die Region Mittlere Donau mit D 6, D 7, D 10 wurden wegen der dortigen geringen Höhenunterschiede nicht durchgeführt.)

In den nach Regionen und einzelnen Höhenstufen differenzierten Trendberechnungen der Tabellen 5.4 bis 5.6 spiegelt sich das charakteristische Trendverhalten der Gebietsmittelwerte (Tab. 5.1 bis 5.3) in der Untersuchungsperiode wider:

- flächendeckend hohe, überwiegend signifikante Zunahmen der Monatsmitteltemperaturen von Dezember bis März und im August und Oktober,
- flächendeckend negative Trends im April, positive Trends im Mai jeweils ohne oder mit nur geringer Signifikanz (außer Donauregionen Bayerns im Mai),
- überwiegend geringfügige Zeitreihenänderungen ohne Signifikanz im Juni, Juli, September, November.

In Baden-Württemberg (Tab. 5.4) zeigt sich in den drei Regionen ein unterschiedliches Trendverhalten mit zunehmender Höhe. In der Region von Donauoberlauf und Bodensee ist bei den Jahresmitteltemperaturen sowie den Monatsmitteltemperaturen von August, Oktober und den Wintermonaten Dezember bis Februar eine mit der Höhenlage deutlich zunehmende Erwärmung festzustellen, die sich auch in zunehmenden Signifikanzwerten widerspiegelt. Nur im März ist die Zunahme der Monatsmitteltemperaturen in unteren Höhenlagen größer als in den oberen.

Die Regionen von Neckar und Hoch- und Oberrhein ähneln sich in ihrem Trendverhalten und zeigen sich dabei in der Höhenabhängigkeit der Trends teilweise gegensätzlich zur Region von Donauoberlauf und Bodensee. Der Gegensatz besteht bei den Zeitreihen der Jahresmitteltemperaturen in einer Abnahme der Trendbeträge mit der Höhenlage. Auch bei den Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen mit positiven Trends wird erkennbar, dass die Erwärmung in den unteren Gebietslagen am stärksten ausgebildet ist oder nur geringe Höhenabhängigkeit aufweist: im Sommerhalbjahr im Mai, Juli und August, im Win-

**Tab. 5.4 Baden-Württemberg**

Region	Höhelage ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Donau- oberlauf, Bodensee	400 m	1,12	0,90	1,27	-0,79	0,42	-0,09	0,70	0,71	-0,47	0,25	0,02	1,74	0,49
	600 m	1,40	1,15	1,16	-0,84	0,28	-0,29	0,48	0,68	-0,39	0,61	-0,06	2,05	0,52
	800 m	1,73	1,29	0,90	-0,68	0,32	-0,45	0,53	0,95	-0,09	1,19	0,09	2,29	0,68
Neckar	200 m	1,79	1,60	1,62	0,01	0,86	0,15	0,91	1,52	0,24	0,90	0,12	2,46	1,02
	400 m	1,80	1,34	1,15	-0,36	0,54	-0,15	0,58	1,05	-0,14	0,80	-0,60	2,39	0,75
	600 m	1,73	1,30	0,89	-0,66	0,34	-0,28	0,57	0,99	-0,08	1,11	0,09	2,40	0,71
Hoch- und Oberrhein	100 m	1,82	1,77	1,67	0,26	1,00	0,31	1,15	1,73	0,33	0,93	0,16	2,55	1,15
	500 m	1,44	1,20	1,08	-0,54	0,49	-0,16	0,77	1,18	0,04	1,11	0,16	2,26	0,76
	900 m	1,74	1,06	0,40	-0,91	0,23	-0,47	0,64	1,04	0,07	1,63	0,31	2,38	0,68

**Tab. 5.5 Bayern, Alpenregionen**

Region	Höhelage ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Westliche bayerische Alpen	500 m	1,89	1,71	1,75	-0,39	0,75	0,04	0,54	1,07	-0,17	0,82	0,25	2,43	0,90
	1000 m	2,25	1,76	1,08	-0,87	0,44	-0,37	0,50	1,24	0,40	2,01	0,44	2,47	0,95
	1500 m	2,13	1,58	0,67	-0,82	0,40	-0,44	0,39	1,04	0,11	1,78	0,09	2,01	0,75
Östliche bayerische Alpen	500 m	1,97	2,04	2,07	-0,29	1,06	0,12	0,57	1,19	0,00	0,92	0,40	2,27	1,03
	1000 m	1,92	1,43	0,84	-1,09	0,39	-0,50	0,22	1,01	0,31	2,04	0,56	1,92	0,76
	1400 m	2,14	1,27	0,26	-1,25	0,17	-0,77	0,08	1,00	0,42	2,58	0,52	1,98	0,71

**Tab. 5.6 Bayern, Mittelgebirgsregionen**

Region	Höhelage ü. NN	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Mittlerer/ Unterer Main, Tauber	200 m	1,90	1,18	1,14	-0,44	0,49	0,05	0,76	1,41	0,20	0,68	-0,31	2,12	0,78
	400 m	1,84	1,25	1,20	-0,32	0,57	-0,10	0,61	1,40	0,23	0,78	-0,14	2,09	0,79
	600 m	1,59	0,97	0,88	-0,47	0,24	-0,45	0,26	1,20	0,29	0,84	-0,30	1,65	0,57
Oberer Main, Regnitz	300 m	2,02	1,32	1,15	-0,14	0,73	-0,09	0,43	0,95	-0,20	0,63	-0,07	2,18	0,75
	500 m	1,87	1,25	1,08	-0,39	0,57	-0,29	0,21	0,83	-0,25	0,62	0,10	2,00	0,64
	700 m	1,74	1,01	0,64	-0,66	0,27	-0,69	-0,10	0,63	-0,24	0,78	0,06	1,69	0,43
Elbe, Naab, Regen	400 m	1,89	1,70	1,92	-0,18	1,00	0,18	0,58	1,16	-0,22	0,33	0,38	2,01	0,90
	600 m	1,76	1,24	1,21	-0,38	0,71	-0,18	0,31	0,98	-0,13	0,73	0,26	1,81	0,70
	800 m	1,80	1,19	1,09	-0,53	0,80	-0,06	0,43	1,20	0,02	1,28	0,75	1,70	0,81

positive/negative Trends  
Signifikanz S nach Mann-Kendall-Test

S < 80 % ;	95 % ≤ S < 99 %
80 % ≤ S < 90 % ;	99 % ≤ S < 99,9 %
90 % ≤ S < 95 % ;	99,9 % < S

Tab. 5.4 bis 5.6: Trends (in K/70 Jahre) der Lufttemperatur in verschiedenen Höhenlagen, Mittelwerte in den zusammengefassten KLIWA-Regionen, 1931/2000



terhalbjahr von Dezember bis März. Nur der Oktober zeigt mit der Höhenlage zunehmende Trendbeträge - besonders deutlich ausgeprägt in der Region Hoch- und Oberrhein.

Bei den Alpenregionen Bayerns (Tab. 5.5) sind in den Jahresmittelreihen und in den Monatsmittelreihen von Mai, Juli, August und Dezember, Februar, März mit zunehmender Höhenlage abnehmende oder etwa gleichbleibende Beträge des positiven Trends zu verzeichnen. Von einer mit der Höhenlage zunehmenden Erwärmung in der Untersuchungsperiode sind der Oktober und der Januar betroffen.

In den Mainregionen und der Mittelgebirgsregion von Elbe, Naab, Regen (Tab. 5.6) zeigt sich eine vergleichbare Höhenabhängigkeit der Lufttemperaturtrends. Von der in der Untersuchungsperiode zu verzeichnenden Zunahme der Lufttemperaturen sind verstärkt die unteren Höhenlagen dieser Regionen betroffen, so dass die Trendbeträge mit zunehmender Höhenlage abnehmen. Lediglich im Oktober ist hier, wie auch in den anderen Regionen, eine Zunahme der Trendbeträge mit der Höhenlage festzustellen.

Die Trendauswertungen für fixierte Höhenniveaus in den Regionen führen teilweise zu abweichenden Befunden gegenüber der Höhenabhängigkeit der in den Tabellen 5.1 bis 5.3 bzw. der Abbildung 5.7 enthaltenen Gebietsmittelwerte der Lufttemperaturtrends, weil die Gebietsmittelwerte von den Flächenanteilen der einzelnen Geländehöhen bzw. deren Lufttemperaturtrends abhängen. Beispielsweise gehen bei den Gebieten der Alpenregionen die gegenüber den unteren Gebietslagen deutlich verminderten Trendbeträge der Höhenlagen von > 1000 m ü. NN im Dezember aufgrund ihres Flächenanteiles nur mit einem geringen Gewicht ein, so dass der Gebietsmittelwert des Trends vergleichsweise hoch ausfällt.

## 5.4 Stabilität der Trends der Gebietsmitteltemperaturen

### 5.4.1 Darstellung der Ergebnisse

Anhand der Untersuchungsmethode der so genannten vor- und rückwärts schreitenden Trends (vgl. Kapitel 3.1.1) wurde die Stabilität der Trendbefunde im Verlauf der 70-jährigen Zeitreihe geprüft. Die Stabilitätsuntersuchungen wurden für alle Untersuchungsgebiete und jeweils für die Jahres- und Monatswertreihen der Lufttemperatur durchgeführt [7]. Im Ergebnis zeigt sich überwiegend ein ähnliches Stabilitätsverhalten der Trends im gesamten Untersuchungsraum Baden- Württemberg/Bayern, das im Folgenden anhand von exemplarisch ausgewählten Untersuchungsgebieten mit typischem Trendverläufen beschrieben wird (siehe Abb. 5.8 und Abb. 5.9 bis Abb. 5.12).

Die graphischen Darstellungen der Trendwerte und ihrer Signifikanz enthalten beim rückwärts schreitenden (auf das feste Zeitreihenende 2000 bezogenen) Trend auf der rechten Seite die Angaben für die Zeitreihe 1980/2000, dann - nach links rückschreitend - für 1979/2000, 1978/2000, usf. Im rechten Teil dieser Graphiken stehen folglich die Angaben für die kurzen, jüngsten Zeitreihen und auf der linken Seite sind die den Tabellen 5.1 bis 5.3 entsprechenden Angaben für die Gesamtreihe 1931/2000 eingetragen. Die Graphiken der vorwärts schreitenden Trendbetrachtung (fester Zeitreihenanfang 1931) zeigen auf der linken Seite die Trends und Signifikanz für 1931/1950, (nach rechts) vorwärts schreitend für 1931/1951 usf. und am rechten Rand die Angaben für die Gesamtreihe 1931/2000. Auf der linken Seite sind somit die Angaben für die kurzen, älteren Zeitreihen zu finden.

### 5.4.2 Trendstabilität in den Jahreswertreihen

In Abb. 5.8 werden die vor- und rückwärts schreitenden Trends der jährlichen Gebietsmittelreihen am Beispiel der Untersuchungsgebiete N 4 (Kocher) und D 10 (Donau uh. Naab – oh. Isar) gezeigt.

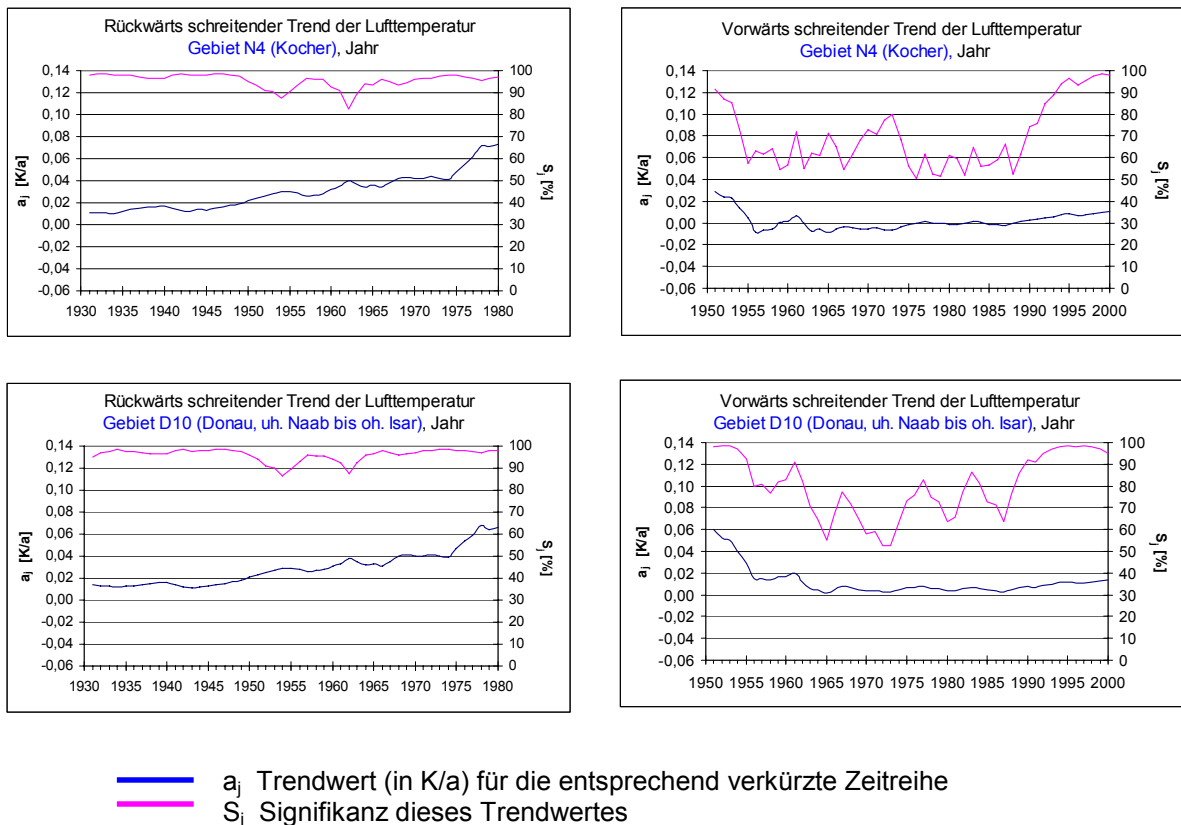


Abb. 5.8: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends (in K/a) für Jahreswertreihen der Lufttemperatur

Die Gesamtschau für alle Untersuchungsgebiete Baden- Württembergs und Bayerns ist in der Anlage 2 im Anhang enthalten. Aus den Graphiken für den rückwärts schreitenden Trend ist zu entnehmen, dass die Zeitreihen mit Untersuchungsbeginn in den ersten 15 bis 20 Jahren der Gesamtreihe 1931/2000 etwa gleiche Trendwerte und eine gleichbleibend hohe Signifikanz aufweisen. Somit lässt sich feststellen, dass sich dieser Anfangszeitraum der Untersuchungsperiode mit seiner schwachen Messdatenbasis bzw. den umfangreichen Datenergänzungen (vgl. Kapitel 2) zumindest bei den Jahreswerten kaum auf den Trend der 70-jährigen Gesamtreihe auswirkt.

Für Zeitreihen der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ist mit zunehmender Zeitnähe zum Jahr 2000 ein stetiger Anstieg der Trendbeträge, also eine zunehmende Erwärmung festzustellen. Bei den jüngsten Zeitreihen, deren Beginn ab etwa Mitte der siebziger Jahre angesetzt wird, ist noch-

mals eine deutliche Zunahme der Trendbeträge zu erkennen. Die Signifikanzen der Temperaturzunahmen liegen dabei über alle Zeitreihenlängen hinweg meist im Bereich größer 90 %.

Die Graphiken der vorwärts schreitenden Trends belegen, dass der hohe Betrag der Zunahme der Jahresmitteltemperaturen in der Gesamtreihe 1931/2000 und seine hohe Signifikanz im Wesentlichen durch die letzten zehn Jahre des Jahrhunderts bedingt sind. Kürzere Zeitreihen (beispielsweise 1931/1955 vorwärts schreitend auf 1931/1985) zeigen überwiegend Temperaturzunahmen mit geringerem Betrag als die Gesamtreihe bis 2000 und ohne Signifikanz, teilweise auch negative Tendenzen. Dieses Trendverhalten ist im gesamten Untersuchungsraum Baden-Württemberg und Bayern verbreitet und ist die Folge der sich häufenden Anzahl von unterdurchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen in diesem Zeitreihenabschnitt (s. Kapitel 5.1, Abb. 5.1).



### 5.4.3 Trendstabilität in den Monatswertreihen

Die Untersuchungen der Trends unter Vorgabe unterschiedlicher Zeitreihen erbrachte auch für die Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen bei allen Untersuchungsgebieten Baden-Württembergs und Bayerns ein weitgehend einheitliches, für die einzelnen Monate aber charakteristisches Trendverhalten, das im Folgenden für die Monate März, August, Oktober, Dezember und anhand ausgewählter Untersuchungsgebiete beschrieben wird.

In den Zeitreihen der Monatsmitteltemperatur des März ergibt sich bei Betrachtung der jüngsten, kurzen Reihen - beginnend etwa mit 1970/2000 und kürzer - ein Einbruch der in den längeren Reihen ab 1931 überwiegend vorhandenen Signifikanz (s. Abb. 5.9, Graphiken rückwärts schreitender Trend). Die positiven Trendwerte der kurzen Reihen verbleiben trotz stärkerer Rückgänge und Schwankungen auf allge-

mein hohem Niveau. Die höchsten Trendwerte für die Märztemperaturen weist bei den meisten Untersuchungsgebieten die Zeitreihe 1962/2000 auf.

Die vorwärts schreitende Trendbetrachtung zeigt mit Verkürzung der Gesamtreihe stark wechselnde Trend- und Signifikanzwerte und sehr hohe Trendbeträge für den Anfangszeitraum der Gesamtreihe (d.h. etwa von 1931 bis 1960).

Insgesamt weisen die Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen des März geringe Trendstabilität auf – Trendwert und Trendsignifikanz variieren je nach betrachteter Zeitreihe stark. Ursache dürfte die für das Frühjahr typische wechselhafte Witterung mit Kalt- und Warmlufteinbrüchen sein. Dennoch ist festzustellen, dass die positiven Trendwerte mit zum Teil sehr hohen Beträgen bei teilweise hohen Signifikanzen in der 70-jährigen Gesamtreihe überwiegen.

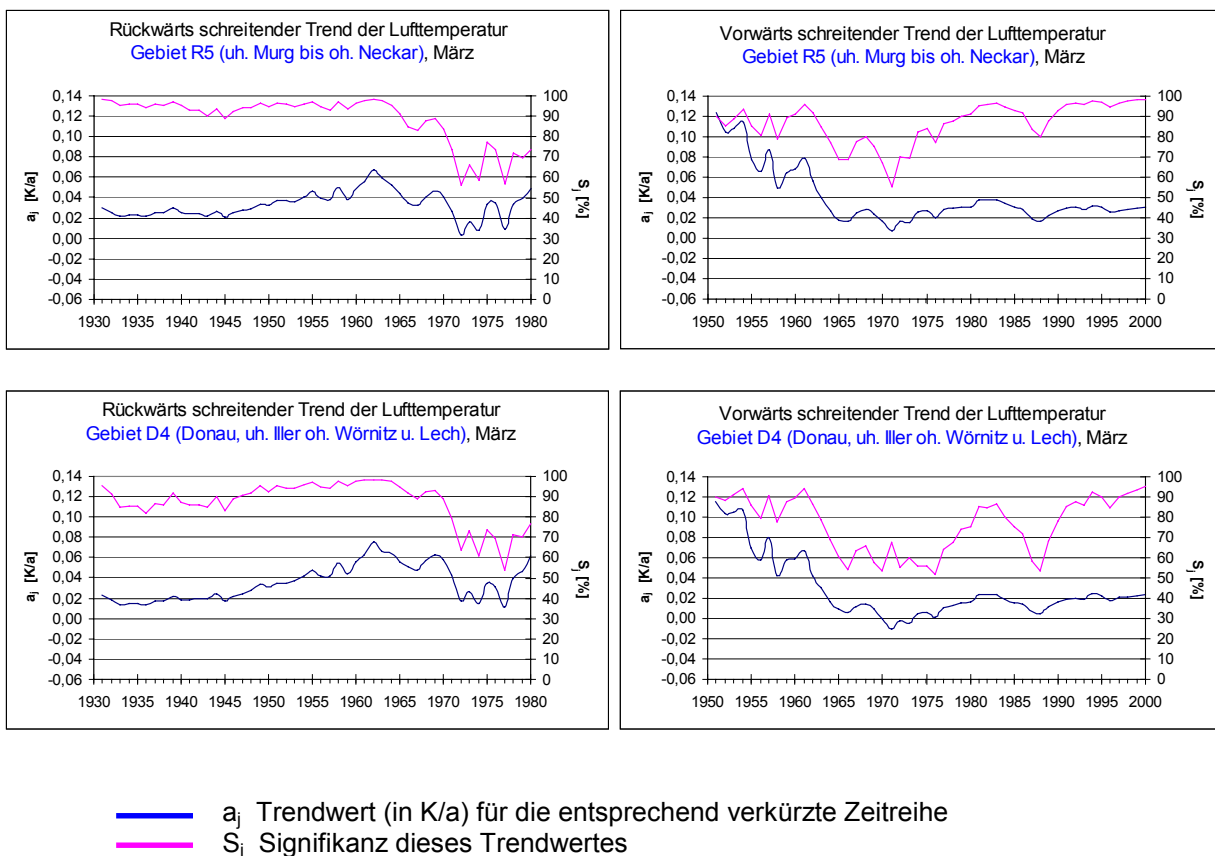


Abb. 5.9: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends (in K/a) für die Monatswertreihen März der Lufttemperatur in den Gebieten R5 und D4.

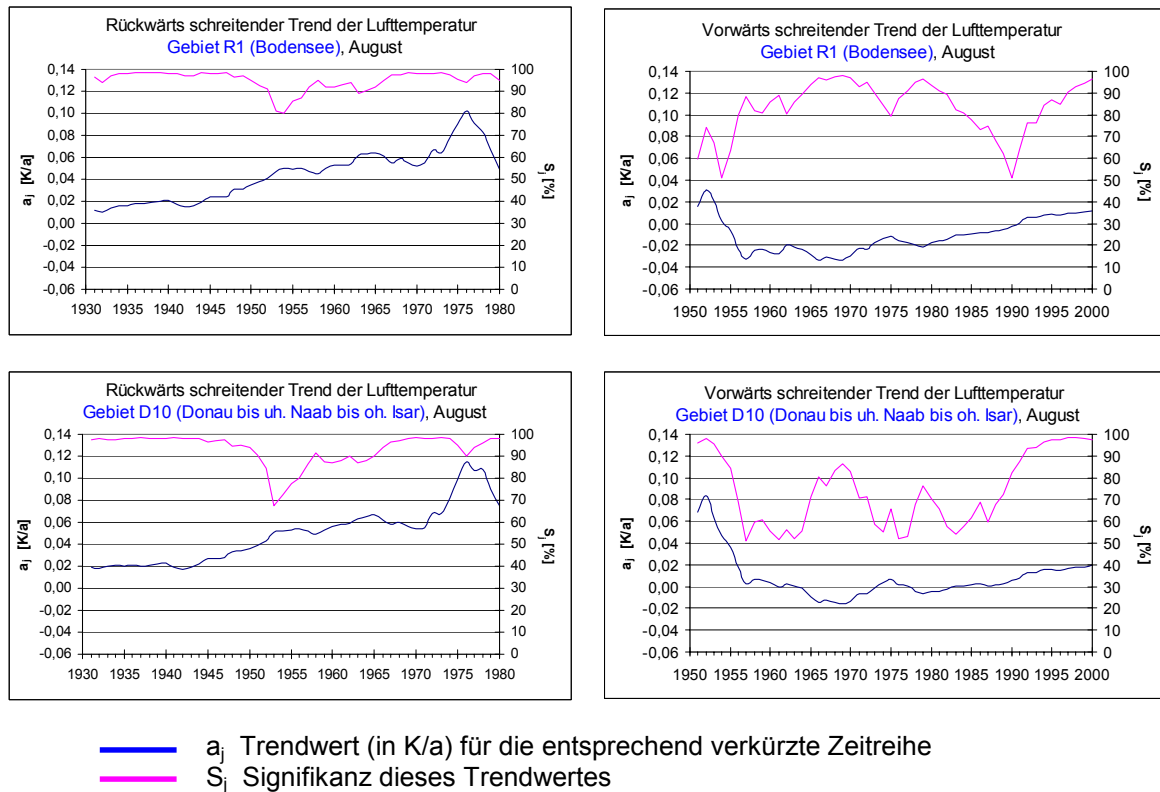


Abb. 5.10: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends (in K/a) für die Monatswertreihen August der Lufttemperatur für die Gebiete R1 und D10.

Bei den Zeitreihen der Monatsmitteltemperaturen des August (Abb. 5.10) zeigen die rückwärts schreitenden Trends in der zweiten Jahrhunderthälfte eine stetige Zunahme der Erwärmung mit überwiegend hoher Signifikanz. Nur bei einigen Untersuchungsgebieten sinken die Signifikanzen bei Zeitreihenbeginn in den fünfziger Jahren unter den 80 %-Schwellenwert. Von der schwachen Datenbasis der Anfangsjahre bis etwa 1945 geht offenbar auch bei den Augustzeitreihen kein nennenswerter Einfluss auf die Trends der 70-jährigen Gesamtreihe aus; Trendwerte und Signifikanzen ändern sich bei Einbeziehung dieser Anfangsjahre kaum.

Die vorwärts schreitende Trendbetrachtung ergibt, dass der positive, hochsignifikante Trend der Gesamtreihe 1931/2000 wesentlich durch das letzte warme Jahrzehnt bedingt ist. In den kürzeren, älteren Teilreihen von etwa 1931/1955 bis zu 1931/1985 herrschen negative Trends vor, die in Bayern überwiegend ohne Signifikanz bleiben,

in einigen Gebieten Baden-Württembergs aber teils hohe Signifikanzen aufweisen.

Bei den Monatsmittelreihen des Oktober (Abb. 5.11) zeigen die rückwärts schreitenden Trends für die Teilreihen von 1931/2000 bis 1965/2000 eine Stabilität der Trendbeträge und -signifikanzen. Inversionswetterlagen, die im Herbst eine grundsätzliche größere Häufigkeit aufweisen und welche bei der schwachen Datenbasis in den Anfangsjahren der Untersuchungsperiode gravierende Fehler bei der Ergänzung und Regionalisierung von Tagesmittelwerten der Lufttemperatur erzeugen können (s. Kapitel 2), sind demnach bei den monatlichen Gebietsmitteltemperaturen der Gesamtreihe nicht trendbeeinflussend. Im letzten Abschnitt der Untersuchungsperiode sind bei den jüngeren, kurzen Zeitreihen je nach Beginn der betrachteten Reihe erhebliche Schwankungen bei den Trends zu verzeichnen. Die letzte dreißigjährige Reihe 1971/2000 weist beispielsweise einen hoch signifikanten



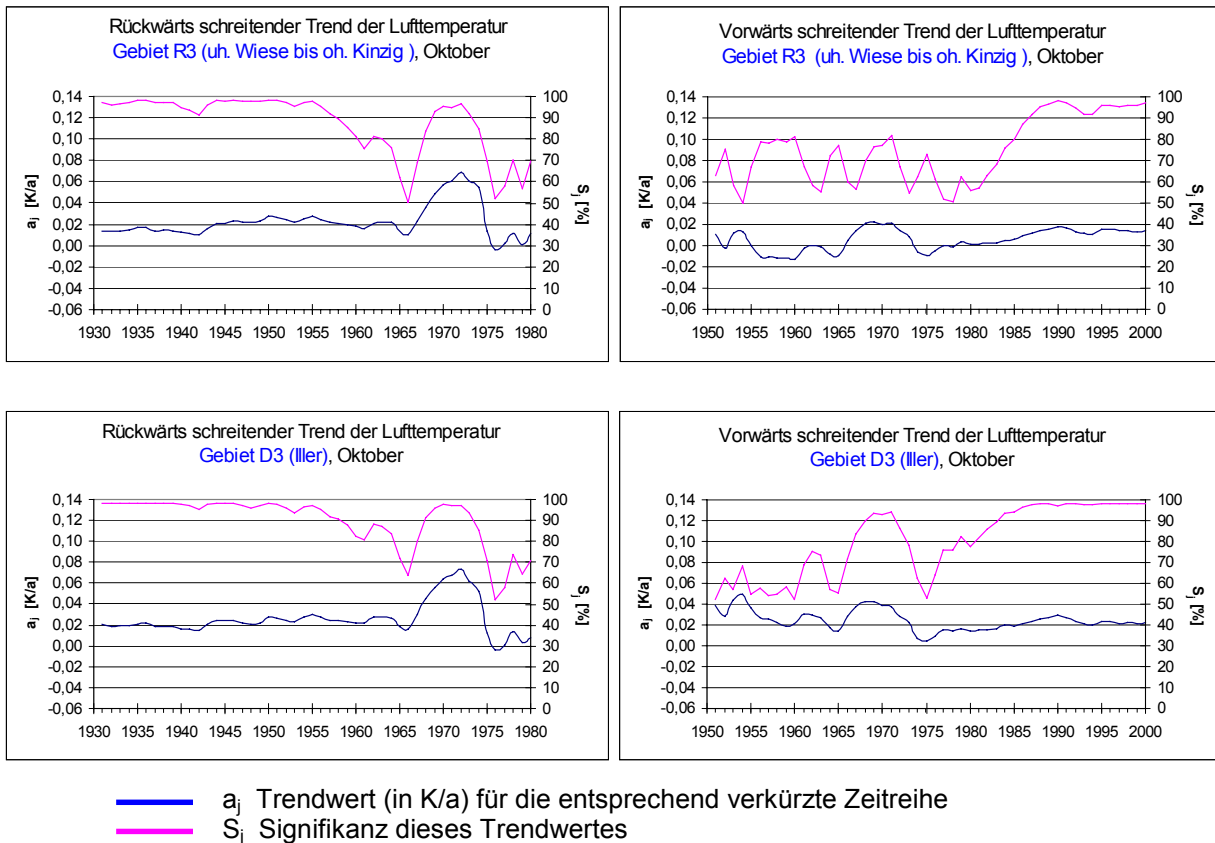


Abb. 5.11: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends (in K/a) für die Monatswertreihen Oktober der Lufttemperatur für die Gebiete R3 und D3.

positiven Trend, die Reihe 1985/2000 nicht signifikante, geringfügige, gebietsweise auch negative Trendwerte auf. Nach der vorwärts schreitenden Trendauswertung erweisen sich hauptsächlich die letzten 15 bis 20 Jahre des Jahrhunderts als trendbestimmend für die Gesamtperiode 1931/2000. Zeitreihen, die von 1931 bis etwa 1980 reichen, haben je nach Reihlänge nicht signifikante und im Vorzeichen wechselnde Trends.

Die hoch signifikanten positiven Trends der Monatsmitteltemperatur des Dezember (Abb. 5.12) für die Gesamtreihe zeigen sich in der rückwärts schreitenden Trendbetrachtung weitgehend stabil. Die Häufung extrem kalter Dezembermonate Anfang des sechziger Dezenniums lassen bei den mit diesen Jahren beginnenden Zeit-

reihen die Trendbeträge stark ansteigen. Für die kurzen Zeitreihen der letzten etwa 20 bis 25 Jahre sinken die Signifikanzwerte teilweise unter den 80 %- Schwellenwert.

Bei vorwärts schreitender Trendbetrachtung weisen bereits die kurzen, älteren Zeitreihen aufgrund einiger extrem kalter Dezembermonate in den dreißiger und vierziger Jahren und relativ warmen Dezemberrmonaten in den fünfziger Jahren einen hohen positiven und signifikanten Trend auf. Vor allem die Trendbeträge, aber auch die Signifikanz gehen für die Zeitreihen, deren Ende in die sechziger Jahre gelegt wird, zurück. Für Trend und Signifikanz der 70-jährigen Gesamtreihe sind wiederum die überdurchschnittlich warmen Dezembertemperaturen im letzten Jahrzehnt entscheidend.

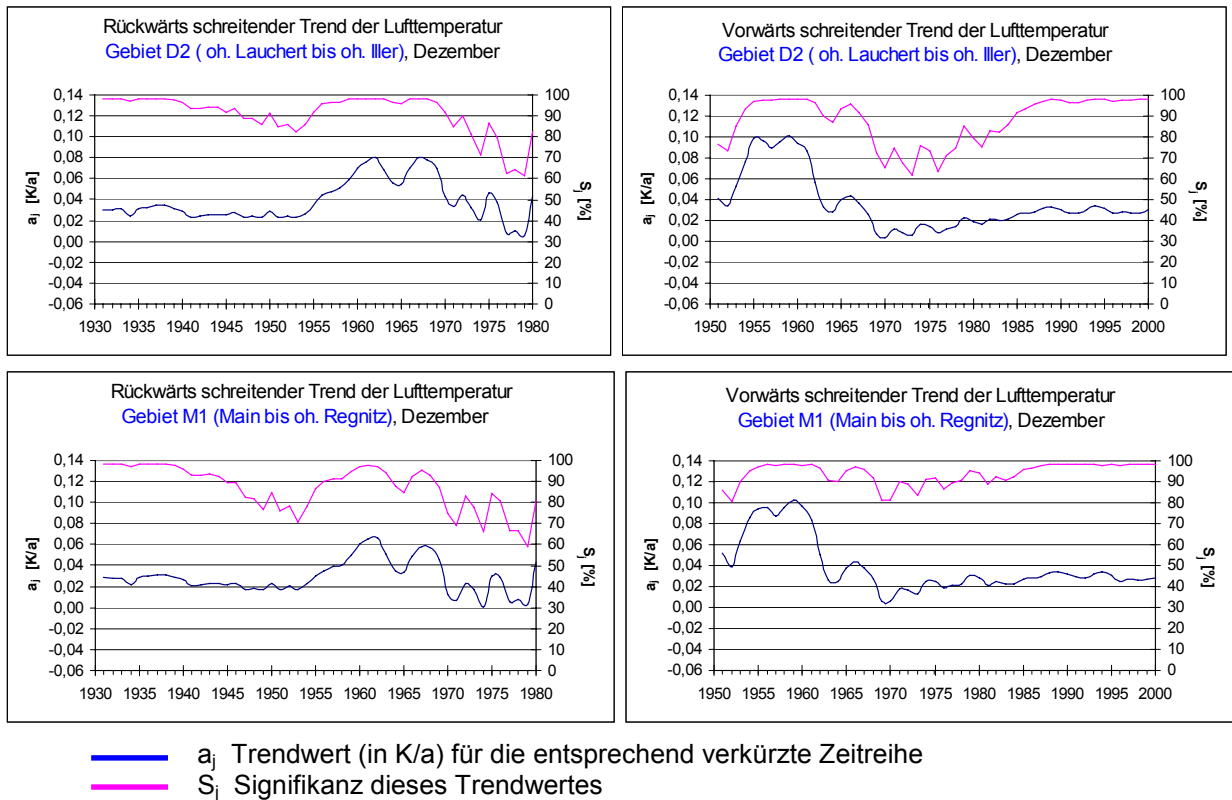


Abb. 5.12: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends (in K/a) für die Monatswertreihen Dezember der Lufttemperatur für die Gebiete D2 und M1.

### 5.5 Die Lufttemperaturtrends der Zeitreihe 1931/2000 im Vergleich zu längerfristigen Trends

In Tabelle 5.7 werden von den Standorten Karlsruhe, Bamberg und München, von denen 110-jährige Zeitreihen der Lufttemperatur vorliegen, die monatlichen und jährlichen Lufttemperaturtrends für die KLIWA- Untersuchungsperiode 1931/2000 den entsprechenden Trendwerten der Gesamtreihe 1891/2000 gegenübergestellt. Abweichend von den voranstehenden Tabellen für die Gebietswerte erfolgt hier aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlich langen Zeitreihen die Trendangabe in Kelvin pro Jahr (K/a).

Die Trends der Jahresmitteltemperaturen für 1931/2000 sind nur in Bamberg gleich groß wie für 1891/2000, in München und in Karlsruhe aber deutlich größer. Die Temperaturzunahme hat sich somit mit Ausnahme des Nordosten des Untersuchungsraumes im Verlaufe des vorigen Jahrhunderts verstärkt, was auch aus den in Abb. 5.13 dargestellten Zeitreihenverläufen

der Jahresmitteltemperaturen erkennbar wird. Im innerjährlichen Verlauf der Temperaturtrends treten markante Verschiebungen zwischen den beiden Zeitreihen auf. Die 110-jährige Reihe zeigt bei allen Stationen und allen Monaten Zunahmen der Lufttemperatur, wobei im Februar und Juni der Signifikanzschwellenwert von 80 % noch nicht bei allen Stationen erreicht wird. An der Station Bamberg fallen die monatlichen Temperaturtrends und die Signifikanzen bei fast allen Monaten geringer aus als an den beiden anderen Stationen.

Für die 70-jährigen Stationsreihen von 1931/2000 ergeben sich hingegen die mit den Gebietsmittelreihen vergleichbaren Befunde, dass in den Monaten April, Juni, Juli, September, November nur unerhebliche, teilweise auch negative Tendenzen ohne Signifikanz vorliegen. Deutlich verstärkt gegenüber der 110-jährigen Reihe haben sich in 1931/2000 die positiven Trends im Jahresabschnitt Dezember bis März sowie - mit Ausnahme der Station Bamberg - in den Monaten August und Oktober.



1891 - 2000

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
<b>Bamberg</b>	0,012	0,001	0,005	0,007	0,007	0,006	0,009	<b>0,011</b>	0,007	0,006	0,006	0,006	<b>0,007</b>
<b>Karlsruhe</b>	0,012	0,005	<b>0,011</b>	0,006	0,007	0,004	<b>0,012</b>	<b>0,017</b>	<b>0,012</b>	0,009	0,006	0,007	<b>0,009</b>
<b>München</b>	<b>0,018</b>	0,011	<b>0,012</b>	0,007	<b>0,009</b>	0,002	0,007	<b>0,015</b>	0,009	0,011	0,011	0,015	<b>0,011</b>

1931 - 2000

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
<b>Bamberg</b>	0,024	0,014	0,012	-0,005	0,008	-0,003	0,003	0,009	-0,008	0,004	-0,006	0,027	0,007
<b>Karlsruhe</b>	0,025	0,025	<b>0,024</b>	0,005	0,013	0,001	0,014	<b>0,027</b>	0,007	<b>0,018</b>	0,001	<b>0,037</b>	<b>0,017</b>
<b>München</b>	<b>0,035</b>	<b>0,034</b>	<b>0,029</b>	0,001	<b>0,015</b>	0,000	0,008	<b>0,020</b>	0,003	<b>0,018</b>	0,005	<b>0,039</b>	<b>0,017</b>

positive/negative Trends :  
Signifikanz S nach Mann-Kendall-Test

S < 80 % ;	95 % ≤ S < 99 %
80 % ≤ S < 90 % ;	99 % ≤ S < 99,9 %
90 % ≤ S < 95 % ;	<b>99,9 % &lt; S</b>

Tab. 5.7: Trends der Lufttemperatur (in K/a) im Zeitreihenvergleich 1891/2000 und 1931/2000, ausgewählte Stationen

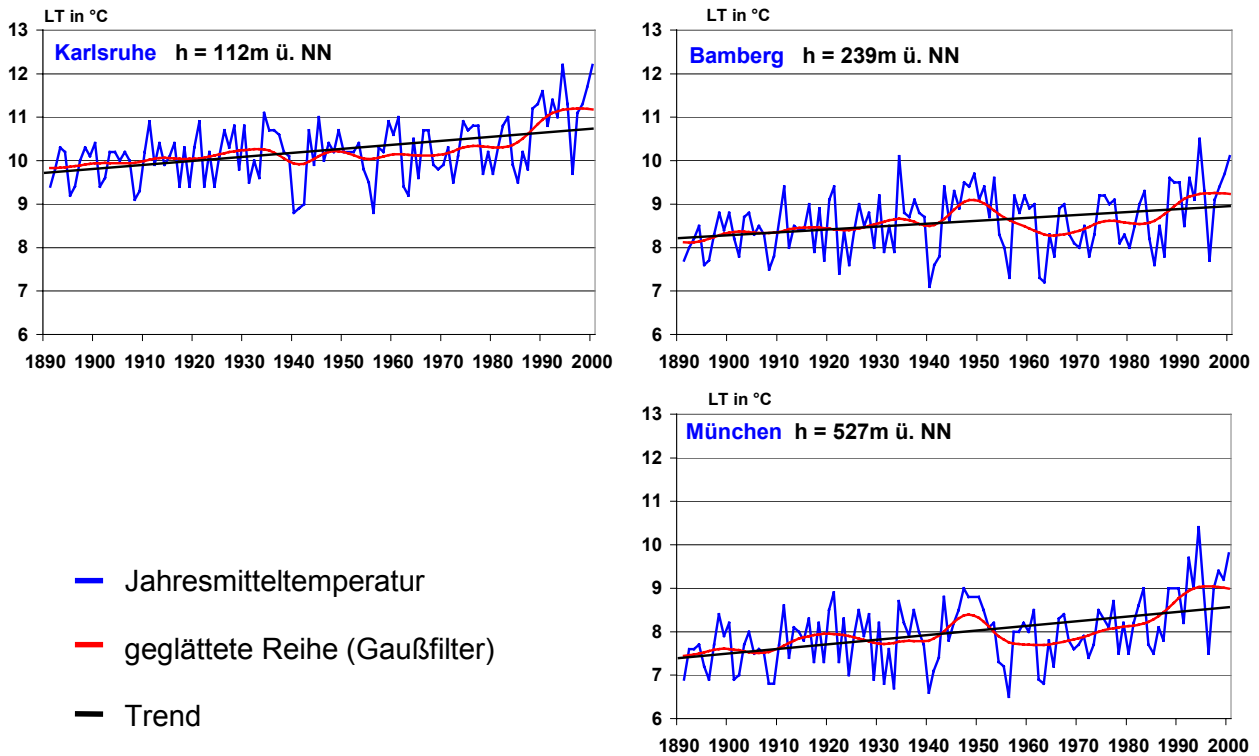


Abb. 5.13: Jahreswertreihen 1891/2000 der Lufttemperatur (in °C) an ausgewählten Stationen.

## 5.6 Änderung der Variabilität der täglichen Lufttemperaturen

Die in den voranstehenden Kapiteln beschriebenen Veränderungen der Monatsmitteltemperaturen können von Änderungen in den Häufigkeitsverteilungen der Tagesmitteltemperaturen in den einzelnen Monaten begleitet bzw. hervorgerufen sein. Die Untersuchung eventueller Änderungen in der Variabilität der Lufttemperaturen erfolgte anhand der täglichen Gebietsmitteltemperaturen der zusammengefassten KLIWA-Regionen (s. Abb. 3.2), deren 70-jährige Zeitreihen in zwei je 35-jährige Teilreihen (1931/1965 und 1966/2000) unterteilt wurden. Mittels Varianzanalyse (F-Test, s. in [8]) wurde geprüft, ob sich die Varianzen der Tagesmitteltemperaturen in den Monaten zwischen den beiden Teilreihen signifikant unterscheiden. Weil die vorgeschaltete Prüfung auf Normalverteilung der Daten nicht bei allen Monaten befriedigende Ergebnisse erbrachte, wurden zusätzlich verteilungsfreie Tests der Varianzen durchgeführt, die jedoch keine abweichenden Ergebnisse bei der Signifikanzbewertung erbrachten.

Weiterhin erfolgte eine Auswertung der monatlichen extremen Tagesmitteltemperaturen beider Zeitreihen.

Die Untersuchungsergebnisse werden in den Tabellen 5.8 und 5.9 am Beispiel der Regionen Hoch- und Oberrhein bzw. Östliche bayerische Alpen dargelegt. Alle anderen Regionen von Baden-Württemberg und Bayern zeigen vergleichbaren Änderungen der hier untersuchten Größen.

Der obere Teil der Tabellen gibt die Parameter Monatsmitteltemperatur und Standardabweichung, sowie die Extremwerte und deren Differenz, d.h. die Spannweite der Temperaturen des betreffenden Monats für die erste Teilreihe (1931/1965) der 70-jährigen Untersuchungsperiode an. Der untere Tabellenteil enthält die entsprechenden Angaben für die zweite Teilreihe (1966/2000), wobei diejenigen Werte rot unterlegt sind, welche gegenüber der ersten Teilreihe erhöht sind. Bei den Angaben der Standardabweichung erfolgt zusätzlich eine Kennzeichnung der Signifikanz der Unterschiede zwischen beiden Teilreihen.

Hoch- und Oberrhein		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1931/1965	Mittelw.	-0,6	0,4	4,1	8,3	12,3	15,6	17,2	16,5	13,6	8,4	3,9	0,4
	Max.	11,1	12,0	15,5	19,0	22,6	25,7	26,8	25,1	21,8	16,4	14,8	12,9
	Min.	-18,0	-17,1	-8,2	-1,7	0,9	5,1	9,3	9,7	4,0	-2,2	-5,9	-13,7
	$\Delta$	29,1	29,1	23,7	20,7	21,7	20,6	17,5	15,4	17,8	18,6	20,7	26,6
	s	4,7	4,5	3,8	3,6	3,7	3,3	3,1	2,9	3,2	3,4	3,3	4,2
1966/2000	Mittelw.	0,3	1,4	4,6	7,8	12,5	15,5	17,7	17,2	13,6	9,1	3,9	1,3
	Max.	12,1	12,2	15,2	19,1	22,1	24,5	26,7	25,7	21,3	19,1	15,3	12,5
	Min.	-17,8	-12,0	-9,5	-2,6	2,6	6,6	9,7	9,3	5,1	-0,4	-8,0	-12,7
	$\Delta$	29,9	24,2	24,7	21,7	19,5	17,9	17,0	16,4	16,2	19,5	23,3	25,2
	s	4,5	<b>4,0</b>	3,7	<b>3,8</b>	3,6	<b>3,5</b>	<b>3,3</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	3,4	<b>3,8</b>	4,2

Tab. 5.8: Verteilungsparameter der Tagesmitteltemperaturen (in °C) im Vergleich der Zeitreihenabschnitte 1931/1965 und 1966/2000, [Region Hoch- und Oberrhein](#)

Gebietsmittelwerte:

- mittlere Monatsmitteltemperaturen
- Max.: höchstes Tagesmittel im Monat
- Min.: geringstes Tagesmittel im Monat
- $\Delta$ : Spannweite,  $\Delta = \text{Max.} - \text{Min.}$
- s: Betrag der Standardabweichung

Die Kennzeichnung der Felder in **rot** zeigt an, dass die betr. Werte in der zweiten Teilreihe größer sind als in der ersten.

Signifikanz S der Varianz (nach F-Test):

$S < 90\%$ ,  **$95\% \leq S < 99\%$**

**$90\% \leq S < 95\%$**   **$S > 99\%$**



östl. bayer. Alpen		JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1931/1965	Mittelw.	-2,8	-1,7	2,3	7,3	11,4	14,8	16,4	15,7	12,7	7,4	2,5	-1,4
	Max.	10,4	9,8	12,9	18,6	21,9	26,3	25,9	24,5	21,0	16,9	13,6	10,5
	Min.	-22,5	-21,6	-10,5	-3,5	0,2	3,7	7,8	8,2	1,0	-2,2	-8,9	-17,4
	Δ	32,9	31,4	23,4	22,1	21,7	22,6	18,1	16,3	20,0	19,1	22,5	27,9
	s	4,8	4,7	4,1	3,9	3,9	3,4	3,2	3,1	3,4	3,5	3,2	4,3
1966/2000	Mittelw.	-1,6	-0,3	3,1	6,7	11,8	14,6	16,6	16,2	12,6	8,1	2,5	-0,5
	Max.	10,1	11,7	13,9	17,7	21,6	24,9	26,1	24,8	21,2	17,8	14,5	11,4
	Min.	-20,9	-13,0	-13,6	-3,0	0,6	5,2	8,2	7,6	3,9	-2,3	-9,3	-16,0
	Δ	31,0	24,7	27,5	20,7	21,0	19,7	17,9	17,2	17,3	20,1	23,8	27,4
	s	4,5	4,2	4,1	4,0	3,8	3,7	3,4	3,3	3,2	3,5	3,8	4,2

Tab. 5.9: Verteilungsparameter der Tagesmitteltemperaturen (in °C) im Vergleich der Zeitreihenabschnitte 1931/1965 und 1966/2000, **östliche bayerische Alpen**

Gebietsmittelwerte:

- mittlere Monatsmitteltemperaturen
- Max.: höchstes Tagesmittel im Monat
- Min.: geringstes Tagesmittel im Monat
- Δ: Spannweite,  $\Delta = \text{Max.} - \text{Min.}$
- s: Betrag der Standardabweichung

Die Kennzeichnung der Felder in **rot** zeigt an, dass die betr. Werte in der zweiten Teilreihe größer sind als in der ersten.  
Signifikanz S der Varianz (nach F-Test):  
 $S < 90\%$ ,                       **$95\% \leq S < 99\%$**   
 **$90\% \leq S < 95\%$**                **$S > 99\%$**

Die Unterschiede der mittleren Monatswerte beider Teilreihen zeigen den bei den Trendanalysen der voranstehenden Kapitel umfassend dargestellten Sachverhalt einer Zunahme der Monatsmitteltemperaturen in der Gesamtreihe von Dezember bis März, im August und Oktober sowie eine Abnahme im April. Die übrigen Monate weisen vom Betrag her unbedeutende, teils negative, teils positive Änderungen auf.

Die Zunahme der Monatsmitteltemperaturen im Jahresabschnitt Dezember bis März ist verbunden mit einer Abnahme der Variabilität der täglichen Lufttemperaturen. Teils hoch signifikante Rückgänge zeigen die Standardabweichungen. Die monatlichen Extremwerte der beiden Teilreihen weisen überwiegend Zunahmen, insbesondere des Minimums auf, so dass sich eine Abnahme der Spannweite ergibt. Die insgesamt große Streuung und Spannweite der Lufttemperaturen in diesem Jahresabschnitt ergeben sich aus der wetterlagenbedingtem Zufuhr sowohl von milden ozeanischen Luftmassen bei West-

wetterlagen als auch von kalten Luftmassen bei Nord- und Ostlagen. Der Rückgang der Varianz der Lufttemperaturen in den Monaten Dezember bis März lässt sich aus der zunehmenden Häufigkeit von Westwetterlagen in der Untersuchungsperiode 1931/2000 erklären.

Bei den Sommermonaten Juni, Juli, August, von denen bei den Trenduntersuchungen nur der August eine signifikante Zunahme der Monatsmitteltemperatur zeigt, sind signifikante Zunahmen der Varianz der Temperaturen zu verzeichnen – ein Befund, der sich in qualitativer Weise auch für das benachbarte Gebiet der Schweiz [17] ergibt.

Interessant ist, dass bei den Monaten September und November, welche keine Trends bei den Monatsmitteltemperaturen aufweisen, signifikante Änderungen in der Varianz der täglichen Lufttemperaturen, und zwar ein Rückgang im September und ein Anstieg im November, auftreten.

## 6 Die Lufttemperaturtrends in Bezug zu Veränderungen in der Häufigkeit der Wetterlagen

Die Lage Deutschlands zum Hauptzykloneingürtel der außertropischen Zirkulation bewirkt eine große Unbeständigkeit der Witterungsverhältnisse und eine hohe zeitliche Variabilität der Lufttemperaturen. Die Tiefdruckgebiete führen mit ihren Frontensystemen Luftmassen von unterschiedlicher Herkunft, aus tropischen wie aus polaren Breiten, aber auch aus kontinentalen Gebieten heran. Zwischengeschaltet sind teils wandernde, teils auch quasistationäre Hochdruckgebiete. Die Luftmassen weisen aufgrund ihrer jeweiligen Herkunft unterschiedliche Eigenschaften auf. Für die Lufttemperatur bedeutet dies, dass mit bestimmten Wetterlagen die Zufuhr von milden oder kalten Luftmassen (bezogen auf die durchschnittlichen jahreszeitlichen Temperaturen) verbunden ist. Es erhebt sich somit die Frage, ob die festgestellten trendhaften Änderungen der Monatsmitteltemperaturen durch Änderungen in der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen in der Untersuchungsperiode bedingt sind.

Im Rahmen von KLIWA wurden bereits bestimmte Parallelitäten zwischen dem Zeitreihenverhalten des Niederschlags und Änderungen in den jahreszeitlichen Häufigkeiten der Zirkulationsformen (zonal, meridional, gemischt) festgestellt [12]. Aus der Sicht der Temperaturänderungen bietet ein Bezug auf die Zirkulationsformen keine ausreichende Differenzierung, da in die Gruppenbildung der meridionalen und der gemischten Zirkulationsform eine Reihe von Wetterlagen eingehen, von denen ei-

nige zu überdurchschnittlichen und andere zu unterdurchschnittlichen Lufttemperaturen im Untersuchungsraum (teils mit jahreszeitlicher Differenzierung) führen. Deshalb wurde eine neue Trendanalyse der Wetterlagenhäufigkeit auf monatlicher Basis und nach thermischen Gesichtspunkten vorgenommen. Als Datengrundlage wurden die täglich katalogisierten Wetterlagen nach Hess/Brezowsky aus [13] und die dort enthaltene Witterungsbeschreibung der Wetterlagen für die meteorologischen Jahreszeiten verwendet. Die Gruppenbildung für die Trendanalyse erfolgte auf der Grundlage der Großwettertypen (GWT), die entsprechend Tab. 6.1 zusammenzufassen und in Bezug auf die Lufttemperatur mit starker Vereinfachung zu charakterisieren sind. (Die Vereinfachung war im Hinblick auf die geringe Häufigkeit einiger Wetterlagen und ein ausreichendes Datenkollektiv je Monat erforderlich). Bei der generell hohen Temperaturunbestimmtheit der Großwettertypen unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas [14] ist die starke Vereinfachung ausreichend.

Weitere Informationen zu den Wetterlagen, welche den hier genannten Großwettertypen zuzuordnen sind, finden sich in [13].

Die Ergebnisse der Trendberechnungen werden in Tabelle 6.2 zusammengefasst. Der obere Tabellenteil enthält die Berechnungen für die Zirkulationsformen, der untere für die beschriebenen, thermisch näherungsweise einheitlich zu charakterisierenden Gruppen von Großwettertypen.

<b>GWT</b>	<b>Lufttemperatur</b>
<b>West</b>	Sommer: mittel bis unterdurchschnittlich Winter: überdurchschnittlich
<b>Nordwest, Tief Mitteleuropa</b>	Sommer: unterdurchschnittlich Winter: überdurchschnittlich
<b>Südwest, Hoch Mitteleuropa</b>	überdurchschnittlich
<b>Nord</b>	unterdurchschnittlich
<b>Nordost, Ost, Südost</b>	Sommer: überdurchschnittlich Winter: unterdurchschnittlich
<b>Süd</b>	überdurchschnittlich

Tab. 6.1: Zusammenfassung von Großwettertypen GWT anhand der Lufttemperaturabweichungen in den meteorologischen Jahreszeiten Sommer und Winter



Die Trendwerte wurden auf ganze Tage gerundet, so dass sich Zu- und Abnahmen innerhalb der Monate nicht bei jeder Gruppe zu Null ausgleichen.

Die Trendangaben der Tabelle 6.2 belegen eindrucksvoll die Ursache der winterlichen Erwärmung in der Untersuchungsperiode. Im Jahresabschnitt Dezember bis März hat die Häufigkeit von Wetterlagen, welche in den Untersuchungsraum für die Jahreszeit zu milde Luftmassen heranführen, deutlich zugenommen. Die Zunahme betrifft insbesondere die Westwetterlagen, bei denen im Dezember eine Zunahme um 8 Tage und im Januar um 4 Tage zu verzeichnen ist, sowie die im Winter relativ warmen Wetterlagen der gemischten Zirkulationsform. Rückgänge in den Häufigkeiten treten im Jahresabschnitt Dezember bis März hingegen bei den winterkalten Wetterlagen der Nord- und Nordost-, Ost- und Südostlagen auf.

Im Zeitraum des Sommerhalbjahres sind die Zusammenhänge zwischen Lufttemperaturtrends und veränderten Häufigkeiten

der Wetterlagen nicht bei allen Monaten so augenfällig wie im Winterhalbjahr.

Die Zunahme der Monatsmitteltemperaturen im Mai lässt sich gut durch die Zunahme der warmen Süd- und Südwestlagen sowie der Hochdrucklagen und die Abnahme der Nordlagen mit Zufuhr kalter Luftmassen erklären.

Im Juli und August ist zwar eine deutliche Abnahme bei der Häufigkeit der sommers relativ kühlen Nordwest-, West- und Tief-Mitteleuropa-Lagen und eine Zunahme der warmen Großwettertypen Nordost bis Südost, Südwest und Hoch Mitteleuropa zu verzeichnen, aber auch für die kalten Nordlagen ergibt sich eine deutliche Zunahme.

Die im Untersuchungsraum im Oktober vorliegenden positiven Lufttemperaturtrends und die negativen Trends für April lassen sich nicht durch tendenzielle Änderungen von Wetterlagenhäufigkeiten (bei der vorgenommenen Gruppenbildung) belegen.

Zirkulationsform	Großwettertypen	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
zonal	West	+4	+	+	-4	-2	-	-	-3	+	+	+	+8	+10
gemischt	Nordwest, Südwest, Tief-, Hoch Mitteleuropa	-	+	+4	+3	+5	-	-3	-2	+	+	-	-2	+6
meridional	Nord, Süd, Ost, Nordost, Südost	-4	-4	-6	+	-2	+2	+4	+5	-	-	-2	-6	-16

Großwettertypen	Abweichung der Lufttemperatur vom Mittel	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
West	Sommer : - Winter : +	+4	+	+	-4	-2	-	-	-3	+	+	+	+8	+10
Nordwest, Tief Mitteleuropa	Sommer : - Winter : +	-	+	+2			-	-5	-4	-1	-	-	-	-10
Südwest, Hoch Mitteleuropa	Sommer : + Winter : +	+	+	+	+3	+5	+	+2	+2	+	+	-	-	+16
Nord	Sommer : - Winter : -	-3	-3	-2	-	-4	-1	+3	+4	-1	-1	+2	-	-9
Nordost, Ost, Südost	Sommer : + Winter : -	-3	-	-4	-	-	-	+3	+	-	-	-2	-3	-14
Süd	Sommer : + Winter : +	+1	+	-	+3	+4	+4	-2	+	+	+2	-3	-2	+8

positive/negative Trends :  
Signifikanz S nach Mann-Kendall-Test

S < 80 % ;	95 % ≤ S < 99 %
80 % ≤ S < 90 % ;	99 % ≤ S < 99,9 %
90 % ≤ S < 95 % ;	99,9 % < S

Tab. 6.2: Trends (in Tagen) und Tendenzen bei der monatlichen Anzahl der Tage mit bestimmten Zirkulationsformen und Großwettertypen, Untersuchungsperiode 1931/1999

## 7 Vergleich des Trendverhaltens der Lufttemperatur mit weiteren hydrometeorologischen Größen

### 7.1 Potentielle Verdunstung

Die Lufttemperatur ist nach der Globalstrahlung eine wesentliche Basisgröße der potentiellen Verdunstung, so dass sich ein Zeitreihen- bzw. Trendvergleich der hier untersuchten Lufttemperaturen zu den im KLIWA-Teilprojekt A 1.2.1 [1] erhaltenen Befunden zur potentiellen Verdunstung anbietet. Die Vorgehensweisen der Teilprojekte zur Lufttemperatur bzw. zur potentiellen Verdunstung sind insoweit identisch als die Trendanalysen für die aus Gitterpunktwerten berechneten Gebietsmittelwerte und zwar in monatlicher Auflösung sowie für Jahreswertreihen durchgeführt wurden. Die Berechnung der Gitterpunktwerte der potentiellen Verdunstung erfolgte dabei nicht aus Gitterpunktwerten der Inputgrößen, sondern durch Regionalisierung von Stationswertereihen der potentiellen Verdunstung. Die dazu benötigten Stationswertereihen der Lufttemperatur dienten auch als Ausgangsdaten für das vorliegende Teilprojekt zur Lufttemperatur (s. Kapitel 2).

Bezüglich einer direkten Vergleichbarkeit der Trendbefunde von Lufttemperatur und potentieller Verdunstung besteht ein Vorbehalt wegen der unterschiedlichen Bezugsreihen – der Analysezeitraum für die potentielle Verdunstung war die Zeitreihe 1931/1997.

Das Trendverhalten von potentieller Verdunstung und Lufttemperatur zeigt im innerjährlichen Verlauf einige typische Gemeinsamkeiten. Eine Reihe von Trendbefunden bei der potentiellen Verdunstung lässt sich jedoch aus dem Trendverhalten der Lufttemperatur nicht ausreichend erklären, so dass auch Zeitreihenänderungen der Globalstrahlung als wesentlicher Einflussfaktor für das Zeitreihenverhalten der potentiellen Verdunstung in Betracht zu ziehen sind. Dies wurde bereits im KLIWA-Teilprojekt zur potentiellen Verdunstung [1] ansatzweise untersucht und in einem weiteren KLIWA-Teilprojekt A 1.2.4 zu einer flächendeckenden Analyse der Global-

strahlung bzw. Sonnenscheindauer fortgesetzt, die gegenwärtig in Bearbeitung ist.

Gemeinsamkeiten im Trendverhalten von potentieller Verdunstung und Lufttemperatur stellen insbesondere die hohen positiven Trends im Dezember sowie im weiteren Winterzeitraum Januar und Februar (in den Donauregionen Bayerns bis zum März) dar. Dabei spiegeln sich auch die Höhenabhängigkeit der Lufttemperaturtrends und ihre regionalen Unterschiede in einem entsprechenden Trendverhalten der potentiellen Verdunstung wider. Die Abnahmen der Monatsmitteltemperaturen des April, die besonders in den Hochlagen von Baden-Württemberg und Bayern ausgeprägt sind, finden sich in entsprechender Weise in den April-Zeitreihen der potentiellen Verdunstung. Für beide Größen ergeben sich dabei nur Befunde von schwacher Signifikanz in den höher gelegenen Untersuchungsgebieten. Bei den Gebieten im unteren Höhenbereich liegt überwiegend keine Signifikanz vor.

Die für das Sommerhalbjahr markanten, gebietsweise hoch signifikanten Lufttemperaturzunahmen im August und im Oktober zeigen bei den Zeitreihen der monatlichen potentiellen Verdunstung mit nur schwach ausgeprägten, nicht signifikanten und im Oktober gebietsweise sogar negativen Tendenzen keine Entsprechung. Ausnahmen stellen im Oktober lediglich die Alpenregionen Bayerns dar, die bei den Lufttemperaturreihen die im Untersuchungsraum höchsten Zunahmen von ca. 1 K bis 1,8 K und bei der potentiellen Verdunstung signifikante Zunahmen im Bereich von 6 % bis über 12 % der mittleren monatlichen Summe verzeichnen.

Das Zeitreihenverhalten der potentiellen Verdunstung im Sommerhalbjahr wird hingegen durch die flächendeckend vorhandenen und hoch signifikanten negativen Trends im Juni (ca. - 10 % bis - 17 % der monatlichen Summe) charakterisiert – dem stehen im gesamten Untersuchungsraum keine nachweisbaren Änderungen der Mo-





natsmitteltemperaturen des Juni gegenüber.

Wegen der geringfügigen Verdunstung in den Wintermonaten haben die in diesem Jahresabschnitt auftretenden und verbreitet hoch signifikanten Zunahmen nur einen geringen Einfluss auf die jährliche Summe der potentiellen Verdunstung und ihren Trend. Beispielsweise machen die Trends im Dezember, die bezogen auf den mittleren Monatswert etwa im Bereich von + 20 % bis + 40 % liegen, weniger als 1 % des mittleren Jahreswertes der potentiellen Verdunstung aus. Das Trendverhalten der Jahreswertreihen wird daher überwiegend durch die negativen Trends im Sommerhalbjahr, insbesondere im Monat Juni bestimmt. Somit weisen die Jahreswertreihen der potentiellen Verdunstung negative Trends (ohne oder von geringer Signifikanz) trotz signifikanter Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen auf.

Die scheinbaren Widersprüche zwischen den monatlichen Trends von Lufttemperatur und potentieller Verdunstung im Sommerhalbjahr (bzw. den Trends der Jahreswerte beider Größen) finden ihre Erklärung offenbar im Zeitreihenverhalten der Sonnenscheindauer bzw. der Globalstrahlung. Bislang liegen Untersuchungsergebnisse zum Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer / Globalstrahlung aus dem Projekt HUK [3], dem KLIWA-Teilprojekt zur potentiellen Verdunstung [1] sowie aus der Arbeit von TREPTE / WINKLER [15] vor. Diese unterschiedlichen Untersuchungen ergeben insgesamt, und soweit möglich auf die KLIWA-Untersuchungsperiode als qualitative Aussage bezogen, eine Abnahme der Sonnenscheindauer in Deutschland, die schwerpunktmäßig aus den Abnahmen in den Monaten Juni, September und März resultiert, während in den Monaten mit Temperaturzunahmen (Mai, August, Oktober) keine nennenswerten Zeitreihenveränderungen bei der Sonnenscheindauer vorzuliegen scheinen. Quantitative und gesicherte Einschätzungen des flächendeckenden Zeitreihenverhaltens von Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer und der Bezüge zum Verhalten von Lufttemperatur und potentieller Verdunstung bedürfen weiterer Untersuchungen.

## 7.2 Schneedeckenparameter

Die Ergebnisse der im Rahmen von KLIWA durchgeführten Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Schneedecke [2] sind wegen des abweichenden Untersuchungszeitraumes (1951/1996) und der abweichenden, nach schneehydrologischen Gesichtspunkten vorgenommenen Gebietseinteilung von Baden-Württemberg und Bayern nicht ohne weiteres mit den Ergebnissen zum Langzeitverhalten der Lufttemperatur des vorliegenden Teilprojektes vergleichbar. Insofern stehen die nachfolgenden Interpretationen des Zusammenhangs zwischen Trendbefunden zur Lufttemperatur und zu Schneedeckenparametern unter einem gewissen Vorbehalt, und es erfolgen keine quantitativen Vergleiche der Trendbeträge und Trendsignifikanzen. Dennoch sind aus den jeweiligen Analyseergebnissen einige grundsätzliche und gemeinsame Eigenschaften im Langzeitverhalten von Lufttemperatur und von Schneedeckenparametern erkennbar.

Eine vollständige Entsprechung im Zeitreihenverhalten von Lufttemperaturen und Schneedeckenparametern kann neben diesen formalen Gründen der unterschiedlichen Bezugsreihen und Gebietseinteilungen schon deshalb nicht erwartet werden, weil Ausbildung und Andauer von Schneedecken auch vom Niederschlag und seiner zeitlichen Verteilung abhängig sind. Weiterhin muss in den kalten Hochlagen der Gebirge selbst ein deutlicher positiver Lufttemperaturtrend noch nicht zu einem Rückgang der Schneedeckenparameter führen, solange die Null-Grad-Grenze durch die täglichen Lufttemperaturen nicht tendenziell überschritten wird.

In Baden-Württemberg zeigt nach oben zitiertem KLIWA-Teilprojekt die Schneedeckendauer, d.h. die Anzahl der Tage mit Schneedecke in den jährlichen Winterperioden, nahezu flächendeckend einen deutlichen Rückgang, der in den teils hoch signifikanten Zunahmen der Monatsmittel der Lufttemperatur eine Begründung findet.

Aus dem Trendverhalten der Lufttemperaturen lässt sich ebenso die Erklärung für die mit zunehmender Höhenlage festzustellende Abschwächung der negativen Trends der Schneedeckendauer bis hin zur Trendumkehr zu positiven Trendwerten in den Hochlagen des Schwarzwaldes ableiten. Zeigen doch die Trendanalysen der Monatsmitteltemperaturen, dass der regionale Schwerpunkt der Temperaturzunahme in den unteren Gebietslagen zu finden ist (Tab. 5.1 bis 5.3). Insbesondere im März, in der Region von Hoch- und Oberrhein auch im Februar, sind die Zunahmen der Monatsmitteltemperaturen in den Höhenlagen oberhalb etwa 500 m ü. NN gegenüber den Zunahmen in den unteren Gebietslagen erheblich vermindert. Bei den Märztemperaturen lässt sich im Hochschwarzwald keine signifikante Zunahme mehr feststellen.

Die Schneedeckendauer, d.h. die Zeitspanne vom ersten bis zum letzten Schneedeckentag einschließlich schneedeckenfreier Tage in der winterlichen Periode, weist in Baden-Württemberg neben Abnahmen in den tieferen Gebietslagen von Hoch-, Oberrhein sowie Neckar relativ großräumig auch Tendenzen zu einer Verlängerung dieses winterlichen Jahresabschnittes auf. Betroffen von der Zunahme der Schneedeckendauer sind insbesondere der Nord-schwarzwald, die Schwäbische Alb, und in der nördlichen Neckarregion der Odenwald. Die Untersuchungsergebnisse der Lufttemperaturtrends lassen die Schlussfolgerung zu, dass diese Verlängerung der Schneedeckendauer auf die negativen Trends der Monatsmitteltemperaturen des April zurückzuführen ist. Die Temperaturrückgänge liegen in den genannten Gebieten bzw. den Höhenlagen oberhalb etwa 400 m ü. NN im Wertebereich von rund  $-0,7$  K bis  $-0,9$  K und weisen bereits schwache Signifikanzen auf. Diese negativen Trends der Apriltemperaturen in der Gesamtreihe 1931/2000 sind wesentlich durch eine Häufung überdurchschnittlich warmer Aprilmonate in den ersten etwa zwanzig Jahren der Untersuchungsperiode bedingt. Ab Mitte der sechziger Jahre ist wieder eine Zunahme der Monatsmitteltemperaturen des April zu verzeichnen. Eine trendbeeinflussende Verlängerung

der Schneedeckendauer durch einen frühen Beginn im Oktober kann aufgrund der hohen positiven Lufttemperaturtrends, die in diesem Monat vor allem in den höheren Gebietslagen auftreten, ausgeschlossen werden.

Für den Untersuchungsraum Bayern ergaben die Zeitreihenanalysen zur Schneedeckendauer [2] ebenfalls einen verbreiteten Rückgang, der - wie in Baden-Württemberg - auf die erheblich angestiegenen Lufttemperaturen im Jahresabschnitt Dezember bis März zurückgeführt werden kann. Auch in Bayern ist der negative Trend der Schneedeckendauer auf die unteren Gebietslagen konzentriert. Mit zunehmender Geländehöhe schwächt sich der Rückgang in den Zeitreihen der Schneedeckendauer ab, und in den höheren Lagen der Alpen und des Bayerischen Waldes sind Zunahmen, also positive Trends der Schneedeckendauer zu verzeichnen. Dabei ist neben der Abhängigkeit des Trendverhaltens von der Geländehöhe auch ein Effekt der zunehmenden Kontinentalität der klimatischen Bedingungen zu verzeichnen. In den westlichen Teilen des Untersuchungsraumes Bayern sind die Rückgänge der Schneedeckendauer in den unteren Gebietslagen stärker ausgeprägt als bei vergleichbaren Geländehöhen in den östlichen Teilen, entsprechend sind in den oberen Höhenlagen die positiven Trends in den östlicheren Teilen Bayerns stärker als in den westlicheren Teilen Bayerns.

Das Trendverhalten der Lufttemperaturen zeigt im Jahresabschnitt Dezember bis März äquivalente Merkmale zum Trendverhalten der Schneedeckendauer (siehe Tab. 5.5 und 5.6). Charakteristisch ist bei der Lufttemperatur eine teils erhebliche Abnahme der positiven Trendbeträge mit zunehmender Geländehöhe (außer im Januar in den Alpen) in ganz Bayern. Der geringeren Erwärmung in den Hochlagen entsprechen qualitativ die Abschwächungen der negativen Trends in den Zeitreihen der Schneedeckendauer. Weiterhin ist der Effekt zunehmender Kontinentalität im Trendverhalten von Lufttemperatur und von Schneedeckendauer in entsprechender Weise zu finden. In vergleichbaren Höhen-niveaus sind die Zunahmen der Lufttempe-



raturen bzw. die Abnahmen der Schneedeckendauer in den östlichen Mittelgebirgs- und Alpenregionen geringer als in den westlichen.

Die tendenzielle Verlängerung der Schneedeckenzeit dürfte in Bayern ebenso wie in Baden-Württemberg mit dem Rückgang der Monatsmitteltemperaturen des April in der betrachteten Zeitreihe zusammenhängen, der besonders in den Hochlagen der östlichen Alpen schon die Signifikanzschwelle von 95 % übertrifft.

Zur Stützung der Vermutung einer Verlängerung der Schneedeckenzeit als Folge des Rückgangs der Apriltemperaturen bedarf es spezieller Auswertungen zum Zeitreihenverhalten von Schneedeckenparametern (Datum der ersten bzw. letzten Schneedecke), die bislang noch nicht durchgeführt wurden.

## 8 Ausblick

Als wesentliches Ergebnis der umfangreichen Auswertungen ist im süddeutschen Untersuchungsraum eine signifikante Zunahme der Lufttemperaturen festzustellen. Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur ist im Untersuchungsraum ebenso wie in weiten Teilen Deutschlands [3, 11] im 20. Jahrhundert größer als der vom IPCC mit  $0,6\text{ K} \pm 0,2\text{ K}$  angegebene Anstieg der globalen Mitteltemperatur. Die neunziger Jahre waren in Deutschland das mit Abstand wärmste Dezennium im vergangenen Jahrhundert [19]. Die Ergebnisse von KLIWA für Süddeutschland und regionale Studien in anderen Bundesländern [18, 20] zeigen damit eine sich im Jahrhundertverlauf verstärkende Zunahme der Jahresmitteltemperaturen.

Die Klimamodelle des IPCC prognostizieren eine Fortsetzung des globalen Temperaturanstieges in diesem Jahrhundert: in Abhängigkeit vom verwendeten Emissionsszenario wird im globalen Mittel eine Zunahme der Lufttemperaturen um  $1,4\text{ K}$  bis  $5,8\text{ K}$  bis Ende des 21. Jahrhunderts berechnet.

In Süddeutschland erbrachte bisher das Jahr 2003 neue Rekorde der Sommertemperaturen, welche die Extrema des letzten Jahrhunderts übertreffen. In unterschiedlichen Untersuchungen [17, 21] wurde angesichts dieser Sommertemperaturanomalie darauf hingewiesen, dass die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens bei Zugrundelegung aus bisherigen Messwerten abgeleiteter Wahrscheinlichkeitsverteilungen extrem gering war. Fazit dieser Untersuchungen war weiter, dass wohl künftig von einer Instationarität der weiteren Temperaturentwicklung und somit von veränderten Auftretenswahrscheinlichkeiten auszugehen ist.

Ein Ziel von KLIWA ist es, statistisch fundierte Grundlagen zu schaffen, die eine schnelle und regional differenzierte Einordnung künftiger Lufttemperaturen in die bisherige Entwicklung ermöglichen. Durch die Verwendung von Gebietsmitteln der Lufttemperatur nach Regionalisierung der Stationsdaten konnten in der hier vorliegenden

Untersuchung Inhomogenitäten einzelner Stationen bspw. aufgrund von Umgebungseinflüssen weitgehend ausgeschaltet werden. Die erstellten 70-jährigen (flächendeckend) bzw. 110-jährigen (repräsentative Stationen) Tageswertreihen der Lufttemperatur bieten neben vertieften Erkenntnissen der bisherigen Temperaturvariabilität auch für Aufgabenstellungen wie die klimatologische Einordnung extremer Witterungsereignisse (bspw. Hitzeperiode 2003) oder den Vergleich mit regionalen Klimaszenarien eine solide Datengrundlage.



## 9 Literatur

- [1] KLIWA (2001): Flächendeckende Analyse des langfristigen Verhaltens der potentiellen Verdunstungshöhe in Baden-Württemberg als Grundlage für entsprechende Wasserhaushaltsbilanzierungen  
Zwischenbericht zum KLIWA- Einzelprojekt KLIWA-PET (A1.2.1) BW, S.
- KLIWA, (2002a): Flächendeckende Analyse des langfristigen Verhaltens der potentiellen Verdunstungshöhe in Bayern als Grundlage für entsprechende Wasserhaushaltsbilanzierungen  
Zwischenbericht zum KLIWA- Einzelprojekt KLIWA-PET (A1.2.1) BY, 43 S.  
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie/HM2, Berlin
- [2] KLIWA (2005a): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern  
KLIWA- Berichte, H.6.
- [3] BLÜMEL,K.; KLÄMT,A.; MALITZ,G.; MATTHÄUS,H.; RACHNER,M.; RICHTER,D.  
(2001): Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem der Klimaveränderungen  
Berichte des Deutschen Wetterdienstes 219, Offenbach a. Main, 372 S.
- [4] BREMICKER, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele  
Freiburger Schriften zur Hydrologie, 117 S.
- [5] REICH, T.; WIESNER, G. (1996): BONIE-M, Projekt KONIE, Teilprojekt "Quantitative Erfassung von Gebietsniederschlägen – Erweiterung des methodischen Apparates zur Berechnung von Gebietsniederschlägen bei unterschiedlichen Messnetzkonfigurationen". Abschlussbericht, 38 S.  
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie/HM2, Berlin
- [6] WACKERNAGEL, H. (1998): Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications  
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 291 pp
- [7] KLIWA (2003a): Erarbeitung und Bereitstellung von langen Reihen interpolierter Gitterpunktswerte (Tageswerte) und Analyse des Langzeitverhaltens von Gebietsmittelwerten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern  
Zwischenbericht zum KLIWA-Einzelprojekt KLIWA-TEMP (A1.2.3)/BW-BY, 230 S.
- [8] SCHÖNWIESE, C.-D. (1992): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 2.Aufl. Gebrüder Borntraeger , Berlin Stuttgart, 230 S.
- [9] KLIWA (2003b): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern  
KLIWA- Berichte , H.2, 98 S.
- [10] PHYSIKALISCHE TECHNISCHE BUNDESANSTALT: Die gesetzlichen Einheiten in Deutschland (<http://www.ptb.de>)
- [11] RAPP; J.; SCHÖNWIESE, C.-D (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperatur-trends in Deutschland 1891 - 1990  
Frankfurter Geowiss. Arb. Serie B, Bd. 5, 255 S.



- 
- [12] KLIWA (2005b): Langzeitverhalten der Gebietswertreihen des Niederschlags in Baden- Württemberg und Bayern. KLIWA- Berichte, H.7
- [13] GERSTENGARBE, F.-W., WERNER, P.C., RÜGE, U., (1999): Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 – 1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowski. Potsdam, Offenbach a. M., 5. erg. u. verbesserte Aufl., 138 S.
- [14] GÜNTHER, Th., (1971): Die Temperaturunbestimmtheit der Großwettertypen und die Temperatur- und Großwetterlagenunbestimmtheit im Winter. Zeitschrift für Meteorol. Bd. 22, H. 6/7, S.189-193
- [15] TREPTE, S.; WINKLER, P. (2002): Langfristige Veränderungen von relevanten meteorologischen Parametern mit Bezug zur solaren Strahlung am Hohenpeißenberg. Deutscher Wetterdienst, Arbeitsergebnisse Nr. 73, Offenbach a. M., 23 S.
- [16] PETTIT, A.N. (1979): A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. Appl. Statist., 28, S.126-135
- [17] SCHÄR, Ch., u. a. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332-336
- [18] KLÄMT, A. (2004): Die hydroklimatischen Bedingungen in der Lausitz und ihre Veränderungen im vergangenen Jahrhundert  
Klima und Wasserhaushalt in der Lausitz, Verant. D10, Akademie der Sächs. Landesstiftung Natur und Umwelt
- [19] MÜLLER-WESTERMEIER, G.; KREIS, A. (2002): Die bodennahe Lufttemperatur und der Niederschlag im 20. Jahrhundert dargestellt anhand von Karten. Klimastatusbericht 2001, Deutscher Wetterdienst, S. 12 - 19
- [20] FRANKE, J.; GOLDBERG, V.; EICHELMANN, U.; FREYDANK, E.; BERNHOFER, C. (2004): Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. Clim. Res., Vol. 27, 145-150
- [21] SCHÖNWIESE, C.-D.; STAEGER, T.; TRÖMEL, S.; JONAS, M. (2004): Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. Klimastatusbericht 2003, Deutscher Wetterdienst, S.123-132



## Anlagenverzeichnis

		Seite
Anlage 1	Stationsliste	57
Anlage 2a	Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Baden-Württemberg	67
Anlage 2b	Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Bayern	71





Klima- kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>D1 Donau, Quelle bis Lauchert</b>				
02739	VILLINGEN-SCHWENNINGEN	8,46667	48,05000	720
02740	DUERRHEIM,BAD	8,53333	48,01667	692
02755	ALBSTADT-EBINGEN	9,03333	48,20000	712
02756	TROCHTELFINGEN	9,25000	48,31667	700
02760	SIGMARINGEN-LAIZ	9,20000	48,06667	580
02780	DONAUESCHINGEN	8,50000	47,95000	677
02926	ALBSTADT-ONSTMETTINGEN	9,00000	48,28333	794
02932	TUTTLINGEN	8,81667	48,01667	648
02933	TUTTLINGEN-MOEHRINGEN	8,75000	47,95000	675
02934	NEUHAUSEN OB ECK (BW)	8,91667	47,98333	793
<b>D2 Donau, uh. Lauchert bis oh. Iller</b>				
02730	ULM (WST)	9,95000	48,38333	567
02753	MUENSINGEN-APFELSTETTEN	9,48333	48,38333	750
02765	BIBERACH/RISS	9,80000	48,11667	534
02786	PFULLENDORF-BRUNNHAUSEN	9,28333	47,91667	638
02885	OCHSENHAUSEN-MITTELBUCH	9,88333	48,05000	626
02960	SCHEMMERHOFEN-INGERKING.	9,76667	48,20000	519
<b>D3 Donau, Iller</b>				
04135	MEMMINGEN	10,13333	47,98333	610
04137	KEMPTEN (WST)	10,33333	47,71667	705
04144	OBERSTDORF (WST)	10,28333	47,40000	810
04146	FISCHEN,KR.OBERALLGAEU	10,26667	47,46667	757
<b>D4 Donau, uh. Iller bis oh. Wörnitz und Lech</b>				
02729	LAICHINGEN	9,70000	48,50000	747
04102	HEIDENHEIM/BRENTZ	10,13333	48,66667	500
04103	DILLINGEN/DONAU	10,50000	48,56667	420
04104	NIEDERSTOTZINGEN	10,23333	48,53333	451
04129	NEUBURG/KAMMEL-LANGENHAS	10,38333	48,31667	495
04130	KRUMBACH-EDENHAUSEN	10,41667	48,25000	520
04132	BOOS	10,20000	48,08333	588
<b>D5 Donau, Lech</b>				
04125	LANDSBERG/LECH	10,86667	48,03333	602
04126	KAUFERING	10,86667	48,10000	585
04127	AUGSBURG (ST.STEPHAN)	10,90000	48,36667	490
04142	HINDELANG-UNTERJ.(AKKST)	10,43333	47,55000	1053
04147	OY-MITTELBERG	10,43333	47,63333	1010
04148	LEINAU	10,61667	47,91667	663
04149	KAUFBEUREN	10,60000	47,86667	716
04151	SCHWANGAU-HORN	10,71667	47,58333	792



Klima- kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>D6 Donau, Wörnitz, Altmühl und Schw. Laber</b>				
04069	GUNZENHAUSEN(ALTMUEHLS.)	10,75000	49,13333	413
04079	PARSBERG/OPF.	11,71667	49,16667	516
04095	TRIEDORF	10,66667	49,20000	430
04097	WOERNITZ-BOTTENWEILER	10,23333	49,21667	464
04098	ANSBACH-CLAFFHEIM	10,58333	49,25000	481
04105	NOERDLINGEN	10,50000	48,85000	425
04107	KAISHEIM-NEUHOF	10,78333	48,76667	516
04108	EICHSTAETT	11,16667	48,90000	397
04113	BOEHMING	11,36667	48,95000	379
<b>D7 Donau, uh. Lech bis oh. Naab</b>				
04109	KOESCHING	11,48333	48,83333	417
04111	INGOLSTADT	11,43333	48,75000	367
04114	KARLSHULD	11,30000	48,68333	374
04115	HUELL	11,68333	48,60000	438
04116	ALTOMUENSTER-PIPINSRIED	11,28333	48,40000	500
04128	AUGSBURG-MUEHLH. (WST)	10,95000	48,43333	462
04184	AU/HALLERTAU-GUENZENHSN.	11,71667	48,55000	483
04185	MAINBURG	11,78333	48,65000	431
04362	KOENIGSMOOS-UNTERMAXFELD	11,21667	48,66667	378
<b>D8 Donau, Naab</b>				
04029	FICHELTB./OFR-HUETTSTADL	11,83333	49,98333	659
04073	ESCHENBACH/OPF.	11,81667	49,75000	470
04074	SPEINSHART/OPF.	11,81667	49,78333	424
04075	AMBERG-UNTERAMMERSRICHT	11,85000	49,46667	383
04476	TIRSCHENREUTH	12,35000	49,88333	515
04479	ALTGLASHUETTE	12,38333	49,76667	750
04480	SILBERHUETTE	12,40000	49,75000	819
04481	WEIDEN/OPF. (WST)	12,18333	49,66667	438
04482	ETTMANNSDORF	12,08333	49,33333	355
04483	SCHWANDORF	12,08333	49,33333	356
04484	OBERVIECHTACH	12,43333	49,45000	595
04725	FLOSSENBUERG	12,35000	49,73333	695
<b>D9 Donau, Regen</b>				
04488	CHAM	12,66667	49,21667	396
04489	GROSSER ARBER (WST)	13,13333	49,11667	1437
04490	BODENMAIS (AKKST)	13,08333	49,08333	648
04491	GROSSER FALKENSTEIN(WST)	13,28333	49,08333	1307
04492	ZWIESEL	13,21667	49,01667	575
04493	ZWIESELBERG	13,21667	49,00000	615
04494	HOELLENSTEIN-KRAFTWERK	12,86667	49,13333	403
04499	REGENSBURG (WST)	12,10000	49,05000	366
04710	SCHORNDORF-KNOEBLING	12,61667	49,16667	399

Klima-kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>D10 Donau, uh. Naab bis oh. Isar</b>				
04500	LEIBLFING	12,51667	48,76667	365
04501	MALLERSDORF/NDB.	12,25000	48,78333	410
04502	AITERHOFEN	12,61667	48,85000	339
04505	STRAUBING (WST)	12,56667	48,83333	350
04509	METTEN	12,91667	48,85000	313
04511	RUSEL-IRLMOOS	13,05000	48,88333	797
04563	NEUTRAUBLING	12,21667	48,98333	332
<b>D11 Donau, Isar</b>				
04117	WEIHENSTEPHAN (AMBF)	11,70000	48,40000	470
04119	MUENCHEN-RIEM (FLUGWEWA)	11,71667	48,13333	527
04123	PUCH,KR.FUERSTENFELDBR.	11,21667	48,18333	550
04124	MUENCHEN-STADT	11,55000	48,16667	515
04131	MAISACH-GERNLINDEN	11,30000	48,21667	509
04155	ZUGSPITZE (WST)	10,98333	47,41667	2960
04156	GARMISCH-PARTENK. (AWST)	11,06667	47,48333	719
04157	MITTENWALD	11,26667	47,43333	920
04160	KOHLGRUB,BAD	11,05000	47,68333	850
04161	HOHENPEISSENBERG (OBS)	11,01667	47,80000	977
04164	RAISTING	11,10000	47,91667	553
04165	AMMERLAND	11,35000	47,90000	630
04166	ATTENKAM	11,36667	47,88333	672
04168	KOHLGRUB,BAD (ROSSHOF)	11,08333	47,66667	734
04169	TOELZ,BAD	11,55000	47,78333	640
04187	OBERSCHLEISSHEIM	11,55000	48,25000	484
04189	SCHWAIGERMOOS	11,80000	48,36667	444
04190	ERDINGER MOOS (FLUGWEWA)	11,80000	48,36667	446
04199	MUENCHEN-BOT.GARTEN	11,50000	48,16667	515
04365	MUENCHEN-PERLACH	11,65000	48,10000	542
04503	LANDSHUT	12,11667	48,53333	393
04506	KUMHAUSEN	12,15000	48,51667	436
<b>D12 Donau, Vils und Rott</b>				
04519	ALDERSBACH	13,08333	48,60000	325
04522	EIBERG	12,88333	48,35000	470
04524	FALKENBERG,KR.ROTTAL-INN	12,73333	48,48333	472
04890	FUERSTENZELL (WST)	13,35000	48,55000	476
<b>D13 Donau, Alz und Salzach</b>				
04530	TRAUNSTEIN-AXDORF	12,61667	47,85000	635
04531	TROSTBERG	12,55000	48,01667	487
04532	GEISSING	12,63333	47,88333	610
04535	REICHENHALL,BAD	12,88333	47,71667	470
04536	SCHOENAU A.KOE.SEE AKKST	12,98333	47,61667	616
04540	REIT I.WINKL	12,46667	47,68333	690
04541	RAUSCHBERG B.RUHPOLDING	12,68333	47,73333	1640
04543	RUHPOLDING	12,66667	47,73333	692



Klima- kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>D14 Donau, Inn</b>				
04170	BRUCKMUEHL-OBERWALL	11,95000	47,93333	549
04171	EBERSBERG	11,95000	48,08333	572
04172	HOLZKIRCHEN	11,70000	47,88333	685
04175	TEGERNSEE	11,76667	47,71667	838
04176	ROTTACH-EGERN	11,76667	47,68333	747
04179	KREUTH (KKST)	11,75000	47,65000	776
04181	SCHLIERSEE	11,85000	47,73333	780
04520	ERING	13,13333	48,30000	340
04521	SIMBACH/INN	13,03333	48,26667	360
04526	MITTBACH/OBB.	12,03333	48,16667	621
04527	OBERTAUFKIRCHEN	12,28333	48,26667	455
04528	MUEHLSDORF/INN (WST)	12,50000	48,28333	405
04529	WASSERBURG/INN	12,21667	48,05000	443
04544	ROSENHEIM	12,13333	47,88333	444
04546	BAYRISCHZELL	12,00000	47,68333	789
04548	WENDELSTEIN (WST)	12,01667	47,70000	1832
04549	OBERAUDORF	12,16667	47,66667	480
04553	AMERANG-PFAFFING	12,30000	48,01667	515
<b>D15 Donau, uh. Isar bis Landesgrenze</b>				
04510	HAUSSTEIN	13,06667	48,86667	648
04512	SALDENBURG-ENTSCHENREUTH	13,31667	48,78333	457
04513	MAUTH-FINSTERAU	13,58333	48,93333	1004
04514	GRAINET-REHBERG	13,61667	48,80000	655
04515	WALDHAEUSER (NAT.PARK)	13,46667	48,93333	940
04517	PASSAU-OBERHAUS (WST)	13,46667	48,58333	409
04518	PASSAU-MAIERHOF	13,40000	48,58333	301
<b>E1 Elbe</b>				
04026	HOF (STADT)	11,91667	50,31667	474
04027	HOF-HOHENSAAS (WST)	11,88333	50,31667	567
04475	SELB/OFR.-WILDENAU	12,16667	50,20000	611
<b>M1 Main bis oh. Regnitz</b>				
03263	LEHESTEN/THUER.WALD	11,45000	50,48333	640
04031	HORLACHEN	11,70000	50,15000	586
04033	OCHSENKOPF	11,81667	50,03333	1019
04035	TEUSCHNITZ-WICKENDORF	11,36667	50,38333	568
04036	KRONACH	11,33333	50,23333	306
04037	STAMMBACH-QUERENBACH	11,73333	50,15000	598
04039	WEISMAIN	11,23333	50,08333	317
04040	COBURG (WST)	10,98333	50,28333	322
04041	SCHESSLITZ	11,03333	49,98333	317
04042	KULMBACH	11,45000	50,10000	330
04070	BAYREUTH	11,55000	49,95000	330
04246	SONNEBERG-NEUFANG (AWST)	11,18333	50,38333	626
04310	BISCHOFSGRUEN (KKST)	11,81667	50,05000	675



Klima-kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>M2 Main, Regnitz</b>				
04008	BERG/OPF.	11,43333	49,33333	421
04058	EBRACH	10,50000	49,85000	333
04060	BURGHASLACH	10,60000	49,73333	310
04062	BAMBERG-ALTENBURG	10,86667	49,88333	382
04063	BAMBERG-STERNWARTE	10,88333	49,88333	282
04064	BAMBERG (WST)	10,91667	49,88333	239
04067	PFOFELD-LANGLAU	10,86667	49,11667	435
04068	GOESSWEINSTEIN	11,30000	49,78333	437
04071	SCHWABACH	11,01667	49,33333	343
04072	UTTENREUTH	11,06667	49,60000	291
04076	POMMELBRUNN	11,51667	49,50000	368
04078	NUERNBERG-FISCHBACH	11,18333	49,41667	341
04081	NUERNBERG-KRA.(FLUGWEWA)	11,05000	49,50000	314
04083	WEISSENBURG/BAY. (WST)	10,96667	49,01667	422
04084	ROTH B. NUERNBERG	11,10000	49,25000	340
04085	NUERNBERG-BUCHENBUEHL	11,11667	49,50000	335
04086	FUERTH/BAYERN	10,96667	49,48333	313
04087	ERLANGEN	11,00000	49,61667	270
04088	ERLANGEN-BRUCK	11,00000	49,56667	280
04089	HAGENBUECHACH	10,76667	49,53333	384
04090	NEUSTADT/AISCH	10,60000	49,56667	315
04092	GRAEFENBERG-KASBERG	11,23333	49,66667	506
04094	ANSBACH-HENNENBACH	10,58333	49,31667	417
04096	ANSBACH (WST)	10,58333	49,30000	413
04305	POMMELBRUNN-MITTELBURG	11,53333	49,48333	530
04334	DIETENHOFEN	10,68333	49,40000	386
<b>M3 Main, uh. Regnitz bis oh. Fränk. Saale</b>				
02673	WUERZBURG (KLAERWERK)	9,90000	49,80000	170
02674	WUERZBURG (WST)	9,96667	49,76667	268
02820	ARNSTEIN-MUEDESHEIM	9,91667	49,96667	215
02825	THUENGENSHEIM-STAUSTUFE	9,85000	49,85000	165
04012	WEIGENHEIM-REUSCH	10,26667	49,58333	309
04045	HOFHEIM/UFR.	10,51667	50,13333	262
04054	SCHWEINFURT	10,21667	50,06667	240
04055	WERNECK-MUEHLHAUSEN	10,05000	49,96667	216
04057	KITZINGEN	10,18333	49,73333	188
<b>M4 Main, Fränk. Saale</b>				
02536	BRUECKENAU,BAD	9,78333	50,31667	310
02625	WASSERKUPPE (WST)	9,95000	50,50000	921
02628	GERODA-PLATZ	9,91667	50,28333	550
02629	SANDBERG-KILIANSHOF	10,01667	50,36667	555
02801	GERSFELD (PKST)	9,91667	50,45000	530
04046	KOENIGSHOFEN,BAD	10,45000	50,28333	288
04048	FLADUNGEN	10,15000	50,51667	415
04050	STOCKHEIM	10,28333	50,46667	305
04052	KISSINGEN,BAD (WST)	10,08333	50,20000	262
04238	FRANKENHEIM/RHOEN	10,06667	50,55000	754
04248	HINDFELD	10,56667	50,36667	300

Anlage 1: Stationsliste (Fortsetzung)



Klima-kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>M5 Main, Tauber</b>				
02678	LAUDA-KOEN.-GERLACHSHEIM	9,71667	49,58333	199
02679	MERGENTHEIM,BAD-NEUNKIR.	9,76667	49,48333	250
02832	TAUBERBISCH.-DITTIGHEIM	9,68333	49,61667	179
04091	UFFENHEIM	10,23333	49,53333	340
04093	ROTHENBURG O.D.TAUBER	10,18333	49,38333	406
<b>M6 Main, uh. Fränk. Saale bis Landesgrenze</b>				
02508	MICHELSTADT-VIELBR.(WST)	9,10000	49,71667	453
02533	ESCHAU-HOBACH	9,28333	49,86667	198
02538	MILTENBERG	9,23333	49,71667	127
02540	HESSENTHAL	9,28333	49,93333	287
02546	FRAMMERSBACH	9,46667	50,06667	245
02547	BISCHBRUNN	9,48333	49,88333	412
02564	SCHAAFHEIM-SCHLIERBACH	8,96667	49,91667	155
02638	KAHL/MAIN	9,00000	50,06667	107
02667	BEERFELDEN	8,96667	49,56667	450
02669	ASCHAFFENBURG	9,11667	49,98333	110
02671	LOHR/M.-STEINBACH	9,61667	50,01667	161
02677	WERTHEIM-EICHEL	9,55000	49,76667	140
02685	BUCHEN,KR.NECKAR-ODW.	9,31667	49,51667	350
<b>N1 Neckar, Quelle bis oh. Fils</b>				
02717	LENNINGEN-SCHOPFLOCH	9,53333	48,53333	758
02718	KIRCHHEIM/TECK (A)	9,41667	48,66667	289
02726	NUERTINGEN-OBERENSINGEN	9,33333	48,63333	280
02738	KOENIGSFELD/SCHW.	8,43333	48,15000	754
02748	TUEBINGEN (SCHLOSS)	9,05000	48,51667	370
02749	URACH,BAD	9,40000	48,50000	471
02751	FREUDENSTADT (WST)	8,41667	48,45000	797
02754	HECHINGEN	8,98333	48,38333	520
02757	ROTTWEIL	8,63333	48,18333	588
02758	KLIPPENECK (AWST)	8,75000	48,10000	973
02759	ENINGEN (OB.LINDENHOF)	9,30000	48,46667	705
02868	REUTLINGEN-BETZINGEN	9,18333	48,50000	360
02920	HERRENBERG	8,88333	48,60000	431
02923	ROTTENBURG-KIEBINGEN	8,98333	48,48333	336
02924	OBERNDORF/NECKAR-AISTAIG	8,58333	48,31667	464
02928	ALBSTADT-LAUTLINGEN	8,96667	48,21667	698
02935	WELLENDINGEN	8,70000	48,15000	655

Klima-kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>N2 Neckar, Fils bis oh. Kocher (ohne Enz)</b>				
02511	WEINSBERG	9,30000	49,15000	219
02689	HEILBRONN	9,23333	49,15000	167
02714	LUDWIGSBURG	9,20000	48,90000	287
02715	STUTTGART (NECKARTAL)	9,21667	48,78333	223
02716	STUTTGART-HOHENHEIM	9,21667	48,71667	401
02720	STUTTGART (WA)	9,18333	48,76667	286
02721	MURRHARDT	9,56667	48,96667	344
02727	SCHWAEB.GMUEND-STRASSDF.	9,80000	48,78333	415
02728	STOETTEN (WST)	9,86667	48,66667	734
02743	STUTTGART(SCHNAR.AWST)	9,20000	48,83333	314
02746	STUTTGART-ECH.(FLUGWEWA)	9,23333	48,68333	371
02865	EBERSBACH/FILS	9,53333	48,71667	300
02874	BOLL,BAD (KKST)	9,61667	48,65000	425
02893	WINTERBACH	9,48333	48,80000	280
02910	WAIBLINGEN	9,31667	48,83333	224
<b>N3 Neckar, Enz</b>				
02708	WILDBAD,BAD-SOMMERBERG	8,53333	48,75000	740
02709	WILDBAD,BAD-CALMBACH	8,58333	48,76667	400
02711	PFORZHEIM-EUTINGEN	8,75000	48,90000	246
02712	RUTESHEIM	8,95000	48,80000	449
02734	ENZKLOESTERLE	8,46667	48,66667	600
02741	SCHOEMBERG,KR.CALW	8,65000	48,78333	635
02745	NAGOLD-PFRONDORF	8,73333	48,60000	430
02855	SACHSENHEIM	9,06667	48,96667	248
02908	WALDACHTAL-LUETZENHARDT	8,56667	48,50000	595
02913	BOEBLINGEN	8,96667	48,68333	445
02917	WEISSACH	8,90000	48,85000	455
<b>N4 Neckar, Kocher</b>				
02509	INGELFINGEN	9,65000	49,30000	209
02681	KUENZELSAU	9,70000	49,28333	222
02684	OEHRINGEN (WST)	9,51667	49,21667	276
02699	MAINHARDT-WUERTTEMBERG.HOF	9,58333	49,06667	473
02723	GSCHWEND,KR.OSTALB	9,73333	48,93333	492
02724	SCHWAEB.HALL-TEURERSHOF	9,71667	49,11667	365
<b>N5 Neckar, Jagst</b>				
02515	BOXBERG-SEEHOF	9,65000	49,45000	373
02687	NEUDENAU	9,26667	49,30000	210
04099	CRAILSHEIM-INGERSHEIM	10,08333	49,13333	417
04100	ELLWANGEN/JAGST	10,13333	48,96667	443
<b>N6 Neckar, uh. Jagst bis Mündung</b>				
02680	EBERBACH/NECKAR	8,98333	49,45000	178
02691	EPPINGEN	8,91667	49,13333	210
02693	HEIDELBERG	8,66667	49,41667	110

Anlage 1: Stationsliste (Fortsetzung)



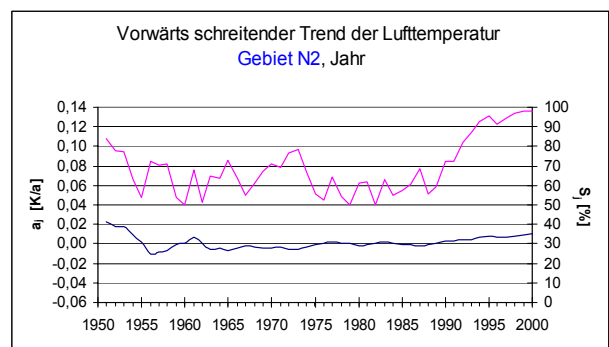
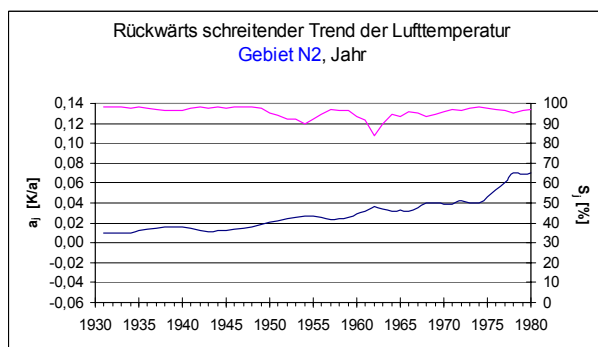
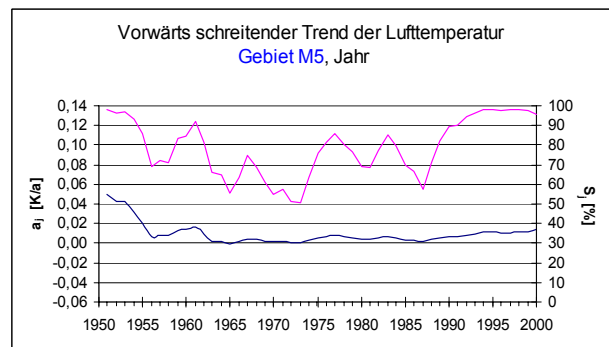
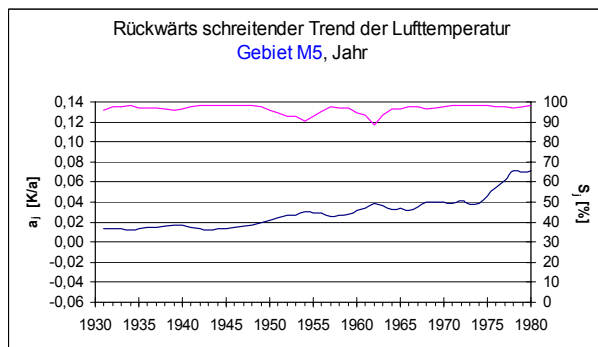
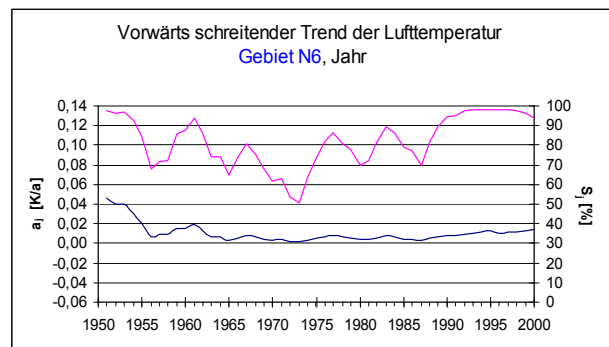
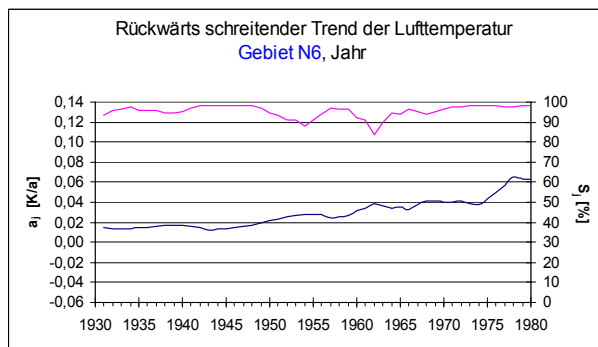
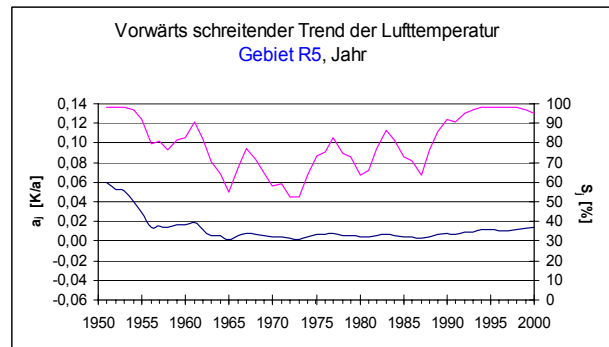
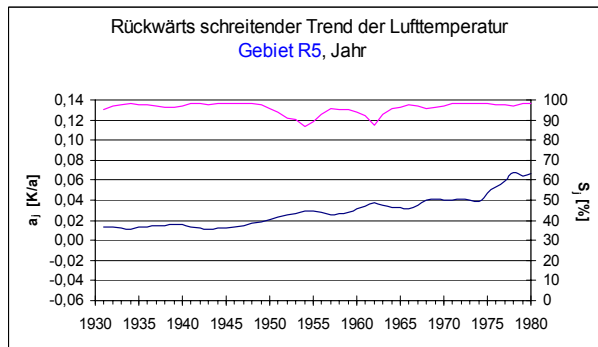


Klima- kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>R1 Rhein, Bodensee</b>				
02764	AULENDORF-SPIEGLER	9,66667	47,96667	560
02787	UEBERLINGEN/BODENSEE	9,18333	47,76667	490
02789	MEERSBURG	9,28333	47,70000	460
02791	WEINGARTEN,KR.RAVENSBURG	9,61667	47,80000	440
02793	FRIEDRICHSHAFEN	9,48333	47,65000	394
02796	LINDENBERG/ALLGAEU	9,88333	47,60000	760
02797	SCHEIDEGG (AKKST)	9,85000	47,58333	778
02798	STOCKACH	9,03333	47,85000	475
02947	WOLFEGG (AKKST)	9,80000	47,81667	677
02966	BAINDT	9,66667	47,85000	467
02967	DEGGENHAUSERTAL-AZENW.	9,41667	47,80000	708
02980	ERISKIRCH-MARIABRUNN	9,53333	47,63333	408
02991	SIGMARSZELL-ZEISERTSWEI.	9,75000	47,58333	507
04138	ISNY	10,05000	47,68333	712
04140	OBERSTAUFEN-KALZHOFEN	10,03333	47,56667	800
<b>R2 Rhein, Bodensee bis Wiese</b>				
02325	TODTMOOS	8,00000	47,75000	855
02328	RHEINFELDEN	7,80000	47,56667	287
02329	SCHOPFHEIM	7,85000	47,65000	400
02331	JUNGHOLZ (KUEHMOOS)	7,95000	47,60000	728
02338	SAECKINGEN,BAD	7,93333	47,56667	355
02761	BONNDORF/SCHW.	8,33333	47,81667	875
02766	FRIEDENWEILER	8,25000	47,91667	928
02767	TITISEE-N.-TITIS.(AKKST)	8,15000	47,90000	846
02768	HOTTINGEN	8,01667	47,61667	712
02769	WUTOESCHINGEN-OFTERINGEN	8,38333	47,68333	398
02770	WALDAU-JOSTAL	8,15000	47,98333	1005
02772	TITISEE-N.-LANGENORDNACH	8,20000	47,93333	870
02773	LENZKIRCH	8,20000	47,86667	818
02774	SANKT BLASIEN-MENZENSCHW	8,06667	47,83333	885
02775	SCHLUCHSEE	8,18333	47,81667	963
02776	SANKT BLASIEN	8,13333	47,76667	795
02777	HOECHENSCHWAND (AKKST)	8,16667	47,73333	1008
02778	WALDSHUT	8,23333	47,61667	330
02783	AACH,KR.KONSTANZ	8,85000	47,85000	478
02784	RADOLFZELL	9,00000	47,73333	400
02785	ENGEN	8,76667	47,85000	533
02790	KONSTANZ/STADT	9,16667	47,66667	398
02795	KONSTANZ (WST)	9,18333	47,68333	443
02799	REMETSCHWIEL	8,15000	47,68333	760
02939	FELDBERG/SCHW.-ALTGLASH.	8,11667	47,85000	962



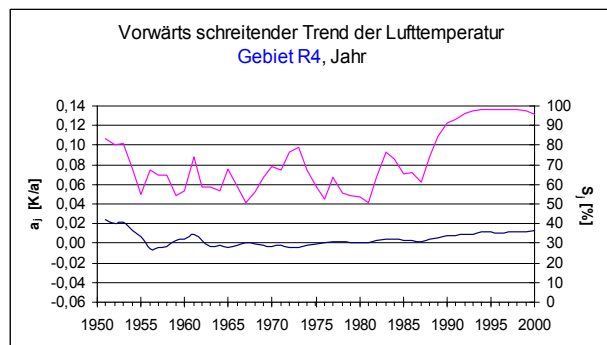
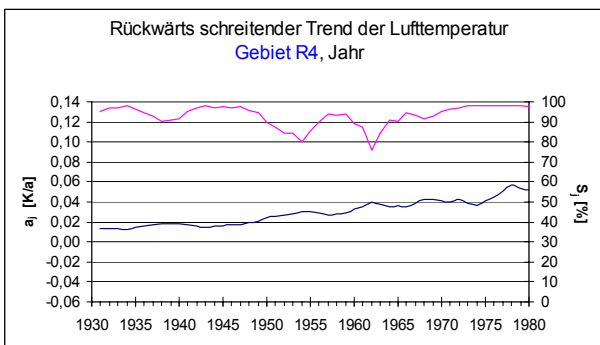
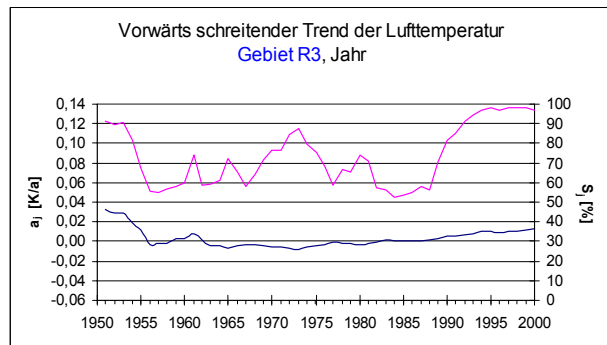
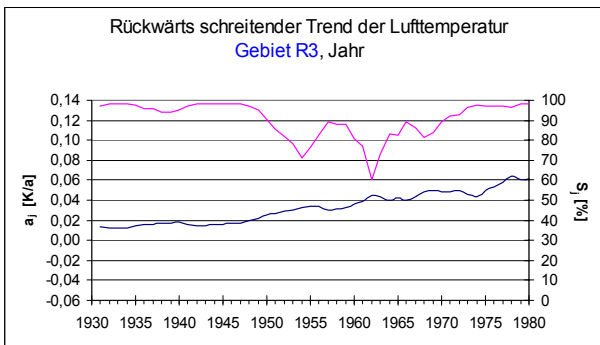
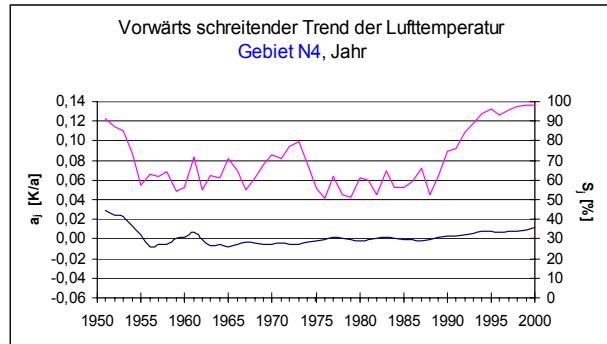
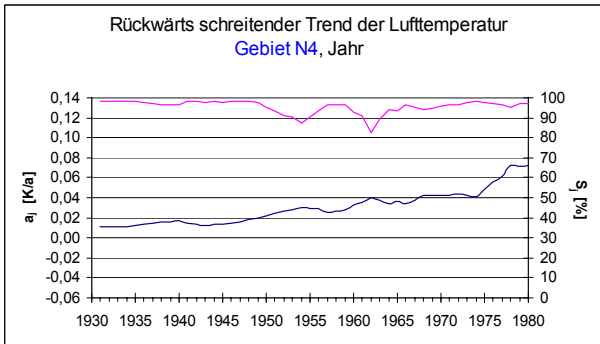
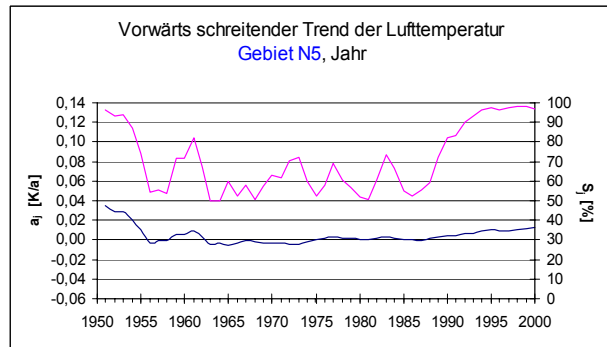
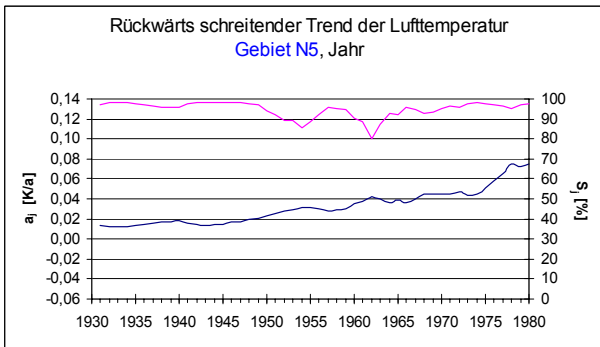
Klima-kennziffer	Station	geographische Länge dezimal	geographische Breite dezimal	Höhe m ü. NN
<b>R3 Rhein, uh. Wiese bis oh. Kinzig</b>				
02303	LAHR (WST)	7,83333	48,36667	155
02304	EMMENDINGEN-MUNDINGEN	7,83333	48,13333	203
02305	VOGTSBURG-OBERROTWEIL	7,63333	48,10000	223
02306	LILIENTAL BEI IHRINGEN	7,68333	48,06667	284
02310	FREIBURG I.BR.-HERDERN	7,86667	48,01667	255
02311	FREIBURG I.BR.	7,85000	48,00000	269
02313	STEGEN	7,95000	47,98333	363
02314	SCHALLSTADT-MENGEN	7,71667	47,96667	215
02315	BUCHENBACH	8,00000	47,96667	445
02318	FREIAMT-OTTOSCHWANDEN	7,93333	48,20000	481
02320	FELDBERG/SCHW. (WST)	8,00000	47,88333	1486
02323	MALSBURG-M.-FRIEDRICHSH.	7,73333	47,78333	852
02326	ESCHBACH	7,66667	47,88333	234
02336	MUENSTERTAL-OBERM.-TAL	7,83333	47,88333	545
02352	WEISWEIL-WALDECKHOF	7,70000	48,18333	173
02355	IHRINGEN	7,63333	48,05000	193
02771	HINTERZARTEN	8,10000	47,90000	883
02781	SANKT MAERGEN	8,10000	48,01667	896
02930	ELZACH	8,06667	48,18333	360
<b>R4 Rhein, Kinzig bis Murg</b>				
02316	RHEINAU-MEMPRECHTSHOFEN	8,00000	48,66667	131
02701	BADEN-BADEN-GEROLDSAU	8,25000	48,73333	240
02702	BUEHLERTAL	8,18333	48,70000	190
02705	HORNISGRINDE	8,20000	48,61667	1122
02731	GENGENBACH	8,01667	48,41667	186
02735	SCHONACH	8,20000	48,13333	904
02736	WOLFACH	8,23333	48,30000	265
02737	TRIBERG	8,23333	48,13333	683
02750	FREUDENSTADT (KURGARTEN)	8,41667	48,46667	736
02752	BAIERSBRONN	8,38333	48,50000	573
02903	BUEHLERTAL-OBERTAL	8,18333	48,68333	478
02915	SCHOENWALD/SCHW. (KKST)	8,20000	48,10000	1021
02931	TRIBERG (KURPARK)	8,25000	48,13333	700
<b>R5 Rhein, uh. Murg bis oh. Neckar</b>				
02696	PHILIPPSBURG (KKW)	8,45000	49,25000	100
02697	KNITTLINGEN	8,75000	49,03333	200
02698	KARLSRUHE (WST)	8,36667	49,03333	112
02706	HERRENALB,BAD	8,45000	48,80000	350
02707	DOBEL	8,50000	48,80000	717
02710	RHEINSTETTEN-FORCHHEIM	8,33333	48,96667	116





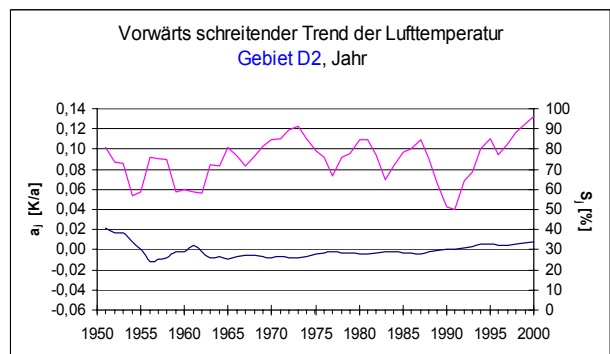
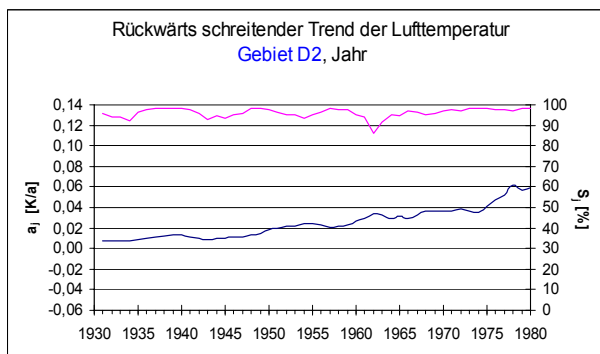
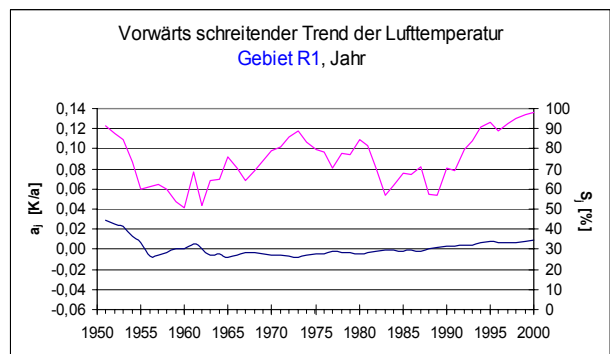
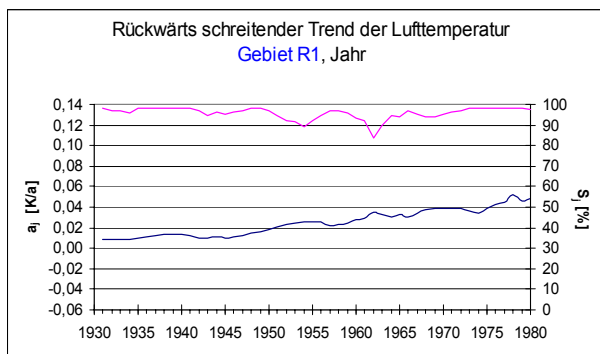
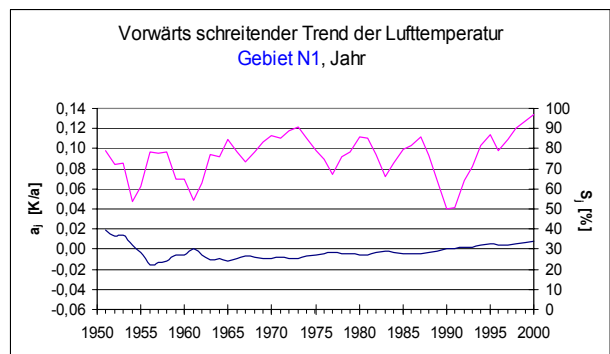
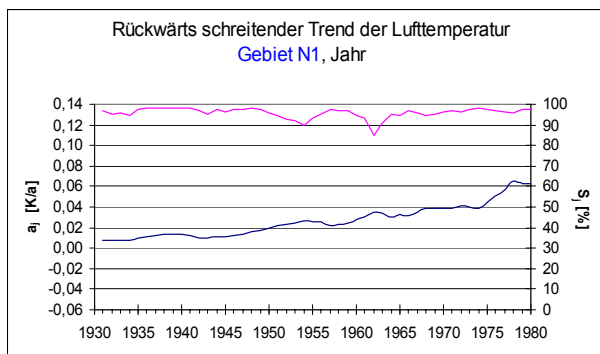
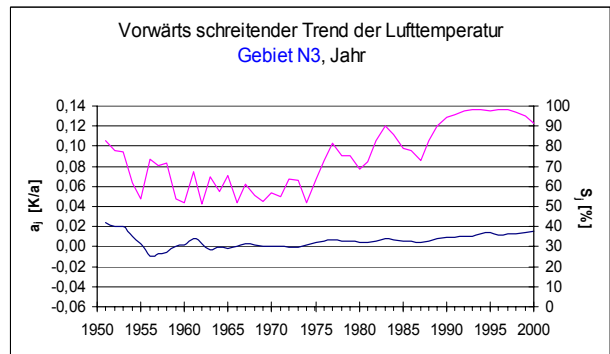
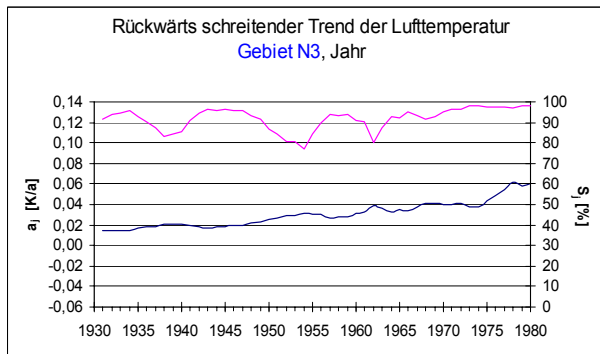
—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

Anlage 2a: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Baden-Württemberg

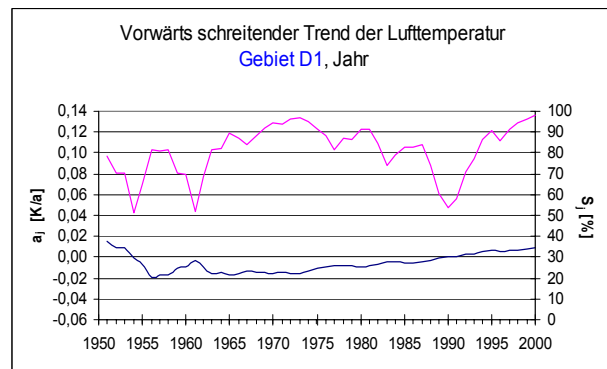
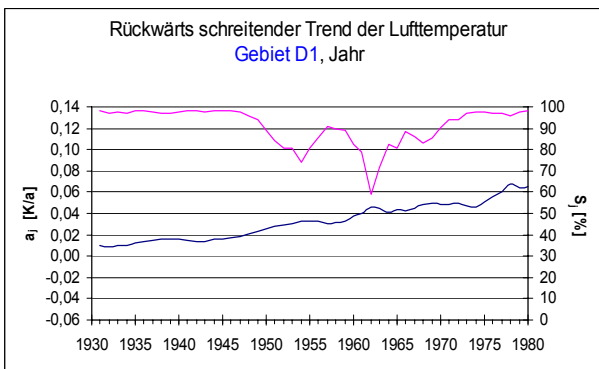
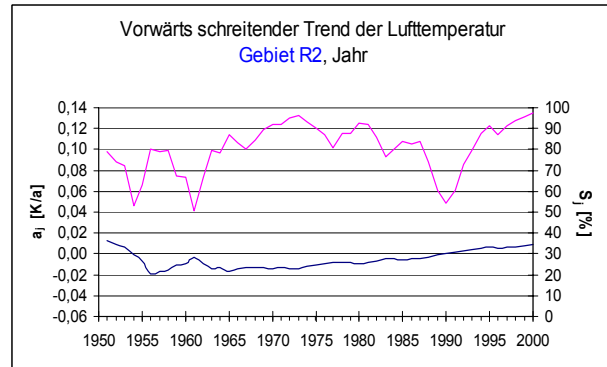
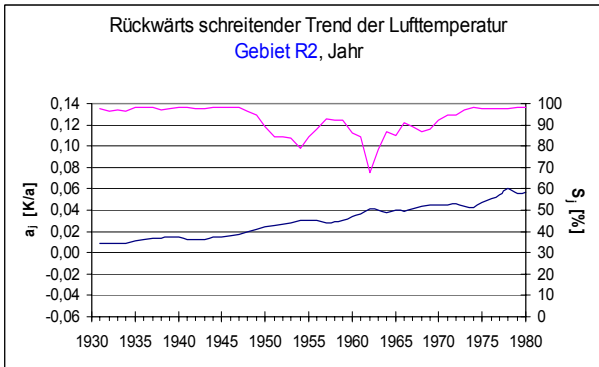


—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

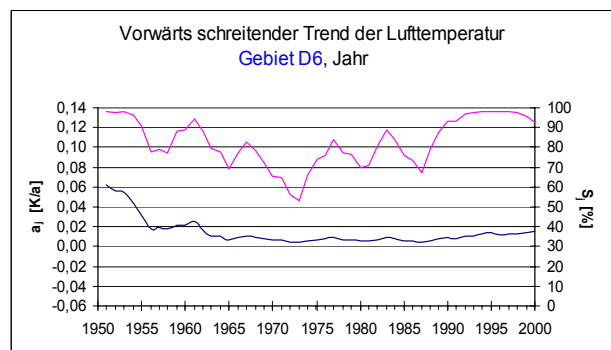
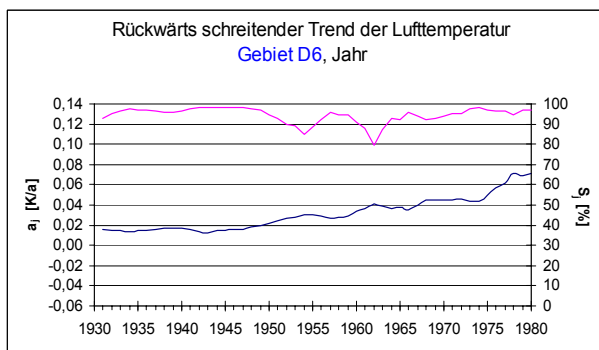
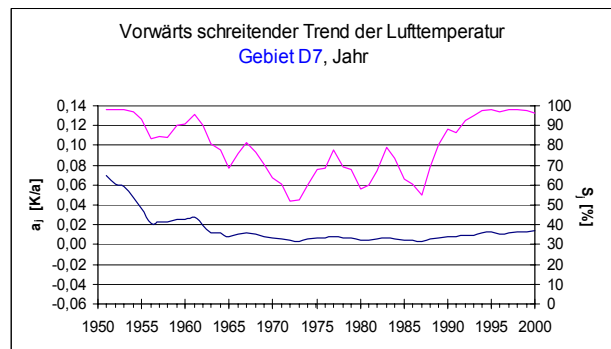
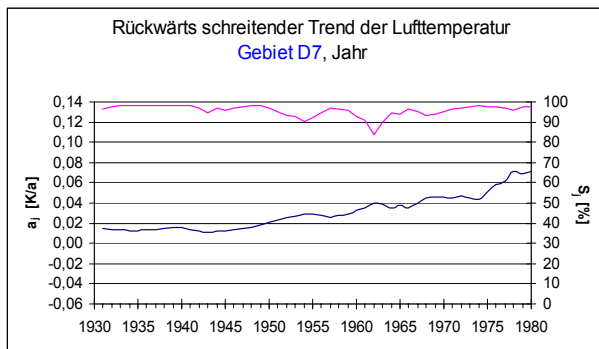
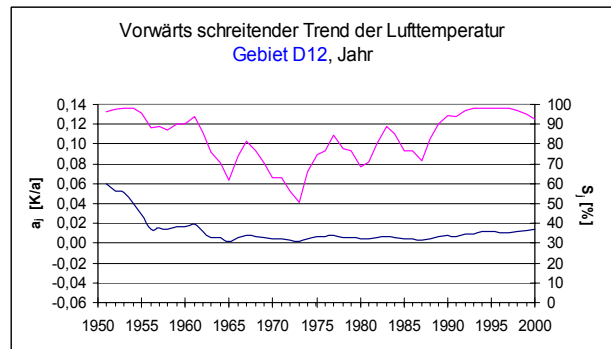
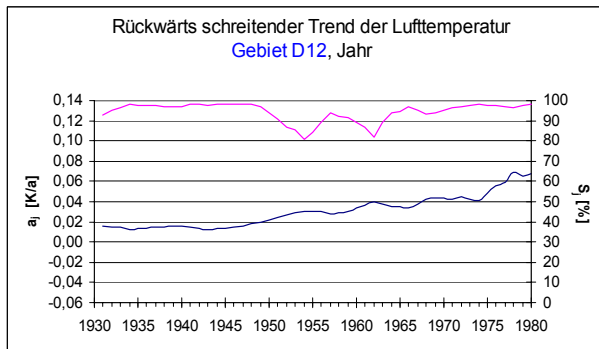
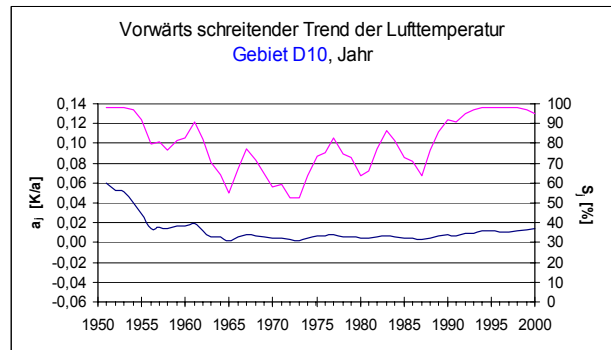
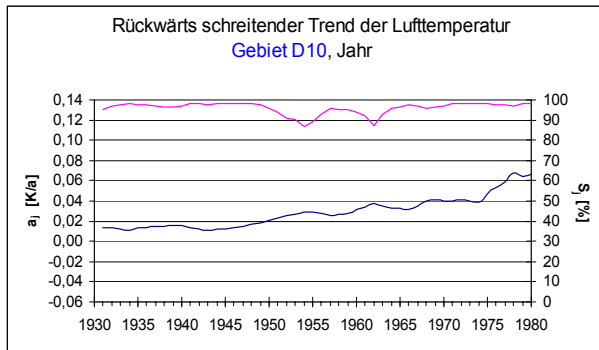
Anlage 2a: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Baden-Württemberg, (Fortsetzung)



—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes



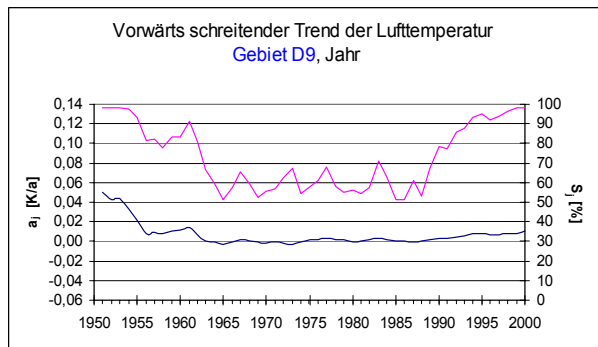
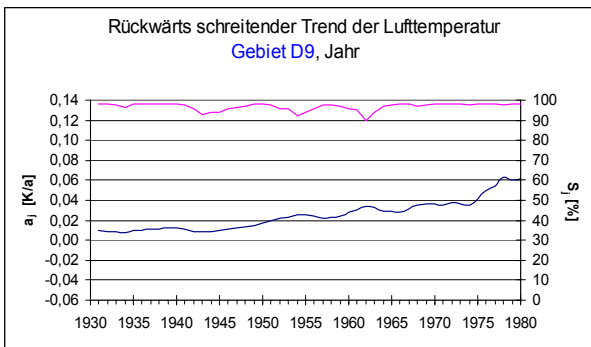
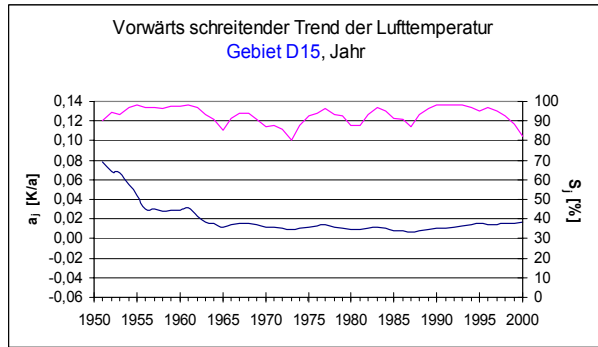
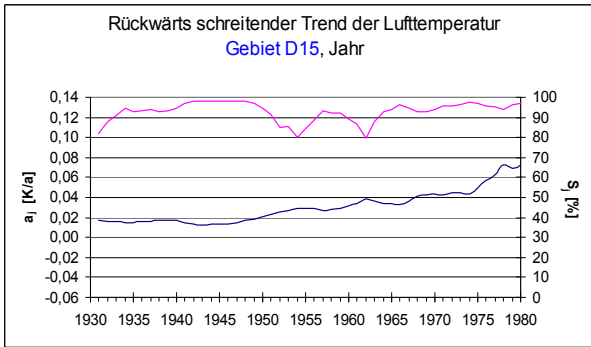
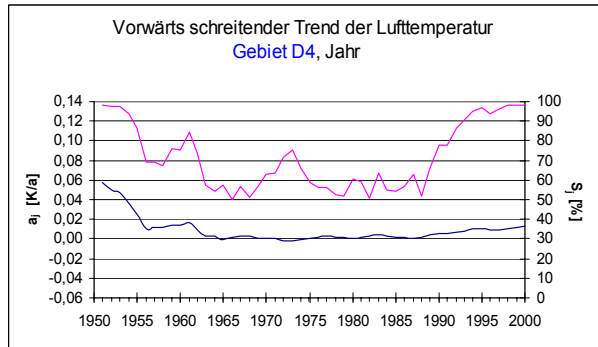
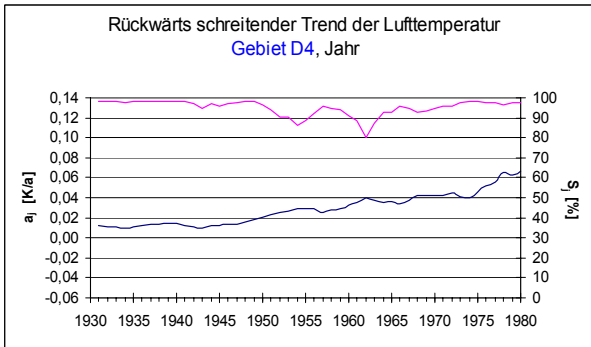
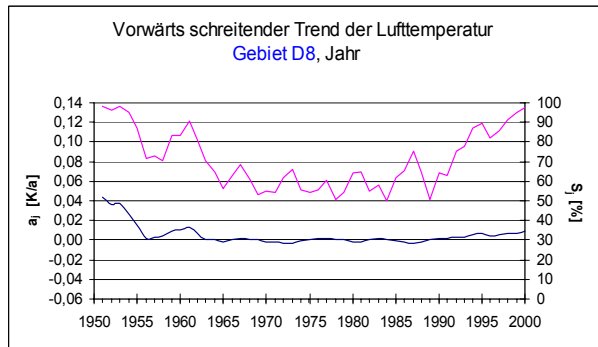
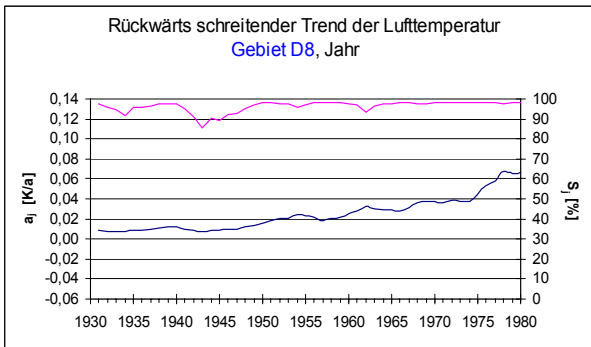
—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
 —  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes



—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

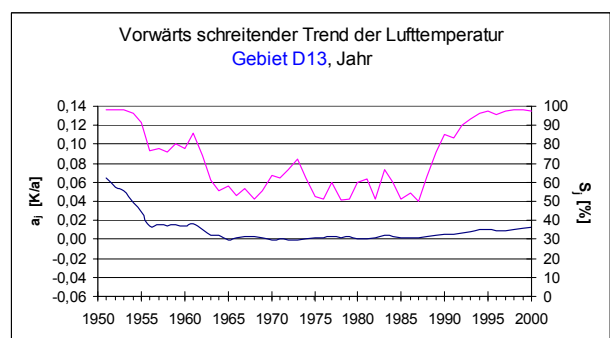
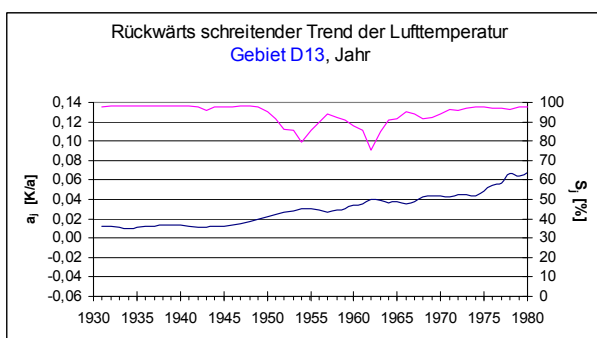
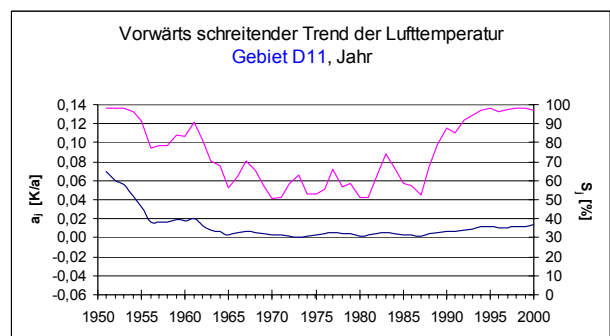
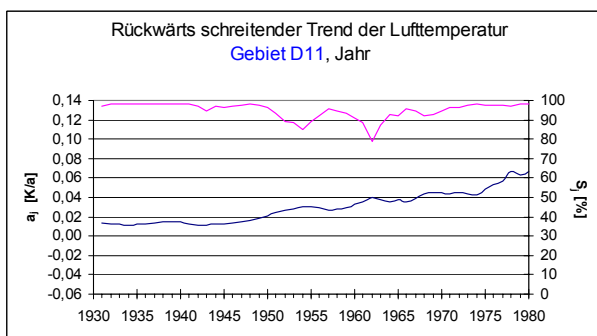
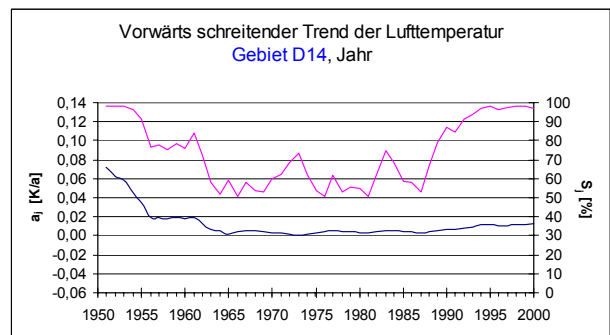
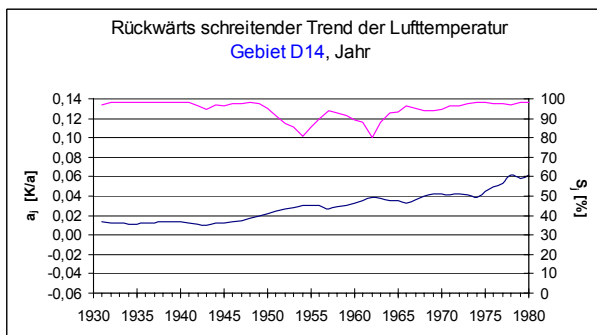
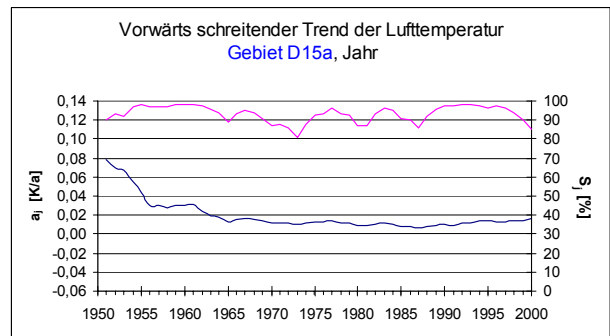
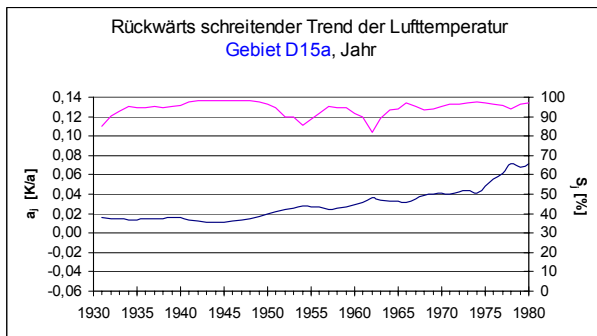
Anlage 2b: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Bayern, Einzugsgebiete Donau



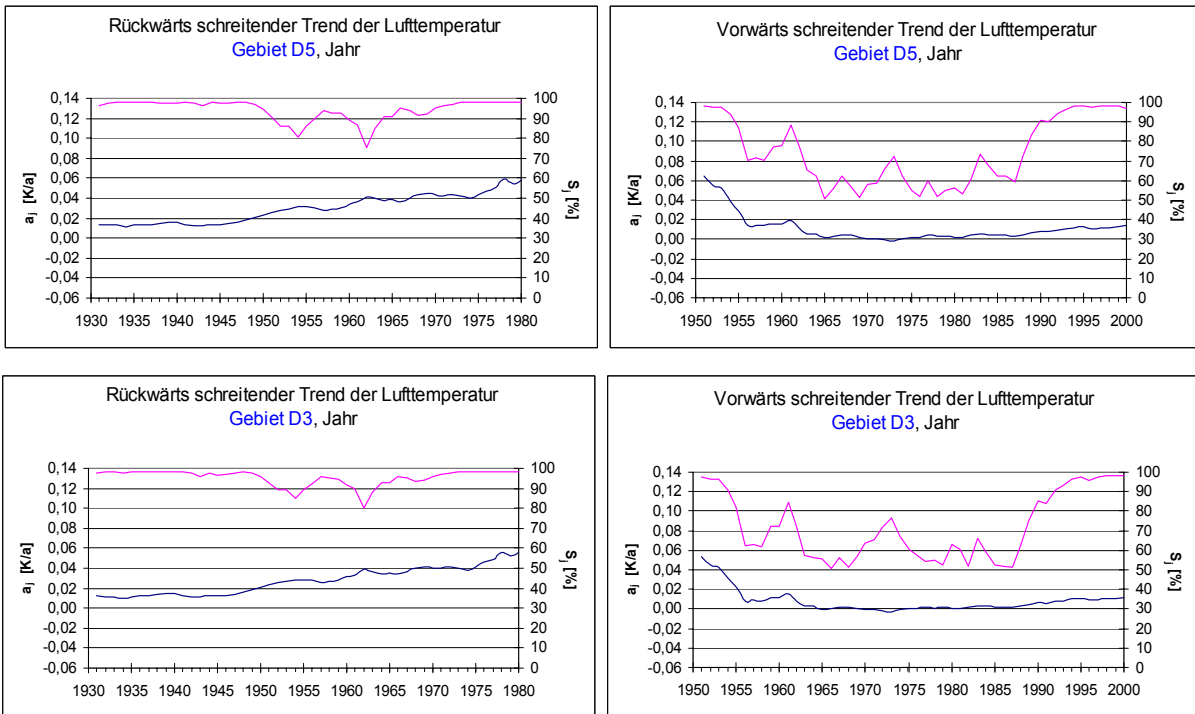


—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

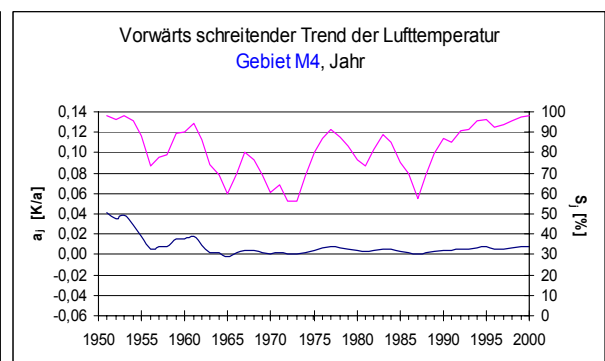
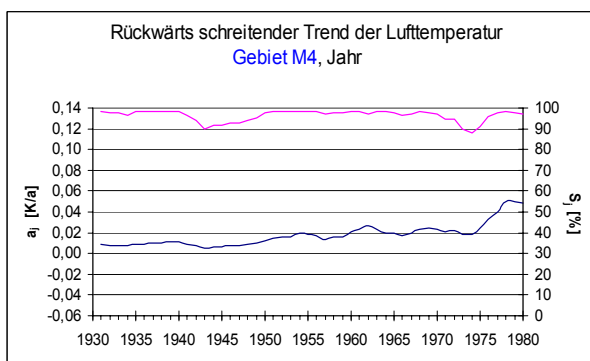
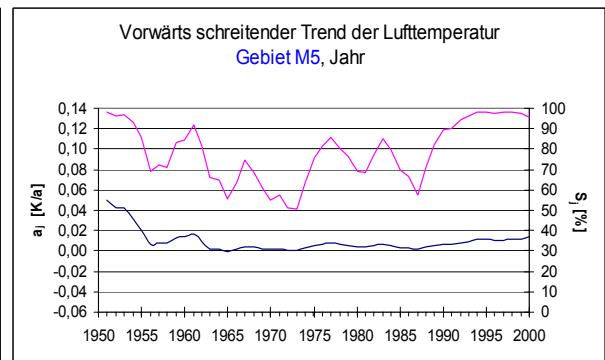
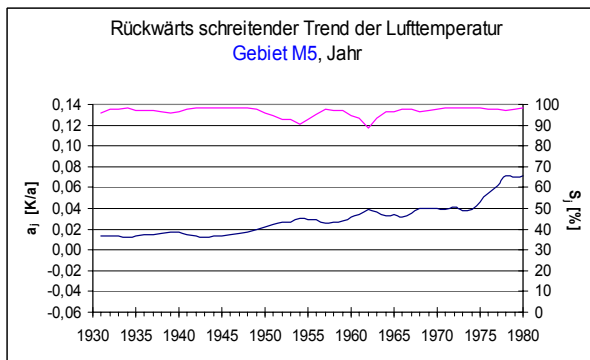
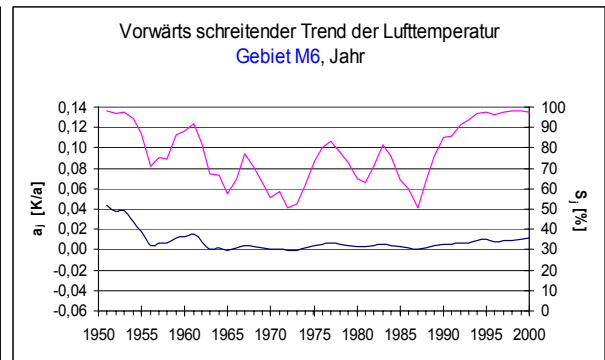
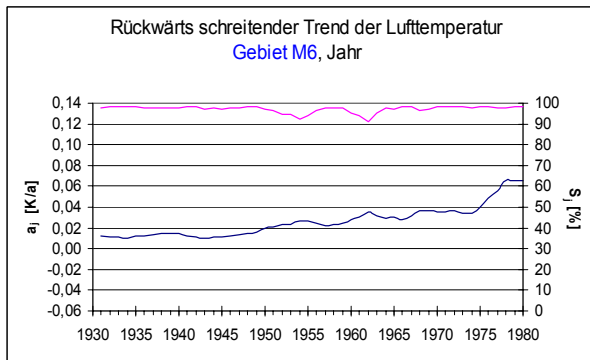
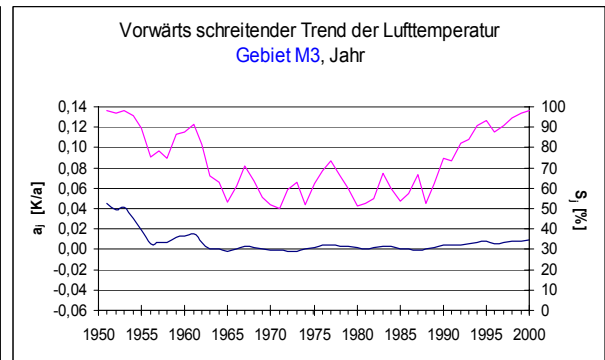
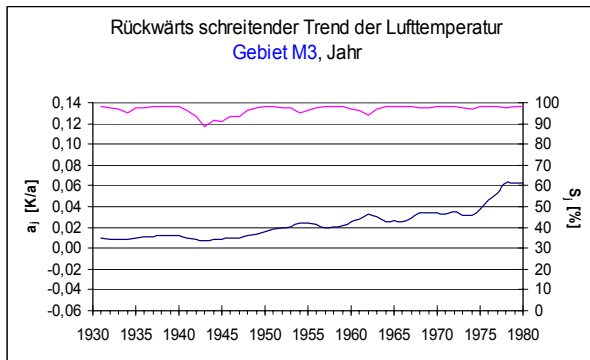
Anlage 2b: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Bayern, Einzugsgebiete Donau, (Fortsetzung)



—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

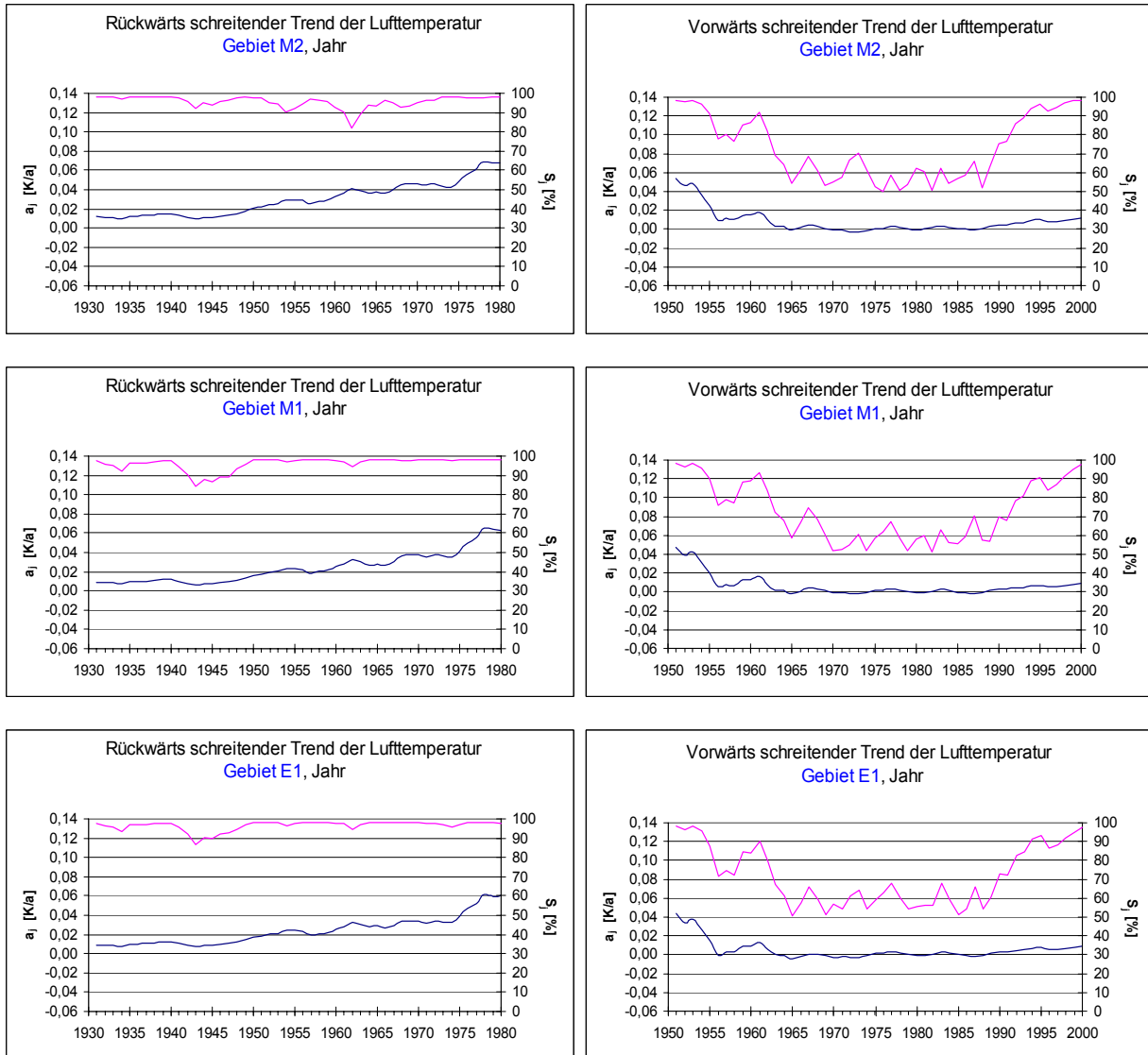


—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes



—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
—  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes

Anlage 2b: Rückwärts und vorwärts schreitende Trends der Jahreswertreihen der Lufttemperatur, Bayern, Einzugsgebiete Main/ Elbe



—  $a_j$  Trendwert (in K/a) für die entsprechend verkürzte Zeitreihe  
 —  $S_j$  Signifikanz dieses Trendwertes





## **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.

Weitere aktuelle Informationen zu Projektergebnissen finden Sie unter unserer Internetseite:

<http://www.kliwa.de>



