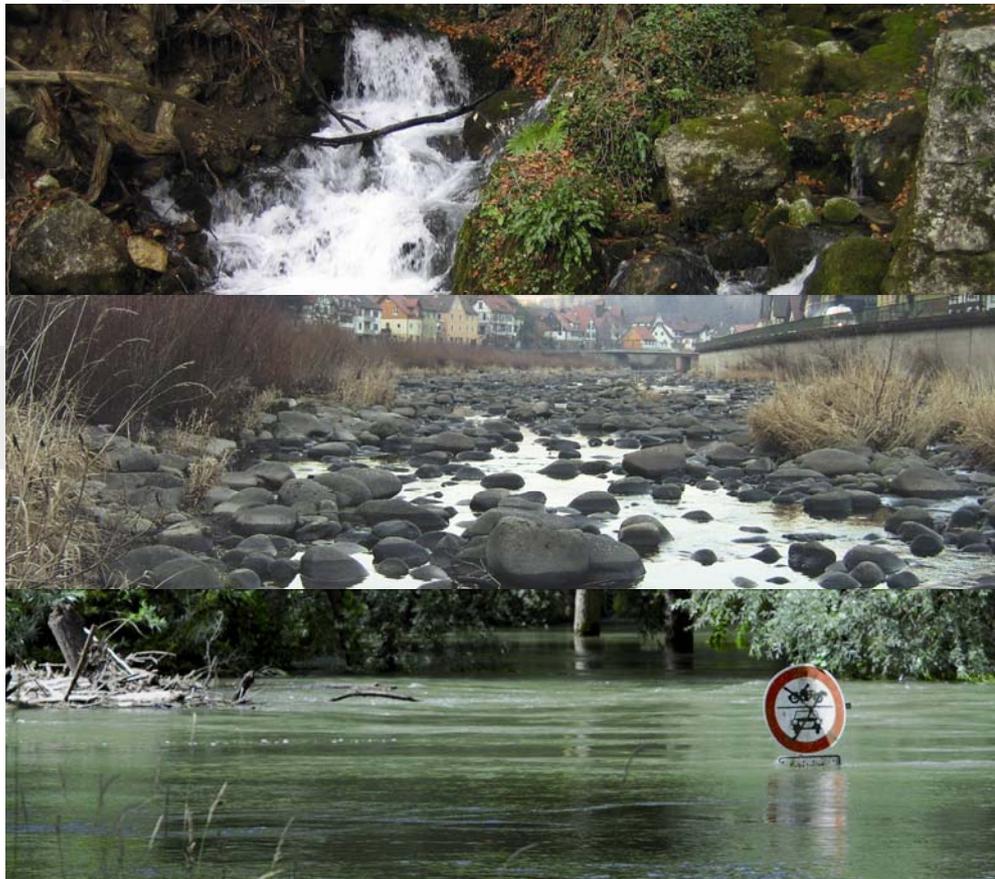




Klimawandel in Süddeutschland

Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen

Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA



Monitoringbericht 2011



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung.....	3
1 Klimamonitoring im Rahmen des Vorhabens KLIWA.....	6
2 Methodisches Vorgehen.....	7
3 Lufttemperatur.....	9
3.1 Bisherige Auswertungen.....	9
3.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung.....	9
3.3 Neue Ergebnisse.....	10
4 Niederschlag.....	15
4.1 Bisherige Auswertungen.....	15
4.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung.....	15
4.3 Neue Ergebnisse.....	16
5 Hochwasserabflüsse.....	22
5.1 Bisherige Auswertungen.....	22
5.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung.....	22
5.3 Neue Ergebnisse.....	23
6 Niedrigwasserabflüsse.....	28
6.1 Bisherige Auswertungen.....	28
6.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung.....	28
6.3 Neue Ergebnisse.....	29
7 Grundwasserstände und Quellschüttungen.....	33
7.1 Bisherige Auswertungen.....	33
7.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung.....	33
7.3 Neue Ergebnisse.....	34
8 Langzeituntersuchungen im Bodensee.....	37
8.1 Wasserstand.....	37
8.2 Temperatur und Durchmischung.....	37
9 Voraussetzungen für das weitere Klimamonitoring.....	39
10 Literaturverzeichnis.....	40

Impressum

Bearbeiter des Monitoringberichts:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Federführung):

Hans Weber & Holger Komischke

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg:

Vassilis Kolokotronis

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

Andreas Meuser

Deutscher Wetterdienst:

Monika Rauthe & Annegret Gratzki

Bilder Frontseite: Oben - WWA Rosenheim; Mitte und Unten – Hennegriff

Bilder Seite 39: Links - Störmer; Rechts – Mahringer

Korrigierte Version vom 13.04.2012 / Änderung Abb. 7: Korrigierter Wert für Untersuchungsgebiet R1

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

Zusammenfassung

Das Monitoring zum Klimawandel in Süddeutschland ist ein wichtiger Projektbereich des Vorhabens KLIWA mit dem die Thematik „Klimawandel und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ bearbeitet wird. Damit ist ein langfristig angelegtes, einheitliches Vorgehen beabsichtigt, durch das verschiedene relevante meteorologische und hydrologische Kenngrößen in ihrer zeitlichen Entwicklung erfasst und in regelmäßigen Abständen zeitnah ausgewertet werden sollen, um die Auswirkungen des Klimawandels zu verfolgen. Diese Auswertungen werden in Klimamonitoringberichten veröffentlicht. Bisher sind die Langzeituntersuchungen als KLIWA-Berichte sowie ein erster Monitoringbericht in 2008 herausgegeben worden. Mit diesem aktuellen Klimamonitoringbericht sollen Veränderungen des regionalen Klimas und des Wasserhaushalts in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz bis zum Jahre 2010 verfolgt und bewertet werden. Die Untersuchungen in diesem Kurzbericht sind die Fortführung der in KLIWA durchgeführten Langzeituntersuchungen und beschreiben wesentliche Ergebnisse unter Berücksichtigung der Veränderungen in den letzten 10 Jahren. Die Kernaussagen zur Klimaentwicklung in Süddeutschland basieren auf der Annahme eines linearen Trends in der jeweils betrachteten Zeitreihe. Sie lassen sich für die einzelnen, den Wasserhaushalt beeinflussenden Kenngrößen, wie folgt zusammenfassen:

Lufttemperatur

- In den Jahren 2006 bis 2010 hat sich der Anstieg der Lufttemperatur im Jahresmittel in Süddeutschland weiter fortgesetzt. Für den Zeitraum 1931 bis 2010 ist eine Zunahme des Gesamttrends auf durchschnittlich ca. +1,1 °C sowie eine Verstärkung der Trendsignifikanz festzustellen.
- Im Vergleich zwischen Winter- und Sommerhalbjahr setzt sich das schon im letzten Monitoringbericht beschriebene Verhalten weiter fort: Die Erwärmungszunahme fällt in den letzten Jahren im Sommer stärker aus als im Winterhalbjahr. Dennoch ist der Gesamttrend im Winterhalbjahr bisher insgesamt immer noch stärker ausgeprägt (Winterhalbjahr: +1,1 bis +1,4 °C/80 a; Sommerhalbjahr: +0,6 bis +1,0 °C/80 a).
- Für fast alle Monate zeigen sich Zunahmen der mittleren Lufttemperatur. Die stärksten positiven Trends im Jahresverlauf sind dabei in den Monaten Dezember, Januar, Februar, Mai und August zu finden. Nur im Monat September sind über den Gesamtzeitraum leicht negative Trends zu beobachten, die aber nicht signifikant sind.

Niederschlag

- Die Trends (1931 bis 2010) der mittleren Gebietsniederschlagshöhe sind insgesamt schwächer und weniger signifikant als im letzten ausgewerteten Zeitraum (1931 bis 2005), wobei es generell positive Trends im Winterhalbjahr (+7 % bis +28 %) und keine eindeutige Entwicklung im Sommerhalbjahr (-10 % bis +5 %) gibt. In den letzten 10 Jahren ist eine Tendenz zu positiven Trends im Sommerhalbjahr und eine Verringerung der positiven Trends im Winterhalbjahr zu beobachten.
- Die Trends im Starkniederschlag (Dauer=24h) sind regional uneinheitlicher als im Gebietsniederschlag. Hier gibt es weiterhin klare positive Trends im Winter (+7 % bis +40 %), eine Voraussetzung für eine Zunahme der winterlichen Hochwasserlagen. Im Sommerhalbjahr sind die Trends regional uneinheitlich ohne eindeutige Entwicklung, aber häufig stärker ausgeprägt als beim Gebietsniederschlag. Aussagen über Kurzzeitergebnisse (< 1 Tag) konnten mit dieser Studie wegen des unzureichenden dichten Messnetzes mit hoher zeitlicher Auflösung nicht getroffen werden.



Hochwasserabflüsse

- Für den gesamten betrachteten Zeitraum 1932 bis 2010 ergeben sich im KLIWA-Untersuchungsgebiet überwiegend Trends zu steigenden Hochwasserabflüssen im Gesamtjahr bei ca. 73 % der Pegel. Dies gilt in gleicher Weise auch für das hydrologische Winterhalbjahr (ca. 75 % der Pegel) und in abgeschwächter Form im Sommerhalbjahr (ca. 59 % der Pegel). Von den ermittelten Zunahmen sind allerdings im Mittel nur 30 bis 40 % der Trends signifikant.
- Für die beiden verglichenen Zeiträume 1932 bis 2000 und 1932 bis 2010 lassen sich relativ ähnliche Ergebnisse erkennen. Durch die Zeitreihenverlängerung bis 2010 schwächen sich die zunehmenden Trends allerdings gegenüber den Betrachtungen bis 2000 etwas ab, auch zu erkennen in einer geringeren Anzahl signifikant zunehmender Trends. Die Auswertungen zeigen somit, dass sich nach 2000 das allgemeine Hochwasserabflussverhalten in vielen Flussgebieten verändert hat.
- Die Betrachtung des Jahresgangs der monatlichen Abflusshöchstwerte zeigt analog zum vorausgehenden Klimamonitoringbericht weiterhin, dass die Erhöhung im hydrologischen Winterhalbjahr besonders ausgeprägt ist; dies ist für die meisten Gebiete Süddeutschlands auch die Jahreszeit mit der größten Hochwassergefährdung.

Niedrigwasserabflüsse

- Die durchgeführten Auswertungen erlauben für das gesamte KLIWA-Gebiet keine eindeutigen Rückschlüsse für das Langzeitverhalten der Niedrigwasserabflüsse. Die Anzahl der Pegel mit zunehmenden und abnehmenden Tendenzen sind im Zeitraum 1951 bis 2010 für die jährlichen Niedrigstwasserabflüsse (Tageswerte / 7 Tages-Mittel) relativ ausgeglichen. Zudem sind die ermittelten Veränderungen mehrheitlich nicht signifikant.
- Die maximale Dauer von Niedrigwasserperioden war überwiegend rückläufig; dies deutet auf eine Entspannung der Niedrigwassersituation in den letzten Jahren hin. Allerdings sind diese Tendenzen bisher größtenteils nicht signifikant.
- Die Zeitreihenverlängerung bis 2010 zeigte keine Veränderungen im Trendverhalten. Zudem muss bei der Interpretation beachtet werden, dass gerade für die untersuchten Niedrigwasserabflüsse eine Beeinflussung durch wasserwirtschaftliche Nutzung nicht auszuschließen ist. Diese kann klimatisch bedingte Veränderungen überlagern.

Grundwasserstände und Quellschüttungen

- Signifikante Veränderungen im innerjährlichen Verlauf (Saisonalität) lassen sich bei zahlreichen Messstellen beobachten. So tritt der Maximalwert innerhalb eines Jahres, bezogen auf den Gesamtbeobachtungszeitraum, häufig in den Monaten März bis Mai auf. Ermittelt man diesen Zeitpunkt jedoch gleitend über die jeweilige Gesamtzeitreihe, so zeigt sich bei 45 % der Messstellen eine statistisch signifikante Tendenz zu einem immer früheren Auftreten des Maximums (im Mittel etwa 0,6 Tage/Jahr, also einer Verschiebung von 4 bis 6 Wochen seit 1950). Ebenso ist immerhin bei etwa 40 % der Messstellen eine statistisch signifikante Tendenz zur Verstärkung der Amplitude zwischen dem Minimum und dem Maximum des Jahresgangs bzw. hin zu einer insgesamt höheren Variabilität zu erkennen.

- Bezogen auf ihr mittleres Verhalten zeigen zahlreiche Messstellen (67 %) eine signifikante (langfristige) Tendenz hin zu niedrigeren Werten. Für die Teilzeitreihen der letzten 20 bis 30 Jahre ist diese Entwicklung (Abnahmen) jedoch inzwischen bei vielen Messstellen in Stationarität oder Zunahme umgeschlagen. So ergibt sich nach 1980 ein vergleichsweise uneinheitliches Gesamtbild, bei dem lediglich noch ca. 28 % der Messstellen signifikante Abnahmen aufweisen.
- Keine signifikanten Veränderungen wurden bisher bezüglich der Extremwerte (jährliche Minima und Maxima) sowie bezüglich des Eintritts jährlicher Defizitphasen, partieller Defizite und Defizitdauern festgestellt.

Verhalten des Bodensees

- Seit etwa den 1990er Jahren fällt ein im Mittel deutlich niedrigerer sommerlicher Wasserstand auf. Verschiedene Einflussfaktoren kommen dabei als Ursache in Frage: Wärmere Winter haben die Schneespeicherung im alpinen Einzugsgebiet verringert, mit weniger Schmelzwasser im Frühjahr und Sommer. Veränderungen bei der Verdunstung wie auch der saisonalen Niederschlagsverteilung sind weitere plausible Ursachen.
- Eine regelmäßige Beobachtung der thermischen Verhältnisse im Bodensee ist für zahlreiche limnologische Fragestellungen und für die Untersuchung klimatisch bedingter Veränderungen von hoher Bedeutung. Der beobachtete Anstieg der Lufttemperatur in den letzten Jahrzehnten spiegelt sich auch in der oberflächennahen Wassertemperatur wieder.
- Bei der Betrachtung der winterlichen Durchmischung des Bodensees ergibt sich, dass seit Ende der 1980er Jahre der Tiefenwasseraustausch häufiger schwach verlief, möglicherweise aufgrund wärmerer winterlicher Temperaturen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die dargestellten Untersuchungsergebnisse und ihr Vergleich mit den vorausgehenden Betrachtungen die Zweckmäßigkeit des Klimamonitorings deutlich aufzeigen. Aus den unterschiedlichen Bestandsaufnahmen zu den verschiedenen Kenngrößen kann gefolgert werden, dass sich der Klimawandel in Süddeutschland bereits deutlich bemerkbar macht und weiter fortsetzt.

Eine Fortführung des Klimamonitorings und seine Ausweitung auf zusätzliche Kenngrößen wie zum Beispiel der Gewässerbeschaffenheit sind ein erklärtes Ziel im Rahmen des KLIWA-Untersuchungsprogramms. Das setzt weiterhin flächendeckende meteorologische und hydrologische Messnetze voraus, mit denen langfristig und kontinuierlich Messdaten gewonnen werden. Sie sind zudem hinsichtlich der heutigen und zukünftigen fachlichen Anforderungen zu optimieren und in erforderlichem Maße weiter auszubauen. Ohne umfassende Messdaten sind Aussagen zur Vergangenheit und eine Abschätzung der möglichen Entwicklung in der heute erforderlichen Qualität nicht möglich.



1 Klimamonitoring im Rahmen des Vorhabens KLIWA

Der Klimawandel ist kein Phänomen der Zukunft, sondern wir leben bereits mit ihm. Seine Auswirkungen sind auch in Süddeutschland spürbar. Durch langfristige Änderungen der meteorologischen Kenngrößen sind auch der Wasserhaushalt und davon abhängig die Wasserwirtschaft auf vielfältige Weise betroffen. Um daher 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 „Klimaveränderung 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 ist als ein wichtiger Projektbereich die (retrospektive) Untersuchung des Langzeitverhaltens hydro(meteoro)logischer Messzeitreihen vorgesehen (vgl. Abb. 1), um sich bereits abzeichnende Klimaänderungssignale zu detektieren. Erste Auswertungen zu den Messgrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Abfluss wurden in den ersten Jahren des Vorhabens KLIWA durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in der Reihe „KLIWA-Berichte“ veröffentlicht. Allerdings konnten dabei zunächst nur die Messzeitreihen bis spätestens 2000 berücksichtigt werden. Die Ergebnisse unter Berücksichtigung einer Verlängerung der Messreihen bis 2005 wurden in einem ersten Monitoringbericht [KLIWA (Ed.)] dargestellt. Nun liegen die Ergebnisse der weiteren Verlängerung der Messreihen bis 2010 vor. Deren wesentliche Auswertungsergebnisse sind in diesem Kurzbericht im Sinne eines Klimamonitorings dargestellt, erstmals auch für den KLIWA-Partner Rheinland-Pfalz.

Dieses Monitoring zum Klimawandel in Süddeutschland, das auf einem integrierten Messnetz KLIWA aufsetzt (Messstationen des DWD und der Länder), ist ein eigener 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.

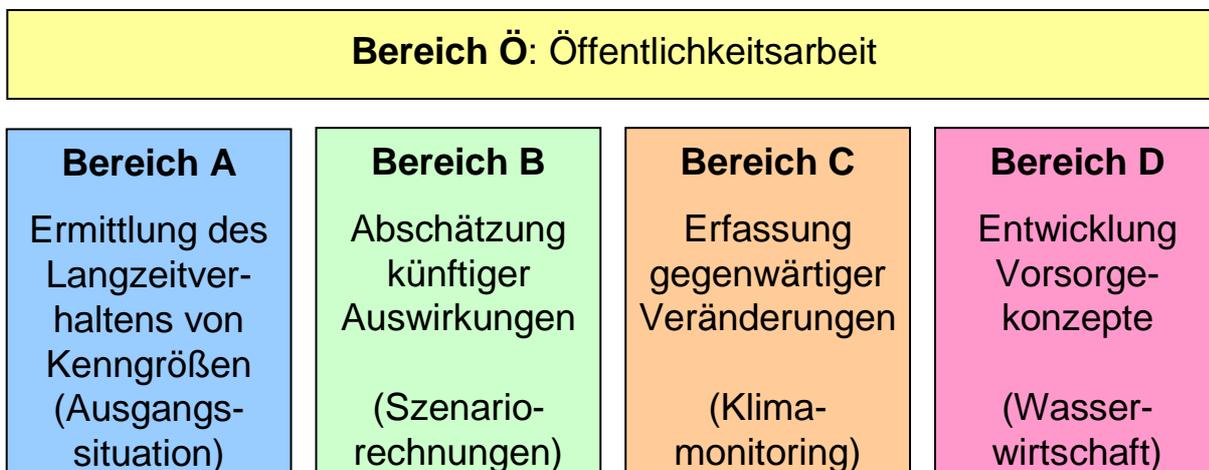


Abb. 1: Struktur des Vorhabens KLIWA – Projektbereiche

2 Methodisches Vorgehen

Grundlage des Klimamonitorings 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 beurteilen zu können. Dies stellt eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Herleitung von wasserwirtschaftlichen Handlungsempfehlungen dar.

Es liegen bisher in KLIWA bereits umfangreiche Untersuchungsergebnisse zum Langzeitverhalten für die nachstehenden, den Wasserhaushalt beeinflussenden Kenngrößen vor.

Für die Meteorologie: Gebietsniederschlag - Starkniederschlag - Lufttemperatur - Verdunstung - Globalstrahlung - Schneedecke

Für die Hydrologie: Mittlere Abflüsse - Hochwasserabflüssen - Grundwasserständen/Quellschüttungen - chemische/physikalische Langzeitdaten des Bodensees

Diese bisherigen Ergebnisse sind ausführlich in einer Reihe von KLIWA-Berichten [KLIWA-Hefte 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12 und 16] veröffentlicht und stellen die Basisauswertungen für die jeweilige Fortführung dar. Diese erfolgte zum ersten Mal in einem Monitoringbericht [KLIWA (Ed.)] für den Zeitraum 1931 bis 2005. Im Rahmen des hier vorliegenden zweiten Monitoringberichts sind die Ergebnisse der fortgeschriebenen Zeitreihenbewertung der Kenngrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Hochwasserabflüsse dargestellt und damit die vorhandenen Langzeituntersuchungen bis 2010 ausgedehnt worden. Gegenüber dem ersten Monitoringbericht werden zudem erstmals Kenngrößen des Niedrigwasserabflusses, der Grundwasserstände und des Bodensees betrachtet.

Für eine Kurzdarstellung waren folgende Aspekte wesentlich:

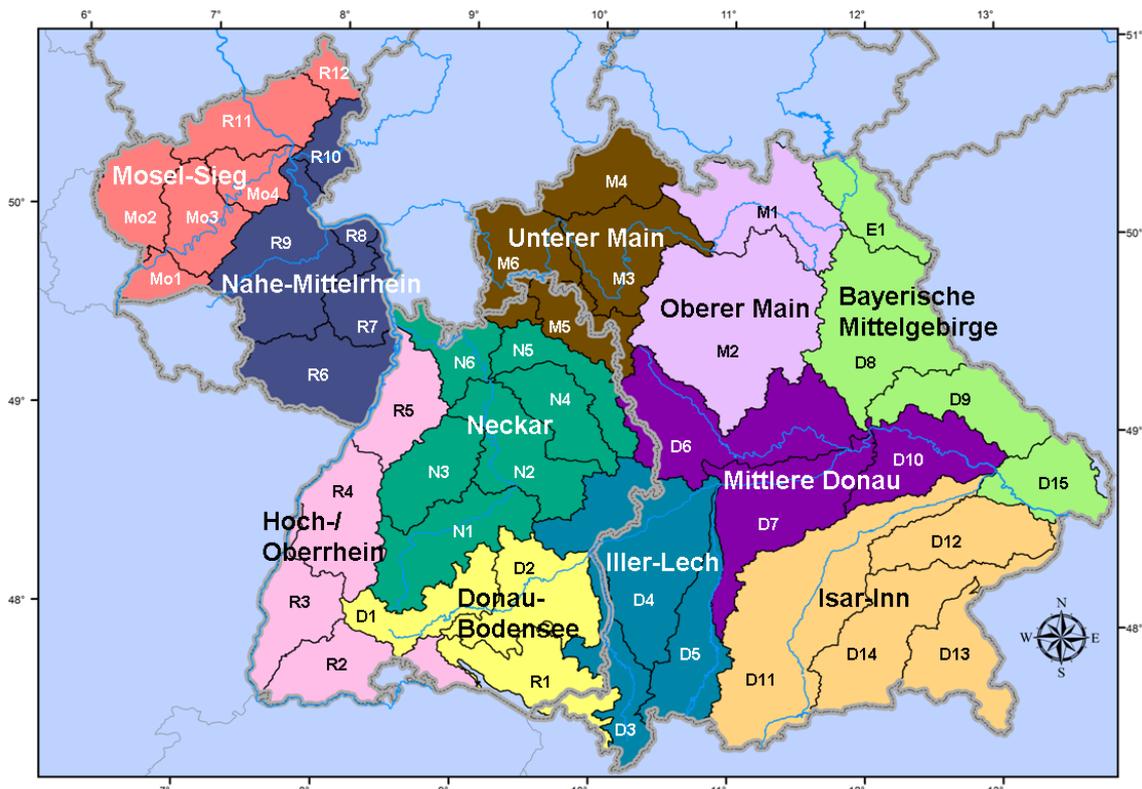
Da sich dieser Bericht als Fortführung des Klimamonitorings versteht, wurde auf eine konsistente Auswertung und Darstellung gegenüber dem ersten Monitoringbericht geachtet. Für die betrachteten hydrometeorologischen Größen ist es sinnvoll, schwerpunktmäßig die aus Messstationen abgeleiteten Gebietswerte zu betrachten. Für die Auswertung und Darstellung der Gebietsmittelwerte werden abhängig von der betrachteten Kenngröße die 11 KLIWA-Regionen oder die 44 KLIWA-Untersuchungsgebiete gewählt, die nach den verschiedenen Flussgebieten Süddeutschlands festgelegt wurden und bisher Grundlage verschiedener Datenanalysen waren (siehe Abb. 2). Die hydrologischen Kenngrößen werden für das gesamte KLIWA-Untersuchungsgebiet zusammengefasst.

Die ausgewählten Kenngrößen stehen als Jahresserien zur Verfügung. Alle berücksichtigten meteorologischen Datenserien haben eine Zeitreihenlänge von 1931 bis 2010; für die hydrologischen Winterhalbjahre wurde deshalb die Periode 1932 bis 2010, für die hydrologischen Sommerhalbjahre die Periode 1931 bis 2010 ausgewertet. Dieser Unterschied um ein Jahr wird im Folgenden nicht weiter berücksichtigt und es wird in der Regel die Bezeichnung von 1931 bis 2010 verwendet. Die Verfügbarkeit und betrachteten Zeiträume für die hydrologischen Kenngrößen sind bei den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

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, wie zuverlässig oder unsicher ein ermittelter Trend ist, also ob eine Änderung überwiegend zufällig durch die natürliche Variabilität der Werte hervorgerufen wird oder ob auch eine tatsächliche 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. Zusätzlich ist teilweise das gleitende Mittel über 10 Jahre dargestellt, um die kurzfristigen Schwankungen aus der Zeitreihe zu nehmen. Dabei ist zu beachten, dass der Filter für das gleitende Mittel am Anfang und Ende der Zeitreihe mit weniger Jahren ausläuft. Die Trendgröße selbst ist - abhängig von der jeweiligen betrachteten Kenngröße - entweder als absoluter oder als relativer Wert angegeben. Eine Veränderung der Trends aufgrund der erweiterten Zeitreihenlänge bis 2010 wird im Vergleich zu dem Zeitraum bis 2000 betrachtet. Dies ist der gleiche Zeitraum der Basisauswertungen, zu dem auch die fortgeschriebenen Zeitreihen bis 2005 des ersten Monitoringberichts 2008 in Beziehung gesetzt wurden.



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
- 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 Landesgrenzen

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
 - R 6 Rhein und Schwarzbach
 - R 7 Rhein, Isenach bis Nahe (ohne Selz)
 - R 8 Selz
 - R 9 Rhein und Nahe bis zur Lahn
 - R 10 Lahn, Grenze zu Hessen bis zur Mündung
 - R 11 Ahr, Wied und Nette
 - R 12 Sieg

E Elbe

- E 1 Sachs. Saale u. Eger

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

Mo Mosel

- Mo 1 Mosel rechtsseitig von der Grenze bis zur Ruwer
- Mo 2 Mosel linksseitig von der Grenze bis Kyll
- Mo 3 Mosel von der Dhron bis zum Alfbach
- Mo 4 Mosel bis zur Mündung

Abb. 2: Übersicht über die 44 KLIWA-Untersuchungsgebiete und 11 KLIWA-Regionen

3 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 [KLIWA Heft 5] und 1931 bis 2005 [KLIWA (Ed.)] untersucht. Ausgewertet wurde das Trendverhalten der Jahresmitteltemperaturen und der Monatsmitteltemperaturen, wodurch markante innerjährliche Unterschiede der Lufttemperaturänderungen aufgezeigt werden konnten. Die Zeitreihe 1931-2005 ist im Untersuchungsraum neben periodischen Schwankungen insgesamt von einem starken Anstieg der Lufttemperatur gekennzeichnet, wobei dieser Anstieg seit Ende der achtziger Jahre besonders auffällig ist. Die signifikante Zunahme der Jahresmitteltemperaturen resultiert im Wesentlichen aus einem flächendeckend zu verzeichnenden Anstieg der mittleren Lufttemperaturen in den Monaten Dezember bis März sowie August und Oktober, während andere Monate regional zum Teil auch nicht signifikante Rückgänge zeigen. Schwerpunkt der Temperaturzunahme bis 2005 gegenüber 1931 bis 2000 war das Sommerhalbjahr, dessen Erwärmung gegenüber dem Winterhalbjahr aufgeholt hat. Im Langzeitverhalten seit 1931 ist jedoch weiterhin die Temperaturzunahme im Winterhalbjahr größer als die im Sommerhalbjahr.

3.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

Durch Verlängerung der Untersuchungsperiode bis einschließlich 2010 wird die weitere Trendentwicklung der Lufttemperaturen im süddeutschen Untersuchungsraum bewertet. Von großem Interesse ist beispielsweise, ob und in welchem Maße sich der globale Erwärmungstrend auch in Süddeutschland fortgesetzt hat [WMO (Ed.)].

Als Datengrundlage der Langzeituntersuchung dienen die Stationszeitreihen der täglichen Lufttemperatur von bis zu 220, über das Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz verteilten Stationen des DWD-Messnetzes, deren Zeitreihen als ausreichend homogen und lang angesehen werden. Allerdings ist die verfügbare Stationszahl in den Jahren 1931 bis 1950 deutlich geringer. Vor der Berechnung von Gebietsmittelwerten werden die Messdaten regionalisiert [zur Methodik vgl. Müller-Westermeier 1995; Maier 2010]. Aufgrund des hohen Aufwandes des bisher verwendeten Verfahrens zur Regionalisierung der Lufttemperatur aus Tagesdaten [KLIWA-Heft 5; KLIWA (Ed.)] wurde auf die routinemäßig erstellten Monatsrasterdaten der Nationalen Klimaüberwachung im DWD zur Ermittlung der halbjährlichen und jährlichen Mittelwerte der Lufttemperaturen für die Trendanalysen zurückgegriffen. Vergleiche der beiden Auswertungen bis 2005 haben gezeigt, dass alle Aussagen der vorherigen Auswertungen auch mit der neuen Datenbasis unverändert erhalten bleiben.

Die Änderungen der Lufttemperaturtrends sind flächendeckend weitgehend ähnlich. Die Darstellung und Beschreibung des Zeitreihenverlaufes bis 2010 und des Trendvergleiches der 70- bzw. 80-jährigen Zeitreihen erfolgt daher nachstehend nur für die größeren Flächeneinheiten der 11 KLIWA-Regionen.

Neben der Darstellung der Trendauswertungen der untersuchten Zeitreihen gemäß früherer Untersuchungen in KLIWA werden die Ergebnisse auch als Ringdiagramme dargestellt. Mit den Ringdiagrammen ist es möglich, den Jahresgang der Trends monatsweise und quartalsweise in komprimierter Form zu präsentieren. Sie sind als Ergänzung zu den Flächendarstellungen gedacht, da sie zur Übersichtlichkeit die Signifikanz der Veränderungen nicht enthalten.



3.3 Neue Ergebnisse

Zeitreihen der Gebietsmittelwerte

In Abb. 3 sind die Mitteltemperaturen der letzten 5 Jahre und der Vergleich mit dem langjährigen Mittel 1961 bis 1990 (Referenzperiode der WMO) dargestellt. Die Mitteltemperaturen liegen zwischen 8,0 und 9,9 °C, die Abweichungen zu 1961 bis 1990 bei etwa +1 °C. Zu den fünf Jahren davor (2001 bis 2005) ergibt sich demnach kaum eine Änderung. Dass sich die generelle Zunahme der Lufttemperatur in Abb. 3 nicht widerspiegelt, liegt vor allem an dem Jahr 2010, in dem die Temperaturen für das KLIWA-Untersuchungsgebiet 1 °C und mehr niedriger waren als in den Jahren davor.

In Abb. 4 sind beispielhaft die Zeitreihenverläufe der Jahresmitteltemperaturen für die Regionen Mosel-Sieg, Neckar und Isar-Inn dargestellt. Der Verlauf ist für alle 11 KLIWA-Regionen grundsätzlich ähnlich. Es zeigt sich über den 80-jährigen Zeitraum eine deutliche Zunahme der Lufttemperatur, wobei sich jedoch immer wieder wärmere Perioden mit etwas kälteren abwechseln. Diese Schwankungen werden durch großräumige atmosphärische Muster wie die Nordatlantik-Oszillation (NAO) verursacht. Grundsätzlich zeigt sich in allen Regionen des Gesamttraumes ein ähnlicher Verlauf der Gebietsmitteltemperaturen. Dabei sind in den letzten 20 Jahren nur die Jahre 1996 und 2010 auffällig kühl, wobei die absoluten Minima in den Zeitreihen vor 1960 nie erreicht werden. Für die Höchstwerte gilt weiterhin, dass das Niveau vom Jahr 1994 nicht wieder erreicht wird, aber nach 2000 von 10 Jahren je nach Region 8 bzw. 9 Jahre erheblich über dem Durchschnitt liegen.

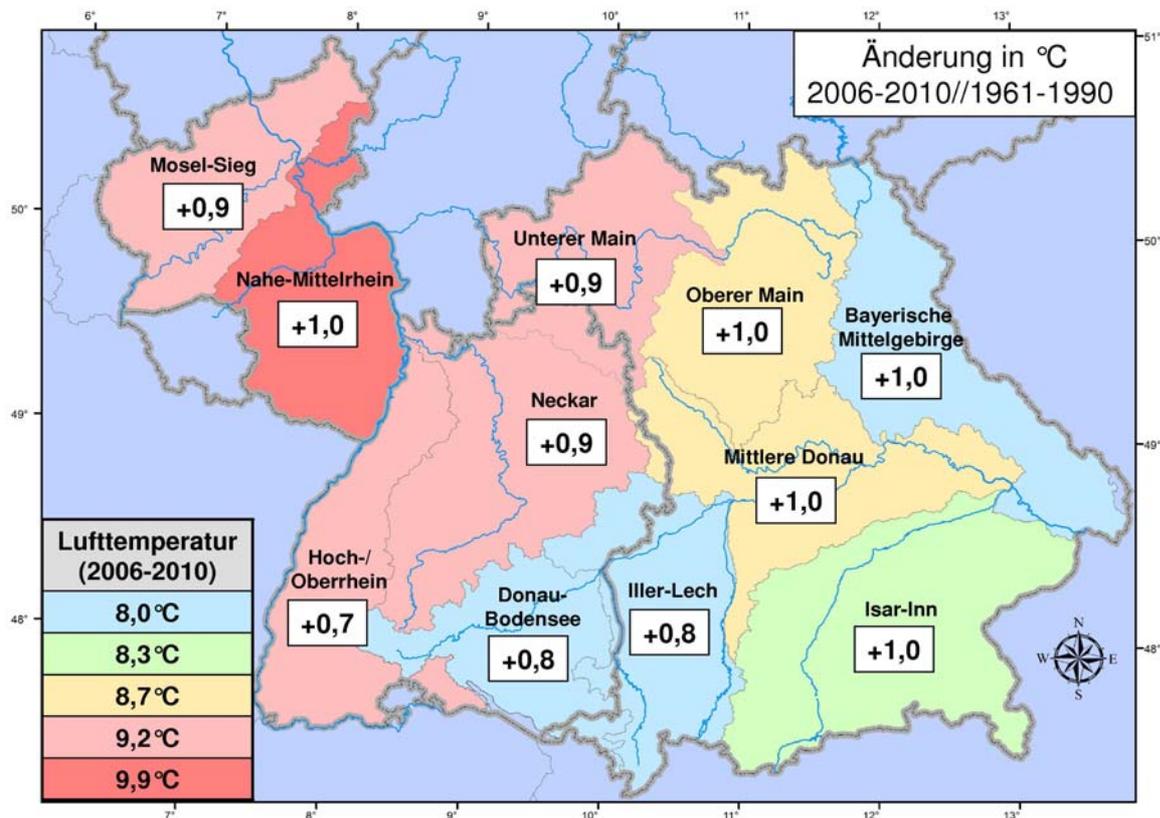


Abb. 3: Mittlere Lufttemperatur in °C im Zeitraum 2006-2010 (farbig) und Abweichung dieser Jahre vom Mittelwert 1961-1990 (Zahlen) für die KLIWA-Regionen

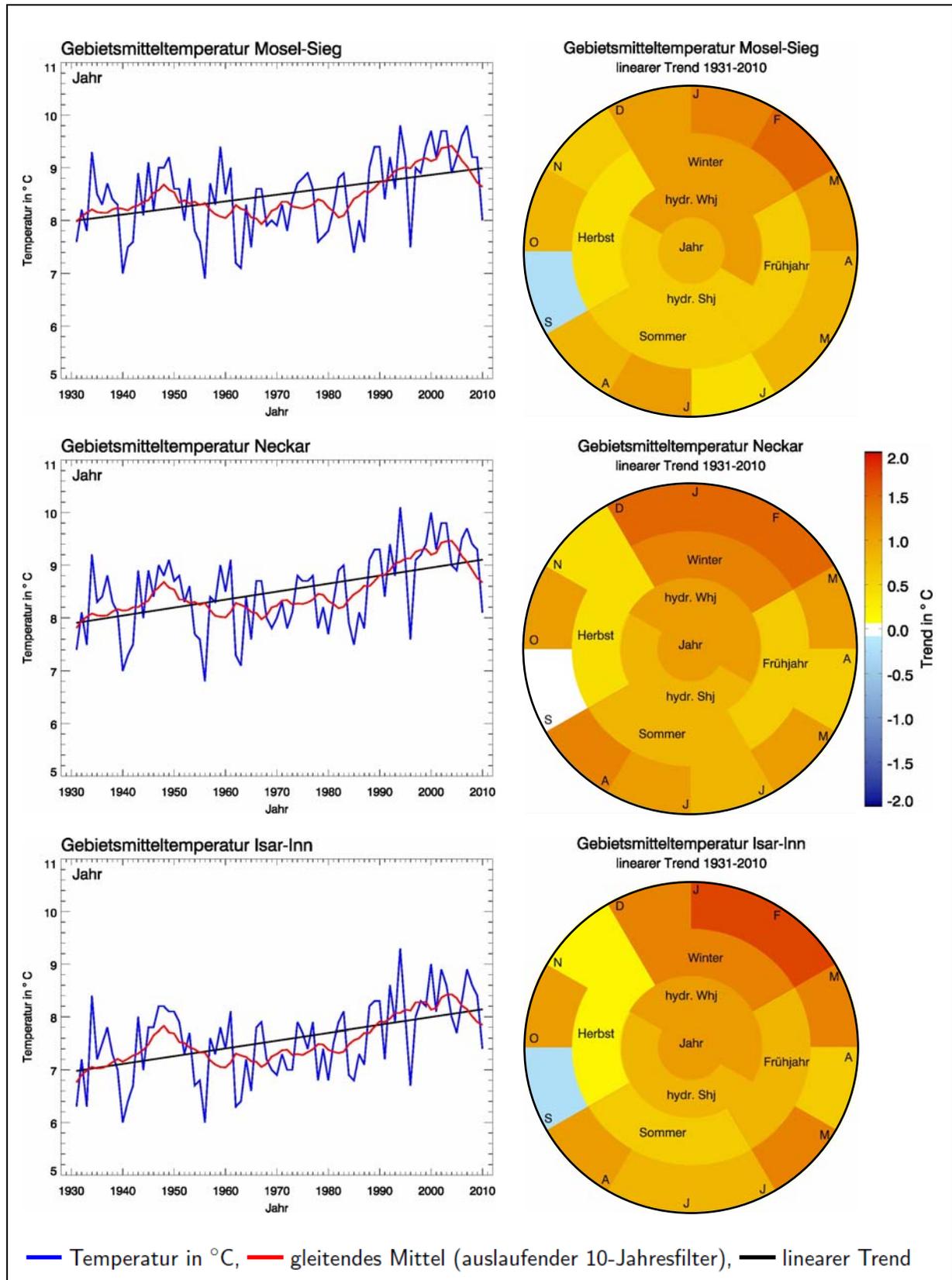


Abb. 4: Gebietsmitteltemperaturen in den Regionen Mosel-Sieg, Neckar und Isar-Inn; Zeitraum 1931-2010 / Zeitreihen und Trends für die Jahresmitteltemperaturen sowie Ringdiagramme mit Trendangaben



In den hydrologischen Halbjahren (nicht dargestellt) sind generell ähnliche Verläufe wie bei den Jahresmitteln zu sehen. Jedoch zeigen die Zeitreihen der Mitteltemperaturen für das Winterhalbjahr eine wesentlich höhere Variabilität im Vergleich zu den Jahres- und Sommerhalbjahreszeitreihen. In den letzten 5 Jahren liegen auch die vermeintlich kalten Winter 2008/09 und 2009/2010 nicht wesentlich unter dem Durchschnitt der Gesamtzeitreihe. Zwar waren wohl einzelne Monate im Winter wesentlich kälter als in den Jahren zuvor, aber aufgrund auch sehr milder Monate nicht das gesamte Halbjahr. Der Hitzesommer 2003 bleibt im gesamten Untersuchungszeitraum das Rekordjahr mit Ausnahme der Regionen Nahe-Mittelrhein und Mosel-Sieg, für diese beiden Regionen in Rheinland-Pfalz war 2006 das wärmste Sommerhalbjahr.

Trends der Gebietsmittelwerte

Für alle 11 KLIWA-Regionen zeigt der lineare Trend der Jahresmitteltemperaturen ein Zunahme von $+0,9$ bis $+1,2$ °C/80 a (siehe Beispielreihen in Abb. 4). Da für hydrologische Betrachtungen der Jahresverlauf wichtig ist, werden in Folgenden die hydrologischen Halbjahre genauer beschrieben.

Winterhalbjahr (November bis April)

Die Winterhalbjahrestemperaturen der Zeitreihe 1931 bis 2010 weisen in allen Regionen des Untersuchungsraumes einen signifikanten positiven Trend auf (siehe Abb. 5), der offenbar wesentlich durch die Abnahme extrem kalter Winterhalbjahresperioden bedingt ist. Das Winterhalbjahr weist mit Zunahmen zwischen $+1,1$ und $+1,4$ °C/80 a im Vergleich stärkere, positive Trends als das Sommerhalbjahr und das Gesamtjahr auf. Allerdings sind diese Trends im Vergleich teilweise nicht so signifikant wie die Trends des Sommerhalbjahrs. Zu beachten ist weiterhin, dass durch die Mittelung der Lufttemperaturen über den sechsmonatigen Jahresabschnitt teilweise hydrologisch relevante Unterschiede im innerjährlichen Trendverhalten der Lufttemperaturen verwischt werden.

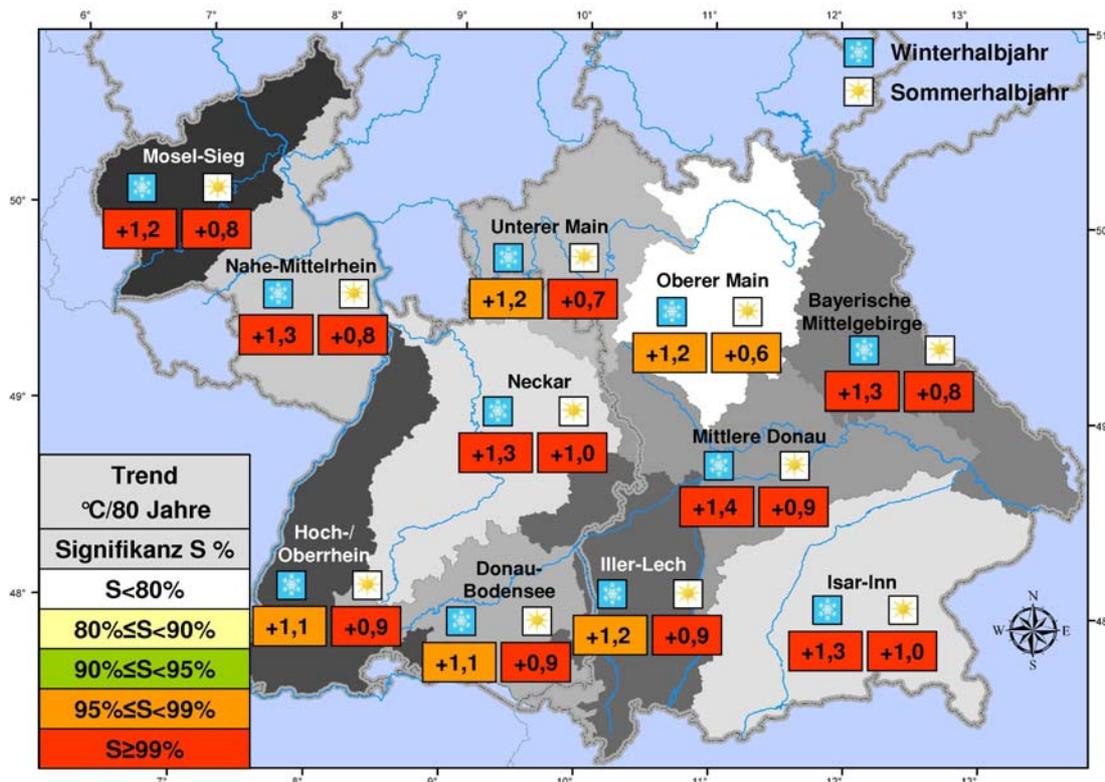


Abb. 5: Entwicklung der mittleren Lufttemperatur in den hydrologischen Halbjahren / Trends mit Signifikanz für den Zeitraum 1931-2010 (Trend in °C/80 a)

Die Ringdiagramme für 3 beispielhafte Regionen in Abb. 4 zeigen die Verteilung der Veränderungen innerhalb der Monate und Quartale. Das Winterquartal (Dezember bis Februar) weist die stärksten positiven Trends auf und beeinflusst somit auch stark die dargestellten Veränderungen für das Winterhalbjahr, während die Monate November und April die geringsten Trends im Winterhalbjahr ausweisen. Diese Veränderungen sind wiederum über den gesamten KLIWA-Raum grundsätzlich ähnlich, variieren aber in der Stärke und auch bei der Verteilung in den Monaten.

Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober)

Die Sommerhalbjahrestemperaturen der Zeitreihe 1931 bis 2010 weisen ähnlich dem Winterhalbjahr in allen Regionen einen positiven Trend auf, der allerdings nicht so stark ausgeprägt ist wie im Winterhalbjahr (vgl. Abb. 5). Jedoch besitzen die Gebietstrends zwischen $+0,6\text{ °C}$ und $+1,0\text{ °C}/80\text{ a}$ eine noch höhere Signifikanz als im Winterhalbjahr, bedingt durch die geringere Variabilität der Zeitreihen. Die Ringdiagramme für drei beispielhafte Regionen in Abb. 4 zeigen, dass der Monat September als einziger keinen positiven Gesamttrend aufweist und in Folge die Trends für den Herbst und das Sommerhalbjahr leicht abschwächt. Das Herbstquartal (September bis November) ist demzufolge in ganz Süddeutschland auch das Quartal mit dem geringsten Trend. Die stärksten positiven Trends finden sich im Sommerhalbjahr in der Regel im Mai und August.

Trendänderungen der Jahres- und Halbjahrestemperaturen

In Tabelle 1 sind die Trendwerte der Zeitreihe 1941 bis 2010 im Vergleich zu der ebenfalls 70-jährigen Referenzreihe 1931 bis 2000 für die jährlichen und halbjährlichen Gebietsmitteltemperaturen angegeben. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten wurde darauf geachtet, dass die Länge der betrachteten Zeitreihen identisch ist, nur so lässt sich feststellen, ob sich ein Trend verstärkt und dessen Signifikanz zugenommen hat. Deshalb wurde der Vergleich der Trends für die Zeiträume 1931 bis 2000 und 1941 bis 2010 gewählt. Dabei stellt sich jedoch die Problematik der unterschiedlichen Startzeitpunkte 1931 und 1941 für die Trendberechnung. Weitere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die grundlegenden Aussagen (Veränderungen in Trendrichtung und Signifikanz) davon nicht betroffen sind.

Für den Zeitreihenvergleich 1941 bis 2010 gegenüber 1931 bis 2000 ergibt sich in allen Regionen eine weitere Verstärkung des bisher schon positiven Trends. Ebenso zeigt sich eine generelle Zunahme der Signifikanz der Trends für alle KLIWA-Regionen mit bis zum Jahre 2010 überwiegend hoch-signifikanten Trends. Einzige Ausnahme bildet die Region Iller-Lech, deren Signifikanz im hydrologischen Winterhalbjahr etwas abgenommen hat, bei einem um $+0,2\text{ °C}/70\text{ a}$ stärkeren Trend. Die weitere Zunahme der Jahresmitteltemperaturen resultiert aus Temperaturzunahmen sowohl im hydrologischen Winter- als auch Sommerhalbjahr, wobei die Trendveränderungen des Sommerhalbjahres mit maximal $+0,7\text{ °C}/70\text{ a}$ stärkeren Trends dominieren. Im Langzeitverhalten seit 1931 ist die Temperaturzunahme im Winterhalbjahr jedoch weiterhin größer als im Sommerhalbjahr. Mit den Jahren 2000 bis 2010 hat aber die Erwärmung im Sommerhalbjahr gegenüber dem Winterhalbjahr aufgeholt. Weitere Auswertungen belegen zudem, dass die Stabilität der Trends in den letzten Jahren weiter zugenommen hat.



**Tab. 1: Trends der Lufttemperatur in den KLIWA-Regionen (Jahres- und Halbjahreswerte);
Gebietsmittelwerte der Zeiträume 1931-2000 bzw. 1941-2010 in °C/70 Jahre**

Region	Höhe m ü. NN	Trend der Lufttemperatur im Zeitraum 1931-2000 [°C/70 a]			Trend der Lufttemperatur im Zeitraum 1941-2010 [°C/70 a]		
		Jahr	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr	Jahr	Winter- halbjahr	Sommer- halbjahr
Nahe-Mittelrhein	284	0,6	0,8	0,2	<u>1,1</u>	1,4	0,9
Unterer Main	319	0,6	0,8	0,2	<u>1,0</u>	1,2	0,7
Mosel-Sieg	356	0,6	0,7	0,3	<u>1,0</u>	1,2	0,9
Oberer Main	404	0,5	0,7	0,1	1,0	1,3	0,7
Neckar	428	0,8	1,0	0,5	<u>1,2</u>	1,3	<u>1,0</u>
Hoch- und Oberrhein	451	0,7	0,8	0,4	<u>1,0</u>	1,1	0,8
Mittlere Donau	452	0,8	1,0	0,5	<u>1,2</u>	1,3	1,0
Bayerisches Mittelgebirge	535	0,6	0,9	0,2	<u>1,1</u>	1,3	0,8
Isar-Inn (früher Ostalpen)	639	0,8	1,0	0,5	<u>1,1</u>	1,2	0,9
Donauoberlauf und Bodensee	653	0,7	0,8	0,5	0,9	0,9	0,8
Iller-Lech (früher Westalpen)	674	0,8	0,9	0,5	1,0	1,1	0,9

Signifikanz S nach Mann-Kendall-Test: $S < 80\%$; $80\% \leq S < 90\%$; $90\% \leq S < 95\%$;
 $95\% \leq S < 99\%$; **$99\% \leq S < 99,9\%$** , **$S \geq 99,9\%$**

Beispiel Nahe-Mittelrhein: Der lineare Trend der Jahresmitteltemperaturen betrug im Zeitraum 1931 bis 2000 +0,6 °C, für den Zeitraum 1941-2010 hingegen bereits +1,1 °C. Daraus ergibt sich, dass sich die Erwärmung in den letzten 10 Jahren weiter verstärkt hat und die Jahresmitteltemperatur im Durchschnitt deutlich zugenommen hat.

4 Niederschlag

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 [KLIWA Heft 7]. Ebenfalls betrachtet und stationsbezogen ausgewertet wurde das Langzeitverhalten der Starkniederschlagshöhen in den Zeiträumen 1931 bis 2000 bzw. 1901 bis 2000 [KLIWA Heft 8]. Im ersten Monitoringbericht wurde die Auswertung bis 2005 weitergeführt. Untersuchungen haben ergeben, dass der höchste Gebietsniederschlag einer Dauerstufe in einem Zeitraum z.B. in den hydrologischen Halbjahren, die Starkniederschlagshöhen der Dauerstufe, gewonnen aus Stationswerten, gut repräsentiert.

Der mittlere Niederschlag im Winterhalbjahr zeigt für alle Untersuchungsgebiete zwischen den Jahren 1931 bis 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 bis 2005 ist im Südwesten Baden-Württembergs und den alpennahen bayerischen Gebieten keine weitere Zunahme der starken positiven Trends mehr zu beobachten, während in der nördlichen Hälfte von Baden-Württemberg und Bayern eine Verstärkung der Trends zu verzeichnen ist. Hingegen sind die Trends des mittleren Gebietsniederschlags im Sommerhalbjahr überwiegend schwach negativ, die Sommerniederschläge sind also leicht rückläufig. Diese Trends sind aber nicht signifikant. Im Vergleich der Zeitperioden 1931 bis 2000 und 1931 bis 2005 treten nur geringe Veränderungen auf. Als Ergebnis wies der mittlere Jahresniederschlag lediglich einen geringen Zuwachs auf, mit einer deutlichen Verschiebung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr.

Bei den Starkniederschlägen zeigen die Zeitreihen der halbjährlichen Tageshöchstwerte im Winterhalbjahr 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 bis 2005 brachten überwiegend keine weitere Verstärkung der bisher beobachteten Trends. Im Sommerhalbjahr sind die Trends uneinheitlich und überwiegend nicht signifikant. Die detektierte Zunahme der winterlichen Starkniederschläge blieb zwischen 2001 und 2005 auf dem bisher festgestellten, überwiegend hohen Niveau. Eine Bestätigung der erwarteten Zunahme von kleinräumigen und kurzzeitigen Starkniederschlägen hoher Intensität ist auf Basis der hier vorliegenden Auswertungen nicht möglich.

4.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

Ziel der jetzt durchgeführten Auswertungen ist es, die Untersuchungen zu beiden Aspekten des Niederschlagsverhaltens (Gebiets- und Starkniederschläge) bis zum Jahr 2010 auszudehnen und zusätzlich die Auswertungen auf Rheinland-Pfalz zu erweitern. Dabei soll besonders auf die Veränderungen seit 2000 eingegangen werden.

Für den Zeitraum seit 1931 wurden alle verfügbaren Stationswerte nach einer sorgfältigen Prüfung mit Hilfe des REGNIE-Verfahrens auf ein ca. 1x1 km² Raster interpoliert, wobei die Messungen nicht um den systematischen Niederschlagsmessfehler korrigiert wurden. Aus den REGNIE-Rasterwerten wurden anschließend die täglichen Gebietswerte der 44 KLIWA-Untersuchungsgebiete berechnet. Sie bilden die Datenbasis für die Berechnung der mittleren Niederschlagshöhen im Jahr oder Halbjahr, sowie für die Bestimmung des höchsten ein- bzw. fünftägigen Gebietswerts in den hydrologischen Halbjahren. 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 deutlich geringer als nach 1950, wobei ab 1995 ebenfalls eine Abnahme der verfügbaren Stationen im KLIWA-Gebiet auf aktuell ca. 700 beginnt. Etwa die Hälfte der verfügbaren Stationen in Deutschland sind konventionelle und damit nicht automatisch meldende Stationen, deren Datenprüfung sehr aufwendig ist. Aus diesem Grund sind für das Jahr 2010 tägliche REGNIE-Felder nur auf Basis der automatischen Stationen berechnet werden, da die übrigen Daten nicht qualitätsgeprüft vorliegen.

Die verhältnismäßig geringe Anzahl (<400) von Stationen vor 1951 im KLIWA-Gebiet wirkt sich zudem verstärkt auf die Erfassung der maximalen sommerlichen Gebietsniederschlagshöhen aus. Da im Sommer hohe Niederschläge meist bei konvektiven Wetterlagen auftreten, führt ein nicht so dichtes Messnetz dazu, dass diese kleinräumigen Niederschlagsereignisse nicht erfasst werden und damit der Gebietsniederschlag zu gering ausfällt. Oder die kleinräumigen Ereignisse werden zufällig doch erfasst, mit der Folge, dass sie ein stärkeres Gewicht im Gebietsniederschlag erhalten als beim Vorhandensein eines dichteren Messnetzes, wo Nachbarstation aufzeigen können, dass der gemessene Niederschlag nur kleinräumig war. Generell spielt auch die Niederschlagsklimatologie in den verschiedenen Regionen eine Rolle. Besonders im unteren Donaugebiet werden hohe sommerliche Niederschlagshöhen oft von sogenannten Vb-Wetterlagen hervorgerufen. Sie erzeugen hohen flächenhaften Niederschlag, der auch von wenigen Stationen im Gebiet gut erfasst wird. Demgegenüber überwiegen im Neckargebiet zum Beispiel konvektive Niederschlagsereignisse, im betrachteten Rheineinzugsgebiet kommt zusätzlich der Stau effekt des Schwarzwaldes hinzu. In Rheinland-Pfalz gibt es durch Rhein und Mosel sowie die Mittelgebirge Hunsrück, Westerwald, Eifel und Taunus lokale Effekte, welche die Niederschlagsmuster deutlich beeinflussen können. Insgesamt muss man festhalten, dass der maximale Sommerniederschlag damit deutlich ungenauer erfasst werden kann, als der winterliche Niederschlag. Entsprechend sind Trendaussagen im speziellen beim Starkniederschlag für das Sommerhalbjahr ungenauer als für das Winterhalbjahr.

4.3 Neue Ergebnisse

Mittlere Gebietsniederschlagshöhe

Die Zeitreihen des mittleren Gebietsniederschlages für das Winter- und Sommerhalbjahr im Zeitraum 1931 bis 2010 für die KLIWA-Regionen Mosel-Sieg, Neckar und Isar-Inn sind in Abb. 6 beispielhaft abgebildet. Grundsätzlich sind die Zeitreihen von einer hohen Variabilität von Jahr zu Jahr geprägt. Zwischen Winter- und Sommerhalbjahr fällt vor allem auf, dass in den flacheren Gebieten (Neckar und Mosel-Sieg) im Gegensatz zur alpennahen, stark gegliederten Gebiet (Isar-Inn) keine großen Unterschiede in der Höhe der Gebietsniederschläge der beiden Halbjahre existieren.

Die Trends der Zeitreihe von 1931 bis 2010 für die mittlere Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen **Winterhalbjahr** sind in Abb. 7 für die 44 KLIWA-Untersuchungsgebiete dargestellt. In allen KLIWA-Gebieten findet man deutlich zunehmende Trends, wobei die Stärke mit +7 bis +28 % und auch die Signifikanz unterschiedlich ausfallen. Die größten positiven Trendbeträge mit hoher statistischer Signifikanz findet man im Bereich Nord- und Mittelbayern (> +22 %). Ebenso hohe, aber nicht so deutlich signifikante positive Trends finden sich im nördlichen Schwarzwald und dem Kopfgebiet der Mosel. In den östlichen Untersuchungsgebieten von Rheinland-Pfalz, dem nördlichen Baden-Württemberg und den nordwestlichen Gebieten Bayerns sind die Trends geringer, ebenso in einigen südlichen Untersuchungsgebieten. Hier ist meist auch die Signifikanz des Trends deutlich schwächer. Keine signifikanten Trends finden sich lediglich in drei Untersuchungsgebieten.

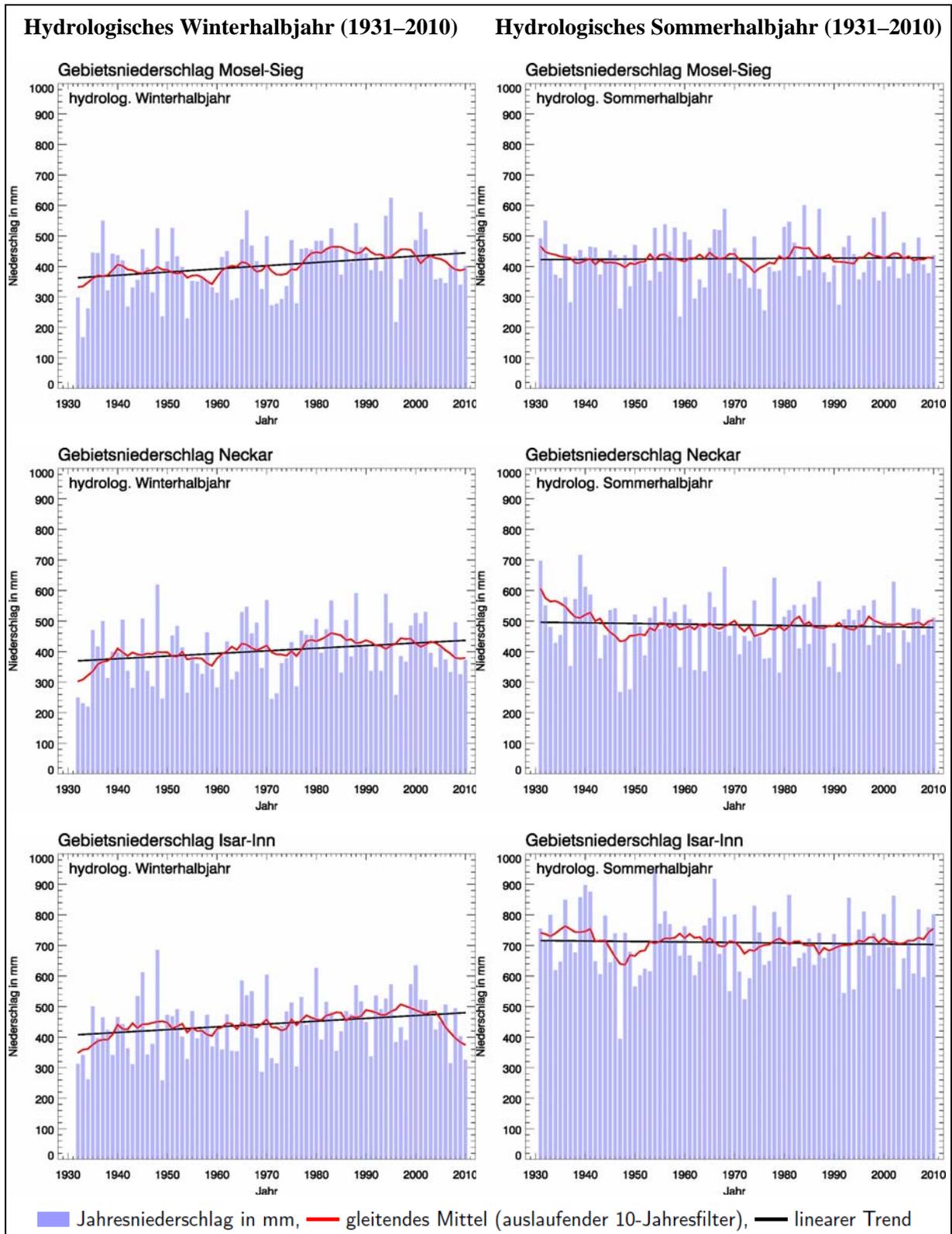


Abb. 6: Höhe und Trend der Gebietsniederschläge in den KLIWA-Regionen Mosel-Sieg, Neckar und Isar-Inn für die hydrologischen Halbjahre im Zeitraum 1931 bis 2010

Die Abb. 8 zeigt entsprechend das Trendverhalten der Gebietsniederschlagshöhen im hydrologischen **Sommerhalbjahr**. Es sind nur schwache und nicht signifikante Änderungen zu finden. In vielen KLIWA-Gebieten nimmt der mittlere Sommerniederschlag im Zeitraum 1931 bis 2010 ab. Ausnahmen sind der Osten Bayerns sowie die Mehrheit der Untersuchungsgebiete in Rheinland-Pfalz mit leicht zunehmenden Trends. Die stärksten Abnahmen (-7 bis -10 %)

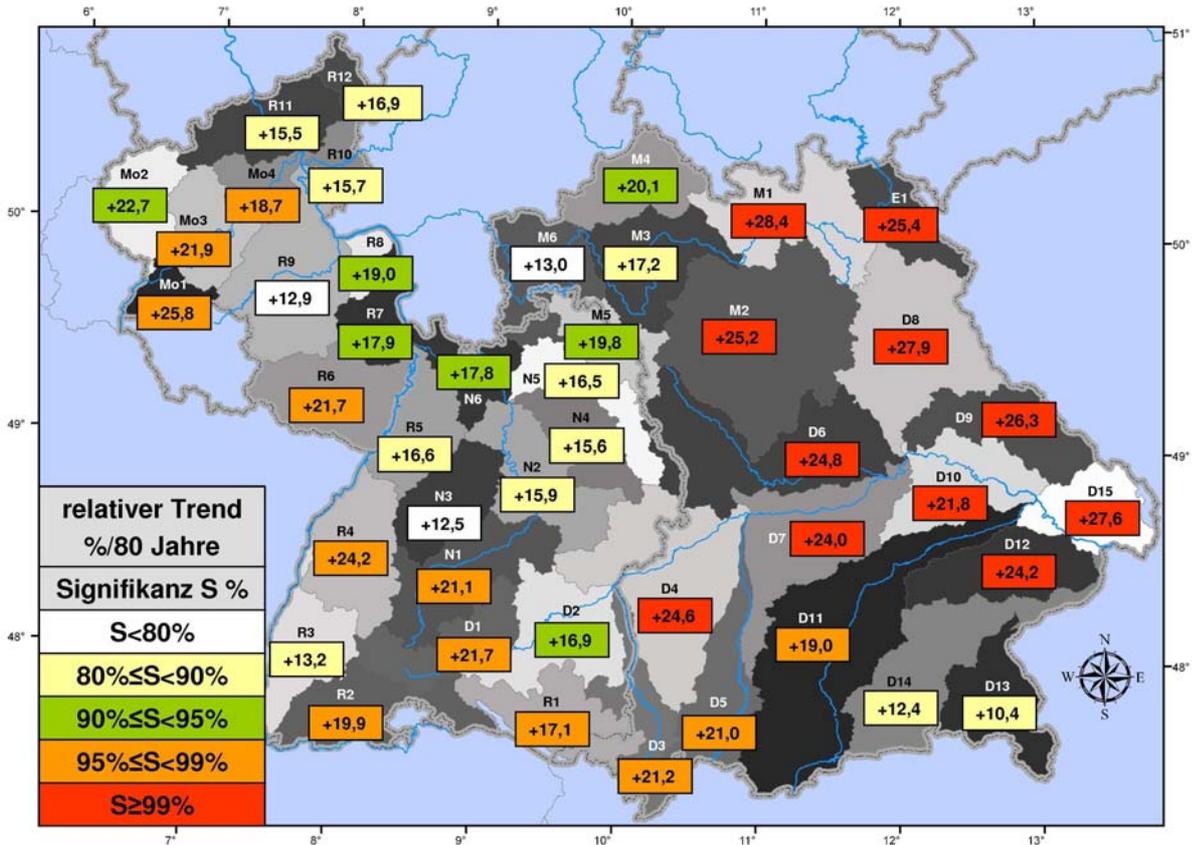


Abb. 7: Entwicklung der Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen Winterhalbjahr, relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2010)

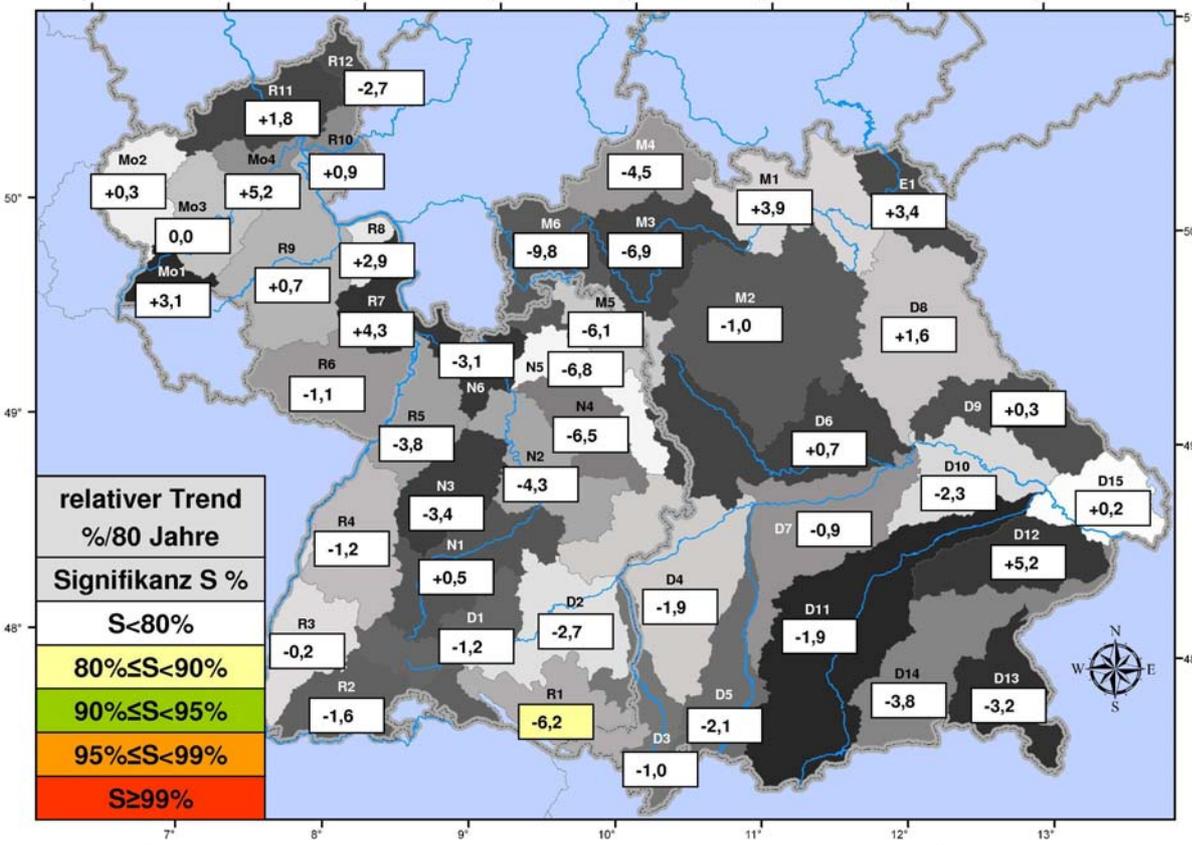


Abb. 8: Entwicklung der Gebietsniederschlagshöhe im hydrologischen Sommerhalbjahr, relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2010)

finden sich am unteren Main und Zuflüssen zum unteren Neckar, die stärksten Zunahmen (+5 %) an der unteren Mosel und dem unteren Inn. Alle im Sommerhalbjahr zu beobachtenden Trends sind allerdings nicht als signifikant zu betrachten (Signifikanz < 80 %), einzige Ausnahme ist der schwach signifikant negative Trend im Untersuchungsgebiet Bodensee (R1).

Analog dem Vorgehen bei der Temperatur werden die **Trendänderungen der Halbjahresniederschläge** ebenfalls für die Zeiträume 1931 bis 2000 und 1941 bis 2010 betrachtet, der Vergleich ist in Tabelle 2 dargestellt. Auch hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass sich bei diesem Vergleich die Problematik der unterschiedlichen Startzeitpunkte 1931 und 1941 für die Trendberechnung stellt. Weitere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die grundlegenden Aussagen (Veränderungen in Trendrichtung und Signifikanz) davon nicht betroffen sind. Es treten jedoch im Gegensatz zur Temperatur größere Unterschiede in der Höhe der Trendänderungen auf.

Beim Vergleich für das Winterhalbjahr zeigt sich in den meisten Gebieten allgemein eine Abnahme der Trends, d.h. die insgesamt positiven Trends haben sich in dem Zeitraum 1941 bis 2010 abgeschwächt, bleiben in ihrer Tendenz allerdings weiterhin gleich (vgl. Tabelle 2). Auch die Signifikanz hat in vielen Gebieten abgenommen, es finden sich im Zeitraum 1941 bis 2010 nun sogar Gebiete ohne Signifikanz. Entgegen diesem allgemeinen Verhalten gibt es in Bayern im Donauegebiet sowie dem Nordosten Bereiche, in denen Trends mit einem hohen Signifikanzniveau von 99% vorhanden sind, wobei diese hohen Signifikanzniveaus teilweise erst im Zeitraum bis 2010 erreicht werden. Letzteres betrifft vor allem die Untere Donau ohne die großen Zuflüsse aus dem Alpenvorland.

Der Vergleich der zwei 70-jährigen Zeiträume zeigt für das Sommerhalbjahr in Tabelle 2 eine klare Veränderung zu positiven Trends. Eine Ausnahme bilden die Gebiete in Rheinland-Pfalz, für die in den meisten Fällen die Änderungen sehr klein sind. Nahezu alle Untersuchungsgebiete weisen für den zweiten Zeitraum 1941 bis 2010 nun einen positiven Trend auf, auch wenn diese teilweise sehr schwach sind. Dies zeigt sich allerdings noch nicht in dem langen Zeitraum von 1931 bis 2010. Auch ist bei der Interpretation der Ergebnisse für das Sommerhalbjahr weiterhin Vorsicht geboten, da nahezu alle Trends weiterhin nicht signifikant sind, mit wenigen, schwach signifikanten Ausnahmen.

Tab. 2: Überblick über die Veränderung des Trendverhaltens der mittleren Gebietsniederschläge der hydrologischen Halbjahre in den 44 KLIWA-Untersuchungsgebieten im Vergleich der beiden Zeiträume 1931-2000 und 1941-2010

Tendenzen der mittleren Gebietsniederschläge	Untersuchungszeitraum von 1931–2000*	Untersuchungszeitraum von 1941–2010*
Hydrologisches Winterhalbjahr (Nov. – Apr.)		
↘ KLIWA-Untersuchungsgebiete mit abnehmendem Trend / signifikant	- / -	- / -
↗ KLIWA-Untersuchungsgebiete mit zunehmendem Trend / signifikant	44 / 43	44 / 37
Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai – Okt.)		
↘ KLIWA-Untersuchungsgebiete mit abnehmendem Trend / signifikant	31 / 3	1 / -
↗ KLIWA-Untersuchungsgebiete mit zunehmendem Trend / signifikant	13 / -	43 / 4

*Gesamtzahl KLIWA-Untersuchungsgebiete mit vorliegendem Trend / **Anzahl KLIWA-Untersuchungsgebiete mit signifikantem Trend $\alpha \geq 80\%$**



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 maximalen Gebietsniederschläge dargestellt. In den Abb. 9 und Abb. 10 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 seltene Ereignisse darstellen, die räumlich nur manchmal größere Gebiete umfassen; dies gilt vor allem für das Sommerhalbjahr.

Im hydrologischen **Winterhalbjahr** (Abb. 9) findet man im Zeitraum 1932-2010 in fast ganz Süddeutschland überwiegend zunehmende maximale eintägige Gebietsniederschlagshöhen (Dauerstufe D=1). Die höchsten Zunahmen (hoch signifikant) finden sich im nordöstlichen Bayern, dabei liegen im oberen Maingebiet und den östlich angrenzenden Saale- und Naabgebieten die Zunahmen zwischen 34 und 44 % und sind damit deutlich höher als die Zunahmen bei den mittleren Gebietsniederschlagshöhen. Weiter südlich lassen hingegen Trendstärke und Signifikanz nach. In Baden-Württemberg treten schwach bis hochsignifikante Zunahmen zwischen 14 % und 21 % vor allem im Süden auf (obere Gebiete von Rhein, Neckar und Donau). Für Rheinland-Pfalz zeigen sich signifikante Zunahmen von +17 % bis +22 % im oberen Moselgebiet. Im Gegensatz zu den mittleren Gebietsniederschlagshöhen gibt es aber auch einige Gebiete, die keine signifikanten Zunahmen oder leichte Abnahmen aufweisen z.B. in der Rheinebene und am Neckar.

Im **Sommerhalbjahr** (Abb. 10) zeigen die Trends der Zeitreihe 1931 bis 2010 bei den maximalen eintägigen Gebietsniederschlagshöhen ein deutlich anderes Bild als beim mittleren Gebietsniederschlag. Im gesamten südwestlichen Bereich von Bayern sowie fast dem gesamten Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz haben die maximalen eintägigen Gebietsniederschlagshöhen zugenommen, besonders stark zum Beispiel in den Gebieten Iller/Lech mit bis zu +19 %, einzelnen Gebieten am Neckar mit bis zu +16 % und der Mosel mit bis zu +15 %. Stärkere Abnahmen findet man dagegen im Unteren Maingebiet (bis maximal -25 %) und in der Mitte von Bayern. Alle diese Trends sind aber, mit Ausnahme von wenigen Gebieten, nicht signifikant.

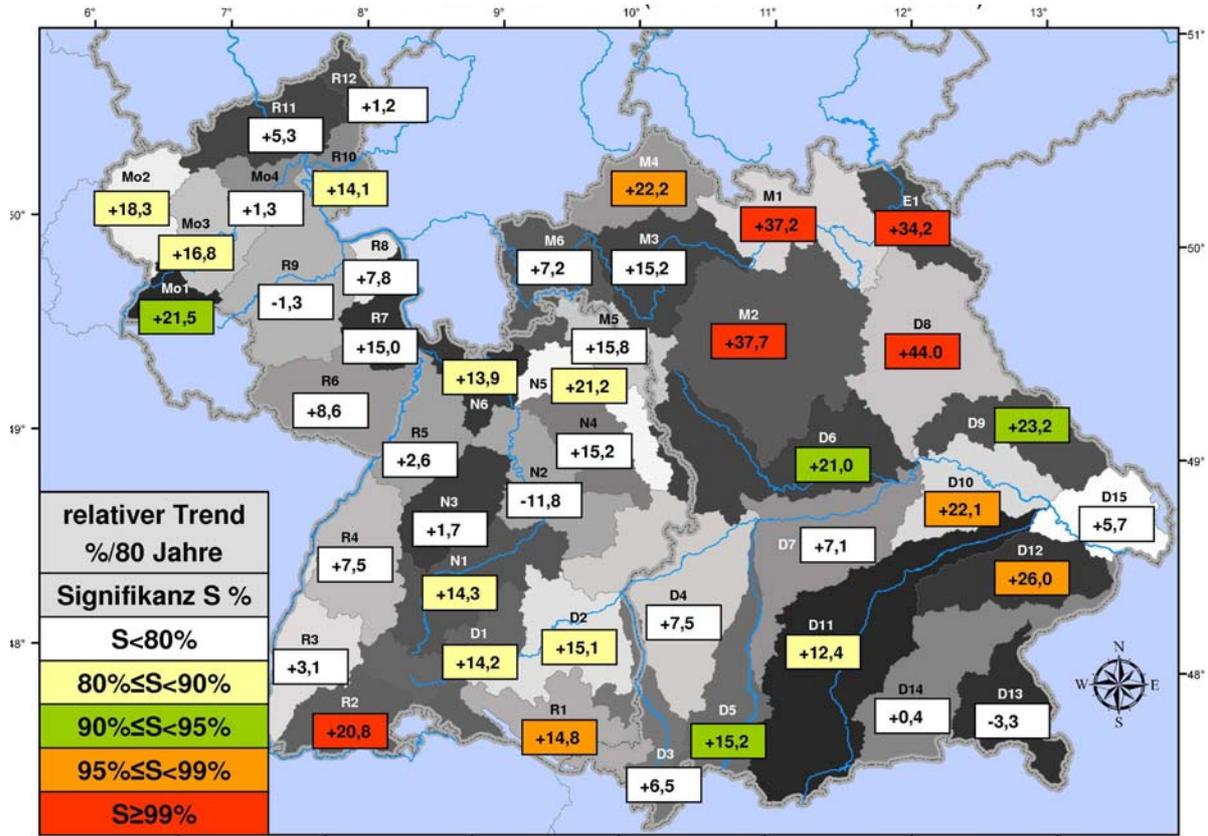


Abb. 9: Entwicklung der max. 1-tägigen Gebietsniederschlagshöhen im hydrologischen Winterhalbjahr, relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2010)

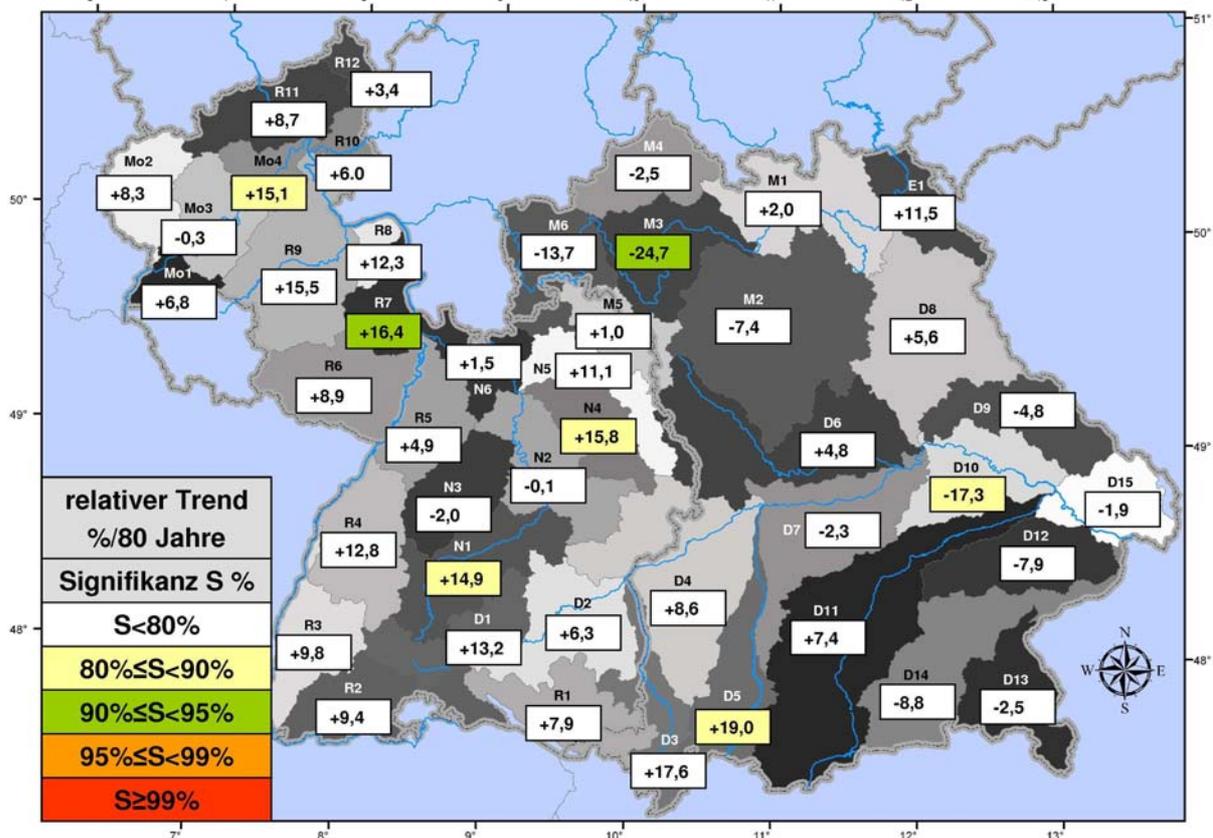


Abb. 10: Entwicklung der max. 1-tägigen Gebietsniederschlagshöhen im hydrologischen Sommerhalbjahr, relativer Trend (Änderung in Prozent vom Mittelwert 1931-2010)



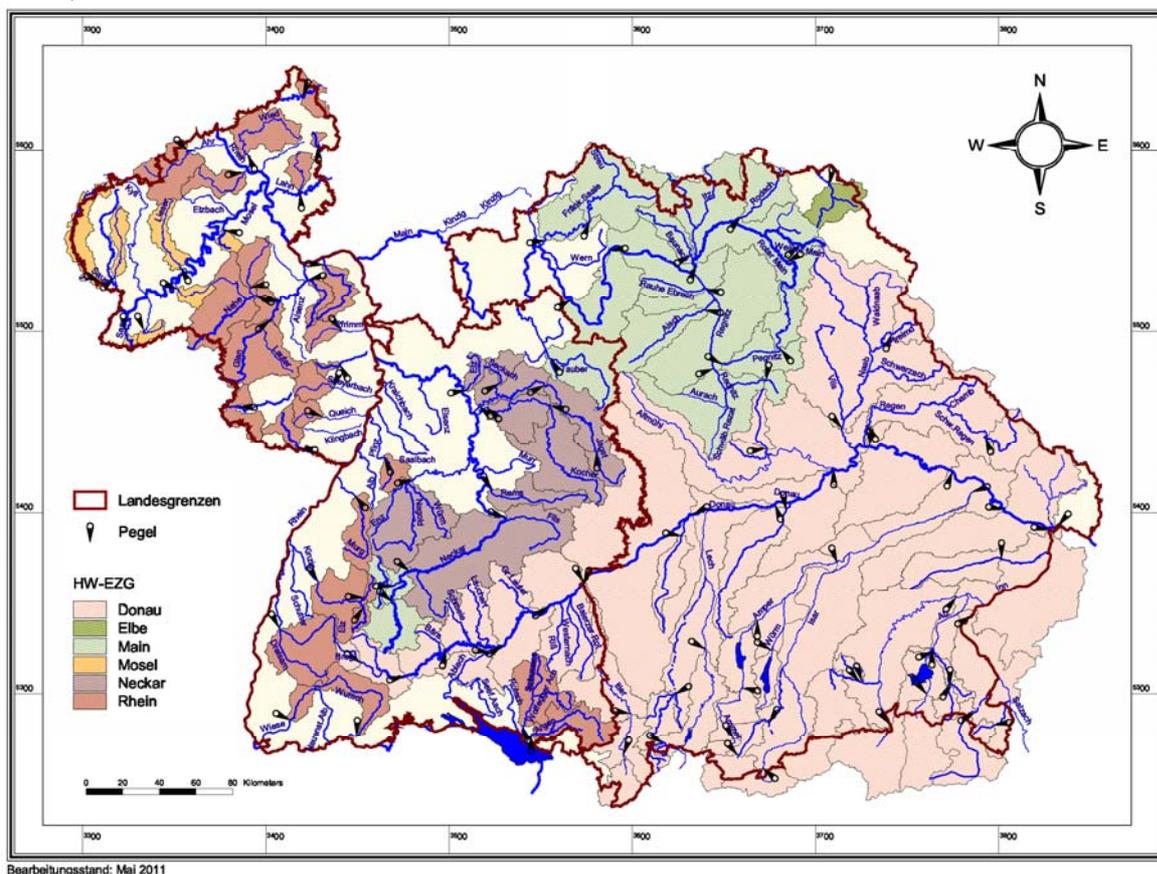
5 Hochwasserabflüsse

5.1 Bisherige Auswertungen

Im Jahr 2000 wurde im Rahmen von KLIWA das Trendverhalten der beobachteten Hochwasserabflüsse an 90 repräsentativen Pegeln untersucht, um mögliche Hinweise auf Auswirkungen des beginnenden Klimawandels zu erhalten [KLIWA Heft 2]. 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. Die Ergebnisse des ersten Klimamonitoringberichts zeigten vergleichbare Ergebnisse. Allerdings ergab sich vor allem für Bayern eine größere Anzahl von Pegeln mit steigendem Trend. Es ergaben sich demnach 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 für 115 Pegel ab 1932 bzw. Beobachtungsbeginn bis 2010 betrachtet, ausgewertet und auch mit dem Zeitraum 1932 bis 2000 verglichen werden. Als repräsentative Datengrundlage für das Trendverhalten dienen wie bei den bisherigen Auswertungen der Zeitreihen 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 (vgl. Abb. 11).



Bearbeitungsstand: Mai 2011

Abb. 11: Lage der betrachteten Abflussmessstellen (115 Pegel) für Untersuchungen zum Trendverhalten der Hochwasserabflüsse

Diese werden erstmals ergänzt um 25 Pegel aus Rheinland-Pfalz, für die vergleichbare Auswertungen zu den Zeiträumen 1932 bis 2000 und 1932 bis 2010 durchgeführt wurden, der Beobachtungsbeginn liegt bei diesen Zeitreihen allerdings häufig nach 1932. Für die statistische Betrachtung des Langzeitverhaltens der jährlichen und halbjährlichen Abflusshöchstwerte eines Pegels wurden die vorhandenen monatlichen Höchstwerte des Abflusses zu Jahresserien für das hydrologische Jahr, das Sommer- und das Winterhalbjahr zusammengefasst. Für diese Serien wurde anschließend jeweils die langjährige Veränderung in Form von linearen Trends und deren statistische Signifikanzen, also die Zuverlässigkeit der Trendaussagen, ermittelt.

Zusätzlich wurde der mittlere Jahresgang der Monatshöchstwerte der Abflüsse betrachtet. Um eventuelle Veränderungen in den Monatswerten zu erkennen, wurde die verfügbare Zeitreihe basierend auf vorherigen Auswertungen im Jahre 1974 geteilt und für das hydrologische Jahr und die Halbjahre getrennt ausgewertet.

5.3 Neue Ergebnisse

Die Ergebnisse der Trenduntersuchungen sind für alle 115 Pegel in Tabelle 3 zusammengefasst aufgeführt. Die durchgeführte Trendanalyse der Hochwasserabflüsse 1932 bis 2010 zeigt für den überwiegenden Teil der 115 Pegel bezogen auf das **Gesamtjahr** einen ansteigenden Trend (ca. 73 %), nur 31 Pegel (ca. 27 %) weisen eine Abnahme auf. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass die an den Pegeln ermittelten, zunehmenden Trends nur zu einem Drittel signifikant sind (Signifikanzniveau von $\alpha \geq 80\%$), an den Pegeln mit abnehmenden Trends sind lediglich 20 % signifikant. Da die Ergebnisse bisher eine starke räumliche Variabilität zeigten und deshalb belastbare regionale Muster des Trendverhaltens und der Trendstärke nicht erkennbar waren, wurde auf eine räumliche Auswertung verzichtet. Beispielhaft ist in Abb. 12 das Ergebnis der Trenduntersuchung der Zeitreihe ab Beobachtungsbeginn bis 2010 für die Pegel Donauwörth an der Donau, Rotenfels an der Murg und Martinstein 2 an der Nahe mit einem ansteigenden Trend (rot) dargestellt.

Tab. 3: Überblick über das Trendverhalten der Hochwasserabflüsse an den 115 untersuchten Pegeln in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz im Vergleich der beiden Zeiträume 1932-2000 und 1932-2010

Tendenzen	Untersuchungszeitraum von 1932–2000*	Untersuchungszeitraum von 1932–2010*
Hydrologisches Gesamtjahr (Nov. – Okt.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	26 / 7	31 / 6
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	89 / 41	84 / 28
Hydrologisches Winterhalbjahr (Nov. – Apr.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	24 / 4	28 / 6
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	91 / 43	87 / 36
Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai – Okt.)		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	42 / 8	47 / 6
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	73 / 29	68 / 32

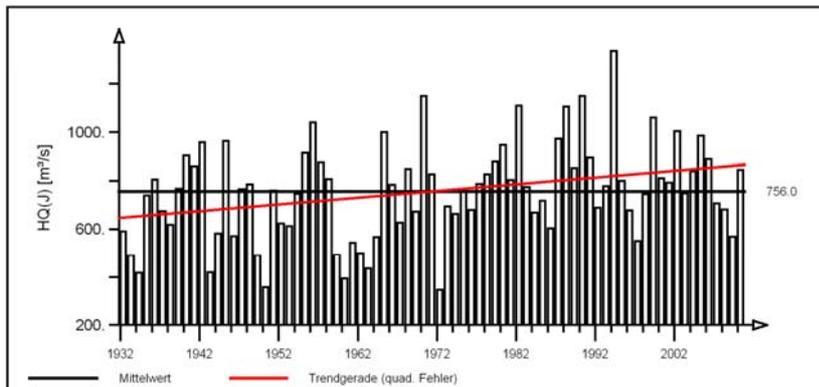
* Gesamtzahl Pegel mit vorliegendem Trend / Anzahl Pegel mit signifikanten Trend $\alpha \geq 80\%$



Pegel Donauwörth/Donau

(Pegel-Nr. 1003980)

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1932-2010 (hydrologisches Jahr)

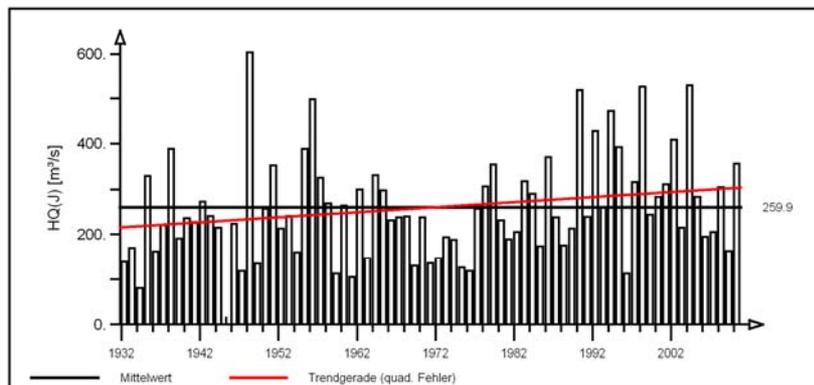


Mittelwert und linearer Trend: $2.767 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 99%)

Pegel Bad Rotenfels/Murg

(Pegel-Nr. 1301)

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1932-2010 (hydrologisches Jahr)

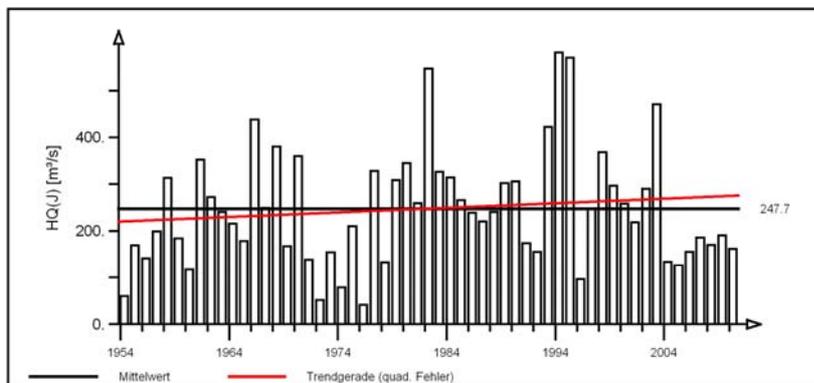


Mittelwert und linearer Trend: $1.121 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 95%)

Pegel Martinstein/Nahe

(Pegel-Nr. 25400407)

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1954-2010 (hydrologisches Jahr)



Mittelwert und linearer Trend: $0.962 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)

Abb. 12: Ergebnisse der Trenduntersuchung von jährlichen Höchstabflüssen am Beispiel dreier Pegel für den Zeitraum 1932–2010 (oben & Mitte) bzw. 1954–2010 (unten)

Das hydrologische **Winterhalbjahr** zeigt mit zunehmenden Trends an 75 % der Pegel bezüglich der Trends und Signifikanzen ein dem hydrologischen Jahr weitgehend ähnliches Verhalten, mit signifikant zunehmenden Trends an 38 % aller Pegel. Dies ist zugleich die höchste Anzahl signifikanter Veränderungen. Im hydrologischen **Sommerhalbjahr** zeigen nur 59 % der Pegel ansteigende Trends der Hochwasserabflüsse, davon ungefähr die Hälfte (ca. 47 %) mit signifikanten Zunahmen. Bezogen auf die 115 betrachteten Pegel ist insgesamt im Mittel der Anteil von Pegeln mit signifikant zunehmenden Trends (ca. 30 %) höher, als von Pegeln mit abnehmendem Trend (ca. 5 %).

Bei der Betrachtung der einzelnen Bundesländer treten nur geringfügige Unterschiede im Verhalten der Hochwasserabflüsse für den Zeitraum 1932 bis 2010 auf. Während in Baden-Württemberg bis zu 90 % der Pegel Zunahmen im Gesamtjahr und Winterhalbjahr zeigen, sind dies in Bayern und Rheinland-Pfalz mit 75 % bzw. 70 % geringfügig weniger. Im Sommerhalbjahr ist die Anzahl in allen Bundesländern geringer.

Der **Vergleich der Untersuchungsergebnisse** für die Zeiträume 1932 bis 2000 und 1932 bis 2010 in Tabelle 3 lässt relativ ähnliche Ergebnisse erkennen, welche die beschriebenen Veränderungen des ersten Klimamonitoringberichts aufgrund der Datenverlängerung bis 2005 nicht mehr widerspiegeln. Vorwiegend zeigt sich bei beiden Zeiträumen eine Tendenz zu steigenden Hochwasserabflüssen. Infolge der Datenverlängerung bis zum Jahr 2010 ist die zunehmende Tendenz in den Hochwasserabflüssen allerdings abgemindert, analog sind geringfügig mehr fallende Trends zu beobachten. Das Sommerhalbjahr tendiert dabei bereits leicht zu abnehmenden Hochwasserabflüssen. Dadurch resultiert insgesamt für das Sommerhalbjahr eine gleichmäßigere Verteilung auf abnehmende und zunehmende Veränderungen für den gesamten Zeitraum bis 2010. Die Auswertungen zeigen somit, dass sich nach 2000 das Hochwasserabflussverhalten verändert hat. Die bis zum Jahr 2000 vorhandenen Hochwassertrends sind rückläufig und stellen sich deutlich abgemildert dar.

Deutlicher als die Gesamtzahl der Pegel reduziert sich dabei die Anzahl der Pegel mit einer signifikanten Trendzunahme. Eine Ausnahme ist das Sommerhalbjahr, in dem die Anzahl der signifikanten zunehmenden Trends bei einer gleichzeitigen Abnahme der Gesamtzahl stabil bleibt. Die niedrige Anzahl der Pegel mit signifikanten abnehmenden Trends bleibt dagegen nahezu unverändert. Zusätzlich zeigte sich bei den statistischen Untersuchungen eine Abminderung der großen Trendsteigungen durch die Datenreihenverlängerung bis 2010, wobei sich die Verteilung der fallenden und steigenden Trends allerdings nur wenig verändert. Die Trends werden im Allgemeinen durch die Zeitreihenverlängerung also schwächer.

Für die einzelnen Bundesländer bedeutet dies, dass die Anzahl der Pegel mit den jeweiligen Trends überall nahezu gleich bleiben, allerdings für die Pegel in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz die Steigungen der Trends deutlich zurück gehen. In Bayern treten aufgrund der Zeitreihenverlängerung bis 2010 keine wesentlichen Änderungen auf.

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 Abb. 13 sind exemplarisch für die Pegel Donauwörth, Rotenfels und Martinstein 2 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 abflussstarken Zeiten. Die mittleren Hochwasserabflüsse (MHQ) der Zeitperiode von 1974 bis 2010 liegen deutlich über dem Mittelwert der gesamten Zeitreihe und der früheren Periode bis 1973.

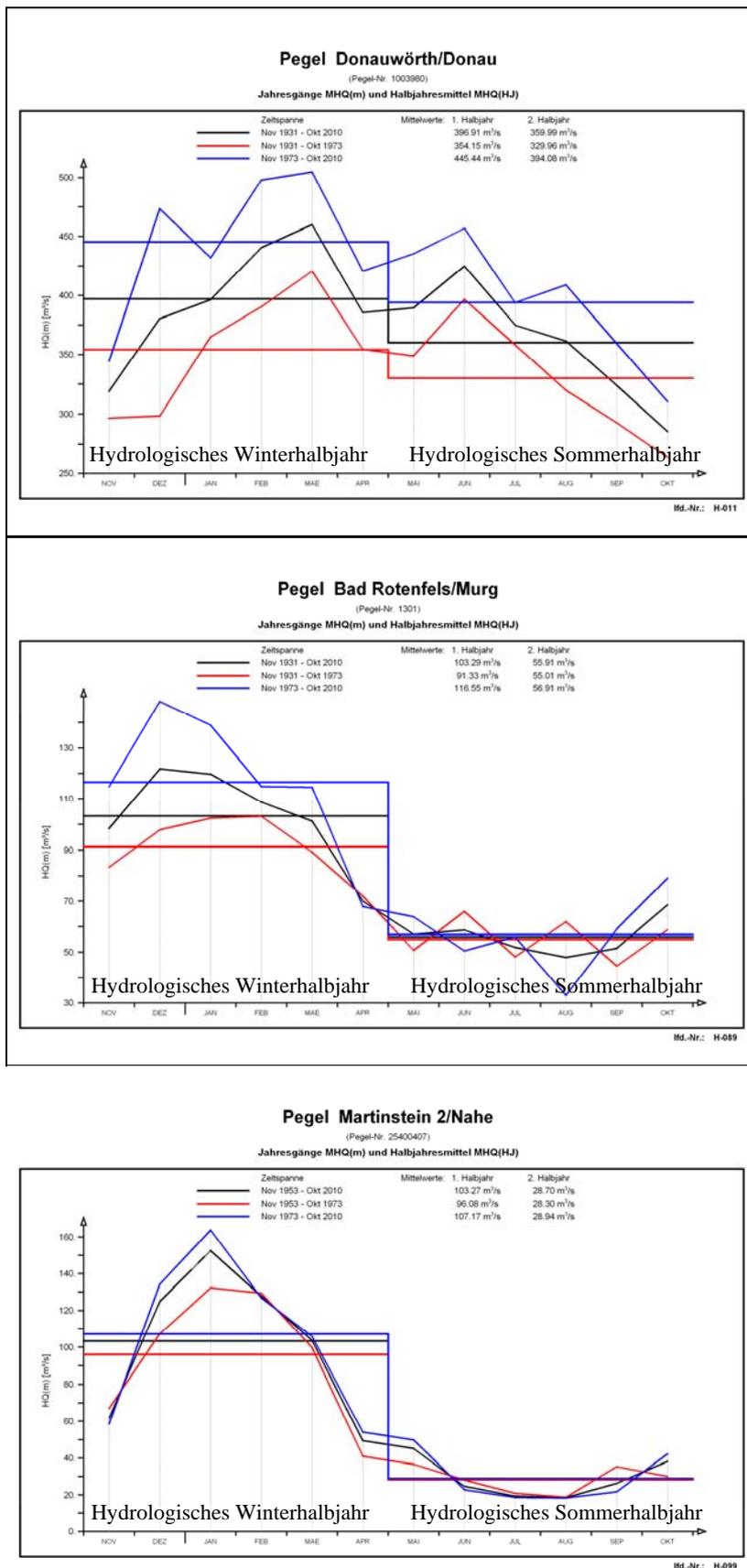


Abb. 13: Jahresgang des monatlichen mittleren Höchstabflusses und Halbjahresmittel am Beispiel der Pegel Donauwörth, Rotenfels und Martinstein 2 für die gesamte Zeitreihe und die beiden Teilzeitreihen 1931 bzw. 1953 bis 1974 und 1974 bis 2010

Diese Zunahme wird überwiegend durch eine Erhöhung der Hochwasser im hydrologischen Winterhalbjahr hervorgerufen (Donauwörth: +26 % / Rotenfels: +28 % / Martinstein 2: +12 % im Vergleich zu Periode bis 1973), während im Sommerhalbjahr geringere Veränderungen (Donauwörth: +19 % / Rotenfels: keine Veränderung / Martinstein 2: keine Veränderung im Vergleich zur Periode bis 1973) auftreten. Diese Entwicklung deckt sich mit der Auswertung des Trendverhaltens. Durch die Datenverlängerung bis 2010 ergeben sich gegenüber den bisherigen vorausgegangenen Auswertungen im ersten Monitoringbericht nur geringfügige prozentuale Änderungen. Diese drücken die vorher beschriebene Abminderung der Zunahmen aus, die generellen Tendenzen bleiben allerdings erhalten.

Insgesamt lässt sich aus den Untersuchungen schlussfolgern, dass für den gesamten betrachteten Zeitraum 1932 bis 2010 weiterhin überwiegend steigende Hochwasserabflüsse im Gesamtjahr, dem Winterhalbjahr und in abgeschwächter Form auch im Sommerhalbjahr zu verzeichnen sind. Von den Zunahmen sind allerdings im Mittel nur 30 bis 40 % der Trends signifikant. Durch die Zeitreihenverlängerung bis 2010 schwächen sich die Trends zudem gegenüber den Betrachtungen bis 2000 ab.



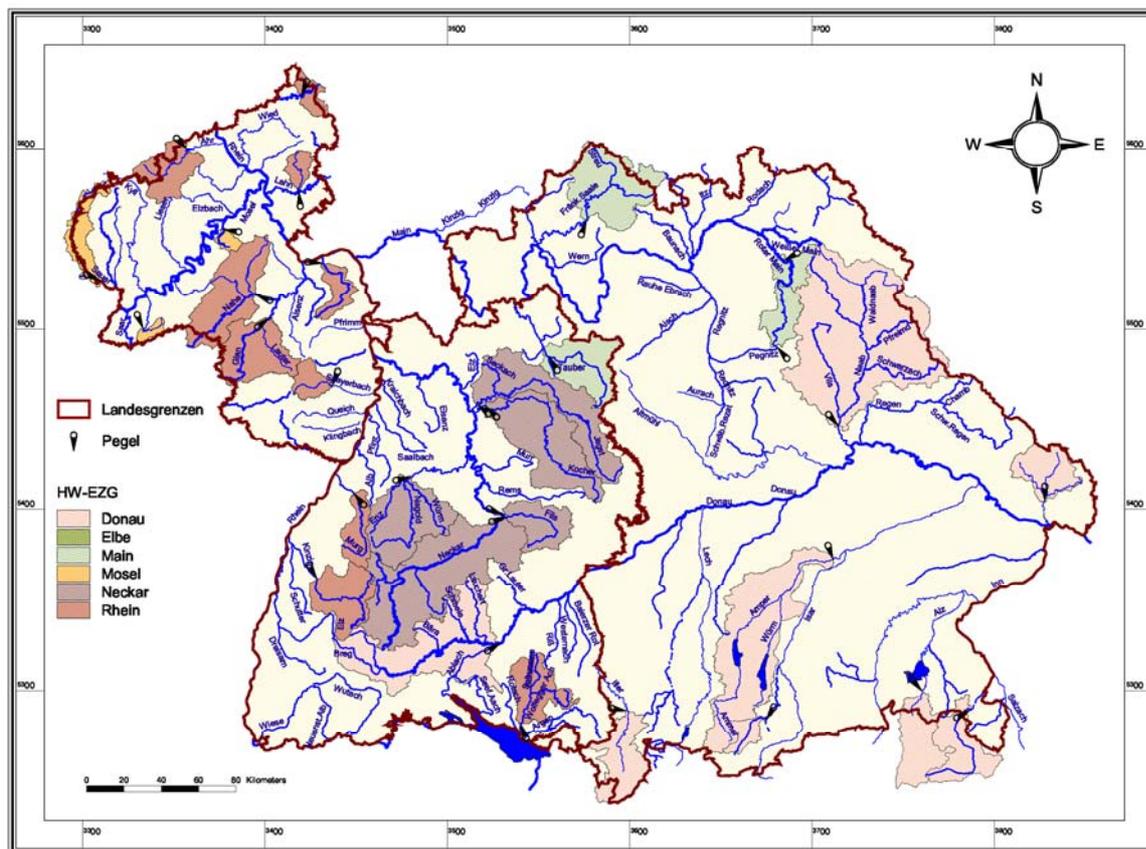
6 Niedrigwasserabflüsse

6.1 Bisherige Auswertungen

Das Langzeitverhalten der Niedrigwasserabflüsse ist in KLIWA erst in letzter Zeit betrachtet worden, daher liegen dazu noch keine vorhergehenden Auswertungen vor.

6.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

Exemplarisch werden für diesen Monitoringbericht erstmals Niedrigwasserabflüsse an 30 Pegeln (10 je Bundesland) für die Zeiträume 1951 bis 2000 und 1951 bis 2010 untersucht (vgl. Abb. 14). Drei der betrachteten Pegel aus Rheinland-Pfalz weisen mit einem Datenbeginn in den 1970er Jahren verkürzte Zeitreihen auf. Betrachtet werden verschiedene Niedrigwasserkennwerte: der jährliche Niedrigstwasserabfluss NQ(J), das jährliche, niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an sieben aufeinanderfolgenden Tagen NM7Q(J) sowie die maximale Dauer von Niedrigwasserperioden.



Bearbeitungsstand: Mai 2011

Abb. 14: Lage der betrachteten Abflussmessstellen (30 Pegel) für Untersuchungen zum Trendverhalten der Niedrigwasserabflüsse

Für die statistische Betrachtung des Langzeitverhaltens der jährlichen Niedrigstwerte NQ(J) und NM7Q(J) eines Pegels wurden analog dem Vorgehen bei der Auswertung der Hochwasserabflüsse die vorhandenen monatlichen Niedrigstwerte zu Jahresserien für das hydrologische Jahr zusammengefasst. Die maximale Dauer von Niedrigwasserperioden basiert auf Betrachtungen zur Unterschreitung eines vorgegebenen Schwellenwertes, wobei einzelne Überschreitungen die Dauer nicht unterbrechen. Es wird jeweils nur die größte zusammenhängende Zeitspanne einer Niedrigwasserperiode betrachtet.

Für die Jahreseinteilung der Abflusszeitreihe wurde größtenteils der Zeitraum Juni bis Mai des Folgejahres bestimmt. Zusätzlich wurde der mittlere Jahresgang der monatlichen Niedrigstwerte der Abflüsse betrachtet. Um eventuell Veränderungen in den Monatswerten zu erkennen, wurde die verfügbare Zeitreihe im Jahre 1974 geteilt und für das gewählte Abflussjahr und die Halbjahre getrennt ausgewertet.

Hinweise zur Interpretation

Veränderungen von Niedrigwasserabflüssen und Niedrigwasserperioden haben wesentliche Auswirkungen auf die Energiewirtschaft, die Wasserversorgung, die Wassergüte und Wassermengenwirtschaft, die Binnenschifffahrt, auf die Gewässerökologie und die Fischerei, das Langzeitverhalten der Niedrigwasserkenngrößen ist daher von großem Interesse. Bei der Interpretation der hier dargestellten Ergebnisse für das Langzeitverhalten der Niedrigwasserkennwerte ist allerdings zu beachten, dass eine Beeinflussung der betrachteten Zeitreihen durch wasserwirtschaftliche Nutzung nicht auszuschließen ist. Diese Beeinflussung kann auf viele Arten erfolgen, zum Beispiel durch Entnahmen oder Ableitungen, durch Abflusserhöhung infolge von Speicherbewirtschaftung oder durch Einleitungen aus Kläranlagen. Teilweise erfolgt gezielt eine Niedrigwasseraufhöhung aus Talsperren oder Überleitungen wie durch das Überleitungssystem Donau-Main in Bayern. So kann davon ausgegangen werden, dass die hier ermittelten Ergebnisse nicht nur den Einfluss eines anthropogenen Klimawandels auf die Niedrigwasserkennwerte widerspiegeln, sondern auch den anthropogenen wasserwirtschaftlichen Einfluss. Dies kann demnach zu einer Überlagerung und Maskierung der ursprünglichen Änderungen durch den Klimawandel führen.

Erschwerend kommt zudem hinzu, dass die Messstellen selbst Unsicherheiten aufweisen können, da viele nicht explizit für Niedrigwasser ausgelegt sind. Dies bedeutet, dass die Messunsicherheit bei niedrigen Abflüssen zum Beispiel durch Verkrautungen hoch sein kann. Dennoch können die durchgeführten Untersuchungen beispielhaft zeigen, wie sich die Niedrigwasserabflüsse in den drei Bundesländern in der Vergangenheit entwickelt haben.

6.3 Neue Ergebnisse

Die Ergebnisse der Trenduntersuchungen sind für alle 30 Pegel in Tabelle 4 für verschiedene Niedrigwasserkennwerte zusammengefasst aufgeführt. Insgesamt zeigt sich für **NQ(J)** und **NM7Q(J)**, dass die Anteile der Pegel mit zunehmenden und abnehmenden Trends für den Zeitraum 1951 bis 2010 relativ ausgeglichen sind. Eine deutliche Tendenz ist daraus nicht abzulesen, auch aufgrund des beschränkten Auswertumfangs von 30 Pegeln. Lediglich für **NQ(J)** weist Tabelle 4 eine geringe Mehrheit von zunehmenden Trends. Die Auswertungen ergaben zudem, dass eine große Spannweite der Trendsteigungen an den untersuchten Pegeln vorliegt. Von den ermittelten Veränderungen sind insgesamt nur ca. ein Drittel signifikant, Pegel mit zunehmenden Trends sind dabei häufiger vertreten. Beispielhaft sind in Abb. 15 die Ergebnisse ab 1951 bis 2010 für **NQ(J)** für die drei Pegel Kalteneck, Stein und Odenbach dargestellt. Die Zeitreihen in Abb. 15 zeigen deutlich, dass über den gesamten Zeitraum der Zeitreihe vergleichbare Niedrigwasserereignisse aufgetreten sind. Klar zu erkennen sind zum Beispiel die Trockenperioden Anfang der 70er und 90er Jahre sowie 2003 – aufgrund der Wahl des hydrologischen Jahres auf der Zeitachse um ein Jahr verschoben. Die einzelnen Bundesländer weisen dabei Unterschiede auf. Während in Baden-Württemberg und Bayern an 60 % bzw. 70 % der Pegel zunehmende Niedrigwasserabflüsse vorhanden sind, ist der Anteil in Rheinland-Pfalz mit 30 % deutlich geringer. Die Mehrzahl der Pegel in Rheinland-Pfalz tendiert somit zu einer Abnahme im Niedrigwasserbereich.



Tab. 4: Überblick über das Trendverhalten der Niedrigwasserabflüsse an den 30 untersuchten Pegeln in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz im Vergleich

Tendenzen	Untersuchungszeitraum von 1951–2000*	Untersuchungszeitraum von 1951–2010*
NQ(J) / Hydrologisches Gesamtjahr		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	13 / 3	12 / 2
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	17 / 8	18 / 8
NM7Q(J) / Hydrologisches Gesamtjahr		
↘ Pegel mit abnehmendem Trend / signifikant	16 / 5	14 / 4
↗ Pegel mit zunehmendem Trend / signifikant	14 / 4	16 / 8

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

Die **maximale Dauer der Niedrigwasserperioden** zeigt an den betrachteten Pegel überwiegend einen abnehmenden Trend für den Zeitraum 1951-2010. Dies entspricht einer Entspannung der Niedrigwassersituation. Ähnlich den anderen betrachteten Niedrigwasserkenngrößen ist insgesamt nur ungefähr ein Drittel der ermittelten Trends signifikant, mehrheitlich zeigen sich demnach aber keine signifikanten Trends.

Die Betrachtung der **Trendänderungen** von NQ(J) und NM7Q(J) für die zwei dargestellten Zeiträume 1951-2000 und 1951-2010 (Tabelle 4) lässt relative ähnliche Ergebnisse erkennen. Die relativ ausgeglichene Anzahl von zunehmenden und abnehmenden Trends bleibt also erhalten, deutliche Tendenzen sind nicht feststellbar. Lediglich die Anzahl der signifikanten Pegel nimmt teilweise zu.

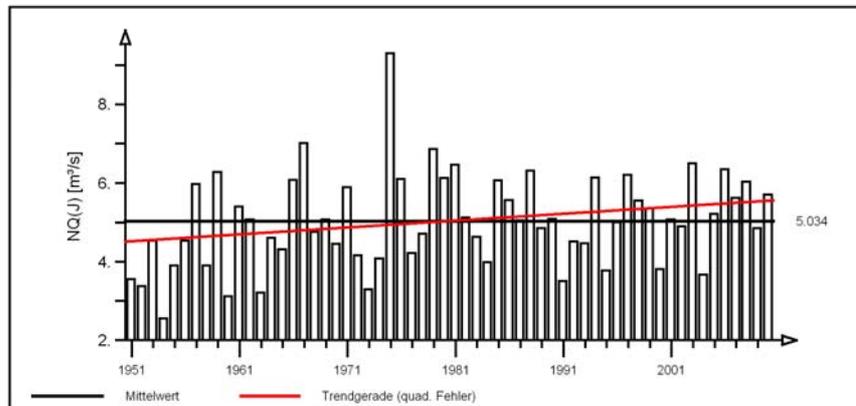
Das beobachtete Ergebnis der Entwicklung bei den Jahreswerten wird auch durch die Auswertung des Jahresgangs der monatlichen Abflusshöchstwerte und der feststellbaren Veränderungen unterstützt. Analog dem Vorgehen bei den Hochwasserabflüssen wurde der Jahresgang bezogen auf die einzelnen Monate betrachtet und die Zeitreihe im Jahre 1974 geteilt, wie auch ein Beispiel (Abb. 16) zeigt. Demnach sind die mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse nach 1974 mehrheitlich größer als vor 1974. Allerdings ist diese Entwicklung in dem Halbjahr mit der eigentlichen Niedrigwasserperiode, welche folglich auch die Kennwerte NQ(J) und NM7Q(J) größtenteils bestimmt, nicht so deutlich ausgeprägt. In Folge der Datenverlängerung bis 2010 ergeben sich unbedeutende Veränderungen.

Auswertungen verkürzter Zeitreihen für den Zeitraum 1974 bis 2000 ergaben zudem, dass die für die langen Zeiträume ermittelte, steigende Tendenz in den Niedrigwasserkennwerten NQ(J) und NM7Q(J) in diesen Jahren unterbrochen scheint. Es zeigten sich für diesen Zeitraum vermehrt abnehmende Niedrigwasserabflüsse. Infolge der Datenverlängerung bis zum Jahr 2010 ist diese abnehmende Tendenz für die Zeitreihen ab 1974 wieder abgemindert und die Veränderungen tendieren wieder zu einem ähnlichen Bild wie dem Langzeitverhalten in Tabelle 3. In Abb. 15 ist zu erkennen, dass in den Jahren 2006 bis 2010 keine besondere Niedrigwassersituation aufgetreten ist und dass nicht nur in 2003, sondern auch in einzelnen vorausgegangenen Jahren sehr ausgeprägte Niedrigwasserabflüsse an den betrachteten Messstellen aufgetreten sind.

Pegel Kalteneck/Ilz

(Pegel-Nr. 1740600)

Jährliche Niedrigstabflüsse NQ(J) 1951-2010 (Jun-Mai)

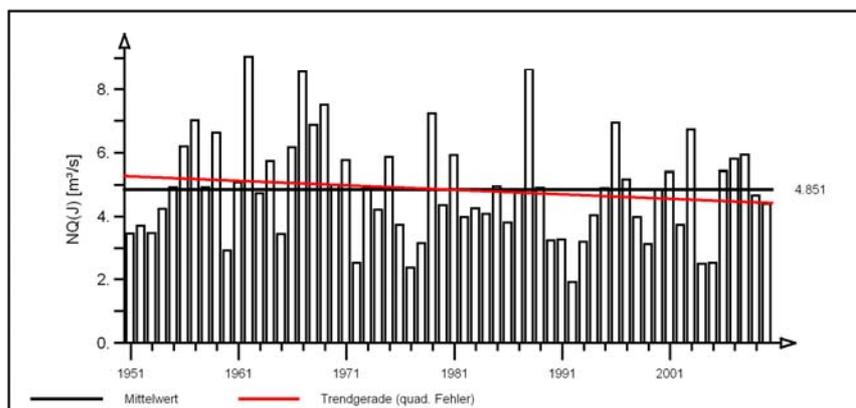


Mittelwert und linearer Trend: $0.017 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 97%)

Pegel Stein/Kocher

(Pegel-Nr. 3465)

Jährliche Niedrigstabflüsse NQ(J) 1951-2010 (Jun-Mai)

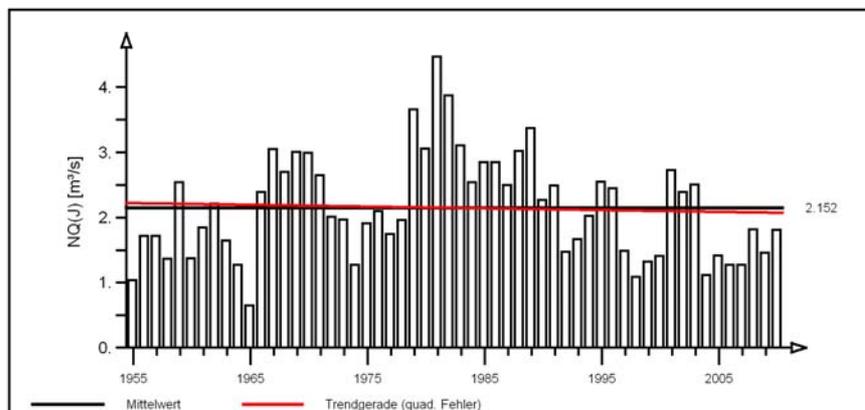


Mittelwert und linearer Trend: $-0.014 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend-Signifikanz nach Mann-Kendall: 60%)

Pegel Odenbach/Glan

(Pegel-Nr. 25460409)

Jährliche Niedrigstabflüsse NQ(J) 1955-2010 (Jun-Mai)



Mittelwert und linearer Trend: $-0.003 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{a}$
(Trend nicht signifikant nach Mann-Kendall)

Abb. 15: Ergebnisse der Trenduntersuchung von jährlichen Niedrigwasserabflüssen am Beispiel dreier Pegel für den Zeitraum 1951–2010 (oben & Mitte) bzw. 1955–2010 (unten)

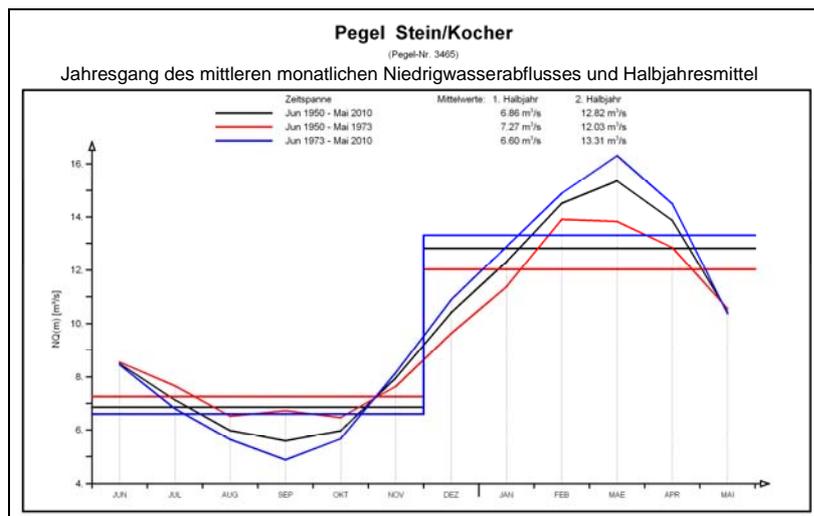


Abb. 16: Jahresgang des mittleren monatlichen Niedrigwasserabflusses und Halbjahresmittel am Beispiel des Pegels Stein/Kocher

Insgesamt lässt sich daraus schlussfolgern, dass die durchgeführten Auswertungen für das gesamte KLIWA-Gebiet keine eindeutigen Rückschlüsse für das Langzeitverhalten der Niedrigwasserabflüsse erlauben. Die Anzahl der Pegel mit zunehmenden und abnehmenden Tendenzen sind im Zeitraum 1951 bis 2010 für NQ(J) und NM7Q(J) relativ ausgeglichen. Für die maximale Dauer von Niedrigwasserperioden sind Abnahmen zu beobachten, die auf eine Entspannung der Niedrigwassersituation hindeuten können. Allerdings sind die ermittelten Veränderungen mehrheitlich nicht signifikant. Die Zeitreihenverlängerung der letzten 10 Jahre erbrachte keine Veränderungen im Trendverhalten. Zudem muss bei der Interpretation beachtet werden, dass gerade für die untersuchten Niedrigwasserabflüsse eine Beeinflussung durch wasserwirtschaftliche Nutzungen nicht auszuschließen ist. Diese kann klimatisch bedingte Veränderungen überlagern.

7 Grundwasserstände und Quellschüttungen

7.1 Bisherige Auswertungen

Kenntnisse zum Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen sind von großer Bedeutung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen. Entsprechende Untersuchungen wurden im Rahmen von KLIWA erstmalig in den Jahren 2008/2009 durchgeführt. Die angewendeten Methoden und daraus resultierenden Ergebnisse sind bereits ausführlich dargestellt [KLIWA-Heft 16]. In den vorliegenden Monitoringbericht wird erstmals eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse aufgenommen. Die durchgeführten statistischen Auswertungen beziehen sich auf 127 Messstellen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz mit teilweise historisch langen Zeitreihen für den Zeitraum 1913 bis 2007.

Darüber hinaus wurden auch Klimakenngrößen in die Auswertung einbezogen, um mögliche statistische Zusammenhänge zwischen den hydrologischen und den meteorologischen Zeitreihen aufzudecken. Die Klimavariablen korrelieren signifikant mit den Grundwasserständen und Quellschüttungen. Bei vielen Messstellen treten signifikante Veränderungen hinsichtlich der Saisonalität auf. Das Maximum des Jahresgangs liegt innerhalb der Monate März bis Mai. Bei 45 % der Messstellen ist eine signifikante Tendenz zu einem früheren Auftreten des Maximums, bei 40 % der Messstellen eine Vergrößerung der Amplitude im Jahresgang festzustellen. Bei zwei Drittel der Messstellen zeigt sich über die jeweilige Gesamtbeobachtungszeit eine signifikante langfristige Tendenz zur Verringerung der mittleren Grundwasserstände und Quellschüttungen. Seit 1980 stehen Abnahmen und Zunahmen allerdings weitgehend im Gleichgewicht. Außerdem sind in den Wasserdargebotszeitreihen – wie auch in den Niederschlagszeitreihen – großskalige, etwa 4-, 8- und 15-jährige Periodizitäten für verschiedene Zeiträume detektierbar.

7.2 Datenbasis und Darstellung der Neuauswertung

Ziel der Auswertung für einen wiederkehrenden Monitoringbericht ist es, ergänzend zu den o. g. umfangreichen statistischen Untersuchungen, an ausgewählten Zeitreihen Veränderungen im Grundwasser in ihrer aktuellen Entwicklung exemplarisch zu dokumentieren. Die klimatischen Unterschiede im Untersuchungsraum, die hydrogeologischen Eigenschaften der Grundwasserleiter, die Grundwasserflurabstände, die Bodenbedeckung und andere Einflussfaktoren, wie z. B. der Pflanzenbewuchs, beeinflussen die Grundwasserneubildung und den -abfluss. Dementsprechend zeigen die beobachteten Messstellen eine sehr unterschiedliche Gangliniencharakteristik. Die „typische“ Grundwassermessstelle, mit der eine landesweit zutreffende Beschreibung der Grundwasserverhältnisse möglich ist, gibt es nicht.

Für die drei Bundesländer wurden exemplarisch vier Messstellen mit Standorten in unterschiedlichen hydrogeologischen Einheiten ausgewählt (Abb. 17 mit Lage der Messstellen), deren Grundwasserstands- oder Quellschüttungsganglinien auf Basis von Monatsmittelwerten für den Zeitraum 1951 bis 2010 in Abb. 18 dargestellt sind. Die Ganglinien zeigen die vieljährigen Monatsmittelwerte und die jeweiligen aktuellen Monatsmittelwerte. Als farbcodierte Flächen werden Grundwasserdefizite (rot) bzw. Grundwasserüberschüsse (blau) durch Vergleich der aktuellen Monatsmittelwerte zu den vieljährigen Monatsmittelwerten ausgewiesen. Eine Trendaussage ist auf Grundlage des im Diagramm eingetragenen Kurvenverlaufs der lokal gewichteten Regression sowie weiterer, nicht dargestellten Auswertungen möglich [KLIWA Heft 16].

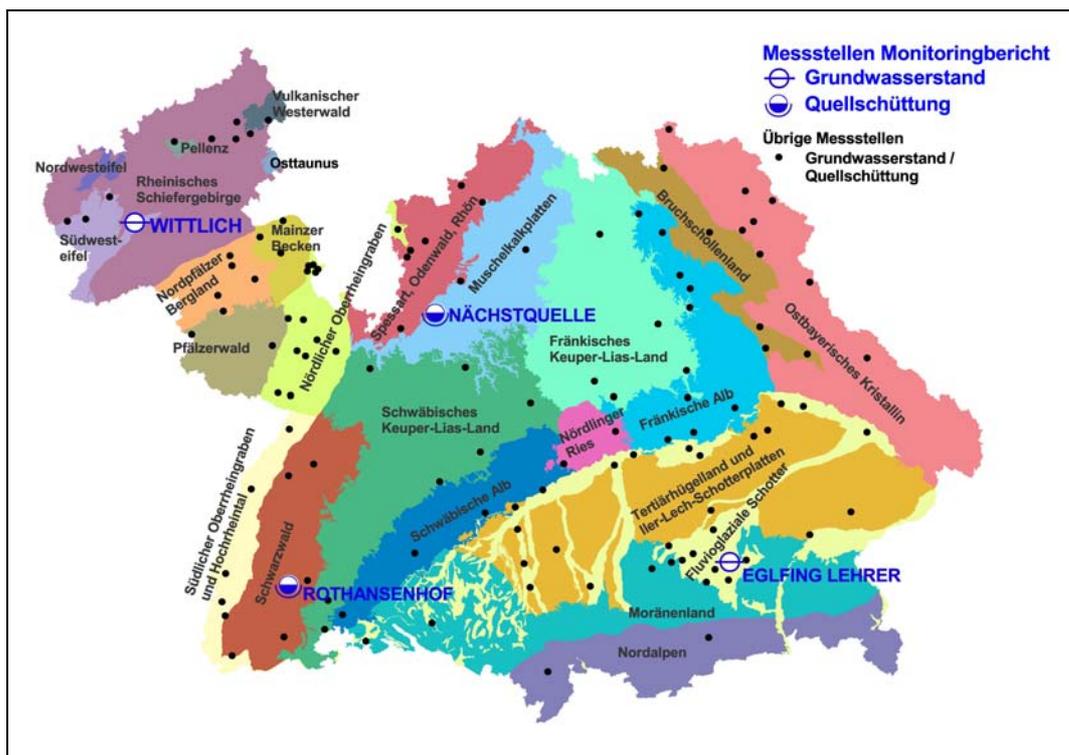


Abb. 17: Übersicht über die 25 hydrogeologischen Einheiten im KLIWA-Gebiet mit Lage der für statistische Untersuchungen ausgewählten 127 Grundwassermessstellen und Quellen. Blau beschriftete Messstellen sind im Monitoringbericht näher beschrieben

7.3 Neue Ergebnisse

Die Ergebnisse zweier Grundwasserstandsmessstellen und zweier Quellschüttungsmessstellen spiegeln beispielhaft die Grundwasserverhältnisse für den Zeitraum 1951 bis 2010 im Umfeld dieser Messstellen wider.

Vieljährige Monatsmittelwerte

Die Grundwasserneubildung findet vor allem im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) während der Vegetationsruhe statt. Im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) überwiegt die Verdunstung, d. h. Sommerniederschläge füllen den Bodenwasserspeicher nur in geringem Maß wieder auf. Hieraus ergibt sich die typische jahreszeitliche Schwankung von Grundwasserständen und Quellschüttungen mit einem Anstieg im Winter und einem Absinken im Sommer. Eine Ausnahme bildet der Grundwasserleiter der Münchener Schotterebene, repräsentiert durch die Messstelle Eglfing Lehrer, Haar (Abb. 18b). Das zugehörige Grundwasserneubildungsgebiet liegt südlich von München und weist hohe Grundwasserflurabstände und damit lange Sickerzeiten auf, so dass die Grundwasserneubildung zeitversoben über das Sommerhalbjahr stattfindet.

Die Schwankungsbreite des Grundwasserstands (Amplitude) hängt von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens und des Speichergesteins (Aquifer) ab. Typisch für Porengrundwasserleiter ist das hohe nutzbare Speichervolumen mit einer geringen Schwankungsbreite sowie einem schwach ausgeprägtem Jahresgang des Grundwasserstandes (Abb. 18b); ähnliches gilt für den kombinierten Poren-/Kluftgrundwasserleiter in der Wittlicher Senke (Abb. 18a). Kluft- und Karstgrundwasserleiter mit geringem Speichervolumen verursachen eine große Schwankungsbreite der Jahresamplitude der Quellschüttungen (Abb. 18c und d). Änderungen von Grundwasserständen und Quellschüttungen unterliegen neben den typischen jahreszeitlichen Schwankungen auch einem vieljährigen Wechsel von „Nass- und Trockenzeiten“.

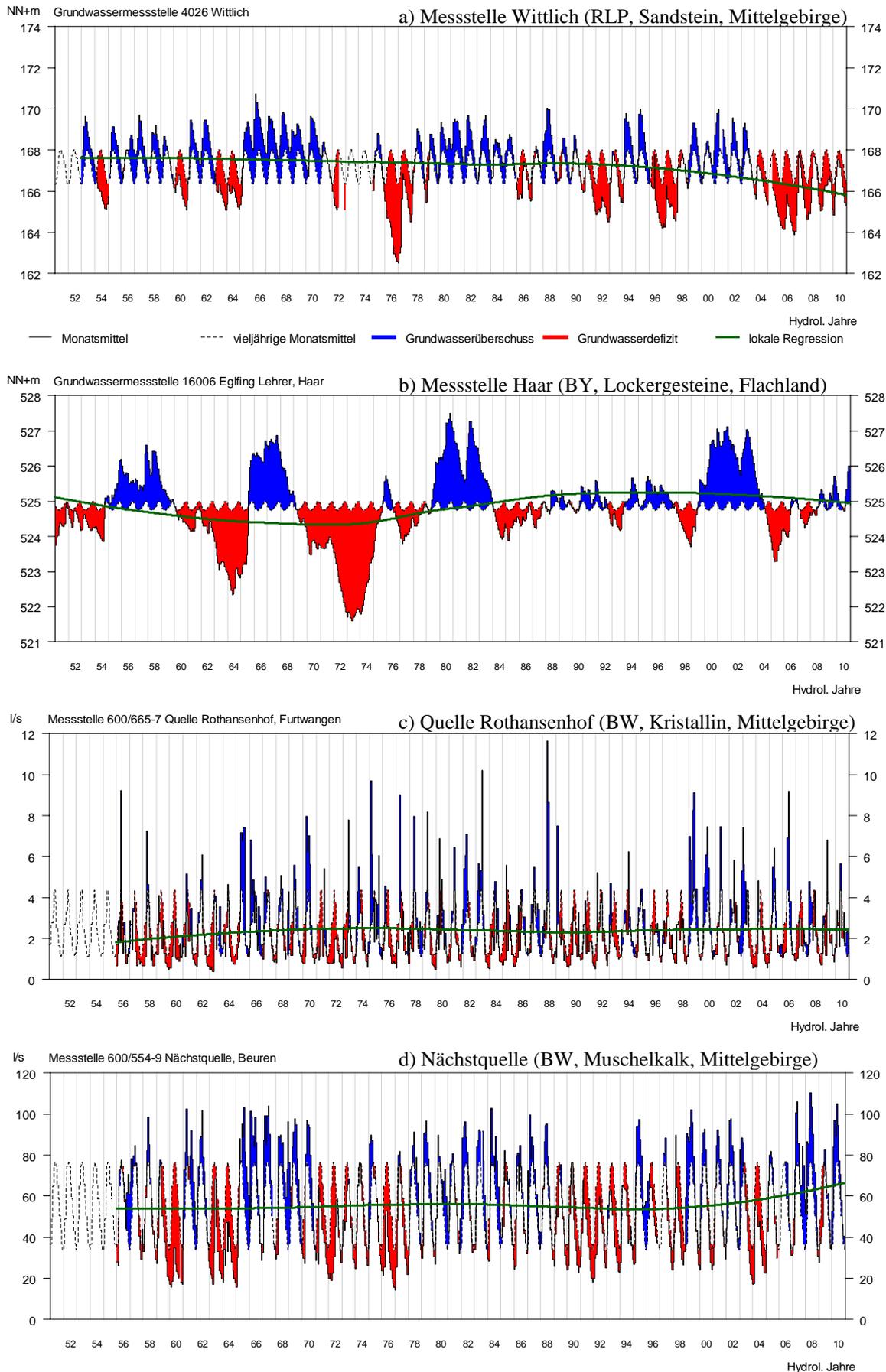


Abb. 18: Exemplarische Grundwasserstandsganglinien (a & b) und Quellschüttungsganglinien (c & d)



Aktuelle Monatsmittelwerte der Dekade 2001 bis 2010

Die zurückliegende Dekade zeigt in allen vier Ganglinien im Vergleich zum vieljährigen Mittel extreme Jahre mit hohen Grundwasserständen bzw. Quellschüttungen (blaue Fläche) für die Jahre 2001 und 2002. Ausgehend von dem hohen Niveau Ende 2002 begann eine deutliche Trockenperiode mit meist defizitärer Grundwasserneubildung von 2003 bis 2006 (rote Fläche). Erst die Jahre von 2007 bis 2010 führten wieder zu einer deutlichen Auffüllung des Bodenspeichers und damit zu Grundwasserüberschuss. Ausnahme ist die Messstelle Wittlich (Abb. 18a), wo auch Ende 2010 der Grundwasserstand noch unter dem vieljährigen Mittel lag.

Beeindruckend ist das Schüttungsverhalten der Quellen. Die Rothansenhofquelle (Abb. 18c) wird aus einem vergleichsweise kleinen Einzugsgebiet ($< 1 \text{ km}^2$) im Kristallin des Südschwarzwalds gespeist. Die Schüttung schwankt zwischen 1 und 10 l/s. Aufgrund des kleinen Einzugsgebietes fällt die Schüttung auch in Nassjahren, wie z. B. 2002, über das Sommerhalbjahr auf die Basisschüttung von rd. 1 l/s. Die Nächstquelle (Abb. 18d) wird demgegenüber aus einem vergleichsweise großen Einzugsgebiet (ca. 30 km^2) im Muschelkalk des Odenwalds gespeist. Die Schwankungsbreite der Quellschüttung beträgt ca. 20 bis 110 l/s. Die dadurch entstehende Schwankungsdynamik zeigt im Vergleich zu derjenigen des Grundwasserstands häufigere kurze Zeitabschnitte mit extrem niedrigen oder hohen Schüttungsmengen, wie z. B. in den Jahren 2003 und 2008.

Grundwasser- und Quellschüttungsschwankungen im Zeitraum 1951 bis 2010

Ähnlich der Dekadenbeschreibung 2001 bis 2010 wechseln sich Nass- und Trockenperioden auch in einem langen Beobachtungszeitraum immer wieder ab. Dazwischen liegen Jahre mit mittleren Grundwasserverhältnissen. Besonders deutlich kommen diese Perioden an der Messstelle Eglfing Lehrer in Haar (Abb. 18b) zur Geltung, wobei z. B. in den beiden Trockenperioden von 1960 bis 1965 und von 1969 bis 1975 noch anthropogene Einflussfaktoren (Grundwasserentnahmen) die hydrologischen Faktoren überlagern. Klar ausgeprägt sind hier auch die Nassperioden 1979 bis 1983 sowie 1999 bis 2002. Mehr oder weniger deutlich lassen sich diese Perioden auch in den anderen drei Ganglinien erkennen.

Die lokal gewichtete Regression für die Messstelle Wittlich (Abb. 18a) ergibt eine überwiegend ausgeglichene und zum Zeitreihenende hin fallende Tendenz. Alle Zeitspannen bis 2010 weisen einen signifikant abnehmenden Trend auf.

Für die Messstelle Eglfing Lehrer in Haar (Abb. 18b) ergeben sich wechselnde Tendenzen, bedingt durch die sehr ausgeprägten Niedrig- und Hochwasserperioden. Alle Zeitspannen, die vor 1975 beginnen und bis mindestens 1995 reichen, weisen einen signifikant zunehmenden Trend auf.

Die Tendenz der Quellschüttungsganglinie Rothansenhof (Abb. 18c) ist über die gesamte vorliegende Zeitreihe ausgeglichen. Die meisten Zeitspannen weisen keinen Trend auf.

Die lokal gewichtete Regression für die Nächstquelle (Abb. 18d) ergibt eine überwiegend ausgeglichene und zum Zeitreihenende hin steigende Tendenz. Auch hier weisen die meisten Zeitspannen keinen signifikanten Trend auf.

Das im Detail recht unterschiedliche Verhalten der hier dargestellten Ganglinien ist typisch für die Grundwasserbeobachtung in unterschiedlichen hydrogeologischen Landschaften. Die Grundwasserneubildung und der Abfluss werden nicht allein von den lokalen klimatischen Bedingungen bestimmt. Prägend für das Schwankungsverhalten des Grundwassers und der Quellschüttungen sind insbesondere die lokal und regional sehr unterschiedlichen hydrogeologischen Eigenschaften des Grundwasserkörpers, wie Speichervolumen und hydraulischen Kennwerte sowie die räumliche Ausdehnung des Aquifers.

8 Langzeituntersuchungen im Bodensee

8.1 Wasserstand

Das interessante Naturphänomen der saisonal variierenden Wasserstände im Bodensee ist vor allem für Vorgänge und Prozesse im Ufer- und Flachwasserbereich von Bedeutung. Erosions- und Sedimentationsprozesse, Wasseraustauschprozesse, aber auch die Temperaturverhältnisse im ufernahen Flachwasserbereich sind von den Wasserständen abhängig. Darüber hinaus wird die menschliche Nutzung, wie etwa der Boots- und Schiffsverkehr vom Wasserstand mitbestimmt und beispielsweise bei Niedrigwasser behindert. Neben den natürlichen Einflussfaktoren auf den Wasserstand, zu welchen vor allem die Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet gehören, hat auch menschliches Wirken, wie insbesondere der Ausbau alpiner Speicherbecken, Einfluss auf den saisonalen Pegelverlauf des Bodensees. Seit etwa den 1990er Jahren fällt ein im Mittel deutlich niedrigerer sommerlicher Pegelverlauf auf (Abb. 19). Zur Erklärung dieser Veränderung kommen verschiedene Einflussfaktoren in Frage: Wärmere Winter haben die Schneespeicherung im alpinen Einzugsgebiet verringert [KLIWA Heft 6], so dass im Frühjahr und Sommer weniger Schmelzwasser abfließt. Veränderungen bei der Verdunstung wie auch der saisonalen Niederschlagsverteilung sind weitere plausible Ursachen.

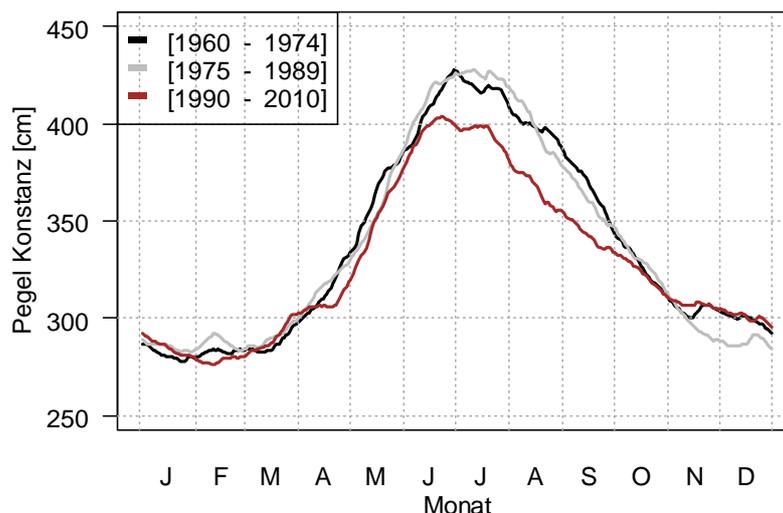


Abb. 19: Der mittlere Jahresverlauf der Bodensee-Pegelwerte bei Konstanz seit den 1990er Jahren (rot) ist zwei älteren Zeiträumen (schwarz, grau) gegenübergestellt

8.2 Temperatur und Durchmischung

Die regelmäßige Beobachtung der thermischen Verhältnisse im Bodensee ist für zahlreiche limnologische Fragestellungen und für die Untersuchung klimatisch bedingter Veränderungen von hoher Bedeutung. Die Temperaturen wirken sich beispielsweise auf Abbauprozesse, mikrobielle Vorgänge oder auf die Entwicklung von Organismen aus. Die von den Temperaturen abhängigen Schichtungs- und Durchmischungsvorgänge beeinflussen u.a. den Stofftransport sowie die Wachstumsbedingungen des Phytoplankton. Der beobachtete Anstieg der Lufttemperaturen der DWD Messstation in Konstanz in den letzten Jahrzehnten spiegelt sich in ähnlicher Weise auch in den oberflächennahen Wassertemperaturen wieder, welche seit den 1960er-Jahren in mehrwöchigen Abständen in der Seemitte des Bodensee-Obersees gemessen wurden (Abb. 20). Eine deutliche, nahezu bruchpunktartige Veränderung ergab sich etwa um 1988: Während die Jahresmittel der Lufttemperaturen der DWD-Messstation in Konstanz (ab 1947) zuvor meist noch unter 9°C lagen, war dies danach nur noch einmal der Fall. Im Boden-



see-Obersees, lagen die in der Seemitte oberflächennah gemessenen Wassertemperaturen von 1962 bis 1987 im Jahresmittel meist unter 11 °C, danach stets darüber. Im Mittel lagen die Temperaturen seit 1988 für die Luft um 1,2°C und für das Wasser um 0,9°C über der Temperatur des Zeitbereichs von 1962 bis 1987. Ansteigende Temperaturtrends wurden auch für viele andere europäische Seen aufgezeigt und sind ebenso im Untersee des Bodensees erkennbar.

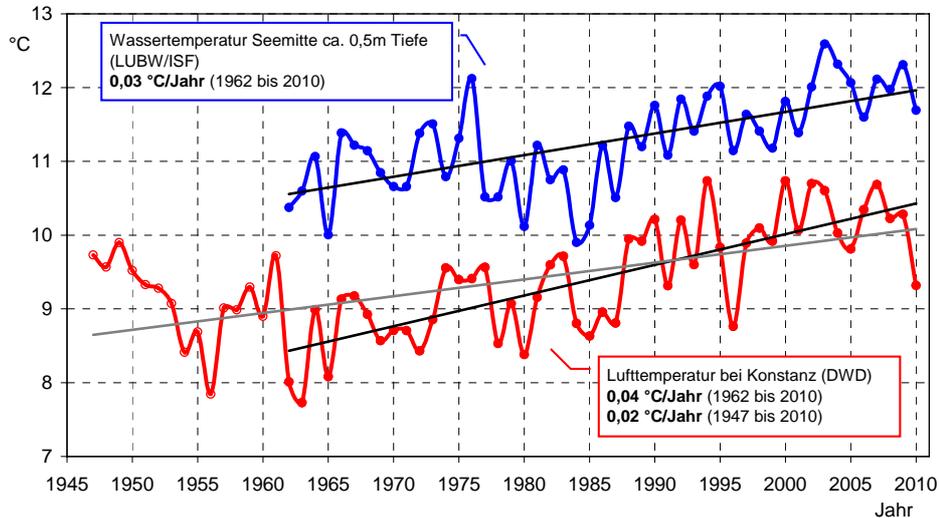


Abb. 20: Jahresmittel der Lufttemperaturen bei Konstanz (rot) und der oberflächennahen Wassertemperaturen (blau) bei der Seemitte des Bodensee-Obersees

Die tendenzielle Erwärmung ist auch im Winter und beginnenden Frühjahr zu verzeichnen, also in der Jahreszeit, in welcher die vertikale Durchmischung bis in die tiefen Wasserschichten vordringt. Da der vertikale Austausch des Tiefenwassers maßgeblich von der Auskühlung der oberen Wasserschichten abhängt, können wärmere winterliche Temperaturen zu einer Abschwächung dieses Vorgangs beitragen. Wie gut die winterliche vertikale Durchmischung in den einzelnen Jahren verlief, wurde mit Hilfe der Verteilung von Wasserinhaltsstoffen quantifiziert (Abb. 21, vgl. KLIWA Heft 11. Die Werte sind hier mit $f(z) = z^{3,1-0,5}$ transformiert und damit um den Wert 0 als empirischer Übergang zwischen guter und schlechter Durchmischung zentriert. Der Bereich von -0,1 bis 0,1 wurde auf Grund der Bestimmungsunsicherheiten als indifferent betrachtet.). Tatsächlich zeigen die Messdatenauswertungen, dass seit Ende der 1980er Jahre der Tiefenwasseraustausch häufiger schwach verlief. Eine geringe Sauerstoffzehrung aufgrund der inzwischen niedrigen Nährstoffbelastung des Sees wirkt der Bildung ausgeprägter Sauerstoffdefizite im Tiefenwasser entgegen. Wie sich eine bei fortwährender Erwärmung möglicherweise weitere Verschlechterung der winterlichen vertikalen Durchmischung auf die für zahlreiche Organismen wichtige Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers auswirkt, muss weiter beobachtet und nach Möglichkeit mit geeigneten Methoden abgeschätzt werden.

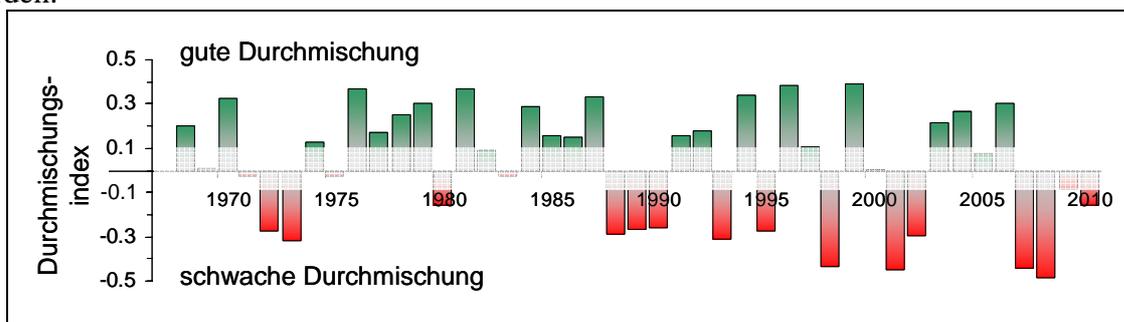


Abb. 21: Der Durchmischungsindex charakterisiert den Erfolg des winterlichen Tiefenwasseraustauschs in den jeweiligen Jahren

9 Voraussetzungen für das weitere Klimamonitoring

Die vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse des Monitorings zum Klimawandel und dessen Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft basieren auf umfangreichen Auswertungen, die vorstehend zusammenfassend dargestellt sind. Grundlage dieser Monitoring-Ergebnisse sind zahlreiche lange Messreihen, die ab etwa 1930 in einer solchen Zahl vorliegen, dass regionale Auswertungen durch Zusammenfassung von Stationsreihen und damit belastbare regionale Veränderungsaussagen möglich sind. Für die Zeit vor 1930 liegen ebenfalls Messreihen vor, allerdings in deutlich geringerem Umfang, so dass sich diese allenfalls für stationsbezogene Auswertungen eignen.

Die dargestellten Fakten und daraus abgeleiteten Erkenntnisse beruhen auf Messnetzen, die von Vorgängerinstitutionen in früheren Jahrzehnten vorausschauend eingerichtet wurden und die seit Jahrzehnten betrieben werden. Gleichwohl ist aus fachlicher Sicht immer wieder zu bedauern, dass nicht noch mehr Messungen vorliegen. Aus dieser Erfahrung heraus wird die fachliche Notwendigkeit gesehen, die bestehenden hydrologischen und meteorologischen Messnetze im bestehenden Umfang kontinuierlich und langfristig weiter zu betreiben. Sie sind hinsichtlich der heutigen und zukünftigen fachlichen Anforderungen zu optimieren und in erforderlichem Maße weiter auszubauen.

Das Auswerten von möglichst langen, lückenlosen Messreihen meteorologischer und hydrologischer Klimaparameter aus flächendeckenden Messnetzen ist die Grundlage für ein wissenschaftlich quantifizierbares Erfassen von Veränderungen. Dies gilt insbesondere auch für ein Klimamonitoring. So können längerfristig ablaufende Veränderungen im Klimasystem und im Wasserkreislauf nachvollziehbar erfasst werden. Die regelmäßigen Auswertungen zur Erfassung der laufenden Veränderungen dienen auch als Grundlage und Referenz für die Beurteilung der kommenden regionalen Veränderungen von Klima und Wasserhaushalt.

Ohne umfassende Messdaten sind eine Weiterentwicklung von Modellen im Klimabereich und der Wettervorhersage sowie die sachgerechte Nutzung von Wasserhaushaltsmodellen in der heute erforderlichen Qualität nicht möglich. Die Kooperationspartner von KLIWA halten es daher für notwendig, das etablierte Klimamonitoring gesichert weiter zu führen. Mit KLIWA-Monitoringberichten sollen auch weiterhin Ergebnisse und Erkenntnisse zum Klimawandel in Süddeutschland dokumentiert werden.





10 Literaturverzeichnis

- KLIWA Heft 2: Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 98 S., ISBN 978-3-88251-284-9, Karlsruhe 2002
- KLIWA Heft 3: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 978-3-8851-286-5, Karlsruhe 2003
- KLIWA Heft 5: Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern, 76 S., ISBN 978-3-937911-17-0, München 2005
- KLIWA Heft 6: Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern, 88 S., ISBN 978-3-937911-18-9, München 2005
- KLIWA Heft 7: Langzeitverhalten des Gebietsniederschlages in Baden-Württemberg und Bayern, 160 S.; ISBN 978-3-937911-19-7, München 2005
- KLIWA Heft 8: Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 978-3-88148-412-4, Offenbach 2006
- KLIWA Heft 11: Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee, 99 S., ISBN 978-3-88251-326-4, Karlsruhe 2007
- KLIWA Heft 12: Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern, 147 S., ISBN 978-3-88148-429-9, Offenbach 2008
- KLWA Heft 16: Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen, ISBN 978-3-88251-362-2; in Vorbereitung zum Druck
- KLIWA (Ed.): Klimawandel in Süddeutschland (Veränderung der Kenngrößen Lufttemperatur, Niederschlag und Hochwasserabfluss) - Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA, 24 S., veröffentlicht auf der Internetseite www.kliwa.de 2008
- Müller-Westermeier, G.: Numerisches Verfahren zu Erstellung klimatologischer Karten, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 193, Offenbach 1995
- Maier, U. & Müller-Westermeier, G.: Verifikation klimatologischer Rasterfelder, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 235, Offenbach 2010
- WMO (Ed.): WMO-Bericht zum Zustand des globalen Klimas 2010, 16 S., Weltorganisation für Meteorologie, 2011, deutsche Fassung veröffentlicht auf den Internetseiten des DWD

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>