

Klimawandel und Wasserhaushalt in Bayern

## Die Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse in Bayern



Niedrigwasserabflüsse, wie hier an der Iller bei Kempten im Dezember 2011, werden schnell mit Klimaänderungen in Zusammenhang gebracht. Dieses Infoblatt fasst die Untersuchungen des LfU zu Trends in der Vergangenheit in Bayern zusammen.

Als eine mögliche Folge des Klimawandels wird in der öffentlichen Diskussion oft die Zunahme von Dürreperioden mit der einhergehenden Häufung von Niedrigwasserereignissen thematisiert. Neben negativen Auswirkungen auf die im und vom Wasser lebenden Organismen ist auch der Mensch in vielfältiger Weise durch Niedrigwasser betroffen. Die hier vorliegende umfassende Analyse der Niedrigwasserabflüsse bayerischer Fließgewässer soll aufzeigen, ob in den vergangenen Jahrzehnten bereits Änderungen in den verschiedenen Niedrigwasserkennwerten nachgewiesen werden können und inwieweit diese durch den Wandel von Klimavariablen erklärbar sind.

---

## 1 Klimawandel und Niedrigwasser

Veränderungen von Einflussgrößen wie Niederschlag und Temperatur haben direkte Auswirkungen auf die Abflussbildung. Neben den oft mit dem Klimawandel in Zusammenhang gesehenen Hochwasserereignissen sind auch häufigere Niedrigwasserbedingungen mögliche Folgen des Klimawandels und von ökologischem, gesellschaftlichem und ökonomischem Interesse. Trockenperioden und damit einhergehende Niedrigwasserabflüsse betreffen die Gewässer als Lebensraum selbst sowie die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Handlungsfelder Wasserversorgung, Bewässerung und Wasserentnahmen, Wasserkraft, Speicher- und Talsperrenbewirtschaftung, Energiewirtschaft, Schifffahrt und Abwasserbeseitigung. Darüber hinaus werden direkte und indirekte Auswirkungen auch für Landwirtschaft, Fischerei und Tourismus erwartet. Konkurrierende Nutzungsansprüche, wirtschaftliche Einbußen und Beeinträchtigungen der Gewässerqualität sind nur einige der Probleme, die sich in diesem Zusammenhang ergeben können.

Dessen ungeachtet sind Niedrigwasserperioden natürliche Ereignisse, die in den Flüssen mit pluvialem, vorwiegend durch Regen gespeistem Abflussregime im Norden Bayerns meist durch länger andauernde Trockenperioden im Sommer und Herbst hervorgerufen werden. Sie gehen oft mit hohen Temperaturen und mit hoher Verdunstung einher. Im Süden Bayerns, also in Gewässern unter alpinem Einfluss mit nivalem, vorwiegend durch Schneeschmelze gespeistem Abflussregime, treten Niedrigwasserphasen vor allem im Winter und Frühjahr auf, wenn der Niederschlag in der Schneedecke, in Gletschern und im gefrorenen Untergrund gespeichert wird und noch kein Tauwetter einsetzt. Lang andauernde sommerliche Trockenperioden können jedoch auch im Süden Bayerns zu Niedrigwasser in den Flüssen führen, wie zum Beispiel im Sommer 2003. Solche Trockenperioden können durch den Klimawandel verstärkt auftreten.

Um zukünftige Entwicklungen abschätzen und einordnen zu können, ist der Blick in die Vergangenheit sehr wichtig. Mit der Kenntnis bisheriger Entwicklungstrends können Änderungstendenzen abgeschätzt und gegebenenfalls Maßnahmen zur Reduzierung negativer Folgen des Klimawandels in Angriff genommen werden. In diesem Zusammenhang wurde das Langzeitverhalten der Oberflächenabflüsse und insbesondere auch der Niedrigwasserabflüsse sowohl im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA (KLIWA 2011a) als auch am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in dahingehenden Aufträgen (Willems 2011) untersucht. Der vorliegende Bericht über die Niedrigwasserabflüsse in Bayern beinhaltet die Ergebnisse der statistischen Auswertung langjähriger, beobachteter Abflussreihen. Im Folgenden werden Trends in der Ausbildung von Niedrigwasserabflüssen, die Dauer von Niedrigwasserperioden und deren Auftreten im Jahresverlauf vorgestellt. Abschließend werden mögliche Ursachen für das aufgezeigte Langzeitverhalten der bayerischen Fließgewässer diskutiert.

## 2 Analysemethoden

Für die Auswertung des Langzeitverhaltens von Niedrigwasserverhältnissen wurden Messreihen von 70 bayerischen Pegeln untersucht (siehe Abbildung 1). Diese Zeitreihen wiesen dabei unterschiedliche Längen mit einem frühesten Beginn ab 1900 und einem einheitlichen Zeitreihenende 2006 auf.

Zur hydrologischen Charakterisierung des Niedrigwassers gibt es Kennwerte, die aus den Abflusszeitreihen ermittelt werden. Ein zentraler Niedrigwasserkennwert ist das niedrigste 7-tägige Abflussmittel im jeweiligen Jahr (NM7Q). Hierzu werden also die niedrigsten Abflüsse eines Jahres, die in einem Zeitraum von 7 Tagen vorkommen, aus den Messreihen ermittelt und anschließend der Mittelwert der betrachteten Jahreswerte gebildet. Im Gegensatz zu Klimavariablen, wie der Lufttemperatur, wird der Analysen von Niedrigwasserverhältnissen das so genannte Niedrigwasserjahr von April bis März des Folgejahres zugrunde gelegt.

Die Veränderung der Dauer von Niedrigwasserperioden wird mit der maximalen Dauer der Unterschreitung eines vorgegebenen Abflussgrenzwertes für jedes hydrologische Jahr charakterisiert. Als Grenzwert

dient hier der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ). Er wird aus dem Mittel der niedrigsten Jahresabflüsse des Untersuchungszeitraumes berechnet. Der MNQ selbst wird hier nicht weiter betrachtet.

Die Auswahl der für diese Untersuchung herangezogenen Pegel erfolgte nach drei Kriterien:

1. Pegel an denen auch die Wassertemperatur gemessen wurde,
2. Pegel mit homogenen Zeitreihen (Messreihen ohne abrupte Verlaufsänderungen) sowie
3. Pegel mit möglichst langen Zeitreihen.

Eine differenzierte Untersuchung der Pegel auf eine anthropogene, das heißt menschliche Beeinflussung des Abflusses erfolgte in diesem Zusammenhang allerdings nicht. Somit zeichnen diese Auswertungen ein übergreifendes Bild über die Summe aller Veränderungen in der Vergangenheit. Neben der Entwicklung natürlicher Faktoren, wie zum Beispiel dem Klima, wirken demnach auch weitere Einflüsse wie Landnutzungsänderungen und wasserwirtschaftliche Maßnahmen (Speicherbau mit Niedrigwasseraufhöhung) auf die Niedrigwasserabflüsse ein. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse und der ermittelten Trends unbedingt zu beachten.



Abb. 1: Die langjährigen Messreihen von 70 Pegeln aus ganz Bayern, wie dieser hier in Wiblingen an der Iller, bilden die Datenbasis dieser Untersuchung.

Die zahlreichen Aspekte von möglichen Instationaritäten, also von langfristigen Veränderungen der Zeitreihen wie zum Beispiel Trends, wurden mit jeweils gezielt angewandten statistischen Verfahren beleuchtet. Trends mit mittlerem Verhalten der betrachteten Serien über die jeweils zur Verfügung stehenden gesamten Messzeiträume wurden anhand des Mann-Kendall-Tests, des saisonalen Mann-Kendall-Tests und des t-Tests analysiert. Die Untersuchung von Trends in Teilzeiträumen erfolgte mit Hilfe von lokal gewichteten Regressionen, Trenddreiecken und segmentierten, instationären Wahrscheinlichkeitsanalysen. Untersuchungen zur Saisonalität beruhen auf trigonometrischen und zirkular-linearen Regressionen. Inwieweit Instationaritäten in hydrologischen Zeitreihen anhand von Instationaritäten in den klimatologischen Variablen erklärt werden können, wurde mittels multipler Regression geprüft. Eine detaillierte Beschreibung der genannten Methoden enthält der KLIWA-Bericht zum Langzeitverhalten der Grundwasserstände (KLIWA 2011b).



### 3 Langzeitverhalten von Niedrigwasserabflüssen

Basierend auf den Auswertungen des Langzeitverhaltens von Niedrigwasserabflüssen durch Willems (2011) wurden die Ergebnisse zunächst in Hinblick auf die zeitlichen und räumlichen Veränderungen von Niedrigwasserkennwerten näher betrachtet. Im Anschluss werden mögliche Ursachen dieser Veränderungen der Niedrigwasserkennwerte erörtert.

#### 3.1 Zeitliche und räumliche Veränderungen von Niedrigwasserkennwerten

Die überwiegende Zahl der 70 untersuchten, bayerischen Messpegel weist keine wesentlichen (signifikanten) Veränderungen der Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) über den Gesamtzeitraum der Messungen auf. Dieses Ergebnis zeigen sowohl die Niedrigwasserabflüsse im Gesamtjahr (Abbildung 2, links) als auch die Auswertung des Sommer- und Winterhalbjahres (Abbildung 2, Mitte und rechts). Die geringere Anzahl an Pegeln mit einem signifikanten Trend bilden vorwiegend einen steigenden Trend, also eine Entspannung der Niedrigwasserverhältnisse, ab (Abbildung 2, blaue Kästchen) und sind gleichmäßig über ganz Bayern verteilt zu finden. Messstellen mit einem abnehmenden Trend konzentrieren sich im Südwesten Bayerns (Abbildung 2, rote Kästchen). Bei der Interpretation ist zu beachten, dass eine winterliche Abnahme von NM7Q im Süden und eine sommerliche Abnahme im Norden jeweils schwerwiegender als in der jeweils anderen Jahreshälfte sind, da in diesen Zeiträumen der natürliche Abfluss dort am geringsten ist.

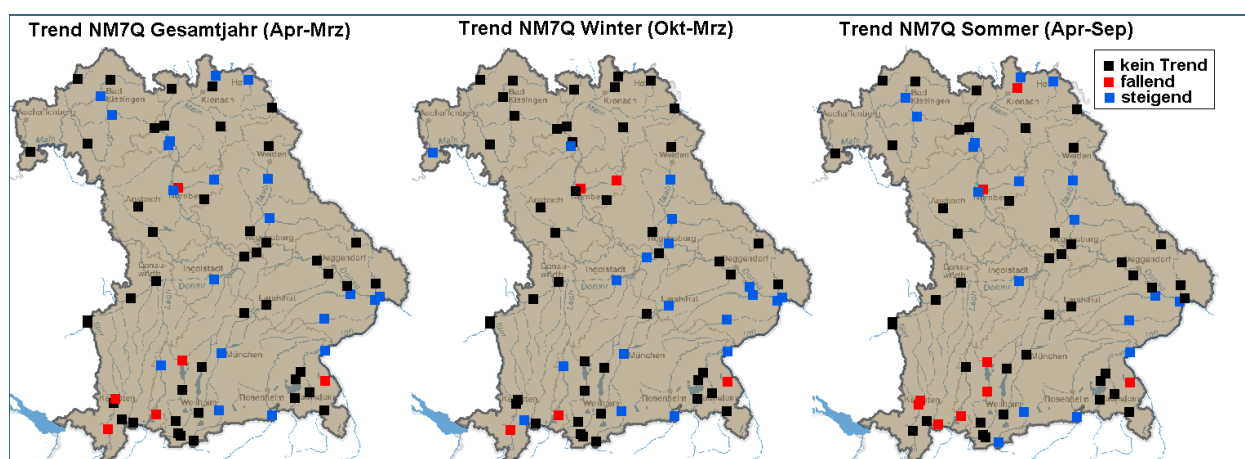


Abb. 2: Langjährige Veränderung des NM7Q an ausgewählten Pegeln in Bayern. Weder im gesamten Jahresverlauf noch im Sommer oder Winter ist ein einheitlicher Trend für Niedrigwasserabflüsse in Bayern erkennbar. Wasserwirtschaftliche Maßnahmen wie Niedrigwasseraufhöhungen durch Überleitungen und Stauseen stützen zunehmend die Niedrigwasserabflüsse und verhindern einen negativen Trend.

Bei detaillierterer Betrachtung der einzelnen Zeitreihen wird deutlich, dass bestehende Veränderungen meist nicht gleichmäßig über den gesamten Zeitraum erfolgen. Die Auswertung von „gewichteten“ Regressionen belegt vielmehr, dass in gewissen Zeiträumen die Veränderungen stärker sind wie in anderen. Ein anschauliches Beispiel ist die dargestellte zeitliche Entwicklung des Niedrigwasserabflusses NM7Q des Pegels Manching an der Paar (Abbildung 3). Der hier gezeigte S-förmige Verlauf ist typisch für den größten Teil aller untersuchten Zeitreihen. Auffällig ist der oftmals starke, nahezu sprunghafte Anstieg im Zeitraum 1960 – 1970 (Abbildung 3, grüne Linie). Dieser eher kurzfristige Trend zeigt sich vor allem im Gesamtjahres- und Winterhalbjahresniedrigwasser. Nach diesem sprunghaften Anstieg der Niedrigwasserabflüsse ist oft nur ein sehr geringer jährlicher Anstieg zu beobachten. Bei etwa der Hälfte der betrachteten Pegel kehrt sich dieser Trend etwa ab 1980 sogar ins leicht negative um. Diese Trendumkehr ist allerdings nicht signifikant und deshalb auch nicht als rotes Kästchen in Abbildung 2 zu sehen. Dennoch ist gerade diese gehäufte Entwicklung zu abnehmenden Niedrigwasserabflüssen etwa nach 1980 von besonderem wasserwirtschaftlichen Interesse und wird kritisch weiterverfolgt.

Bei den Veränderungen in den Teilzeiträumen spiegeln sich verschiedene Einflüsse, wie zum Beispiel eine zunehmende wasserwirtschaftliche Beeinflussung (zum Beispiel durch Niedrigwasseraufhöhung in den 1960er bis 1970er Jahren) oder Einflüsse des Klimawandels in jüngster Zeit (ab den 1980er Jahren) wieder. Der jeweilige Anteil der unterschiedlichen Einflüsse war in dieser Untersuchung nicht eindeutig identifizierbar.

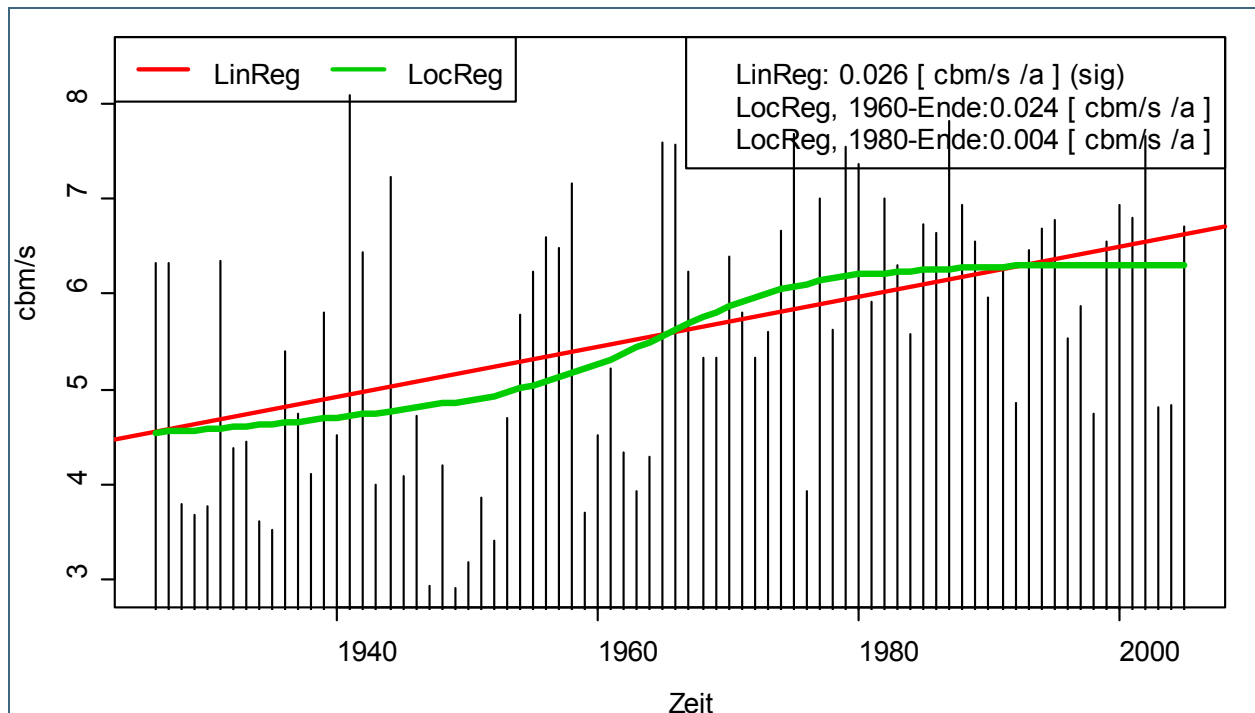


Abb. 3: Während die Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) etlicher Pegel wie in Manching an der Paar über den gesamten Messzeitraum eine kontinuierliche Zunahme anzeigen, deuten die Ergebnisse der „gewichteten Regression“ (grüne Linie) durch eine sprunghafte Erhöhung des Abflussniveaus in den 1960er Jahren den Einfluss der Abflussregulierung an. Ab 1980 ist in vielen Gewässern ein Rückgang erkennbar.

Auch der durchschnittliche Zeitpunkt des Eintretens von Niedrigwasserphasen im Jahresverlauf ist in vielen Bereichen ein wichtiger Kennwert. Dieser hat sich, charakterisiert durch den Kennwert NM7Q, für etwa 60 % der Pegel signifikant verändert. Hierbei tritt eine räumliche Zweiteilung auf. Das sommerliche bis herbstliche Auftreten der Niedrigwasserperioden im Norden Bayerns verschiebt sich tendenziell hin zum Spätsommer, wohingegen die winterlichen Niedrigwasserphasen im Süden Bayerns eher früher eintreten (siehe Abbildung 4).

Wasserwirtschaftlich besonders relevant ist die Fragestellung, ob sich die Andauer von Niedrigwasserphasen bisher verändert hat. Ähnlich wie beim NM7Q weist die überwiegende Anzahl der Pegel hier keine signifikante Änderung auf. Lediglich für ein Drittel der Messstellen wurde ein signifikanter Trend hin zu kürzeren Dauern ermittelt, wohingegen kein Pegel zu längeren Dauern tendiert. Die Tendenz zu kürzeren Dauern setzte sprunghaft seit den 60er Jahren ein und kann als Indiz für die Wirkung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Stützung der Niedrigwasserabflüsse interpretiert werden.

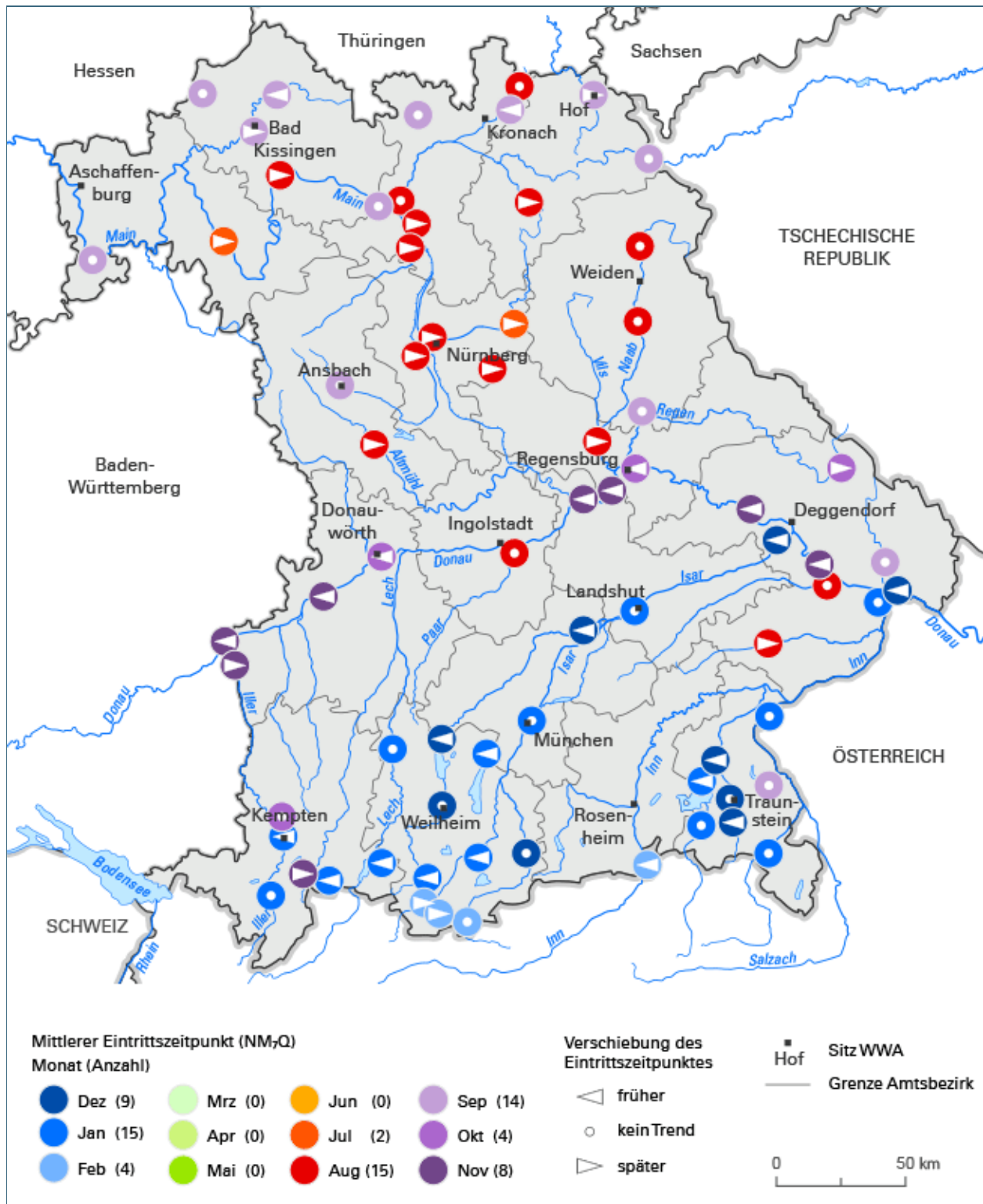


Abb. 4: Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) treten nördlich der Donau vorwiegend im Spätsommer auf und neigen dazu später im Jahr einzutreten. Südlich der Donau kommen Niedrigwasserabflüsse vorwiegend im Winter vor und tendieren zu einer Vorverlagerung.

### 3.2 Ursachen der Veränderungen von Niedrigwasserkennwerten

Korrelationsuntersuchungen der Abflüsse und Abflussveränderungen mit klimatischen Kenngrößen und deren Veränderungen haben gezeigt, dass die Veränderungen der Niedrigwasserabflüsse nur zu einem sehr geringen Anteil anhand der Veränderungen von Niederschlag und Lufttemperatur, also durch den

---

Klimawandel erklärt werden können. Demnach sind andere Einflüsse hierfür verantwortlich. Dies können weitere, nicht betrachtete bzw. nicht messtechnisch erfasste natürliche Einflüsse, aber vor allem auch anthropogene Faktoren sein. Als solche Faktoren werden Landnutzungsänderungen oder auch wasserbauliche Maßnahmen verstanden. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass der abflussregulierend wirkende Einsatz zahlreicher Überleitungen und Speicher in Niedrigwasserzeiten hierbei einen Anteil hat. Allerdings konnte dieser Einfluss im Rahmen der Langzeitauswertungen nicht quantifiziert werden.

## 4 Zusammenfassung

Die statistische Analyse über bereits nachweisbare Trends für Niedrigwasserabflüsse von 70 bayerischen Abflusspegeln mit Messwerten der vergangenen Jahrzehnte zeigt für Bayern keine einheitlichen Tendenzen auf. So konnten für den überwiegenden Teil der Messpegel keine deutlichen (signifikanten) Veränderungen der Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) und der Dauer der Niedrigwasserabflüsse über den gesamten Messzeitraum nachgewiesen werden. Dennoch wurden im Norden Bayerns vereinzelte Pegel mit signifikanten Zunahmen und im Südwesten vereinzelte Pegel mit signifikanten Abnahmen der Niedrigwasserabflüsse ermittelt. Dieses Trendverhalten besteht sowohl für das gesamte Niedrigwasserjahr von April bis März des Folgejahres als auch für die Sommer- und Winterhalbjahre. Im Gegensatz dazu konnte eine Verschiebung des Eintrittszeitpunktes der Niedrigwasserabflüsse für einen Großteil der Pegel statistisch belegt werden. Das sommerliche bis herbstliche Auftreten von NM7Q im Norden Bayerns verschiebt sich tendenziell hin zum Spätsommer, wohingegen die winterlichen Niedrigwasserphasen im Süden Bayerns vermehrt früher eintreten. Bemerkenswert ist, dass etwa die Hälfte der betrachteten Messstellen im Zeitraum von 1980 bis 2006 eine jährliche, aber nicht signifikante, Abnahme im NM7Q aufweist.

Die festgestellten Änderungen der jährlichen Niedrigwasserabflüsse konnten nur zu einem sehr geringen Teil anhand von Änderungen des Niederschlags und der Lufttemperatur erklärt werden. Eine Überprägung des natürlichen Klimasignals in den jährlichen Niedrigwasserabflüssen durch anthropogene Eingriffe, wie zum Beispiel Landnutzungsänderung und wasserwirtschaftliche Maßnahmen ist sehr wahrscheinlich. Dennoch deutet vor allem die Entwicklung der Niedrigwasserabnahmen seit den 1980er Jahren auf einen zunehmenden Einfluss des Klimawandels auf die Abflussbildung hin. Die weitere Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse wird daher auch in Zukunft kritisch beobachtet und ist im Zusammenhang mit der Analyse der Entwicklung der Andauer von Niedrigwasserphasen Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

## Literatur

KLIWA 2011a: Klimawandel in Süddeutschland. Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA Monitoringbericht 2011. 40 S.

KLIWA 2011b: Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz; KLIWA Heft 16; Karlsruhe, 148 S.

Willems, W. 2011: Langzeitverhalten von Niedrigwasserabflüssen und Wassertemperaturen in Bayern: Strukturen und Ursachen von Veränderungen. Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt. Bericht von 2011, mit Korrekturen vom März 2012. Unveröffentlichter Bericht, Ottobrunn. 210 S.

## Impressum:

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

### Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

### Bearbeitung:

Ref. 81 / F. Bäse, H. Morscheid, H. Komischke, J. Weber

### Bildnachweis:

Titelbild: A. Rieg, WWA Kempten, Niedrigwasser der Iller bei Kempten im Dezember 2011

Abbildung 1: LfU, Wiblingen an der Iller

Stand:

Juni 2014

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.