

Klimawandel in Süddeutschland

**Veränderung der Kenngrößen
Lufttemperatur, Niederschlag und Hochwasserabfluss**

Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA

Monitoringbericht 2008



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
1 Klimamonitoring im Rahmen des Vorhabens KLIWA	6
2 Methodisches Vorgehen	7
3 Langzeitverhalten der Lufttemperatur	9
3.1 Bisherige Auswertungen	9
3.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertungen	9
3.3 Neue Ergebnisse	9
4 Langzeitverhalten des Niederschlags	14
4.1 Bisherige Auswertungen	14
4.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung	14
4.3 Neue Ergebnisse	15
5 Langzeitverhalten des Hochwasserabflusses	20
5.1 Bisherige Auswertungen	20
5.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung	20
5.3 Neue Ergebnisse	20
6 Literaturverzeichnis	24

Impressum

Bearbeiter des Monitoringberichtes:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Federführung):

Hans Weber & Holger Komischke

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg:

Vassilis Kolokotronis

Deutscher Wetterdienst:

Bernd Dietzer & Adelheid Klämt

Bilder Frontseite: Hr. Hennegriff (links); alex media (rechts)

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

Zusammenfassung

Das Klimamonitoring im Rahmen von KLIWA hat zum Ziel, das Langzeitverhalten ausgewählter hydrologischer und hydrometeorologischer Kenngrößen, die Anhaltspunkte zur Veränderung des Klimas in Süddeutschland geben können, in regelmäßigen Zeitabständen zeitnah zu dokumentieren. Auf diese Weise sollen Veränderungen erfasst und daraus ableitbare Schlussfolgerungen zur Entwicklung des regionalen Klimas in Baden-Württemberg und Bayern aktuell bewertet werden. Der vorliegende Kurzbericht beschreibt wesentliche Ergebnisse unter Berücksichtigung von Veränderungen gegenüber den bisherigen Auswertungen zum Langzeitverhalten, die sich auf die Zeit bis Ende der 1990er Jahre bezogen haben.

Die Kernaussagen zur Klimaentwicklung in Süddeutschland basieren auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Sie lassen sich für die Kenngrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Hochwasserabfluss wie folgt zusammenfassen:

Lufttemperatur

- In den Jahren 2001-2005 ist im gesamten Untersuchungsraum von Baden-Württemberg und Bayern eine deutliche Zunahme der mittleren Lufttemperaturen festzustellen. Die in den Zeitreihen 1931-2000 der **Jahresmitteltemperatur** vorhandenen positiven Trends haben sich in Betrag und Signifikanz weiter verstärkt. Lag die Temperaturzunahme im Zeitraum 1931-2000 durchschnittlich bei 0,8 °C, so ist sie im erweiterten Zeitraum 1931-2005 bereits auf durchschnittlich 1,0 °C angestiegen.
- Der Schwerpunkt der Temperaturzunahme 2001-2005 war das **Sommerhalbjahr** (Mai bis Oktober), das einen deutlich stärkeren Anstieg als das Winterhalbjahr gebracht hat. Im Langzeitverhalten seit 1931 ist jedoch im Mittel die Temperaturzunahme im **Winterhalbjahr** (November bis April) größer als im Sommerhalbjahr. Die Temperaturzunahme im **Winterhalbjahr** lag für 1931-2005 zwischen 1,0 °C (Region Donau und Bodensee) und 1,3 °C (Region Ostalpen), im **Sommerhalbjahr** zwischen 0,7 °C (Region Donau und Bodensee) und 1,1 °C (Region Mittlere Donau).
- Die **Kalendermonate** Januar, August und Dezember weisen in der mittleren Lufttemperatur für alle Regionen im Zeitraum 1931-2005 die deutlichsten signifikanten Anstiege zwischen 1,3 °C und 2,3 °C auf, die Monate April, Juni, September und November zeigen hingegen kaum signifikante Veränderungen. (Ergebnisse werden in der Langfassung im Internet zur Verfügung gestellt).

Gebietsniederschlag

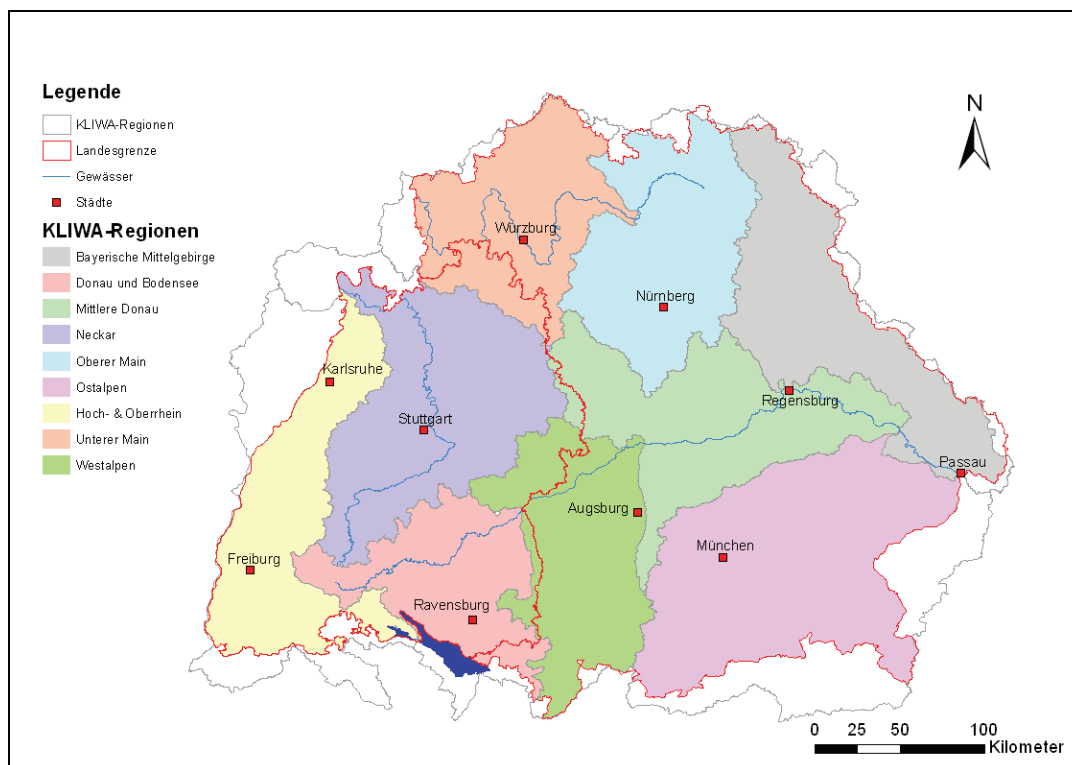
- Der mittlere Niederschlag im **Winterhalbjahr** zeigt für alle Untersuchungsgebiete zwischen den Jahren 1931-2005 einen stark positiven Trend mit hoher Signifikanz; es sind Zunahmen von bis zu 30 % insbesondere im Rheintal, am Oberen Main sowie in den Gebieten zwischen Iller und Lech festzustellen. In den Jahren 2001-2005 ist im Südwesten Baden-Württembergs und den alpennahen bayerischen Gebieten keine weitere Zunahme der starken Trends mehr zu beobachten, während in der nördlichen Hälfte von Baden-Württemberg und Bayern eine Verstärkung der Trends zu verzeichnen ist.
- Im **Sommerhalbjahr** sind die Trends des mittleren Gebietsniederschlags überwiegend schwach negativ, die Sommerniederschläge sind also rückläufig. Alle Trends sind aber nicht signifikant. Den größten negativen Trend mit 13 % findet man im unteren Maingebiet. Im Vergleich der Zeitperioden 1931-2000 und 1931-2005 treten nur geringe Veränderungen auf.



- Der **mittlere Jahresniederschlag** weist in einer Gesamtschau in den betrachteten Untersuchungsgebieten im Zeitraum 1931-2005 lediglich einen geringen Zuwachs auf. Allerdings fand eine deutliche Verschiebung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr statt. Die Ergebnisse untermauern die Aussagen, dass die Wintermonate überwiegend deutlich feuchter werden, während in den Sommermonaten ein leichter Rückgang des Niederschlags festzustellen ist. Damit verbunden ist möglicherweise eine Zunahme von niederschlagsarmen Perioden.

Starkniederschlag

- Im **Winterhalbjahr** zeigen die Zeitreihen der jährlichen Tageshöchstwerte (Starkniederschläge) von 1931 bis 2005 überall ausgeprägte positive Trendwerte in einem Bereich von 5 % bis zu 40 % im Nordosten Bayerns; deren Signifikanz ist allerdings unterschiedlich und variiert räumlich sehr stark. Die Jahre 2001-2005 brachten überwiegend keine weitere Verstärkung der bisher beobachteten Trends.
- Im **Sommerhalbjahr** haben im gesamten südwestlichen Bereich des Untersuchungsgebietes die eintägigen Starkniederschläge bis zu 20 % zugenommen. Stärkere Abnahmen findet man im unteren Maingebiet (- 24 %) und im Südosten von Bayern (bis zu - 20 %). Allerdings sind die Trends überwiegend nicht signifikant. Im Vergleich zu der Auswertung bis 2000 zeigt sich, dass die positiven Trends im Südwesten durchweg geringer geworden sind. Die negativen Trends im Maingebiet haben sich kaum verändert.
- Die detektierte Zunahme der winterlichen Starkniederschläge blieb zwischen 2001 und 2005 auf dem bisher festgestellten überwiegend hohen Niveau; dies ist eine Voraussetzung für die Zunahme von Hochwassern im Winterhalbjahr. Die erwartete Zunahme von kleinräumigen und kurzzeitigen Starkniederschlägen hoher Intensität ist in den Auswertungen auf der Basis von Tages-Niederschlagshöhen noch nicht zu erkennen.



Hochwasserabflüsse

- In den Untersuchungen des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse zeigt ein überwiegender Teil der 90 untersuchten Pegel (~80 %) einen steigenden Trend; dies gilt insbesondere für das **Winterhalbjahr**. Die berechneten Trends sind im Mittel allerdings nur an ca. 40 % der Pegel signifikant und zeigen eine starke räumliche Variabilität. Hinsichtlich Höhe und Signifikanz haben die Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern in den Jahren 2001 bis 2005 an den meisten untersuchten Pegeln zugenommen.
- Im **Sommerhalbjahr** sind auch weiterhin die meisten Pegel mit abnehmendem Trend der Hochwasserabflüsse zu verzeichnen (29 % der Pegel). Im Vergleich zur Zeitreihe 1932 - 1998 haben die Anzahl der Pegel und die Signifikanz allerdings abgenommen.
- Die Analyse des Trendverhalten der Hochwasserabflüsse zeigt, dass bei der Betrachtung des erweiterten Zeitraums 1932-2005 vor allem bei bayerischen Pegeln eine größere Anzahl von Pegeln mit steigendem Trend zu verzeichnen ist, während an den baden-württembergischen Pegeln lediglich geringe Änderungen festzustellen sind. Ursache hierfür sind die Hochwasser der letzten Jahre, die vor allem in Bayern auftraten.
- Die Auswertung des Jahresgangs der monatlichen Abflusshöchstwerte zeigt, dass die Erhöhung im hydrologischen Winterhalbjahr besonders ausgeprägt ist; dies ist für die meisten Gebiete Süddeutschlands auch die Jahreszeit mit größerer Hochwassergefährdung.

Die festgestellten Veränderungen der meteorologischen Größen Temperatur und Niederschlag sind gemeinsam mit den Veränderungen der Hochwasserabflüsse als deutliche Auswirkungen des seit einigen Jahrzehnten erkennbaren Klimawandels zu deuten. Bisherige Simulationsrechnungen mit regionalen Klimaszenarien lassen für die Zukunft regional ebenfalls eine weitere Hochwasserverschärfung erwarten.

Die vorstehenden Ergebnisse aus dem Klimamonitoring zeigen deutlich, dass sich die Auswirkungen des globalen Klimawandels auch in Süddeutschland bereits seit längerem bemerkbar machen und in den letzten Jahren teilweise deutlich verstärkt haben. Dies ist zunächst die starke Temperaturerhöhung, aber auch die Veränderung im Niederschlagsregime. Beides wirkt sich erheblich auf den regionalen Wasserkreislauf aus und führt nach derzeitigem Erkenntnisstand zu einer Zunahme der Hochwassergefährdung, aber auch zu einer temporären Verringerung der Wasserverfügbarkeit in Zusammenhang mit längeren, heißen Trockenperioden.

Die festgestellten Änderungen werden sich unter der Berücksichtigung der künftigen Entwicklung, wie sie aus Klimaprojektionen erkennbar ist, wohl fortsetzen. Damit werden auch zunehmende nachteilige Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und folglich für die Wasserwirtschaft verbunden sein. Deshalb verfolgen die Kooperationspartner von KLIWA (Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und der DWD) die möglichen Auswirkungen und entwickeln auch im Sinne des Vorsorgeprinzips gebotene Anpassungsstrategien.

Über die KLIWA-Homepage (www.kliwa.de) sind weitere Daten, Ergebnisse und detaillierte Auswertungen für die untersuchten Kenngrößen zum Klimamonitoring verfügbar.



1 Klimamonitoring im Rahmen des Vorhabens KLIWA

Der Klimawandel findet bereits statt: seine Auswirkungen zeichnen sich auch in Süddeutschland zunehmend deutlich ab. Er betrifft besonders den Wasserkreislauf und davon abhängig die Wasserwirtschaft. Um die überregionalen Auswirkungen des Klimawandels gezielt für Süddeutschland zu erfassen, haben bereits im Jahr 1999 die Länder Baden-Württemberg und Bayern zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) das Kooperationsvorhaben „Klima-Veränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) für eine langfristige gebiets- und fachübergreifende Zusammenarbeit vereinbart. Seit 2007 ist an dieser Kooperation auch das Land Rheinland-Pfalz beteiligt.

Im Rahmen des Vorhabens KLIWA war als ein wichtiger Projektbereich die (retrospektive) Untersuchung des Langzeitverhaltens hydro(meteoro)logischer Messzeitreihen vorgesehen (vgl. Abbildung 1), um sich bereits abzeichnende Klimaänderungssignale zu detektieren. Die Auswertungen zu den Messgrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Abfluss wurden in den letzten Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in der Reihe „KLIWA-Berichte“ veröffentlicht. Allerdings konnten dabei zunächst nur die Messzeitreihen bis spätestens 2000 berücksichtigt werden. Die bis 2005 verlängerten Messreihen sind nun erneut in 2006/2007 ausgewertet worden. In diesem Kurzbericht sind die wesentlichen Ergebnisse dieser aktualisierten Auswertungen im Sinne eines Klimamonitorings dargestellt. Messgrößen aus Rheinland-Pfalz sind bis Ende 2005 noch nicht berücksichtigt.

Dieses Monitoring zum Klimawandel in Süddeutschland, das auf einem integrierten Messnetz KLIWA aufsetzt (Messstationen des DWD und der Länder), ist ein besonderer Projektbereich des Vorhabens KLIWA. Damit ist ein langfristig angelegtes, einheitliches Vorgehen beabsichtigt, durch das die relevanten hydrometeorologischen und hydrologischen Kenngrößen in ihrer zeitlichen Entwicklung erfasst und in regelmäßigen Abständen zeitnah ausgewertet werden sollen. Mit dem Monitoring sollen aktuelle Veränderungen des regionalen Klimas und Wasserhaushalts im Vergleich zu und in Fortführung der ersten Langzeituntersuchungen und Klimaszenarienrechnungen zeitnah verfolgt und bewertet werden. Informationen zum Klima von Deutschland und Europa publiziert der DWD in seinem jährlichen Klimastatusbericht.

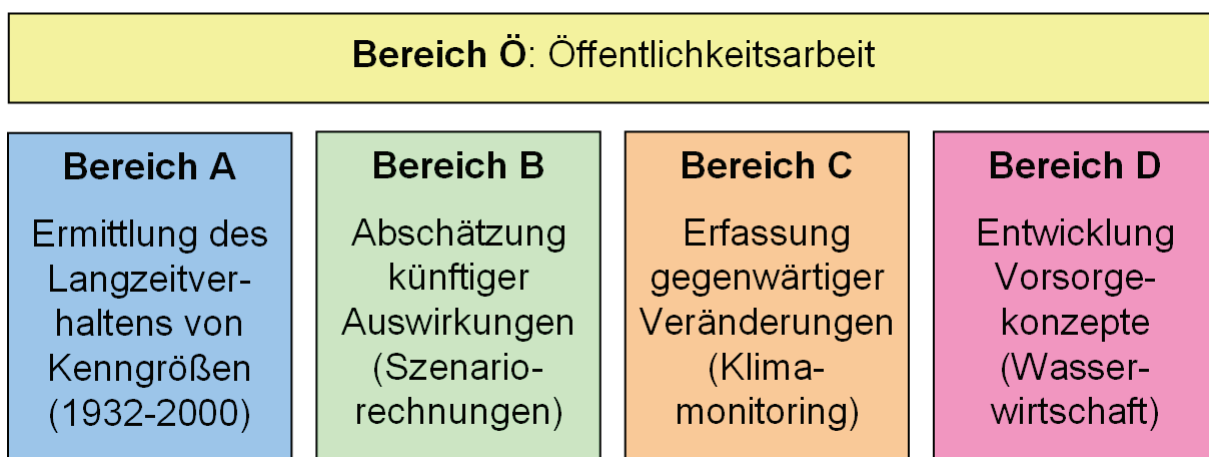


Abb. 1: Struktur des Vorhabens KLIWA

2 Methodisches Vorgehen

Grundlage des Klima-Monitorings im Vorhaben KLIWA ist eine regelmäßige Fortschreibung der Zeitreihenanalysen ausgewählter Kenngrößen mit hoher Datenqualität. Die Auswertungen sollen zeitnah zeigen, wie sich die Trends in den Messzeitreihen als mögliche Klimaänderungssignale entwickelt haben. Damit liegt gleichzeitig auch eine bestmögliche Datenbasis vor, um die Ergebnisse von Klimaszenarienrechnungen im Vergleich mit den gemessenen Klimagrößen besser zu beurteilen, um wichtige Entscheidungsgrundlage für die Herleitung von Handlungsempfehlungen zu erhalten.

Es liegen bisher in KLIWA bereits umfangreiche Untersuchungsergebnisse zum Langzeitverhalten für die nachstehenden Wasserhaushaltskomponenten vor:

Hydrometeorologie mit den Kenngrößen

Gebietsniederschlag - Starkniederschlag – Lufttemperatur - Verdunstung – Globalstrahlung – Schneedecke und

Hydrologie mit den Kenngrößen

Mittlere Abflüsse – Hochwasserabflüsse – Niedrigwasserabflüsse (teilweise).

Die Ergebnisse sind ausführlich in einer Reihe von KLIWA-Berichten veröffentlicht [KLIWA Hefte 2, 3, 5, 6, 7, 8 und 12]. Im Rahmen dieses ersten Monitoringberichts sind die Ergebnisse der fortgeschriebenen Zeitreihenbewertung der Kenngrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Hochwasserabflüsse dargestellt und damit die Langzeituntersuchungen aktualisiert worden.

Für eine Kurzdarstellung waren folgende Aspekte wesentlich:

Für die hydrometeorologischen Größen ist es sinnvoll, schwerpunktmäßig die aus Messstationen abgeleiteten Gebietswerte zu betrachten. Für die Auswertung und Darstellung der Gebietsmittelwerte werden die 33 KLIWA-Untersuchungsgebiete gewählt, die nach den verschiedenen Flussgebieten Süddeutschlands festgelegt wurden und bisher Grundlage verschiedener Datenanalysen waren (siehe Abbildung 2).

Die ausgewählten Kenngrößen stehen als Jahresserien zur Verfügung. Alle berücksichtigten hydrometeorologischen Datenserien haben eine Zeitreihenlänge von Mai 1931 bis Oktober 2005; für die Winterhalbjahre wurde deshalb die Periode 1932 bis 2005, für die Sommerhalbjahre die Periode 1931 bis 2005 ausgewertet. Die hydrologischen Zeitreihen für die Untersuchung des Trendverhaltens beginnen mindestens im Jahr 1932. Für die Untersuchungen wurden die bisherigen Methoden der Zeitreihenanalyse, d. h. die lineare Trendanalyse und die Bestimmung der Trendsignifikanz mit dem Testverfahren nach Mann-Kendall angewandt. Die statistische Signifikanz ermöglicht Aussagen, ob eine Änderung überwiegend zufällig durch die natürliche Variabilität der Werte hervorgerufen wird oder ob auch eine kausale Veränderung (Trend) der jeweiligen Messgröße vorliegt, also signifikant ist. Für diese Veränderungen wird wegen der großen natürlichen Schwankungsbreite der Kennwerte jeweils der lineare Trend in der Zeitreihe herausgestellt. Die Trendgröße selbst ist - abhängig vom jeweiligen Gebietsmittel - entweder als absoluter oder als relativer Wert angegeben.


Untersuchungsgebiete:
D Donau

D 1 Quelle bis Lauchert
 D 2 Donau, uh. Lauchert bis oh. Iller
 D 3 Iller
 D 4 Donau, uh. Iller bis oh. Wörnitz u. Lech
 D 5 Lech
 D 6 Wörnitz, Altmühl u. Schw. Laber
 D 7 Donau, uh. Lech bis oh. Naab
 D 8 Naab
 D 9 Regen
 D10 Donau, uh. Naab bis oh. Isar
 D11 Isar
 D12 Vils und Rott
 D13 Aiz und Salzach
 D14 Inn
 D15 Donau, uh. Isar bis Landesgrenze
 D15a Donau, uh. Isar, oh. Pegel Achleite

N Neckar

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

R Rhein

R 1 Bodensee
 R 2 Rhein, uh. Bodensee bis Wiese
 R 3 Rhein, uh. Wiese bis oh. Kinzig
 R 4 Rhein und Kinzig bis Murg
 R 5 Rhein, 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 Fränkische Saale
 M 5 Tauber
 M 6 Main, uh. Fränk. Saale bis Landesgrenze

Abb. 2: Übersicht über die 33 KLIWA-Untersuchungsgebiete und die 9 KLIWA-Regionen

3 Langzeitverhalten der Lufttemperatur

3.1 Bisherige Auswertungen

Das Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern wurde anhand von Gebietsmittelwerten für die im KLIWA-Projekt abgestimmten 33 Untersuchungsgebiete und die Zeitreihenlänge 1931 bis 2000 untersucht. Ausgewertet wurde das Trendverhalten der Jahresmitteltemperaturen und der Monatsmitteltemperaturen, wodurch markante innerjährliche Unterschiede der Lufttemperaturänderungen aufgezeigt werden konnten. Die Zeitreihe 1931-2000 ist im süddeutschen Untersuchungsraum durch einen starken Anstieg der Lufttemperaturen seit Ende der achtziger Jahre gekennzeichnet. Die signifikante Zunahme der Jahresmitteltemperaturen resultiert im Wesentlichen aus einer flächendeckend zu verzeichnenden Zunahme der mittleren Lufttemperaturen in den Monaten Dezember bis März sowie August und Oktober.

3.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertungen

Durch Verlängerung der Untersuchungsperiode bis einschließlich 2005 wird die weitere Trendentwicklung der Lufttemperaturen im süddeutschen Untersuchungsraum bewertet. Von großem Interesse ist beispielsweise hinsichtlich der auch in der Öffentlichkeit verstärkt wahrgenommene Hitzesommer 2003 und weiterer Hitzerekorde, ob und in welchem Maße sich die Zunahme der mittleren Lufttemperaturen nach 2000 regional weiter fortsetzt.

Als Datengrundlage der Langzeituntersuchung dienen die Stationszeitreihen der täglichen Lufttemperatur von 354, repräsentativ über das Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg und Bayern verteilten Stationen des DWD-Messnetzes. Aus den Tageswerten wurden die Gebietsmittelwerte bzw. die zeitlichen (monatliche, halbjährliche und jährliche) Mittelwerte der Lufttemperaturen für die Trendanalysen erstellt.

Die Änderungen der Lufttemperaturtrends sind flächendeckend weitgehend ähnlich und zeigen keine maßgeblichen regionalen Unterschiede. Die Darstellung und Beschreibung des Zeitreihenverlaufes bis 2005 und des Trendvergleiches der 70- bzw. 75-jährigen Zeitreihen erfolgt daher nachstehend nur für die größeren Flächeneinheiten der neun KLIWA Regionen.

3.3 Neue Ergebnisse

Betrachtung der Gebietsmittelwerte

Jahresmitteltemperatur

Die ab Ende der 1980er Jahre eingetretene Periode vorwiegend überdurchschnittlicher Jahresmitteltemperaturen hält nach 2000 weiter an. Grundsätzlich zeigt sich in allen Regionen des Gesamttraumes ein ähnlicher Verlauf der Gebietsmitteltemperaturen. Die bisherigen Höchstwerte der Jahresmitteltemperatur seit 1931 - das Jahr 1994, gefolgt vom Jahr 2000 - wurden jedoch nicht mehr erreicht. Die Jahre 2002 und 2003 ordnen sich in der Rangfolge der wärmsten Jahre in der 75-jährigen Gesamtreihe an dritter bzw. vierter Position ein. Die Jahre 2004 und 2005 weisen etwa durchschnittliche Jahrestemperaturen auf. In Abbildung 3 sind die Abweichungen der mittleren Jahrestemperaturen des Zeitraumes 2001-2005 vom vieljährigen Mittelwert 1961-1990 für die KLIWA-Regionen dargestellt.

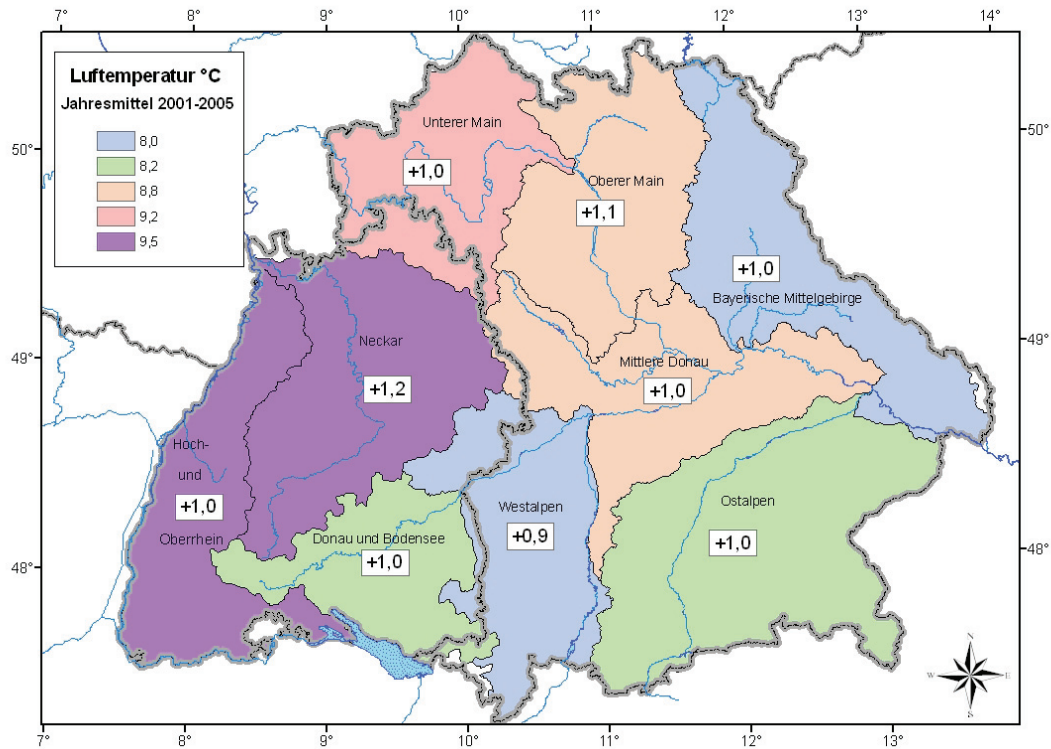


Abb. 3: Mittlere Lufttemperatur im Zeitraum 2001-2005 / Abweichung vom Mittelwert 1961-1990

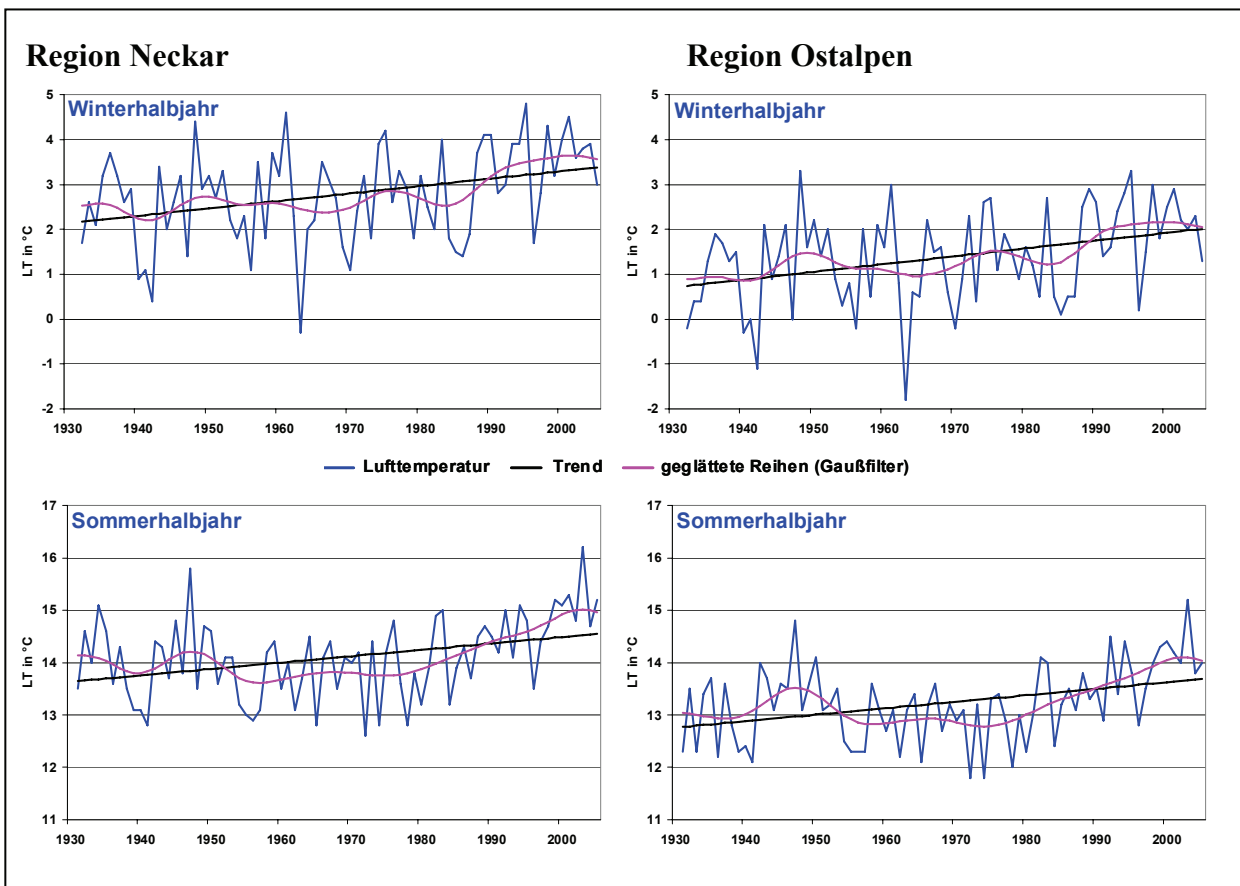


Abb. 4: Gebietsmitteltemperaturen in den Regionen Neckar und Ostalpen, 1931 – 2005 / Zeitreihen und Trends für die Mitteltemperaturen des hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahres

Winterhalbjahr (November – April)

In Abbildung 4 sind beispielhaft die Zeitreihenverläufe der Mitteltemperaturen der Winter- und Sommerhalbjahre für die Regionen Neckar und Ostalpen dargestellt. Der Verlauf ist über den Gesamttraum von KLIWA grundsätzlich ähnlich.

Die Zeitreihen der Mitteltemperaturen für das Winterhalbjahr zeigen, dass extrem milde Winterhalbjahre im süddeutschen Untersuchungsraum auch schon in früheren Jahrzehnten aufgetreten sind. Auffällig ist jedoch, dass sehr kalte Winterhalbjahre sowohl in der Häufigkeit ihres Auftretens als auch im Betrag der negativen Temperaturabweichung deutlich abgenommen haben. Das letzte Winterhalbjahr mit unterdurchschnittlichen Lufttemperaturen liegt zehn Jahre zurück (1995/96) und in der Rangfolge der negativen Temperaturabweichungen ordnet es sich je nach Region erst an etwa achter/neunter Position in der 75-jährigen Gesamtreihe ein. (Das milde Winterhalbjahr 2006/2007 konnte aufgrund der Betrachtung bis 2005 nicht berücksichtigt werden.)

Die Winterhalbjahrestemperaturen der Zeitreihe 1931-2005 weisen in allen Regionen des Untersuchungsraumes einen signifikanten positiven Trend auf (siehe Abbildung 5), der offenbar wesentlich durch die Abnahme extrem kalter Winterhalbjahresperioden bedingt ist. Zu beachten ist weiterhin, dass die Mittelung der Lufttemperaturen über den sechsmonatigen Jahresabschnitt teilweise hydrologisch relevante Unterschiede im innerjährlichen Trendverhalten der Lufttemperaturen verwischen kann. So ergaben bisherige Langzeituntersuchungen in KLIWA (Zeitraum 1951/52 bis 1995/96) auch, dass trotz signifikanter Zunahme der Lufttemperaturen im Winter eine Verlängerung der Schneedeckenzeit feststellbar war, was im Zusammenhang mit dem Rückgang der Lufttemperaturen im April stehen kann. Neuere Untersuchungen für den Zeitraum 1951/52 bis 2005/06 zeigen aber, dass der lineare Trend der Schneedeckenzeit tendenziell Veränderungen vom positiven in den negativen Bereich aufweist.

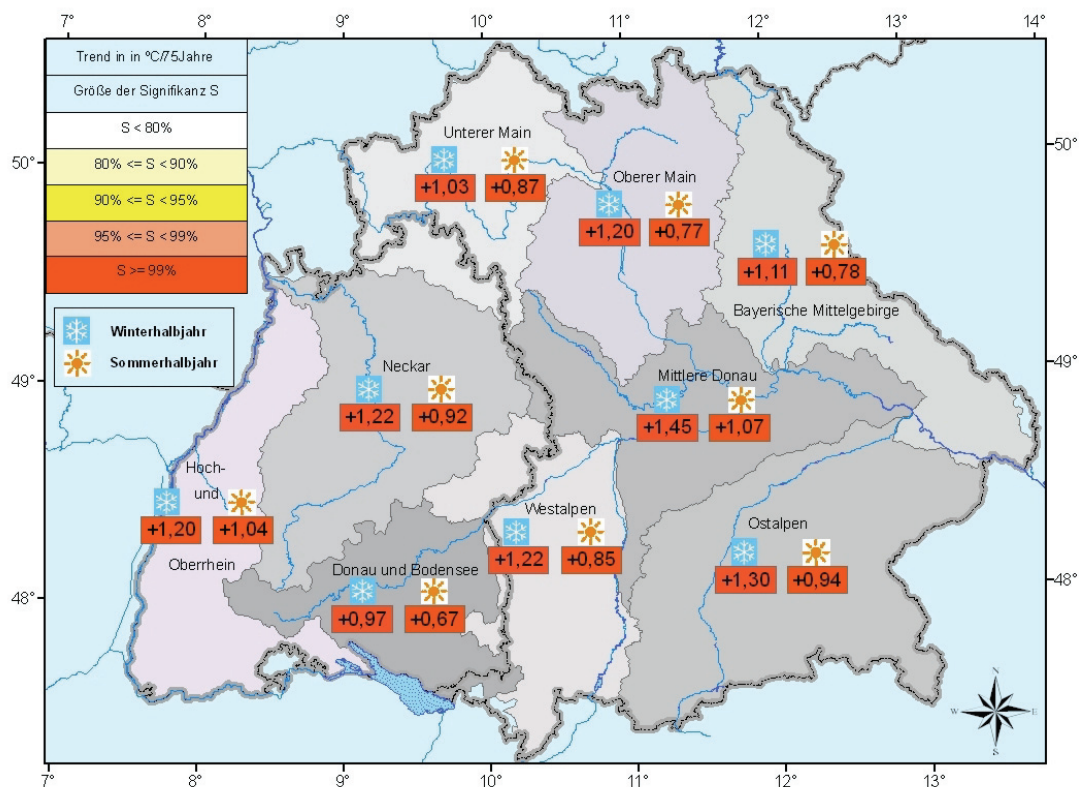


Abb. 5: Entwicklung der mittleren Lufttemperatur in den hydrologischen Halbjahren / Trend im Zeitraum 1931-2005 (Trend in °C/75a)



Sommerhalbjahr (Mai – Oktober)

Im gesamten Untersuchungszeitraum war, wie aus Abbildung 4 erkennbar, das Sommerhalbjahr 1947 das mit deutlichem Abstand wärmste bis zum Ende des letzten Jahrhunderts. Weitere überdurchschnittlich warme Sommerhalbjahre wie 1976 und 1983 weisen im Vergleich zu den wärmsten Sommerhalbjahren in den 90er Jahren nahezu gleich hohe, gebietsweise auch höhere Lufttemperaturen auf. Während jedoch in den vorangehenden Jahrzehnten überdurchschnittlich warme Sommerhalbjahre nur vereinzelt auftraten, liegen seit den 90er Jahren die Mitteltemperaturen fast aller Sommerhalbjahre (ausgenommen 1996) erheblich über dem 75-jährigen Mittelwert. Dabei wird im Jahr 2003 der bisherige Höchstwert von 1947 in nahezu allen Regionen erstmals übertroffen. In den 90er Jahren sind 1996 die niedrigsten Sommerhalbjahrestemperaturen zu verzeichnen, der Betrag der negativen Temperaturabweichung fällt jedoch im gesamten Untersuchungsraum erheblich geringer aus als in den zu kühlen Sommerhalbjahren, die im Zeitreihenabschnitt zwischen etwa Mitte der 50er und Mitte der 80er Jahre im vorigen Jahrhundert häufig zu verzeichnen waren.

Die Sommerhalbjahrestemperaturen der Zeitreihe 1931-2005 weisen ähnlich dem Winterhalbjahr in allen Regionen einen positiven Trend auf, der allerdings nicht so stark ausgeprägt ist wie im Winterhalbjahr. Jedoch weisen die Gebietstrends eine noch höhere Signifikanz als im Winterhalbjahr auf. Dies lässt sich deutlich der Tabelle 1 entnehmen.

Die starke Abweichung der Monatstemperaturen im August 2003 in Bayern und Baden-Württemberg vom vieljährigen Mittelwert 1961-1990 ist für die KLIWA-Regionen in Abbildung 6 dargestellt.

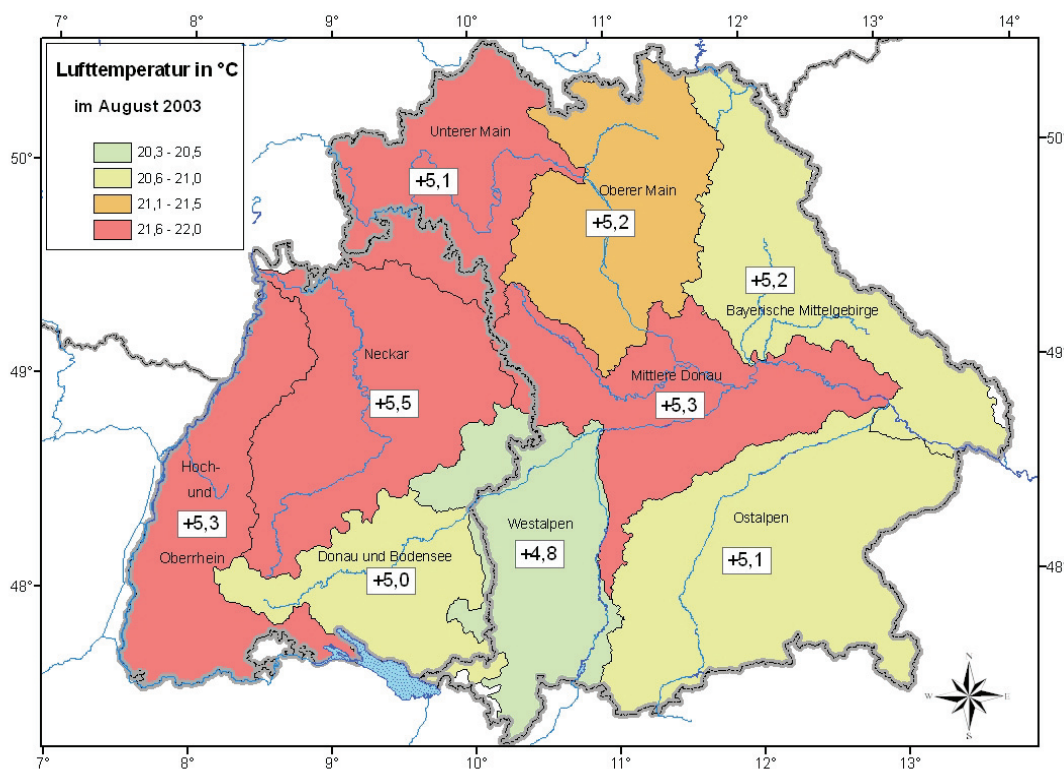


Abb. 6: Lufttemperatur im August 2003 und Abweichung zum Mittelwert (1961-1990)

Trendänderungen der Jahres- und Halbjahrestemperaturen

In Tabelle 1 sind die Trends der bis 2005 verlängerten Zeitreihe an 1931 im Vergleich zu der 70-jährigen Referenzreihe 1931-2000 für die jährlichen und halbjährlichen Gebietsmitteltemperaturen angegeben.

Tab. 1: Trends der Lufttemperatur in den KLIWA Regionen (Jahres- und Halbjahreswerte); Gebietsmittelwerte der Zeitreihen 1931-2000 bzw. 1931-2005

Region	Höhe m ü. NN	Trend der Lufttemperatur im Zeitraum 1931-2000 [°C/70 a]			Trend der Lufttemperatur im Zeitraum 1931-2005 [°C/75 a]		
		Jahr	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr	Jahr	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr
Unterer Main	319	0,71	0,82	0,56	<u>0,95</u>	1,03	<u>0,87</u>
Oberer Main	404	0,76	0,98	0,43	<u>1,01</u>	1,20	0,77
Neckar	428	0,79	0,96	0,53	<u>1,08</u>	1,22	<u>0,92</u>
Hoch- und Oberrhein	451	0,87	0,95	0,71	<u>1,12</u>	1,20	<u>1,04</u>
Mittlere Donau	452	<u>1,07</u>	1,26	0,73	<u>1,30</u>	<u>1,45</u>	<u>1,07</u>
Bayerisches Mittelgebirge	535	0,74	0,92	0,41	<u>0,99</u>	1,11	0,78
Ostalpen	639	0,94	1,14	0,61	<u>1,14</u>	1,30	<u>0,94</u>
Donauoberlauf und Bodensee	653	0,60	0,73	0,33	0,84	0,97	0,67
Westalpen	674	0,89	1,06	0,55	<u>1,07</u>	1,22	<u>0,85</u>

Signifikanz nach Mann- Kennall-Test:	S < 80 % ;	95 % ≤ S < 99 %
	80 % ≤ S < 90 % ;	99 % ≤ S < 99,9 %
	90 % ≤ S < 95 % ;	<u>99,9 % < S</u>

Beispiel Unterer Main: Die Jahrestemperatur hat im Zeitraum 1931-2000 um 0,71 °C zugenommen, und im verlängerten Zeitraum 1931 bis 2005 bereits um 0,95 °C. Daraus ergibt sich, dass der Trend sich in den letzten Jahren verstärkt hat, die Temperatur hat also stärker zugenommen.

Für den Zeitreihenvergleich 1931-2005 gegenüber 1931-2000 ergibt sich in allen Regionen eine weitere Verstärkung des für 1931-2000 schon positiven Trends. Ebenso zeigt sich eine generelle Zunahme der Signifikanz der Trends für alle KLIWA Regionen mit bis zum Jahre 2005 überwiegend hoch-signifikanten Trends. Die weitere Zunahme der Jahresmitteltemperaturen resultiert aus Temperaturzunahmen sowohl im hydrologischen Winter- als auch Sommerhalbjahr, wobei die Temperaturzunahmen des Sommerhalbjahres dominieren. Im Langzeitverhalten seit 1931 ist die Temperaturzunahme im Winterhalbjahr jedoch weiterhin größer als im Sommerhalbjahr. Mit den Jahren 2000-2005 hat aber die Erwärmung im Sommerhalbjahr gegenüber dem Winterhalbjahr aufgeholt.



4 Langzeitverhalten des Niederschlags

4.1 Bisherige Auswertungen

Bisher wurde das Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern im Zeitraum 1931 bis 1997 untersucht und für die 33 KLIWA-Untersuchungsgebiete dargestellt. Ebenfalls betrachtet und stationsbezogen ausgewertet wurde das Langzeitverhalten der Starkniederschlagshöhen in den Zeiträumen 1931 bis 2000 bzw. 1901 bis 2000.

Bei der bisherigen Betrachtung der Zeitreihe des Jahresniederschlags von 1931 bis 1997 wurde nur in wenigen Untersuchungsgebieten eine signifikante Zunahme festgestellt. Das hydrologische Sommerhalbjahr ist bei der früheren Untersuchung in der Mehrzahl der Gebiete mit der Ausnahme Südbayerns durch einen Rückgang des Niederschlags geprägt. Die langfristige Entwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr stellt in gewisser Weise das Gegenstück des sommerlichen Verlaufs dar, auch wenn dieses Verhalten nicht auf alle Untersuchungsgebiete übertragbar ist. Es kommt in den meisten Gebieten zu einer Zunahme der Gebietsniederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr. Im Alpenvorland zeigte sich bisher dagegen nur eine geringe und wenig signifikante Zunahme der Niederschläge.

Bei der Betrachtung der Starkniederschläge von 24 bis 240 Stunden Dauer war in den Zeitreihen von 1931 bis 2000 bisher eine deutliche Zunahme im hydrologischen Winterhalbjahr zu beobachten, die sich bei zunehmender Dauer noch vereinzelt erhöhte. Regionale Schwerpunkte waren in Bayern die fränkischen Landesteile sowie Teile des Bayerischen Waldes, in Baden-Württemberg der Schwarzwald sowie der Nordosten des Landes. Im hydrologischen Sommerhalbjahr war hingegen kein einheitlicher Trend festzustellen. Regionen mit einer Zunahme (z. B. Ostrand des Schwarzwaldes, Donautal, Teile Mittelfrankens) standen andere Regionen mit einer Abnahme (z.B. Unterfranken, Südost-Bayern und Teile des Alpenvorlandes) gegenüber.

4.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

Ziel der jetzt durchgeführten Auswertungen ist es, beide Aspekte des Niederschlagsverhaltens (Gebiets- und Starkniederschläge) bis zum Jahr 2005 zu untersuchen. Dabei soll besonders auf die Veränderungen seit dem Jahre 1997 bzw. 2000 eingegangen werden.

Für den Zeitraum seit 1931 wurden dazu in der vorliegenden Betrachtung alle verfügbaren Stationswerte auf ein ca. 1 km² Raster interpoliert. Obwohl für die weiteren Untersuchungen nur der Gebietswert betrachtet wird, sollte nicht vergessen werden, dass sich dieser Wert in den einzelnen Jahren aus einer sehr unterschiedlichen Anzahl von echten Beobachtungen zusammensetzt. Besonders vor 1940 und in den Jahren 1944 und 1945 ist die Stationsanzahl in Bayern und Baden-Württemberg deutlich geringer als nach 1950, wobei ab 1995 schon wieder eine Abnahme der verfügbaren Stationen beginnt. Diese doch recht geringe Anzahl von Stationen vor 1951 wirkt sich verstärkt auf die Erfassung der maximalen sommerlichen Gebietsniederschlagshöhen aus. Da im Sommer hohe Niederschläge meist bei konvektiven Wetterlagen auftreten, führt ein dünnes Messnetz dazu, dass diese kleinräumigen Niederschlagsereignisse entweder nicht erfasst werden, oder, wenn sie auf eine Station treffen, dann ein stärkeres Gewicht auf den Gebietsniederschlag haben als bei Vorhandensein eines dichteren Messnetzes. Dabei spielt auch die Niederschlagsklimatologie eine Rolle: Besonders im unteren Donaugebiet werden hohe sommerliche Niederschlagshöhen oft von so genannten Vb-Wetterlagen hervorgerufen. Sie erzeugen hohen flächenhaften Niederschlag, der auch von wenigen Stationen im Gebiet gut erfasst wird. Demgegenüber überwiegen im Sommer z.B. im Neckargebiet konvektive Niederschlagsereignisse, die mit einem dünnen Messnetz nur ungenügend erfasst werden können. Insgesamt muss man daher festhalten, dass der maximale Sommerniederschlag im Vergleich zum Winterhalbjahr in den KLIWA-Regionen deutlich ungenauer erfasst werden kann.

4.3 Neue Ergebnisse

Mittlere Gebietsniederschlagshöhe

Die Zeitreihen des mittleren Gebietsniederschlages für das Winter- und Sommerhalbjahr von 1931 bis 2005 für die KLIWA-Regionen Mittlere Donau und Neckar sind in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt.

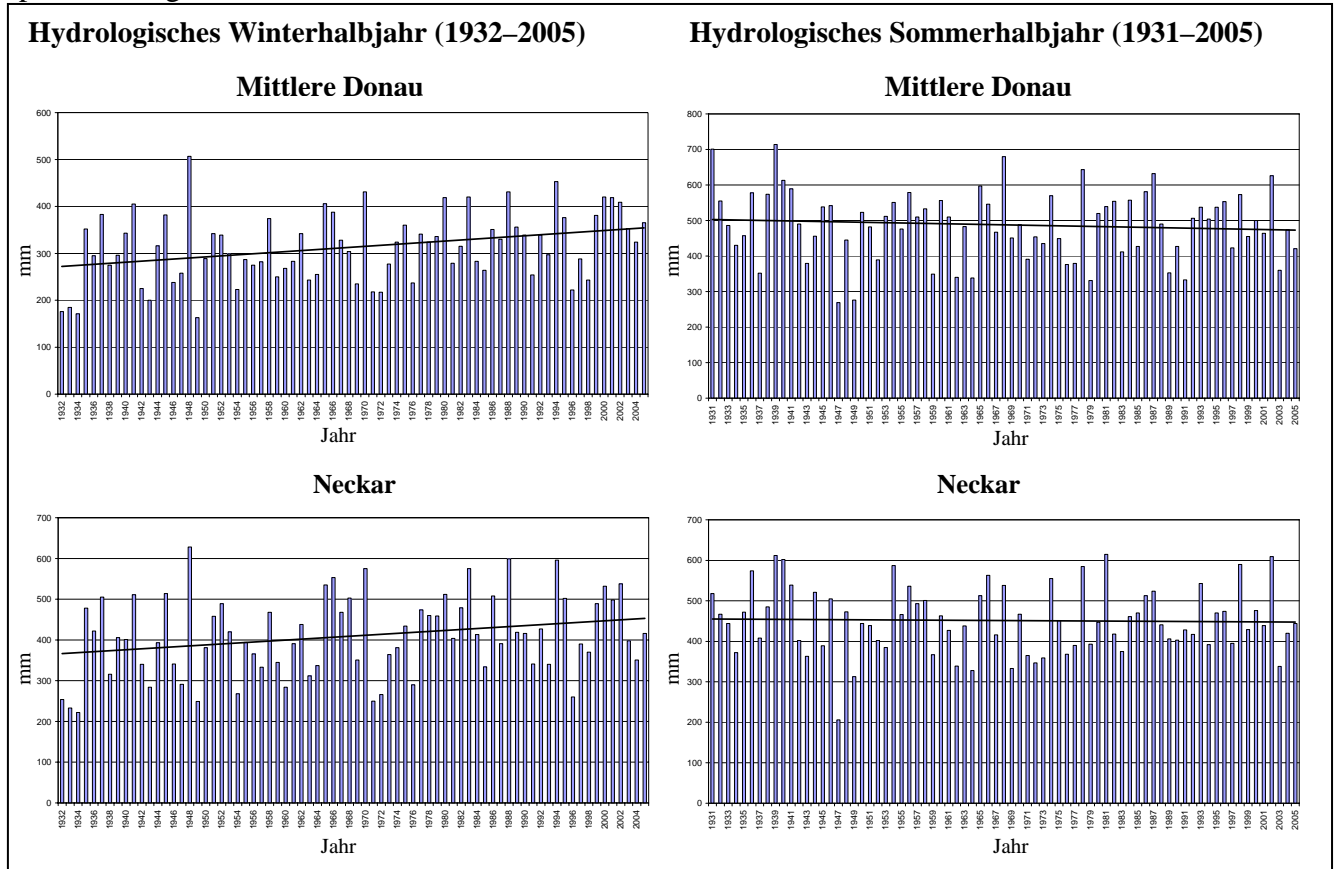


Abb. 7: Höhe und Trend der Gebietsniederschläge in den KLIWA Regionen Mittlere Donau und Neckar für die hydrologischen Halbjahre

Die Trends der Zeitreihe von 1932 bis 2005 für die **mittlere Gebietsniederschlagshöhe** im hydrologischen **Winterhalbjahr** sind in Abbildung 8 für die 33 KLIWA-Gebiete dargestellt. In allen Gebieten von Bayern und Baden-Württemberg findet man deutlich zunehmende Trends, welche auch eine hohe Signifikanz besitzen. Die größten positiven Trendbeträge mit hoher statistischer Signifikanz findet man in einem Gürtel vom südlichen Schwarzwald bis zur unteren Donau und im oberen Maingebiet (bis über 30% vom Mittelwert 1932 – 2005). In den südlicheren Gebieten von Bayern und besonders im nördlichen Oberrheingebiet sowie im unteren Neckar- und Maingebiet sind die Trends geringer. Hier ist auch die Signifikanz des Trends deutlich schwächer.

Die Abbildung 9 zeigt entsprechend das Trendverhalten der **Gebietsniederschlagshöhen** im hydrologischen **Sommerhalbjahr**. In den meisten KLIWA-Gebieten nimmt der mittlere Sommerniederschlag im Zeitraum 1931 bis 2005 ab. Ausnahmen sind an der unteren Donau, dem Elbeeinzugsgebiet im Nordosten Bayerns und am oberen Main mit leicht zunehmenden Trends zu finden. Die stärksten Abnahmen finden sich am unteren Main und unteren Neckar. Die meisten im Sommerhalbjahr zu beobachtenden Trends sind allerdings nicht als signifikant zu betrachten (Signifikanz < 80 %).

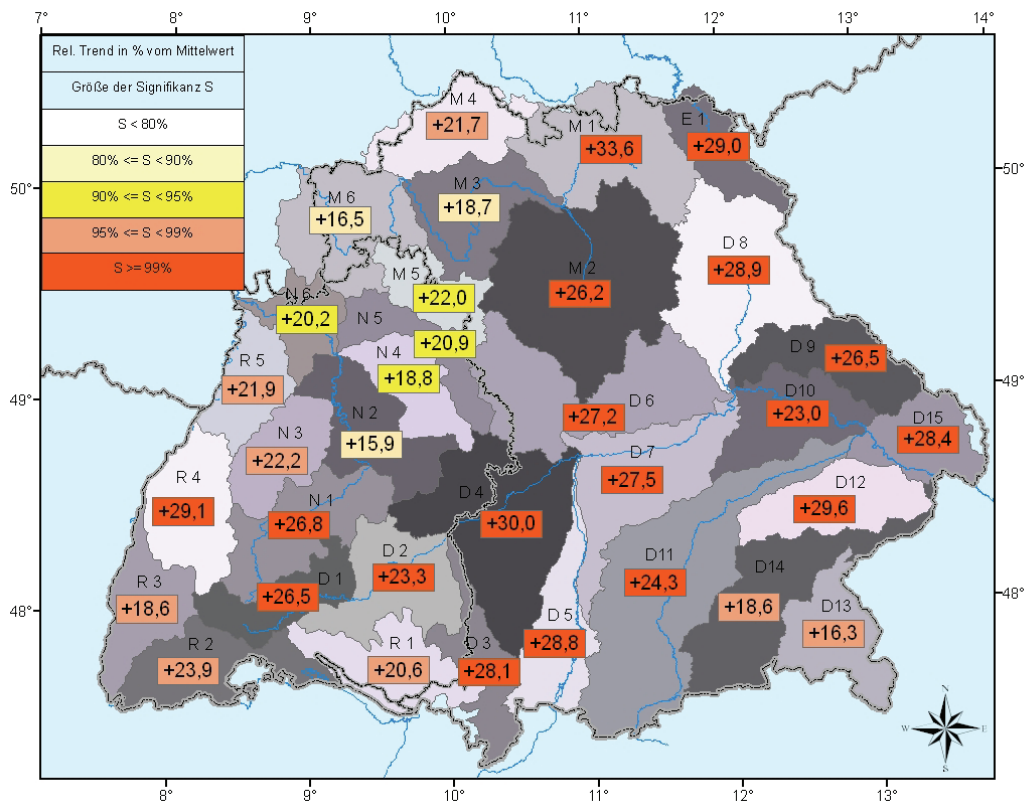


Abb. 8: Entwicklung der Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen Winterhalbjahr: Relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1932-2005)

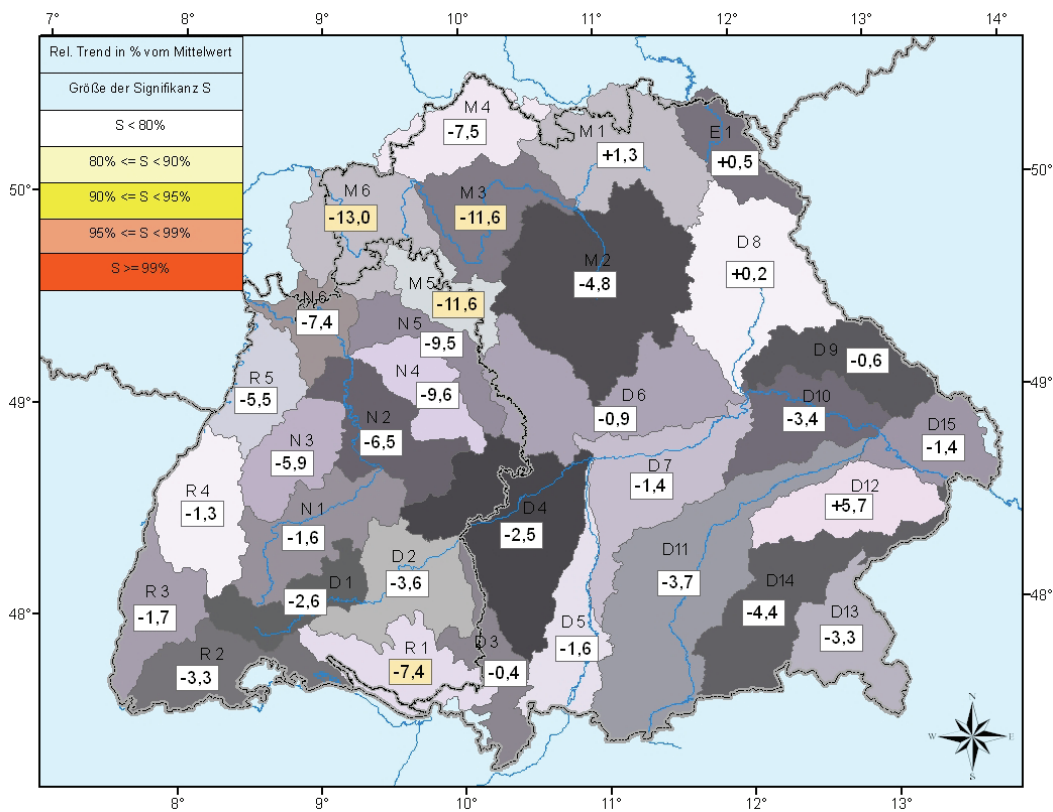


Abb. 9: Entwicklung der Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen Sommerhalbjahr: Relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2005)

Im Vergleich der Ergebnisse der Zeitreihen 1931 bis 2000 bzw. bis 2005 zeigt sich im Winterhalbjahr ein unverändert positiver Trend. Geringe Abnahmen des Trends findet man in den westlichen Gebieten in Baden-Württemberg und in den voralpinen Flussgebieten (Ausnahme Lech). Eine deutliche Verstärkung des positiven Trends zeigt die Mitte Bayerns und das untere Neckargebiet, hier hat die schon vorhandene hohe statistische Signifikanz des Trends teilweise sogar noch zugenommen.

Im Sommerhalbjahr sind die Veränderungen zwischen den Zeitreihen 1931 bis 2000 und 1931 bis 2005 nicht sehr groß. Die negativen Trends im südlichen Baden-Württemberg haben etwas abgenommen und die schon recht hohen negativen Trends im Norden haben sich dagegen verstärkt. Im Gebiet D8 (Naab) ist eine Trendumkehr zu beobachten von abnehmend (2000) zu zunehmend (2005). Dagegen hat sich die Trendrichtung im Gebiet R4 (Rhein von Kinzig bis Murg) von positiv auf negativ gedreht.

Starkniederschläge

Zusätzlich zur Betrachtung der mittleren Gebietsniederschläge wurden auch die Starkniederschläge (halbjährliche Maximalwerte der ein- bzw. fünftägigen Gebietsniederschlagshöhe) im Rahmen des Monitorings untersucht. Vergleichsauswertungen haben gezeigt, dass sich die gebietsbezogenen Betrachtungen gut mit stationsbezogenen Auswertungen decken. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die eintägigen Gebiets-Starkniederschläge dargestellt. In den Abbildungen 10 und 11 sind die Trendauswertungen der **eintägigen Starkniederschlagshöhe** in der gleichen Weise wie für die mittlere Gebietsniederschlagshöhe dargestellt. Insgesamt sind die Trendverläufe von Gebiet zu Gebiet deutlich uneinheitlicher als beim mittleren Gebietsniederschlag. Dies hängt sicher damit zusammen, dass Starkniederschläge extreme Ereignisse darstellen, die räumlich selten größere Gebiete umfassen; dies gilt vor allem für das Sommerhalbjahr.

Im hydrologischen **Winterhalbjahr** (Abbildung 10) findet man in ganz Süddeutschland zunehmende Starkniederschlagshöhen von eintägiger Dauer ($D = 1$ d). Die höchsten Zunahmen finden sich in einem Gebiet vom nördlichen Baden-Württemberg bis in die nordöstlichen Teile von Bayern. Im oberen Maingebiet liegen die hoch signifikanten Zunahmen bei über 40% vom Mittelwert 1932-2005 und sind damit deutlich höher als die Zunahmen bei den mittleren Gebietsniederschlagshöhen. Weitere hohe Zunahmen mit hoher Signifikanz finden sich für die winterlichen Starkniederschläge im Süden von Baden-Württemberg. Im Gegensatz zu den mittleren Gebietsniederschlagshöhen gibt es aber auch Gebiete, die keine signifikanten Zunahmen aufweisen z.B. an der mittleren Donau, im Gebiet Alz/Salzach und in der Rheinebene. Insgesamt decken sich die Ergebnisse der gebietsbezogenen Auswertung der täglichen Starkniederschlagshöhen sehr gut mit den bisher vorgenommenen stationsbezogenen Starkniederschlags-Auswertungen [KLIWA Heft 8].

Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** (Abbildung 11) zeigen die Trends der Zeitreihe 1931-2005 bei den eintägigen Starkniederschlagshöhen ($D = 1$ d) ein deutlich anderes Bild als beim mittleren Gebietsniederschlag. Im gesamten südwestlichen Bereich des KLIWA-Untersuchungsraums treten positive, aber meist nicht signifikante Trends für die eintägigen Starkniederschlagshöhen auf. Besonders stark und auch signifikant sind die positiven Trends im Gebiet Iller und Lech. Im nördlichen und östlichen Teil Süddeutschlands treten hingegen überwiegend negative, meist nicht signifikante Trends auf. Stärkere signifikante Abnahmen findet man im unteren Maingebiet und im Südosten von Bayern.

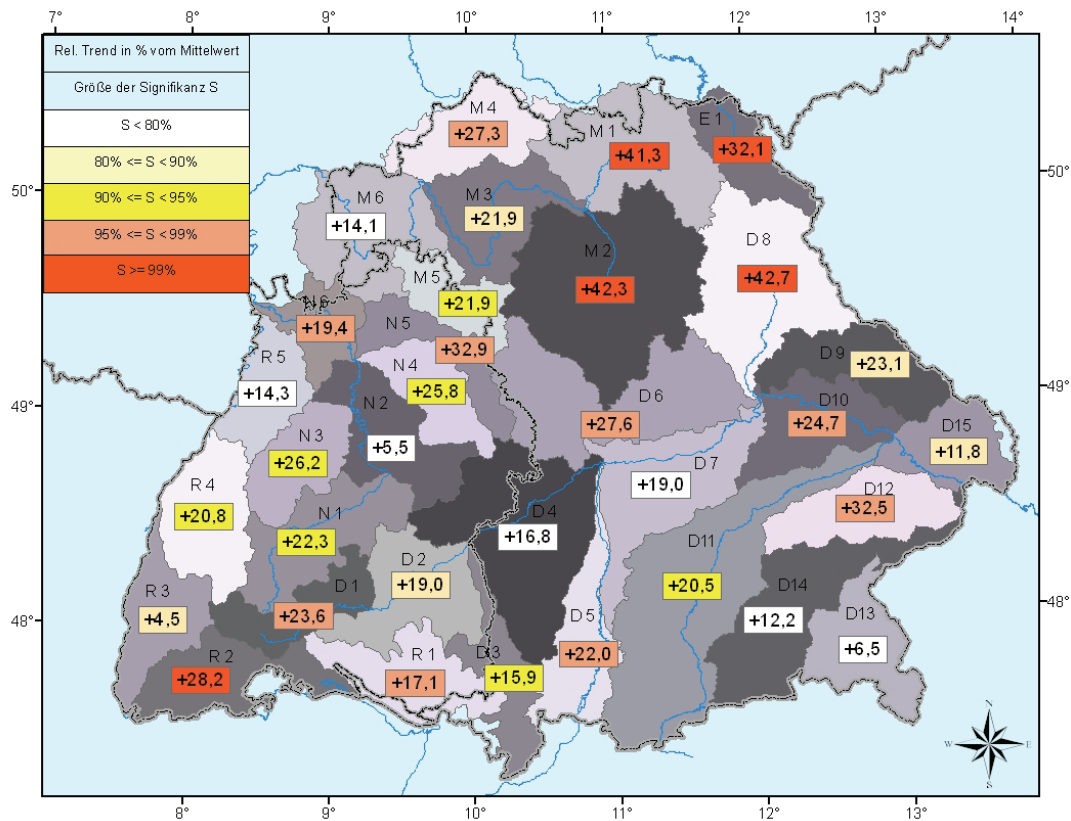


Abb. 10: Entwicklung der Starkniederschläge (Dauer = 1 Tag) im hydrol. Winterhalbjahr: Relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1932-2005)

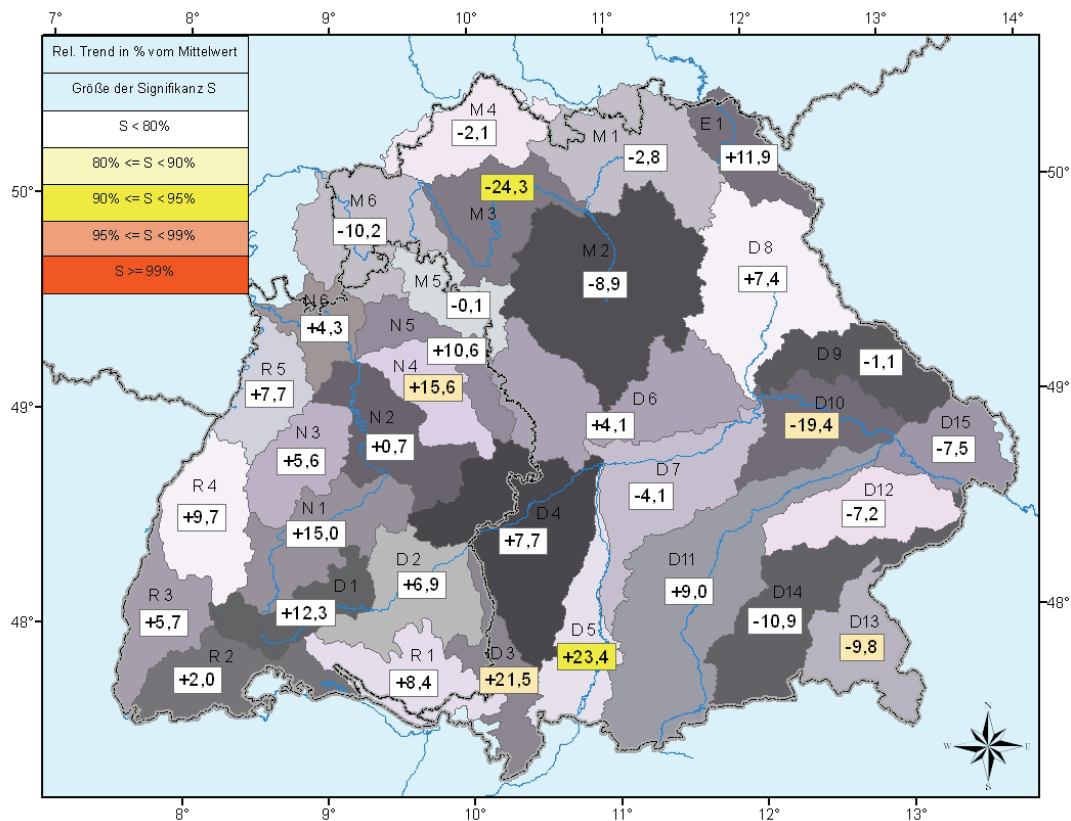


Abb. 11: Entwicklung der Starkniederschläge (Dauer = 1 Tag) im hydrol. Sommerhalbjahr: Relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2005)

Im Vergleich zu der Zeitreihe 1932 – 2000 zeigt sich für das **Winterhalbjahr**, dass sich besonders die positiven Trends in den östlichen Teilen von Bayern deutlich verstärkt haben (im Gebiet Donau zwischen Naab und Isar um mehr als 11 %), einhergehend mit einer Zunahme der Signifikanz. Sonst findet man eher eine Abnahme der positiven Trends in den letzten 5 Jahren, um bis zu 5 % im unteren Maingebiet.

Betrachtet man die Veränderungen der Trends zwischen den Zeitreihen bis zu den Jahren 2000 und 2005 im **hydrologischen Sommerhalbjahr**, so zeigt sich, dass die positiven Trends im Südwesten durchweg geringer geworden sind. Die negativen Trends im Maingebiet haben sich nur gering verändert, an der unteren Donau aber eher verstärkt. Eine Trendumkehr (von positiv zu negativ) hat im Gebiet D7 (Donau zwischen Lech und Naab) und D9 (Regen) stattgefunden. Die Signifikanz hat sich im Durchschnitt nicht verändert. Insgesamt findet man bei den eintägigen Starkniederschlagshöhen keine Hinweise, dass in Süddeutschland die Starkregenereignisse im Sommerhalbjahr in den letzten fünf Jahren nicht weiter flächendeckend zugenommen haben.



5 Langzeitverhalten des Hochwasserabflusses

5.1 Bisherige Auswertungen

Im Jahr 2000 wurde im Rahmen von KLIWA das Trendverhalten der beobachteten HW-Abflüsse an 90 repräsentativen Pegeln untersucht, um mögliche Hinweise auf Auswirkungen des beginnenden Klimawandels zu erhalten. Die Auswertung der Abflüsse von 1932 bis 1998 führte zu der Feststellung, dass eine signifikante flächendeckende Veränderung im Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Bayern und Baden-Württemberg bisher nicht eingetreten ist. Es ergaben sich aber Hinweise auf Änderungen im Jahresgang der Hochwasserabflüsse und regional Hinweise auf eine Häufigkeitszunahme von Hochwasserabflüssen.

5.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

In diesem Kurzbericht sollen nun die verlängerten Zeitreihen ab Beobachtungsbeginn bis 2005 betrachtet werden, auch vor dem Hintergrund der Hochwasserereignisse in Teilen Süddeutschlands zwischen 1999 und 2005. Als repräsentative Datengrundlage für das Trendverhalten dienten wie bei der Auswertung der Zeitreihen bis 1998 die ausgewählten 90 Pegel in Baden-Württemberg und Bayern, an denen Daten der Wasserstände und Abflüsse seit mindestens 1932 vorlagen, um die Vergleichbarkeit der Trends aufgrund des gleichen Zeitraumes zu gewährleisten. Für die statistische Betrachtung des Langzeitverhaltens der jährlichen und halbjährlichen Abflusshöchstwerte eines Pegels wurden die vorhandenen monatlichen Höchstwerte zu Jahresserien für das hydrologische Jahr, das Sommer- und das Winterhalbjahr zusammengefasst. Für diese Serien wurden anschließend jeweils die linearen Trends und deren Signifikanzen ermittelt.

Zusätzlich wurde der mittlere Jahresgang der Monatshöchstwerte der Abflüsse betrachtet. Um eventuelle Veränderungen in den Monatswerten zu erkennen, wurde die verfügbare Zeitreihe willkürlich in den Jahren 1951, 1964 und 1974 geteilt und für das hydrologische Jahr und die Halbjahre getrennt ausgewertet. Hier sollen exemplarisch nur die Ergebnisse der Trennung im Jahre 1974 diskutiert werden.

5.3 Neue Ergebnisse

Die Ergebnisse der Trenduntersuchungen sind für alle 90 Pegel in Tabelle 2 zusammengefasst aufgeführt. Beispielhaft ist in Abbildung 12 das Ergebnis der Trenduntersuchung der Zeitreihe ab Beobachtungsbeginn bis 2005 für die Pegel Donauwörth an der Donau und Rotenfels an der Murg mit einem ansteigenden Trend (rot) dargestellt. Die durchgeführte Trendanalyse der Hochwasserabflüsse 1932-2005 zeigt für den überwiegenden Teil der 90 Pegel einen ansteigenden Trend (~80 %), nur 17 Pegel (~20 %) weisen bei der Betrachtung des gesamten Jahres eine Abnahme auf. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass die berechneten Trends im Mittel nur an ca. 40 % der Pegel signifikant sind (Signifikanzniveau von $\alpha \geq 80\%$) und eine starke räumliche Variabilität zeigen. Belastbare regionale Muster des Trendverhaltens und der Trendstärke sind derzeit nicht erkennbar.

Das hydrologische Winterhalbjahr zeigt bezüglich der Trends und Signifikanzen ein dem hydrologischen Jahr weitgehend ähnliches Verhalten. Im hydrologischen Sommerhalbjahr zeigen nur 70 % der Pegel ansteigende Trends der Hochwasserabflüsse. Insgesamt ist der Anteil von Pegeln mit signifikanten zunehmenden Trend (ca. 50 %) höher, als von Pegeln mit abnehmendem Trend (ca. 15 %). Die höchste Anzahl signifikanter Veränderungen ist im Winterhalbjahr zu beobachten (52 % der gesamten Pegel).

Tab. 2: Überblick über das Trendverhalten der Hochwasserabflüsse an den 90 untersuchten Pegeln in Baden-Württemberg und Bayern im Vergleich

Tendenzen	Untersuchungszeitraum von 1932–1998*	Untersuchungszeitraum von 1932–2005*
Hydrologisches Gesamtjahr (Nov. – Okt.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	26 / 3	17 / 2
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	64 / 21	73 / 41
Hydrologisches Winterhalbjahr (Nov. – Apr.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	16 / 3	13 / 3
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	74 / 32	77 / 44
Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai – Okt.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	38 / 5	26 / 3
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	52 / 25	64 / 30

* Gesamtzahl Pegel mit vorliegendem Trend / Anzahl Pegel mit signifikanten Trend $\alpha \geq 80\%$

Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse für die Zeiträume 1932-1998 und 1932-2005 lässt deutliche Ergebnisverschiebungen erkennen. Durch die Verlängerung der Untersuchungsperiode bis 2005 ist eine Zunahme der Pegel mit einem Trend zur Hochwasserverschärfung zu erkennen, analog sind weniger fallende Trends zu beobachten. Dies ist auf die Hochwasserereignisse der letzten Jahre zurückzuführen, die nun bei der Auswertung bis 2005 berücksichtigt wurden. Da diese Hochwasserereignisse vor allem Bayern betrafen, tritt der Grossteil der Veränderungen an bayerischen Pegeln auf, während sich in Baden-Württemberg nur geringfügige Veränderungen ergeben. Im Sommerhalbjahr haben die Pegel mit steigendem Trend um 13 % zugenommen. Obwohl die Niederschläge im Sommerhalbjahr insgesamt abnehmen, erhöhen sich die Starkniederschläge verschiedener Dauerstufen, welche im Sommerhalbjahr größtenteils verantwortlich für die Hochwasserabflüsse sind. Dagegen ist im Winterhalbjahr eine geringere Zunahme der Pegel (+3 %) mit steigendem Trend zu beobachten. Die Gesamtzahl von Pegeln mit steigendem Trend bleibt im Winterhalbjahr dennoch am höchsten.

Darüber hinaus hat die Signifikanz der Trends zugenommen. In der Auswertung bis 1998 waren im Mittel nur 25 % der Trends signifikant, bis 2005 bereits 40 %. Diese Zunahme ist überwiegend auf mehr signifikante Trends im Winterhalbjahr zurückzuführen, während der Anteil signifikanter Trends im Sommerhalbjahr nahezu konstant bleibt. Diese Veränderungen zeigen, wie bedeutend es ist, auch die aktuellen Werte beim Monitoring von Klimaveränderungen zu berücksichtigen, und welchen Einfluss die Zeitreihenlänge bei statistischen Auswertungen besitzen kann.

Das beobachtete Ergebnis der Entwicklung bei den Jahres- und Halbjahreswerten wird auch durch die Auswertung des Jahresganges der monatlichen Abflusshöchstwerte und der feststellbaren Veränderungen unterstützt. In Abbildung 13 sind exemplarisch für die Pegel Donauwörth und Rotenfels der Jahresgang bezogen auf die einzelnen Monate und die Mittelwerte für die beiden hydrologischen Halbjahre aufgetragen. Zusätzlich wurde die Zeitreihe im Jahr 1974 geteilt. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen der monatlichen Höchstwerte, insbesondere in den abflusstarken Zeiten. Die mittleren Hochwasserabflüsse (MHQ)

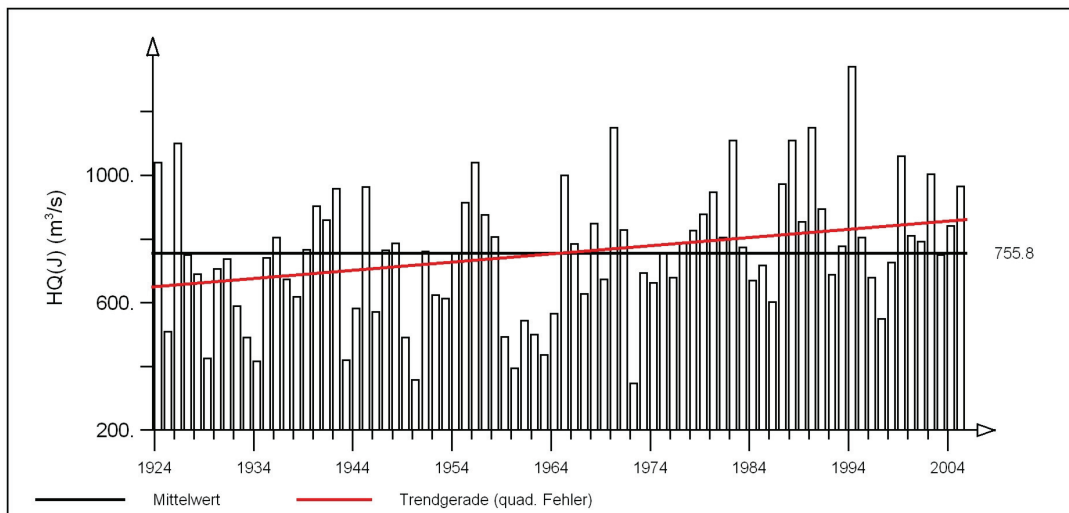


der Zeitperiode von 1974 bis 2005 liegen deutlich über dem Mittelwert der gesamten Zeitreihe und der früheren Periode bis 1973. Diese Zunahme wird überwiegend durch eine Erhöhung der Hochwasser im hydrologischen Winterhalbjahr hervorgerufen (Donauwörth: + 28 % / Rotenfels: + 29 % im Vergleich zu Periode bis 1973), während im Sommerhalbjahr geringere Veränderungen (Donauwörth: +14 % / Rotenfels: keine Veränderung im Vergleich zur Periode bis 1973) auftreten. Diese Entwicklung deckt sich mit der Auswertung des Trendverhaltens.

Pegel Donauwörth/Donau

(Pegel-Nr. 1003980)

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1924-2005 (hydrologisches Jahr)



Pegel Rotenfels/Murg

(Pegel-Nr. 1301)

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1917-2004 (hydrologisches Jahr)

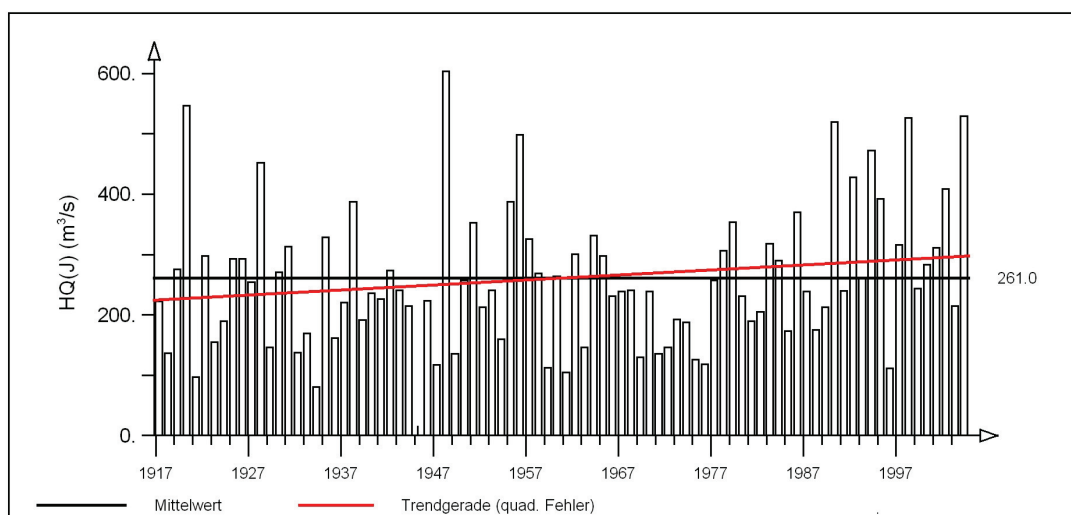
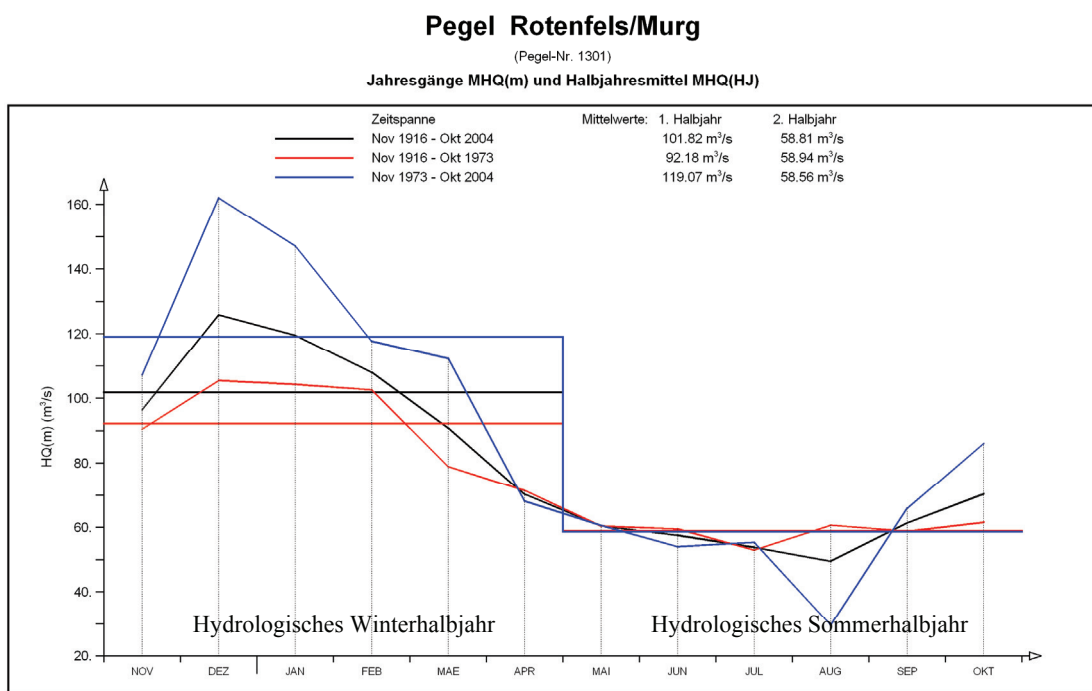
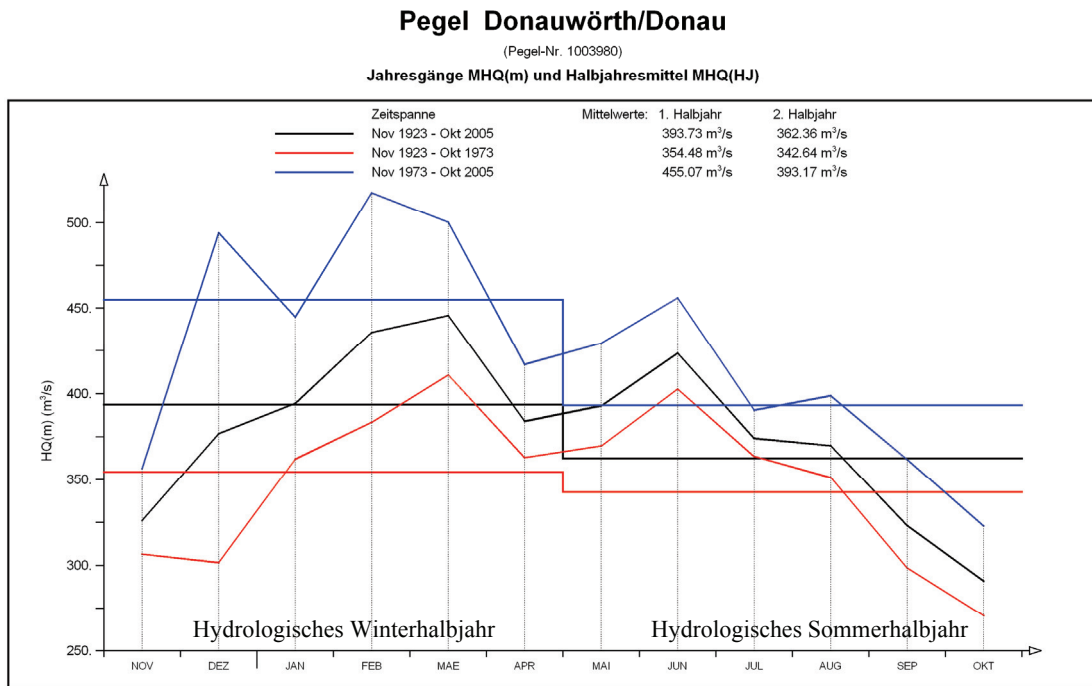


Abb. 12: Ergebnisse der Trenduntersuchung am Beispiel zweier Pegel



fld.-Nr.: D-157

Abb. 13: Jahresgang des monatlichen mittleren Höchstabflusses MHQ(m) am Beispiel der Pegel Donauwörth und Rotenfels für die gesamte Zeitreihe und zwei Teilzeitreihen



6 Literaturverzeichnis

- KLIWA Heft 2: Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 98 S. , ISBN 3-88251-284-9, Karlsruhe 2002
- KLIWA Heft 3: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 3-8851-286-5, Karlsruhe 2003
- KLIWA Heft 5: Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern, 76 S., ISBN 3-937911-17-0, München 2005
- KLIWA-Heft 6: Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern, 88 S., ISBN 3-937911-18-9, München 2005
- KLIWA-Heft 7: Langzeitverhalten des Gebietsniederschlages in Baden-Württemberg und Bayern, 160 S.; ISBN 3-937911-19-7, München 2005
- KLIWA-Heft 8: Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 3-88148-412-4, Offenbach 2006
- KLIWA-Heft 12: Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und Klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern, 147 S., ISBN 3-88148-429-9, Offenbach 2008 (im Druck)

Herausgeber:

Arbeitskreis KLIWA

- Deutscher Wetterdienst;
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg;
- Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz;
- Bayerisches Landesamt für Umwelt

Weitere aktuelle Informationen zu diesem Monitoringbericht, weiteren Heften und anderen Projektergebnissen finden Sie auf unserer Internetseite:

<http://www.kliwa.de>