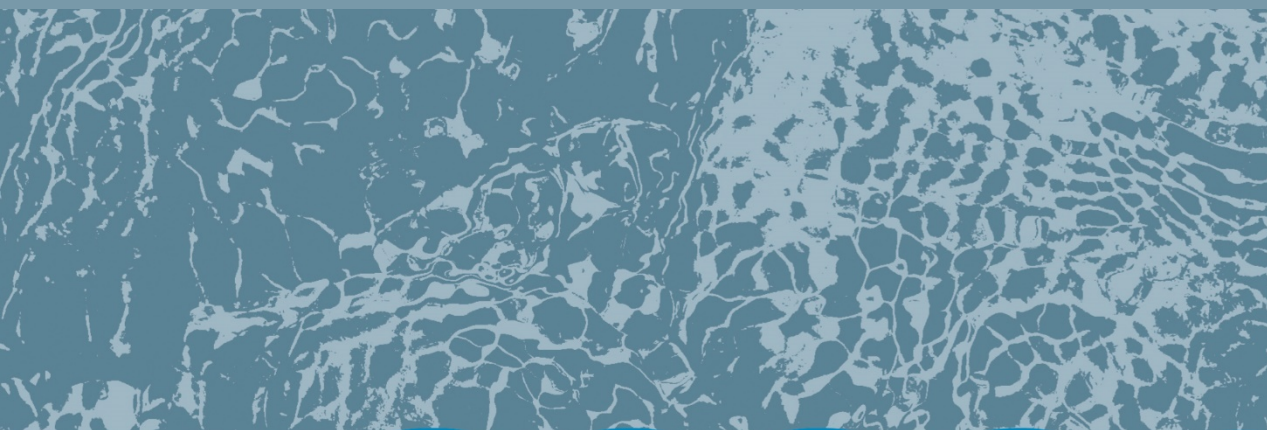




Niedrigwasser 2018 und 2019

Analysen und Auswirkungen für Bayern



wasser





Niedrigwasser 2018 und 2019

Analysen und Auswirkungen für Bayern

Impressum

Niedrigwasser 2018 und 2019 – Analysen und Auswirkungen für Bayern

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

1, 4, 5, 6: LfU, Joachim Stoermer
2.1.1, 2.1.2: LfU, Christine Hangen-Brodersen
2.2: LfU, Ronja Fliß, Dr. Benjamin Kopp
2.3: LfU, Reiner Schultheiß
2.4: LfU, Bernhard Gleißner, Andreas Mahler
3: LfU, Christine Schranz, Thomas Riegel
3.1.1, 3.2.1: LfU, Peter Schmidt
3.3.1.7: LfU, Ulrich Kaul
1.2, 2.1.3, 3.1.2, 3.2.2, 6: LfU, Maria Foltyn, Katrin Panzer

Redaktion:

LfU, Manuela Hörath
LfU, Matthias Balg

Federführung

LfU, Joachim Stoermer

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand

September 2020

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. 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.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation 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. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter 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.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
1 Meteorologische Situation	7
1.1 Witterung Januar 2018 bis Dezember 2019	9
1.1.1 Spätwinter 2018	10
1.1.2 Spätwinter 2019	11
1.1.3 Frühling 2018	12
1.1.4 Frühling 2019	13
1.1.5 Sommer 2018	15
1.1.6 Sommer 2019	16
1.1.7 Herbst 2018	19
1.1.8 Herbst 2019	21
1.1.9 Frühwinter 2018	24
1.1.10 Frühwinter 2019	25
1.1.11 Fazit	26
1.2 Klimatische Einordnung	30
2 Hydrologische Situation	32
2.1 Fließgewässer und Seen	32
2.1.1 Fließgewässer	32
2.1.1.1 Jahresabfluss 2018 und 2019	32
2.1.1.2 Niedrigwasserabfluss	34
2.1.1.3 Abflussentwicklung im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019	38
2.1.2 Seen	45
2.1.3 Klimatische Einordnung	49
2.2 Grund- und Bodenwasser	52
2.2.1 Grundwasserstände und Quellschüttungen	53
2.2.1.1 Situation 2018 und 2019	53
2.2.1.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag	58
2.2.2 Bodenwasser	60
2.2.2.1 Situation 2018 und 2019	60
2.2.2.2 Trockenheitsindex	62

2.3	Wasserversorgung	64
2.3.1	Aufgabe und Struktur	64
2.3.2	Trinkwasserherkunft	65
2.3.3	Trinkwasserverbrauch im Trockenjahr 2018	66
2.3.4	Sicherheit der öffentlichen Trinkwasserversorgung im Trockenjahr 2018	66
2.3.5	Trinkwasserversorgung im Jahr 2019	67
2.3.6	Staatliche Maßnahmen (Beispiele)	68
2.3.7	Fazit	68
2.4	Speicherbewirtschaftung und Überleitung	69
2.4.1	Überleitung Donau-Main	70
2.4.2	Sylvensteinsee	71
2.4.3	Trinkwassertalsperre Mauthaus	73
2.4.4	Trinkwassertalsperre Frauenau	75
2.4.5	Fazit und Ausblick	76
3	Ökologische Situation	77
3.1	Wassertemperatur Fließgewässer	77
3.1.1	Situation in den Jahren 2018 und 2019	77
3.1.1.1	Jahreshöchstwerte	77
3.1.1.2	Jahresmittelwerte	79
3.1.1.3	Tagesmittelwerte	80
3.1.2	Klimatische Einordnung	81
3.2	Wassertemperatur Seen	84
3.2.1	Situation in den Jahren 2018 und 2019	84
3.2.1.1	Jahreshöchstwerte	84
3.2.1.2	Jahresmittelwerte	85
3.2.1.3	Tagesmittelwerte	86
3.2.2	Klimatische Einordnung	88
3.3	Lebensraum Gewässer	89
3.3.1	Fließgewässer	89
3.3.1.1	Aspekte der Gewässerqualität im Überblick	89
3.3.1.2	Flussperlmuschel	90

3.3.1.3	Gewässerqualität am Beispiel des Mains	90
3.3.1.4	Gewässerökologischer Alarmplan – Beispiel Main	92
3.3.1.5	Wassertemperaturen	92
3.3.1.6	Trockenfallende Gewässer	94
3.3.1.7	Abwassereinleitungen	95
3.3.2	Seen	96
3.3.2.1	Wassertemperatur	96
3.3.2.2	Fischsterben	97
3.3.2.3	(Blau-)Algenblüten	97
3.3.2.4	Entwicklung der Trophie in Niedrigwasserjahren gemäß Überwachungs- und Regionalmonitoring	98
3.3.2.5	Makrozoobenthos (Wirbellose Organismen des Gewässergrundes)	99
3.3.2.6	Makrophyten/benthische Flora	100
3.3.2.7	Parasiten	101
3.3.2.8	Weitere Faktoren im Zusammenhang mit Hitzeperioden	101
3.3.3	Fazit Lebensraum Gewässer	101
4	Niedrigwasser-Informationsdienst	102
4.1	Internetangebot NID	102
4.2	Zugriffszahlen	104
4.3	Lageberichte	106
5	Schifffahrt	107
6	Zusammenfassung und Fazit	111
7	ANHANG	114
8	Tabellenverzeichnis	122
9	Abbildungsverzeichnis	123

Vorwort

Die extrem warme und trockene Witterung der letzten Dekade hat gravierende hydrologische Folgen. Die stärksten Auswirkungen gehen zurück auf die häufigen und langanhaltenden Niedrigwassersituationen im Jahr 2018, die 2019 eine abgeschwächte Fortsetzung fanden.

Dabei sind ober- und unterirdische Gewässer betroffen: Wir verzeichnen niedrige Wasserstände in Fließgewässern, Seen und Talsperren, verringerte Quellschüttungen, geringe Bodenwassergehalte, niedrige oberflächennahe Grundwasserstände und niedrige Tiefengrundwasserstände. Insbesondere das Tiefengrundwasser konnte sich in den letzten Jahren verbreitet nicht nachhaltig Neubilden und keine Erholung zu Mittelwasserständen mehr erfahren. Die häufigen Niedrigwassersituationen wirken sich bereits auf unsere elementaren Lebensgrundlagen aus. Dazu gehören neben qualitativ hochwertigem Trinkwasser ausreichend und unbelastetes Wasser für die Gewässerlebewesen (Flora und Fauna), für die landwirtschaftliche Bewässerung sowie zur gezielten Niedrigwasseraufhöhung. Die Wasserkraftnutzung zur Stromerzeugung, die Gesamtheit der Ökologie mit ihrem Artenspektrum (Fauna und Flora), die Schifffahrt, die Teich- und Fischwirtschaft sowie Tourismus- und Freizeitbelange (Fahrgastschifffahrt, Wassersport, Baden in Gewässern) werden ebenfalls von den Veränderungen beeinflusst.

Der Niedrigwasser Informationsdienst Bayern (NID) hat sich als zentrale Internetplattform etabliert. Er wurde in den vergangenen Jahren weiter ausgebaut und verzeichnet deutlich steigende Zugriffszahlen. Die gewässerökologischen Alarmpläne Main und Donau haben ihre Bewährungsproben bestanden, sensibilisieren frühzeitig Gewässernutzer sowie die Öffentlichkeit über gewässerökologisch kritische Zustände und unterstützen bei der Einleitung von koordinierten Maßnahmen.

Der vorliegende Bericht schildert die Ereignisverläufe der Jahre 2018 und 2019 aus unterschiedlichen fachlichen Perspektiven und ermöglicht einen vertieften detaillierten Blick auf die Auswirkungen. Die beiden Niedrigwasserjahre stellten einen Belastungstest für unsere wasserwirtschaftlichen und umweltschutzrelevanten Aufgaben dar und erlauben einen Ausblick auf mögliche künftige Verhältnisse in Zeiten des Klimawandels.

Die Herausforderungen, wie zum Beispiel die Gewährleistung der Wasserversorgung aus Trinkwassertalsperren, die Niedrigwasseraufhöhung von Fließgewässern und die Überleitung von Donauwasser ins Maingebiet wurden insgesamt gut gemeistert. Gleichzeitig wurden die Grenzen deutlich erkennbar. Die Erfahrungen aus den beiden Extremjahren zeigen, dass weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Vorsorge und Optimierung getroffen werden müssen.

Claus Kumutat
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

1 Meteorologische Situation

Die zentralen meteorologischen Größen zur Beschreibung der Witterungsverhältnisse sind die Lufttemperatur, der Niederschlag und die solare Einstrahlung. Um die Besonderheiten der Jahre 2018 und 2019 herauszuarbeiten, müssen verschiedene räumliche und zeitliche Skalen analysiert werden. Zu Beginn betrachten wir das Gesamtgebiet Bayern mit seinen meteorologischen Jahreswerten der 139-jährigen Beobachtungsreihe.

Die kältesten Jahre der Messreihe liegen lange zurück (1887, 1940, und 1956) und seit etwa 1997 steigt die Jahresmitteltemperatur für Bayern deutlich an (Abb. 1, gleitendes 30-jähriges Mittel). Als Referenzperiode wird in diesem Bericht vorrangig der Zeitraum 1971 bis 2000 verwendet, um den Vergleich mit Klimastudien zu ermöglichen (KLIWA: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft).

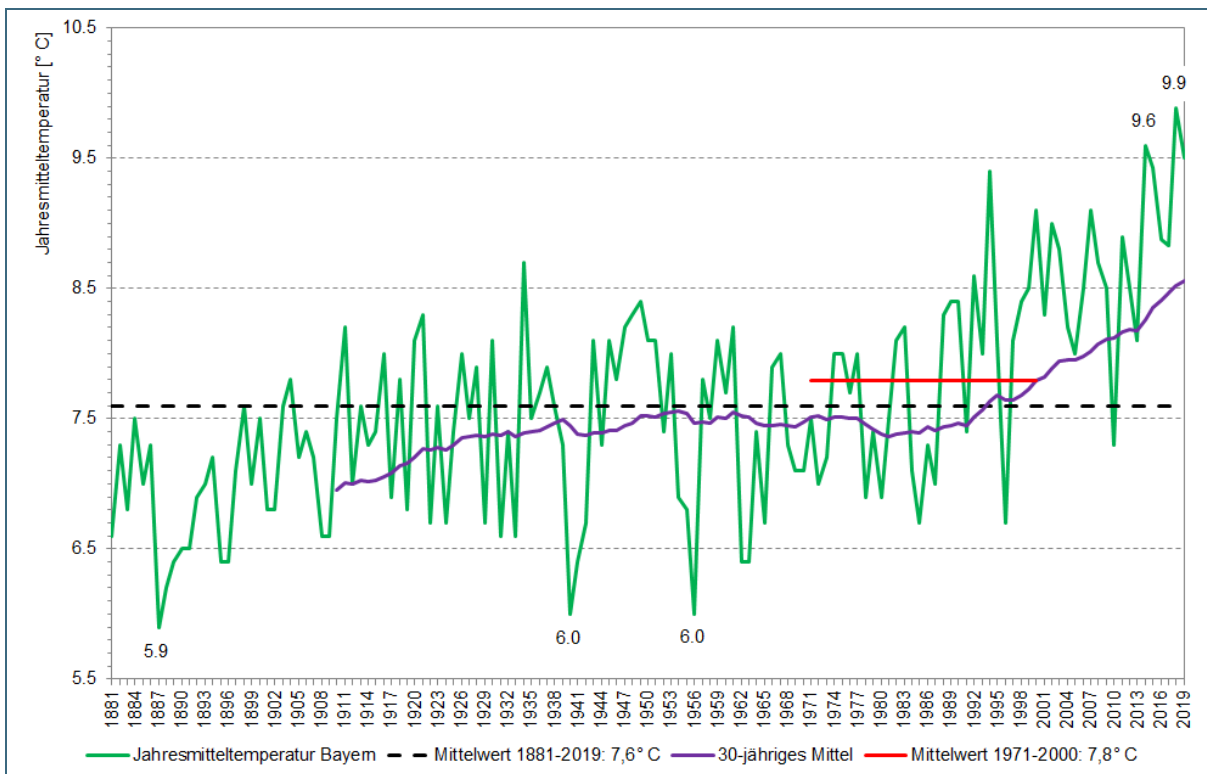


Abb. 1: Jahresmitteltemperaturen für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD)

Der Rekordwert für das **wärmste Jahr in der 139-jährigen Beobachtungsreihe wurde 2018** mit einem Jahresmittel von 9,9 °C erreicht und liegt damit deutlich über den beiden anderen Extremjahren 2014 (9,6 °C) und 2019 (9,5 °C). Im langjährigen Vergleich (Mittel 1971–2000) ist das **Jahr 2019 das neunte zu warme Jahr in Folge. Seit 1960 fiel in Bayern jedes Jahrzehnt deutlich wärmer aus als das vorherige** – diese Feststellung wurde auch für Deutschland getroffen (DKK 2020).

Bei der weiterführenden Analyse der monatlichen Temperaturabweichungen vom langjährigen Mittel (siehe Anhang Abb. 82) zeigen sich interessante Auffälligkeiten. So fielen der Juni und der November in den letzten 10 Jahren (2010 bis 2019) immer zu warm aus (positive Abweichung vom Mittel 1971–2000). Beim April und Juli blieben 9 der letzten 10 Jahre zu warm.

Bei der Betrachtung der Jahresniederschläge lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen, allenfalls eine Aufeinanderfolge und Gruppierung von zu nassen und zu trockenen Jahren (Abb. 2). Das Jahr

2003 (690 mm) erreicht Rang 4 der trockensten Jahre im Zeitraum seit 1881, hinter den Jahren 1921 (662 mm), 1953 (654 mm) und 1911 (642 mm).

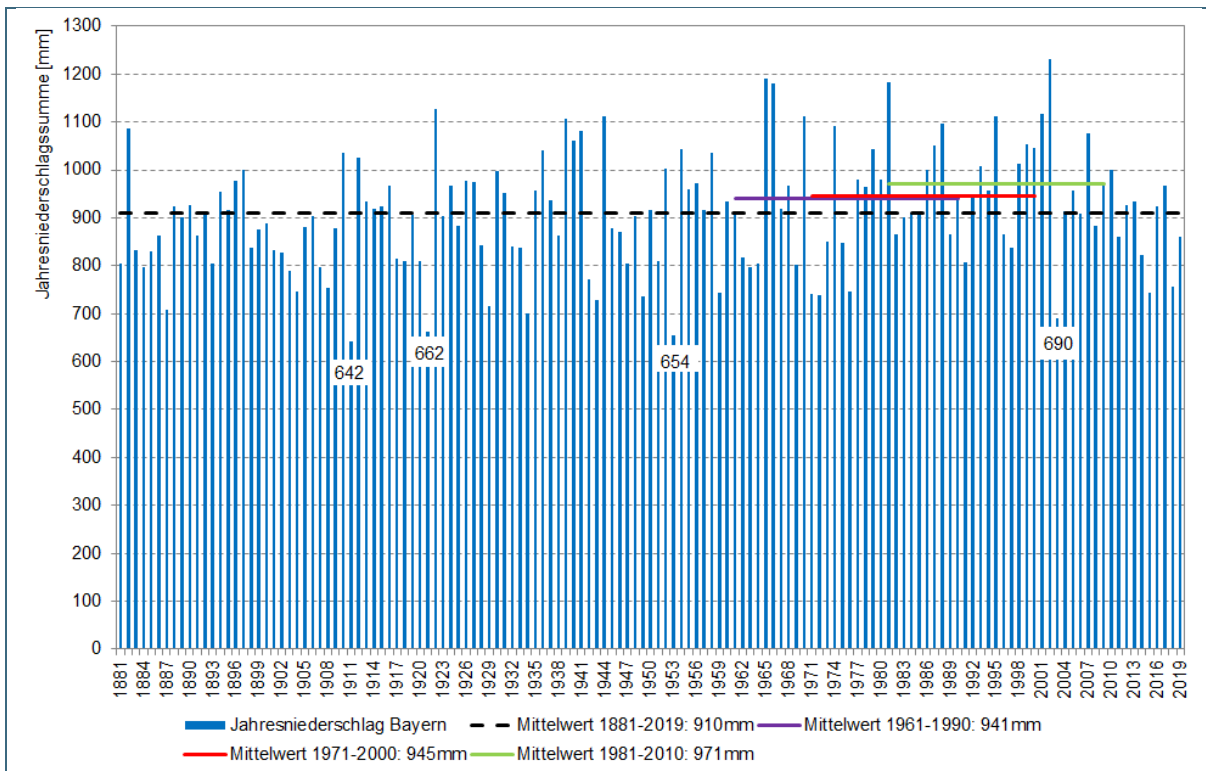


Abb. 2: Jahresniederschlagssummen für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD)

Im langjährigen Vergleich fallen auch 2018 und 2019 zu trocken aus, wobei das Jahr 2018 mit 757 mm Rang 17 und 2019 mit 860 mm Jahresniederschlag Rang 47 in der Serie der niedrigsten Summenwerte einnimmt. Mit Ausnahme des Jahres 2017 fielen die **übrigen acht Jahre seit 2011 zu trocken aus**.

Bei einer weiterführenden Analyse der Monatsniederschläge für das Gebiet Bayern (siehe Anhang Abb. 83) zeigen sich interessante Auffälligkeiten. Beim April und September blieben 9 der letzten 10 Jahre (2010 bis 2019) zu trocken (negative Abweichung vom Mittel 1971–2000).

Die solare Einstrahlung (Globalstrahlung) liefert den Antrieb für das globale Wettergeschehen und dieser Summenwert ist dabei stark abhängig von folgenden Faktoren: Jahres-/Tageszeit, Bewölkung/Trübung der Atmosphäre, Höhenlage und geographische Breite. Da es nur wenige bayerische Stationen gibt, die die Globalstrahlung erfassen, wird als alternative Messgröße die Sonnenscheindauer betrachtet. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) verzeichnet eine 69-jährige Beobachtungsreihe für Bayern und der **bisherige Rekordwert mit 2.065 Sonnenstunden stammt aus dem Jahr 2003, unmittelbar gefolgt von dem Jahr 2018 mit 2.026 Stunden** (Abb. 3). Die Sonnenscheindauer des Jahres 2019 erreicht mit 1.905 Stunden den Rang 5 der Extremwerte. Und im langjährigen Vergleich (1971–2000) sind mit dem Jahr 2019 bereits sechs Jahre in Folge als überdurchschnittlich sonnig zu klassifizieren. Außerdem fällt auf, dass die vier sonnenscheinreichsten Jahre der 69-jährigen Reihe in den letzten neun Jahren auftraten.

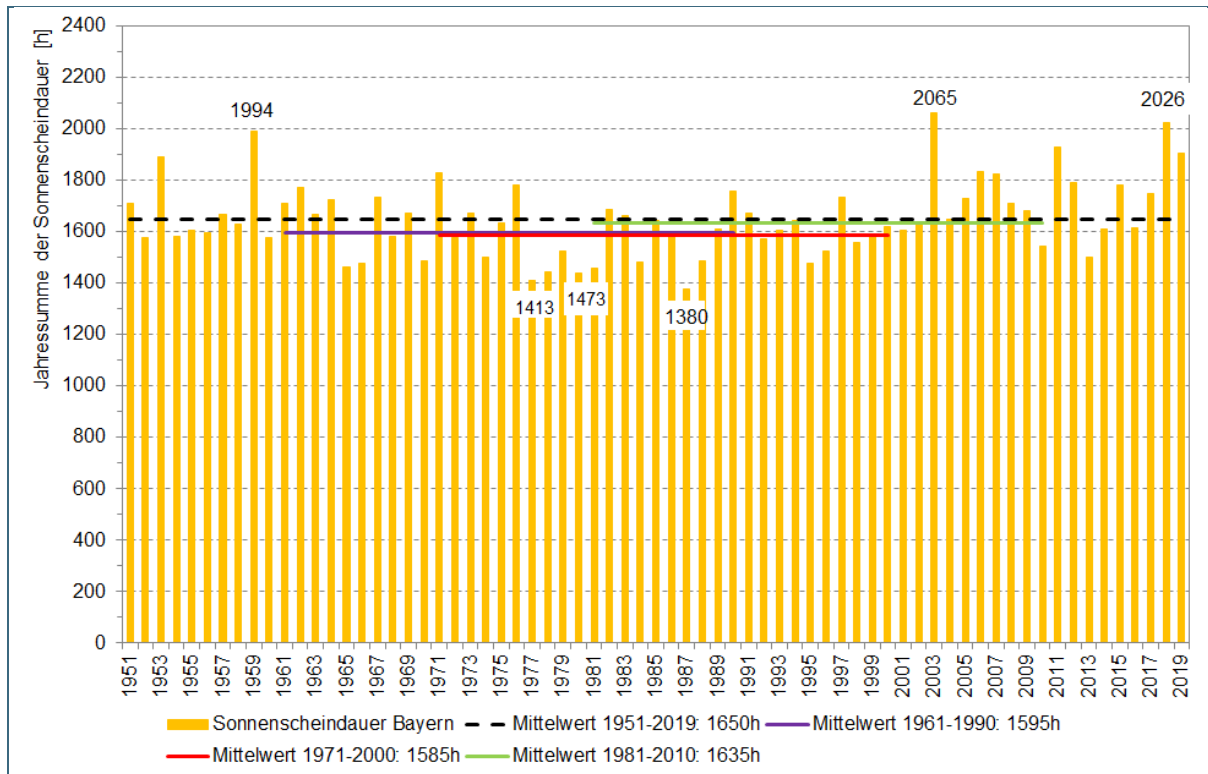


Abb. 3: Jahressummen der Sonnenscheindauer für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1951 bis 2019 (Datenquelle: DWD)

1.1 Witterung Januar 2018 bis Dezember 2019

Neben der jahreszeitlichen Situation (z. B. starke Einstrahlung im Sommer) und den regionalen Wärme- sowie Feuchteverhältnissen, gestalten die Großwetterlagen maßgeblich den Witterungsverlauf. Die meteorologische Großwetterlage charakterisiert einen atmosphärischen Zustand bzw. eine Strömungsanordnung, die mindestens drei Tage anhält.

Für eine leichtere Klassifizierung des Wettergeschehens werden die 29 subjektiven Großwetterlagen nach Hess & Brezowsky im Folgenden zu acht Großwettertypen zusammengefasst (Erläuterung siehe Anhang Tab. 13). Diese acht Großwettertypen beschreiben die großräumige Strömungsrichtung (West, Südwest, Nord, Ost, Süd) sowie ausgedehnte mitteleuropäische Hoch- bzw. Tiefdruckgebiete (Hoch Mitteleuropa, Tief Mitteleuropa).

Die Bilanz der Großwettertypen wurde für die jeweiligen Jahreszeiten in 2018 und 2019 erstellt und mit dem langjährigen Mittelwert 1971–2000 verglichen (Abb. 4). Im Jahr 2018 fanden sich die größten Abweichungen vom Mittel bei der meridionalen Zirkulation im Frühling (E: +21 Tage, N: –16 Tage), bei der meridionalen Zirkulation im Herbst (S: +12 Tage, N: –10 Tage), bei den herbstlichen Westlagen (W: –18 Tage) sowie bei den überdurchschnittlich vielen Nordwestlagen des Frühwinters (NW: +11). Im Folgejahr 2019 gab es im langjährigen Vergleich deutlich mehr Nordwestlagen im Spätwinter (NW: +11 Tage), deutlich mehr Südlagen im Sommer (S: +12) und deutlich mehr Südwestlagen im Herbst (SW: +13 Tage). Daneben waren im Jahr 2019 auch die vergleichsweise wenigen Westlagen im Spätwinter (W: –17 Tage) und Herbst (–12 Tage) auffällig.

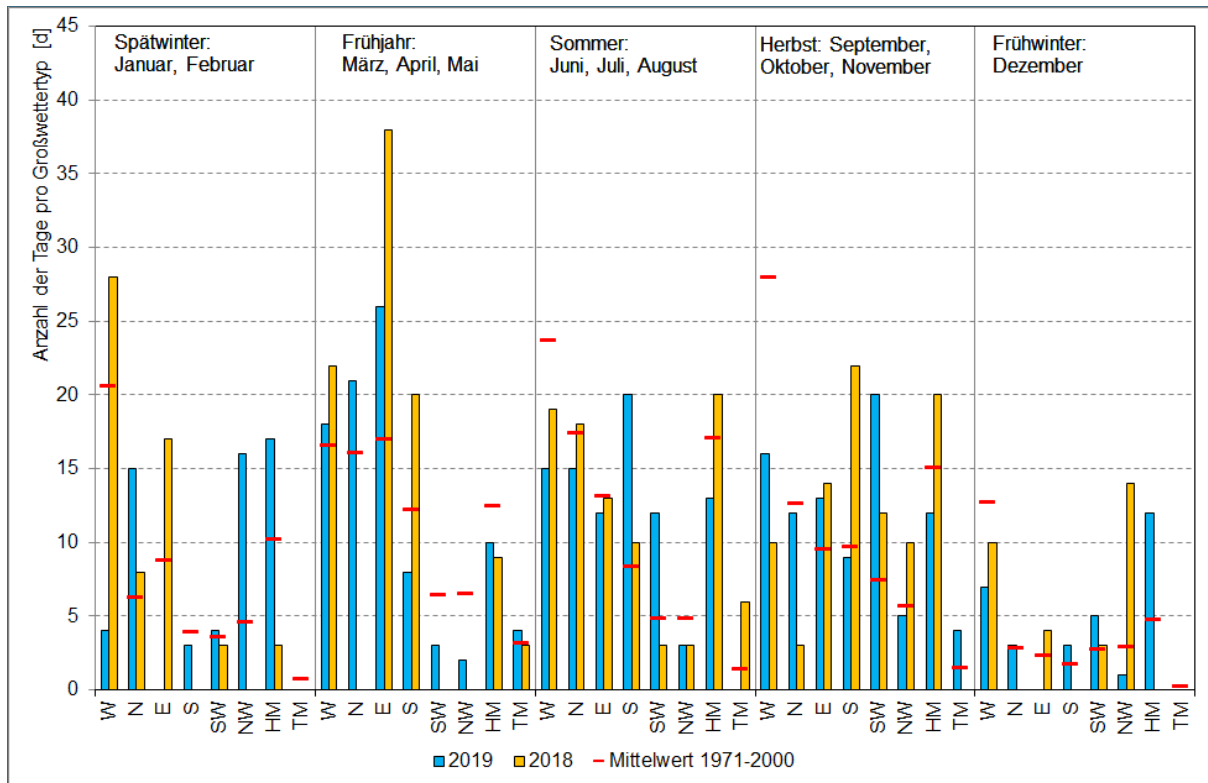


Abb. 4: Verteilung der Großwettertypen in den Jahren 2018 und 2019 (Erläuterungen der Abkürzungen siehe Tab. 13)

Bei der Analyse der Trockenjahre 2018 und 2019 wird nun der Fokus auf die kürzeren Zeitskalen gelenkt – es werden Jahreszeiten- und Monatswerte präsentiert. Außerdem wird weiter räumlich differenziert, von Nord- und Südbayern ausgehend, bis hin zu den Regierungsbezirken und einzelnen Stationsmessungen.

1.1.1 Spätwinter 2018

Im Januar 2018 traten immer wieder kräftige Westströmungen auf, in denen nacheinander mehrere Tiefdruckgebiete (u. a. Sturmtief Burglind, Friederike) Bayern mit Starkregen querten. Durch die Häufung der zyklonalen Westwetterlagen entstand ein zu nasser und markant zu warmer Monat (Abb. 5). Es war der drittwärmste Januar in der Reihe seit 1881. Zwischenzeitliche Hochdrucklagen sorgten für sonniges, niederschlagsarmes Wetter und im südlichen Oberbayern entstand eine 11-tägige Trockenperiode. Die Anzahl der Schneedeckentage fiel in den außeralpinen Regionen mit 2 bis 9 gering aus. Vom 01. bis 08. Februar 2018 lenkte ein mitteleuropäisches Tiefdrucksystem kühlere Polarluft nach Bayern und es wurden einige Niederschlags- und Eistage verzeichnet. Die anschließende Westlage bescherte den niederschlagsreichsten Zeitraum des Monats mit starken Schneefällen am 17. in Südbayern. Vom 18. bis zum Monatsende geriet Bayern in den Einflussbereich kräftiger Hochdruckgebiete. Das trockene Hochdruckwetter ließ in Franken sowie in der nördlichen Oberpfalz eine 13-tägige Trockenperiode entstehen und führte zu einem markant zu trockenen Februar in Nordbayern (Abb. 7). Mit Ausnahme einiger alpiner Bereiche verzeichnete das restliche Bayern eine 11-tägige Trockenperiode und einen insgesamt zu trockenen Monat. Die Kältewelle am Monatsanfang und -ende verursachte einen deutlich zu kalten Februar (Abb. 5). Die Gesamtzahl der Schneetage in den tieferen Lagen reichte im Februar von 0 (Würzburg) bis 28 (Oberstdorf), wobei das Schneedeckenmaximum um die Monatsmitte erreicht wurde.

1.1.2 Spätwinter 2019

In der ersten Januarhälfte 2019 befand sich Deutschland auf der Vorderseite des Hochs Angela in einer nördlichen bis nordwestlichen Strömung. Die zahlreichen eingelagerten Tiefdruck- und Frontensysteme lenkten feuchtkalte Meeresluft sowie zeitweise milde Atlantikluft nach Bayern (08.–10. Sturm-tief Benjamin). Zwischen dem 05. und 15. entstand in den Nordstaulagen bei schwankender Schneefallgrenze eine extreme Nassschneedecke und führte zum Katastrophenfall in fünf südbayerischen Landkreisen (übergroße Schneedachlasten, umgestürzte Bäume, Verkehrsbehinderungen). Vom 15. bis 25. herrschte verbreitet Hochdruckeinfluss und weite Teile Bayerns erlebten eine **mindestens 11-tägige Trockenperiode** (Ausnahme: Unter- und Oberfranken). Im Zeitraum vom 26. bis zum Monatsende herrschte Tiefdruckeinfluss, wobei die Frontensysteme entweder schwach ausfielen oder nur über Westeuropa wetterwirksam wurden. Der Januar 2019 fiel zu warm und zu nass aus, wobei die überdurchschnittlich vielen Nord- und Nordwestlagen (Abb. 4) mit den alpinen Stauwirkungen zu einem **deutlich zu nassen Januar in Südbayern** führten (Abb. 7). Eine Schneedecke hielt sich in Nordbayern an 7 bis 31 Tagen (Hof). In Südbayern reichte die Anzahl der Schneedeckentage von 13 bis 31 (Anger-Stoßberg/Lkr. Berchtesgadener Land, Schneehöhenmaximum am 13.: 240 cm). Vom 01. bis 11. Februar 2019 dominierte Tiefdruckeinfluss mit kurzzeitiger Unterbrechung durch Zwischenhocheinfluss. In diesem Zeitraum wurden einige Starkregenfälle und die tiefsten Temperaturen des Monats registriert. Ab dem 12. sorgten drei aufeinanderfolgende Hochdruckgebiete für eine Wetterberuhigung und ließen nahezu bayernweit eine **17-tägige Trockenperiode** entstehen, ausgenommen waren Teile Schwabens und Oberbayerns. Zum Monatsende hin, bei ungehinderter Sonneneinstrahlung und unter Hochdruckeinfluss, wurden die höchsten Lufttemperaturen, lokal um 18,4 °C, gemessen. Die überdurchschnittlich vielen, sonnenscheinreichen Hochdrucklagen ließen den Monat zu trocken und zu warm ausfallen, in **Nordbayern sogar deutlich zu warm** (Abb. 5). Die Gesamtzahl der Schneetage in den tieferen Lagen reichte von 1 (Würzburg) bis 28 (Oberstdorf).

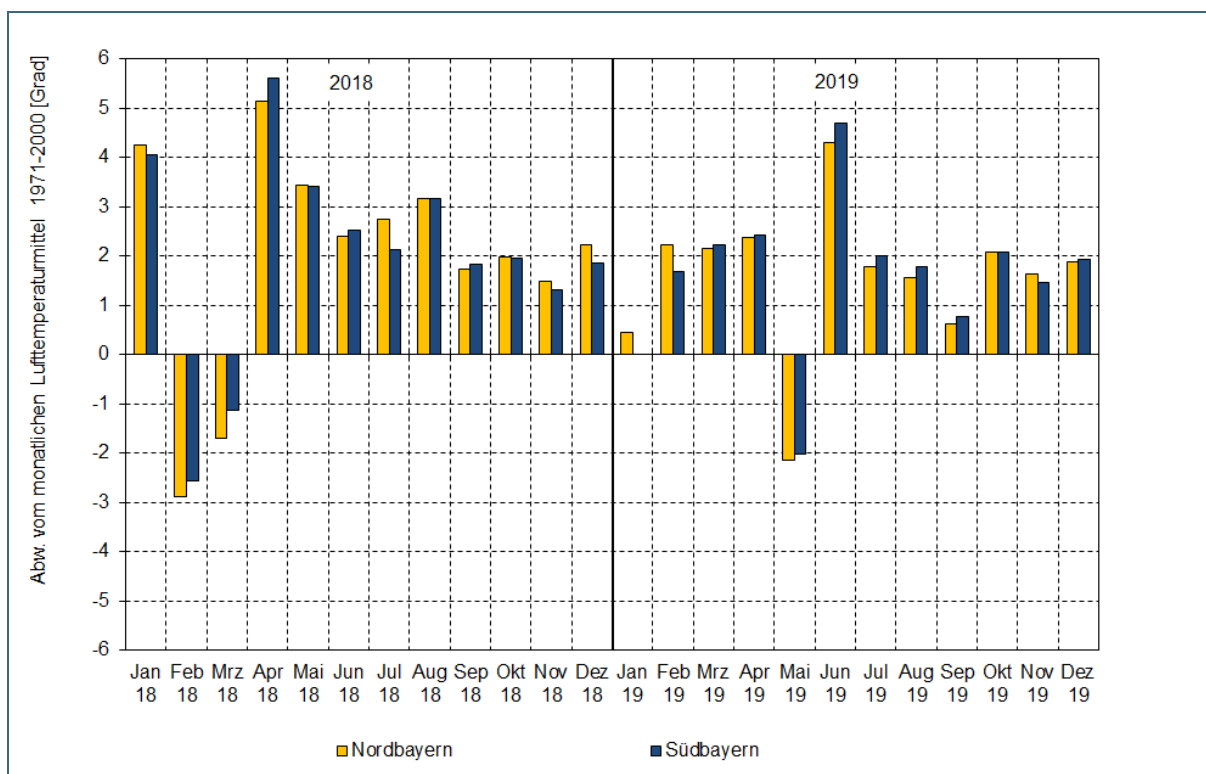


Abb. 5: Zu warme und zu kalte Monate im Zweijahreszeitraum 2018–2019 für die Bereiche Nord- und Südbayern. Als Vergleichswerte wurden die jeweiligen monatlichen Lufttemperaturmittel aus 1971 bis 2000 herangezogen.

Die Niederschlagssummenbilanzen des Spätwinters 2018 (Nordbayern: –2 % vom Mittel 1971–2000, Südbayern: +37 % vom Mittel) und des Spätwinters 2019 (Nordbayern: –5 % vom Mittel, Südbayern: +36 % vom Mittel) fallen nahezu gleich aus, auch wenn die Genese aus den Wetterlagen unterschiedlich war. (Abb. 4, Spätwinter 2018: überdurchschnittlich viele Tage mit Westlagen, Spätwinter 2019: überdurchschnittlich viele Tage mit gemischter Zirkulation NW + HM). Nordbayern startete also in beiden Jahren mit einem leichten Niederschlagsdefizit in den Frühling.

1.1.3 Frühling 2018

Vom 01. bis zum 03. März 2018 lenkte ein Nordmeerhoch Kaltluft aus östlichen Richtungen nach Bayern, zeitweilig schneite es geringfügig und in weiten Teilen Bayerns bildete sich eine dünne Schneedecke. Im anschließenden Witterungsabschnitt bis zum 18. erreichten Tiefausläufer von Westen her Bayern und ab dem 08. waren die Tieflagen schneefrei. Vom 17. bis 27. verzeichneten **weite Teile Ostbayerns eine 11-tägige Trockenperiode**. Am 17./18. verursachte eine quer über Deutschland liegende Frontalzone leichte Schneefälle und in den tiefen Lagen hielt sich bis zum 23. eine geringmächtige Schneedecke (1 bis 5 cm). Zum Monatsende brachte eine Westlage mildes regnerisches Wetter, aber Starkniederschläge wurden nur am 28. in Südbayern registriert. Der März wies eine überdurchschnittliche Zahl an Frost- und Eistagen auf und fiel im langjährigen Vergleich zu kalt aus. Außerdem war der März im langjährigen Vergleich zu trocken, da flächenhafte Starkniederschläge ausblieben. Die Gesamtzahl der Schneetage reichte im März von 3 (Würzburg) bis 17 (Oberstdorf).

In der Westlage vom 01. bis 06. April 2018 traten die tiefsten Temperaturen des Monats auf, es herrschte das typische Aprilwetter mit einem Wechsel von Sonne, Regen- und Graupelschauern, aber die Niederschlagsmengen blieben gering. In den Folgetagen bis zum 12. sorgte das osteuropäische Hoch Leo in Niederbayern und Oberbayern für einen sonnigen, trockenen Witterungsabschnitt und bei südlicher Luftmassenzufuhr wurde es deutlich wärmer. Am 13. gelangte Unterfranken in den Einflussbereich des atlantischen Tiefs Joi, das sich nordostwärts verlagerte und dort regnete es länger anhaltend. Vom 14. bis 22. dominierte mitteleuropäischer Hochdruckeinfluss (Norbert, Onni) und nahezu bayernweit herrschte trockenes, sonniges und frühlingswarmes Wetter mit Spitzentemperaturen um 29 °C. Vom 23. bis zum Monatsende gelangte Bayern in eine westliche und südwestliche Strömung, wobei die eingelagerten Tiefdruckgebiete meist keinen nennenswerten Niederschlag brachten. Am Monatsende verzeichneten **Niederbayern, Oberbayern, Mittelfranken und die Oberpfalz eine 14- bis 17-tägige Trockenperiode**. Den April prägten mehrere Hochdruckgebiete und die wiederholte, südliche Luftmassenzufuhr. Daraus resultierte ein **markant zu warmer April** (Abb. 5) mit überdurchschnittlich vielen Sommertagen von 1 (Hof) bis 6 (Bamberg). Es war der **wärmste April in der gesamten Beobachtungsreihe seit 1881** (Abb. 82). Bayernweit blieb der Monat zu trocken, in Südbayern sogar **markant zu trocken** (Abb. 7).

Vom 01. bis 12. Mai 2018 ließ mitteleuropäischer Hochdruckeinfluss (Quinlan und Roland) vielerorts eine **12-tägige Trockenperiode** entstehen. Bei zeitweilig nordöstlicher Anströmung wurden Anfang des Monats die Tiefsttemperaturen des gesamten Monats registriert. Am 10. traten im nördlichen Franken lokale Starkregenfälle auf, die in der Rhön und im Raum Schweinfurt von starkem Hagel begleitet wurden. Vom 13. bis 16. folgte ein niederschlagsreicher Zeitraum als das nordfranzösische Tief Vadjma warme feuchte Luft nach Bayern lenkte und heftige Gewitter mit Starkregen auslöste. Im weiteren Verlauf des Monats setzte sich zeitweilig trockenes Hochdruckwetter durch, aber immer wieder entstanden gewittrige Regenfälle, die zeitweise ergiebig ausfielen und gebietsweise von Hagelschlag begleitet wurden. Die höchsten Temperaturen wurden Ende Mai bei südöstlicher Luftmassenzufuhr gemessen (Mühldorf am Inn: 30,1 °C am 29., Bamberg: 31,1 °C am 31.). Die überdurchschnittlich vielen Ostlagen (Abb. 4) ließen einen **deutlich zu warmen Mai** (Abb. 5) entstehen und in Südbayern wurden 4 bis 11 und in Nordbayern 4 bis 15 Sommertage registriert. Während in Südbayern nur ganz

vereinzelt ein heißer Tag beobachtet wurde, waren in Nordbayern bis zu 3 heiße Tage zu verzeichnen. Die Gesamtzahl der Niederschlagsstage summierte sich im Mai auf 7 bis 17 in Südbayern, auf 5 bis 10 in Nordbayern und der Mai fiel bayernweit zu trocken aus.

1.1.4 Frühling 2019

Vom 01. bis zum 17. März 2019 gestaltete sich das Wetter sehr wechselhaft, da in rascher Folge acht Tiefdruckgebiete in westlicher oder südwestlicher Strömung Bayern mit Flächenniederschlägen querten. Besonders hervorzuheben sind die Sturmtiefdruckgebiete Bennet (04.) und Eberhard (10.). Bei der Passage des Sturmtiefs Eberhard lagen die Niederschlagsschwerpunkte im Spessart und im Bayerischen Wald mit Tagesniederschlägen am 10. um 30 mm. Die Frontensysteme der aufeinanderfolgenden Tiefs Gebhard und Heinz gelangten am 14./15. in einer kräftigen westnordwestlichen Strömung nach Bayern und führten in den Staulagen zu Starkniederschlägen. Im Warmsektor eines Nordseetiefs stiegen die Temperaturen am 16./17. deutlich an (z. B. Garmisch-Partenkirchen: 20 °C). Vom 18. bis zum Monatsende dominierte Hochdruckeinfluss, wobei die Hochdruckgebiete nacheinander über dem Ostatlantik, über Mitteleuropa, über den Britischen Inseln und wieder über Mitteleuropa ihren Schwerpunkt hatten. Es entstand nahezu bayernweit eine 14-tägige Trockenperiode (Ausnahme: alpine Lagen). Die tiefsten und höchsten Lufttemperaturen des Monats entstanden unter Hoch Hannelore: Bamberg: -4,6 °C am 20. und +20,5 °C am 22., Oberstdorf: -9,2 °C am 19./20. Der März fiel bayernweit deutlich zu warm aus (Abb. 5). Neben schneefreien Stationen (z. B. München, Würzburg) reichte die Anzahl der Tage mit einer Schneebedeckung von 1 (Arnstein-Müdesheim/Lkr. Main-Spessart und Passau) bis 31 (z. B. Aschau-Stein/Lkr. Rosenheim). Im langjährigen Vergleich verzeichnete Nordbayern einen zu nassen und Südbayern einen zu trockenen Monat.

Vom 01. bis 06. April 2019 lag ein ausgedehntes Tiefdrucksystem über Westeuropa und aus Südwesten strömte Warmluft nach Bayern. Die eingelagerten Tiefausläufer wurden nur schwach und kurzzeitig wetterwirksam und bei einem typischen wechselhaften Aprilwetter blieben die Niederschlagsmengen gering. Vom 07. bis zum 25. sorgte Hochdruckeinfluss für sonniges, weitgehend trockenes

Wetter. In den sternenklaren Nächten trat häufig Frost auf und vielerorts wurden am 12. die tiefsten Temperaturen des Monats registriert. Außergewöhnlich war das Hochdruckgebiet Katharina, das sich mit seinem Schwerpunkt Nordmeer-Skandinavien 15 Tage lang hielt und Bayern trockene, frühlingsmilde warme Ostertage bescherte. Allerdings traten am Osterwochenende mehrere Waldbrände in Franken auf. Am 24. verzeichneten einzelne bayerische Stationen im Warmsektor eines Islandtiefs den ersten Sommertag des Jahres mit den höchsten Temperaturen des Monats: München: 28,1 °C und Nürnberg: 27,1 °C. Durch die blockierenden Hochdrucklagen war in Mittel- und Oberfranken sowie in der Oberpfalz eine 24- bis 25-tägige Trockenperiode entstanden, die anderen bayerischen Regionen verzeichneten eine 15- bis 16-tägige Trockenperiode. Am 26. und 27. verursachte ein westeuropäisches Tiefdrucksystem nur geringe Niederschläge. In den Folgetagen verlagerte sich das Norditalientief Valentin nach Nordosten und lag am 29. über Rumänien. Entsprechend der Drehrichtung des Tiefs fiel in den Staulagen der Ostalpen Starkregen. Am Monatsende sorgte ein Nordseehoch für Wetterberuhigung. Der überdurchschnittlich sonnige April hatte nur wenige Niederschlags-tage und fiel insgesamt zu trocken aus, in Südbayern sogar deutlich zu trocken (Abb. 7). Die überdurchschnittlich vielen Ostlagen sorgten für häufige Warmluftzufuhr und einen deutlich zu warmen April (Abb. 6) – mancherorts wurden schon 2 Sommertage (z. B. Augsburg, München, Würzburg, Bamberg) verzeichnet.

Vom 01. bis 18. Mai 2019 lag Bayern in einer nördlichen Strömung, zuerst auf der Rückseite eines skandinavischen Tiefdrucksystems und später auf der Vorderseite eines Großbritannienhochs. Der Wechsel zwischen Tief- und Hochdruckeinfluss ließ unbeständiges Wetter mit zeitweiligen Schneeregenfällen entstehen. Am 02., auf der Rückseite von Tief Werner, traten im Oberallgäu Starkregenfälle

auf. Zwei Tage später, am 04., verursachte das Norditalientief Xerxes kleinräumige Starkregenfälle im Chiemgau. Insgesamt gelangte eher kühlere Luft mit zeitweiligen Schneeregenfällen nach Bayern und daraus resultierten die tiefsten Temperaturen des Monats. Die Station Oberstdorf/Lkr. Oberallgäu verzeichnete am 05. den einzigen Schneetag des Monats. Die Frontensysteme des mitteleuropäischen Tiefs Zacharias brachten am 11. und 12 großräumige, ergiebige Regenfälle. Vom 19. bis zum 24. lag Mitteleuropa unter ausgedehntem Tiefdruckeinfluss und ergiebige Regenfälle prägten den Witterungsabschnitt. Am 19., auf der Vorderseite des Tiefs Axel, wurde es fröhsummerlich warm und vielerorts wurden die höchsten Temperaturen des Monats gemessen: Würzburg: 24,2 °C und München-Stadt: 23,1 °C. Bereits am 19. erreichten erste Starkregenfälle des Tiefs Axel Bayern (lokal um 50 mm). Vom 20. bis 22. verlagerte sich der Kern des Tiefs Axel von Bayern langsam nach Polen und entsprechend der Drehrichtung des Tiefs wurde feuchtwarme Luft aus dem Mittelmeerraum in einer nordöstlichen bis östlichen Strömung nach Bayern gelenkt. Dadurch entstand vor allem in Schwaben und Oberbayern extrem ergiebiger Dauerregen mit Zweitagesniederschlagssummen von 100 bis 200 mm (20. bis 21.) mit den höchsten Werten in den Staulagen der Alpen (z. B. Jachenau-Tannern/Lkr. Bad Tölz-Wolfratshausen: 193 mm [Jährlichkeit: 40 a]). Diese Dauerregenfälle lösten, 20 Jahre nach dem Pfingsthochwasser von 1999, im westlichen Bayern, in voralpinen Flüssen sowie an der Donau selbst ein Hochwasser aus. Im Zeitraum vom 25. bis 29. wurde eine Westlage wetterwirksam und die eingelagerten Kaltfronten verursachten meist kleinräumige Starkregenfälle. Die Folgetage (28. und 29.) brachten den Nordlagen der Alpen hohe Niederschläge mit Werten um 40 bis 50 mm im Mangfallgebiet und im Chiemgau. An den beiden letzten Maitagen sorgte Hoch Pia für trockenes Wetter. Durch die häufige nördliche Luftmassenzufuhr fiel der Mai, als einziger Monat des Jahres 2019, zu kalt aus – in Nordbayern sogar deutlich zu kalt. Sommertage waren Mangelware (Ausnahme Regensburg: 3 Sommertage). Die Gesamtzahl der Niederschlagstage summierte sich auf 10 bis 12 in Nordbayern, auf 11 bis 19 in Südbayern und ließ dort einen deutlich zu nassen Mai entstehen (Abb. 7).

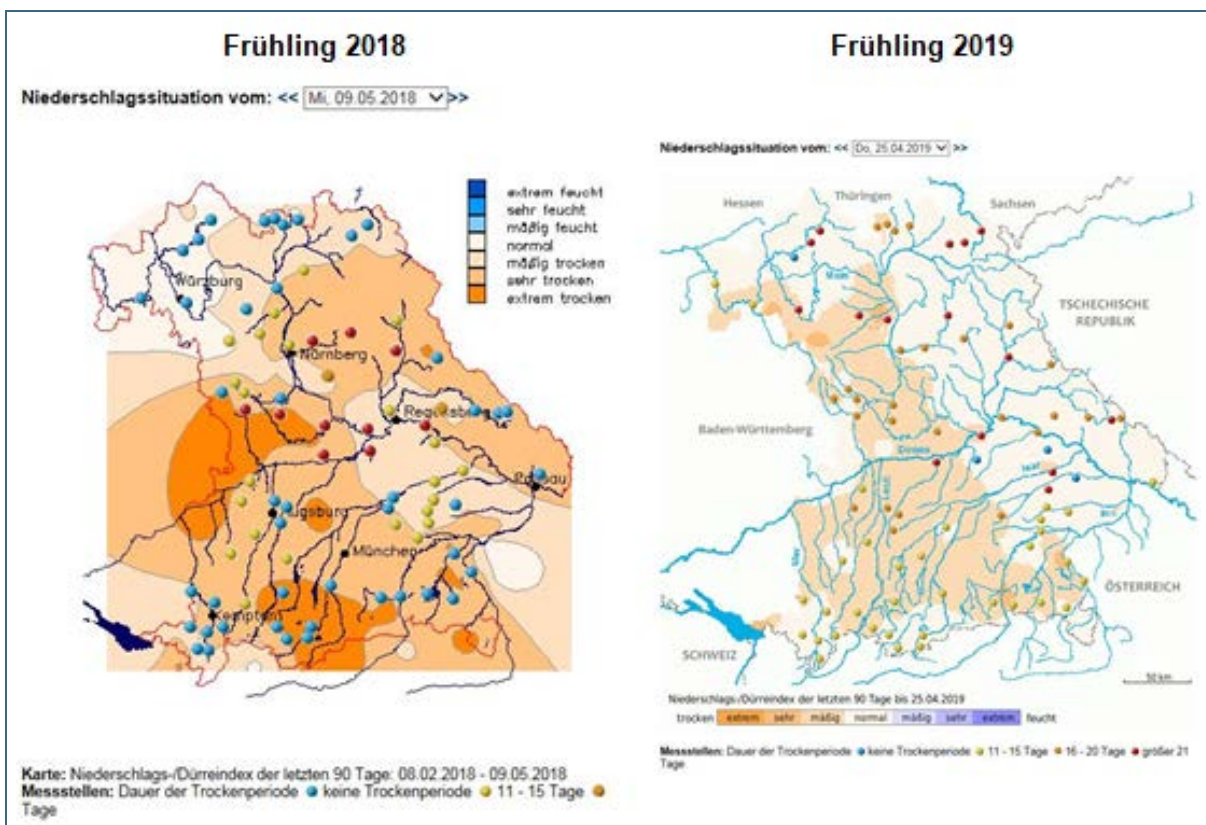


Abb. 6: Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot).
 Vergleich zu Frühlingstagen: links 09.05.2018 und rechts 25.04.2019

Die Niederschlagssummenbilanz des Frühlings 2018 (Nordbayern: –20 % vom Mittel 1971–2000, Südbayern: –37 % vom Mittel) unterschied sich deutlich vom Frühling 2019 (Nordbayern: +10 % vom Mittel, Südbayern: +13 % vom Mittel). Dies belegen sowohl die kumulierten Niederschlagsdefizite der Abb. 7, als auch die Kartendarstellungen der Abb. 6, die den Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und die Dauer der Trockenperioden als eingefärbten Stationspunkt an beispielhaften Frühlingstagen zeigen. Der Frühling 2018 blieb bayernweit zu trocken mit den größten Niederschlagsdefiziten Richtung Südbayern. Im Frühling 2019 sorgte vor allem der Mai für die zu nasse Bilanz. In beiden Jahren ließen Trockenwetterlagen (Frühling 2018: 15 Tage, Frühling 2019: 18 Tage) Trockenperioden entstehen und die meridionale Zirkulation war der häufigste Großwettertyp (Frühling 2018: 58 Tage, Frühling 2019: 55 Tage).

1.1.5 Sommer 2018

Vom 01. bis 13. Juni 2018 dominierten feucht warme Luftmassen, in denen sich zeitweilig Starkregenfälle und Gewitter bildeten. In der ersten Monatsdekade wurden die höchsten Lufttemperaturen des Monats gemessen (Würzburg: 30,7 °C am 09., Mühldorf am Inn: 30,4 °C am 11.). Beim Durchzug der Kaltfront von Tief Yvonne vom 11. bis 13. entstanden flächenhafte, gewittrige Starkniederschläge mit Tagesspitzen von über 50 mm und Dreitageessummen von über 90 mm. Ab dem 14. bis zum Monatsende herrschte häufig Hochdruckeinfluss, zunächst eingebettet in eine Westlage, später lag Bayern in einer Randlage mit nördlicher Anströmung. Dadurch entstand ein kühlerer Witterungsabschnitt mit den tiefsten Lufttemperaturen des Monats am 23. Zu überörtlichen Starkniederschlägen kam es am 28., als ein Tiefdruckgebiet über den Alpen Regen auslöste. An den Alpen und im Bayerischen Wald wurden die höchsten Tagesniederschläge mit Werten um 50 mm verzeichnet. Im Gegensatz dazu wurde in Mittel- und Unterfranken eine 18 bis 19-tägige Trockenperiode registriert. Die vielen Westlagen und der häufige Hochdruckeinfluss ließ über Bayern eine Warmluftmasse entstehen, die zu einem deutlich zu warmen Monat führte (Abb. 5). Die Gesamtzahl der Sommertage fiel überdurchschnittlich aus und zeigte in Nord- und Südbayern eine Spannweite von 8 bis 16 Tagen. Darüber hinaus traten in Nordbayern sogar vereinzelt ein bis zwei heiße Tage auf. Die Gesamtzahl der Niederschlagstage war gering und der Juni 2018 fiel im langjährigen Vergleich zu trocken aus.

Vom 01. bis 09. Juli 2018 verlagerten sich Hochdruckgebiete von Skandinavien und den britischen Inseln ostwärts nach Nordrussland. Dadurch geriet Bayern bei sonnigem Wetter in eine östliche bis nördliche Strömung. Daraus resultieren die tiefsten Lufttemperaturen des Monats mit Werten um 6 °C am 02./03. In den Tagen vom 04. bis 06. wurde das Trockenwetter durch ein Frankreichtief unterbrochen, dessen Frontensysteme bis nach Bayern reichten und bei labiler Schichtung Schauer sowie Gewitter auslösten. Lokal traten Starkregenfälle und Hagel auf. Vom 10. bis 19. geriet Bayern nur zeitweise unter schwachen Tiefdruckeinfluss und die Flächenniederschläge blieben gering. Der Hochdruckeinfluss (Hoch Falk) nahm zu und die Höchsttemperaturen stiegen über 25 °C. Vom 20. bis 23. lenkte eine südwestliche Strömung warme Luftmassen nach Bayern und in feuchtlabiler Schichtung traten verbreitet Starkregenfälle auf. Vom 24. bis zum 31. erreichte die Hitzewelle ihren Höhepunkt, als die Hochdruckgebiete Helmut und Ingolf sowie eine südliche Strömung wetterwirksam wurden. Die Höchsttemperaturen des Jahres 2018 wurden am 31. Juli gemessen: Regensburg: 38,2 °C, Bamberg: 37,9 °C und Straubing: 35,6 °C (siehe auch Abb. 85). Die Gesamtzahl der Sommertage war bayernweit überdurchschnittlich und summierte sich in Südbayern auf 15 bis 23. In Nordbayern wurden 17 bis 27 Sommertage registriert. Bei der Anzahl der heißen Tage lag Nordbayern mit 3 (Hof) bis 13 (Würzburg) Tagen deutlich vor Südbayern: 1 (Oberstdorf) bis 7 (Straubing). Die Trockenheit hatte sich im Juli weiter fortgesetzt. So verzeichneten die nordbayerischen Stationen nur 4 bis 8 und die südbayerischen Messstellen 5 bis 14 Niederschlagstage. Das Zusammenspiel der Süd-, Südwest- und der Hochdrucklagen (Abb. 4, Abb. 9) hatte einen **deutlich zu warmen** (Abb. 5) und zu trockenen **Juli** hervorgebracht.

Vom 01. bis 07. August 2018 setzte sich die Hitzewelle fort und bei schwachem Hochdruckeinfluss (mitteleuropäische Hochdruckbrücke) wurden verbreitet die höchsten Lufttemperaturen des Monats gemessen (Straubing: 35,6 °C am 01., Bamberg: 35,9 °C am 04., siehe auch Abb. 85). Im Bereich von Luftmassengrenzen entstanden zeitweilig lokale Starkniederschläge. Vom 08. bis 13. querten Tiefausläufer in südwestlicher bis westlicher Strömung Bayern und gestalteten die Witterung wechselhaft, Starkniederschläge waren Mangelware. Vom 14. bis zum 28. bescherten aufeinanderfolgende Hochdruckgebiete (Lorin, Mike, Niklot) weiten Teilen Bayerns **eine 15-tägige Trockenperiode**. Davon ausgenommen waren Teile Schwabens und Oberbayerns, die vom 23. bis 25. unter westeuropäischen Tiefdruckeinfluss gerieten und Starkregenfälle verzeichneten. Ende August wurden die tiefsten Lufttemperaturen des Monats mit Werten um 3 °C gemessen und das Italtief Xenia brachte dem Alpenraum weitere Starkregenfälle. Die Spannweite der Sommertage reichte im Oktober von 17 (Hof) bis 24 (Straubing) und die Anzahl der heißen Tage von 3 (Oberstdorf und Hof) bis 16 (Würzburg und Straubing). Durch die häufigen Hochdrucklagen und die südlichen Strömungen (Abb. 4, Abb. 9) fiel der **August** im langjährigen Vergleich **deutlich zu warm** (Abb. 5) und zu trocken aus.

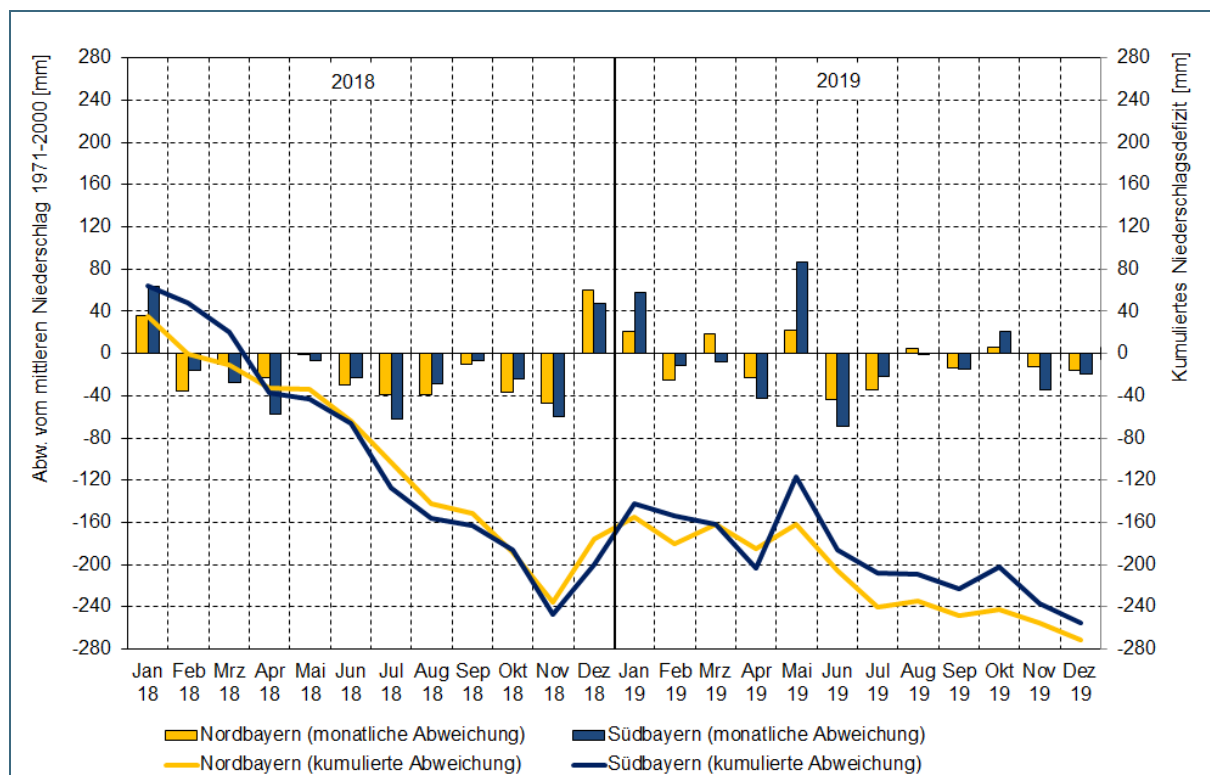


Abb. 7: Monatsniederschläge für Nord- und Südbayern als Abweichungen vom Mittelwert 1971–2000 und als kumuliertes Niederschlagsdefizit für den Zeitraum Januar 2018 bis Dezember 2019 [mm]

1.1.6 Sommer 2019

Vom 01. bis 22. Juni 2019 lag Bayern entweder auf der Vorderseite eines westeuropäischen Tiefdrucksystems oder auf der Rückseite eines skandinavischen Hochs und daraus resultierte eine südwestliche bis südliche Luftmassenzufuhr. Meist dominierte sommerlich warmes, sonniges Wetter, aber zeitweilig durchziehende Tiefdruckgebiete brachten schauerartige Niederschläge mit eingelagerten Gewittern. Am 03. traten in Unterfranken im Bereich der Kaltfront eines Nordseetiefs gewittrige Starkniederschläge auf. Eine Woche später, am Pfingstmontag (10.), bildeten sich im Bereich des Süddeutschlandtiefs Jörn schwere Gewitter. Im Verlauf des Tages entstand über dem nördlichen Allgäu eine Superzelle, die sich nach Osten verlagerte und vom Ammersee bis nach München eine Hagelschneise hinterließ. Am 15. verursachte die Kaltfront von Tief Ludger ein Starkregenband, das

von Schwaben bis in die Oberpfalz reichte. In der Zeit vom 20. bis zum 22. brachte das Skandinavientief Momo, dessen Kaltfront länger an den Alpen schleifte, ergiebige Dauerniederschläge. Der Niederschlagsschwerpunkt erstreckte sich von den Alpen über das Alpenvorland bis zum südlichen Donauvorland mit Dreitagesniederschlägen von 40 bis 90 mm. Vom 24. bis zum Monatsende sorgte Skandinavienhoch Ulla für trockenes, sonniges Wetter und bei zeitweiliger südlicher Luftmassenzufuhr entstand die erste Hitzewelle des Jahres. Die höchsten Lufttemperaturen des Monats betragen: Nürnberg: 36,2 °C am 26. und Würzburg: 36,0 °C am 30. Durch die häufige subtropische Luftmassenzufuhr (Süd- und Südwestlagen, Abb. 4) entstand, nach dem Juni 2003, der zweitwärmste Juni in der 139-jährigen Beobachtungsreihe (Abb. 82). Die Gesamtzahl der Sommertage fiel überdurchschnittlich aus und zeigte eine Spannweite von 15 (Augsburg) bis 27 Tagen (Regensburg). Die Anzahl der heißen Tage variierte von 4 (Augsburg, Hof) bis 12 (Bamberg, Nürnberg). In Würzburg wurden vom 24. bis 27. sogar vier heiße Tage hintereinander registriert. Die Gesamtzahl der Niederschlagstage war im Juni gering (Nordbayern: 4 bis 9, Südbayern: 3 bis 10) und ließ den Monat zu trocken ausfallen.

Vom 01. bis 13. Juli 2019 herrschte eine Westlage und Tiefdruckeinfluss wechselte sich mit kurzem trockenem Hochdruckwetter ab. Am 10. wurden die tiefsten Lufttemperaturen des Monats gemessen. Vor allem bei den Kaltfrontpassagen entstand eine nordwestliche Anströmung mit einer Niederschlagsverstärkung in den Staulagen der Berge. Vom 12. bis 13. wurde eine weitere Kaltfront eines Ostseetiefs mit kräftigen Gewittern wetterwirksam. Die Niederschlagsschwerpunkte lagen an den Alpen, im Bayerischen Wald und im östlichen Mittelfranken. Im Zeitraum vom 14. bis 26. dominierte Hochdruckeinfluss, zuerst von den Britischen Inseln, dann vom südlichen Europa ausgehend und schließlich in Mitteleuropalage. Daraus entwickelte sich die zweite Hitzewelle des Jahres und vielerorts eine 13-tägige Trockenperiode (15-tägig im nördlichen Franken und der Oberpfalz, keine Trockenperiode in Teilen Ober- und Niederbayerns). Am 25. und 26. entstanden die höchsten Lufttemperaturen des Jahres im Warmsektor des Frankreichtiefs Vincent bei subtropischer Luftmassenzufuhr aus Süden (Kahl a.M./Lkr. Aschaffenburg: 40,4 °C am 25., Regensburg: 38,9 °C am 26., München 35,3 °C am 26., siehe auch Abb. 85). Vom 27. bis zum 31. folgte regnerisches Wetter bei Tiefdruckeinfluss. Insbesondere das Gewittertief Vincent prägte diesen Abschnitt, dessen Kern am 27. und 28. über Bayern lag und sich langsam verlagernde Gewitter aufwies. An den Alpen gingen die gewittrigen Starkniederschläge in länger anhaltenden Regen über und die Zweitagesniederschläge vom 27. bis 28. erreichten verbreitet über 100 mm. Am 29. wanderte das Tief nach Polen ab und weitere Tiefausläufer sorgten für regnerisches Wetter. Die Gesamtzahl der Sommertage war bayernweit überdurchschnittlich und erreichte 13 in Hof, 15 in Kempten, 20 in Straubing und Nürnberg, 21 in Würzburg und 24 in Regensburg. Die Spannweite heißer Tage reichte im Juli von 4 (Oberstdorf, Hof) bis 10 (Regensburg). Würzburg verzeichnete 8 heiße Tage, wobei vom 22. bis 26. sogar 5 heiße Tage aufeinanderfolgten und auch zwei Tropennächte entstanden. Insgesamt fiel der Juli zu warm aus und die Trockenheit hatte sich mit einem weiteren zu trockenen Monat fortgesetzt.

Vom 01. bis 20. August 2019 blieb die Witterung sehr wechselhaft und deutlich kühler als Ende Juli, da West- und Südwestlagen mehrere Tiefdruckgebiete mit frontalen Niederschlägen nach Bayern lenkten. Die Kaltfront des Nordseetiefs Xaver querte Bayern vom 06. auf den 07. und die höchsten Zweitagesniederschläge wurden in Franken gemessen. Am 11. und 12. sorgte das polnische Tief Zorro für weitere Starkregenfälle – diesmal mit einem Niederschlagsschwerpunkt vom Oberallgäu bis nach Rosenheim. Die Zweitagesniederschläge erreichten verbreitet 40 bis 60 mm. Ein nächstes Starkregenband erzeugte die Kaltfront des Nordseetiefs Bernd vom 19. bis 20., wobei die höchsten Zweitagesniederschläge in einem diagonalen Streifen vom Bodensee bis in die Oberpfalz auftraten. Vom 21. bis zum Monatsende bestimmte Hoch Corina das Wettergeschehen, wobei sich der Hochdruckkern von Mitteleuropa nach Osteuropa verlagerte. Bei überdurchschnittlich viel Sonne entstand in großen Teilen Frankens eine 11-tägige Trockenperiode und die dritte Hitzewelle des Jahres. Würzburg verzeichnete sogar acht heiße Tage in Folge (Höchstwert am 28.: 33,4 °C, siehe auch Abb. 85). Die

Spannweite der Sommertage reichte im August von 10 (Oberstdorf) bis 21 (Würzburg) und die Anzahl der heißen Tage variierte zwischen 0 (Hof) bis 10 (Würzburg). Damit war auch der dritte Sommermonat des Jahres 2019 zu warm ausgefallen. Im langjährigen Niederschlagsvergleich blieb der August 2019 in Nordbayern geringfügig zu nass und in Südbayern etwas zu trocken.

Das Niederschlagsdefizit des Sommers 2018 (Nordbayern: –44 % vom Mittel 1971–2000, Südbayern: –28 % vom Mittel) war deutlich ausgeprägter als im Sommer 2019 (Nordbayern: –30 % vom Mittel, Südbayern: –23 % vom Mittel). Dies belegen die kumulierten Niederschlagsdefizite der Abb. 7 und die Kartendarstellungen der Abb. 8, die den Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und die Dauer der Trockenperioden als eingefärbten Stationspunkt jeweils gegen Ende August zeigen. Die Klassifikation „extrem trocken“ galt am Sommerende 2018 für große Teile des Allgäus, Mittel- und Oberfrankens – in 2019 war nur Oberfranken ähnlich betroffen. In beiden Jahren dominierte die meridionale Zirkulation in einem vergleichbaren Umfang (Sommer 2018: 41 Tage, Sommer 2019: 47 Tage), aber die Trockenwetterlagen waren im Sommer 2018 zahlreicher (Sommer 2018: 40 Tage, Sommer 2019: 32 Tage).

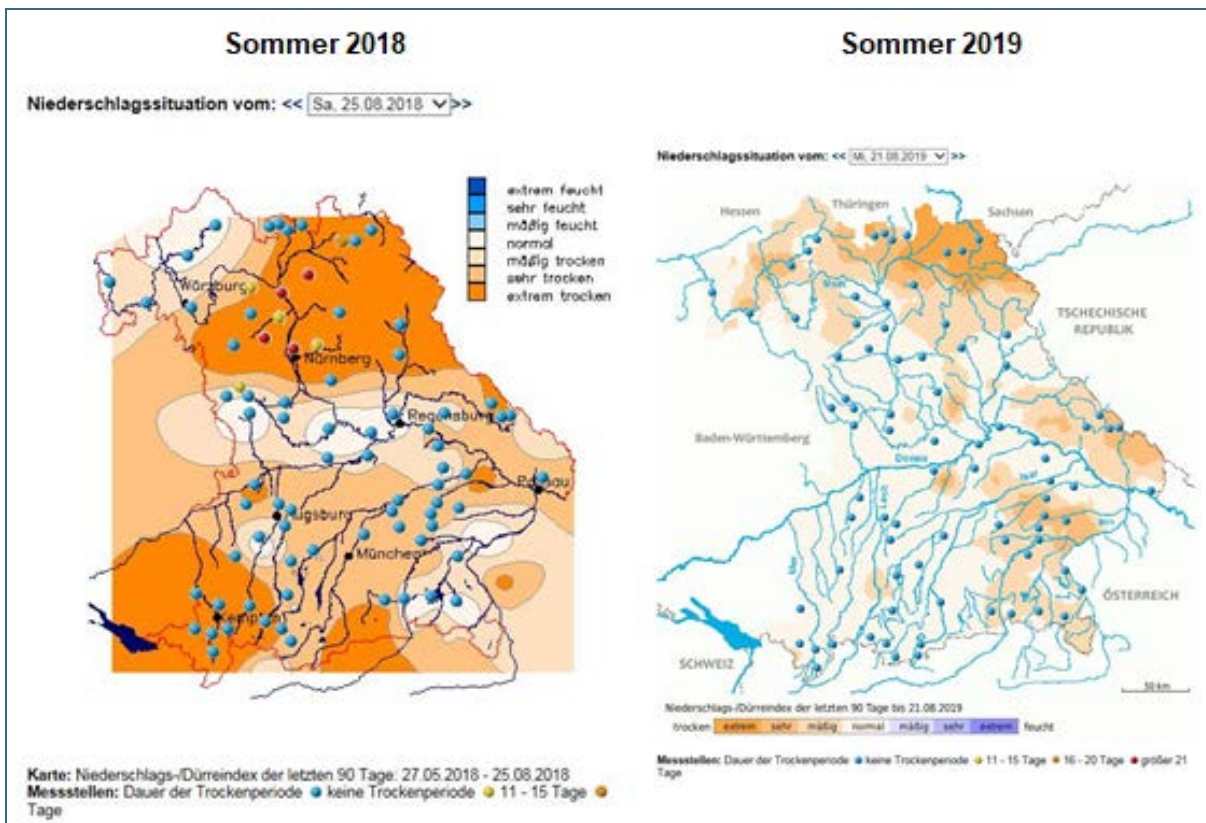


Abb. 8: Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Sommertagen: links 25.08.2018 und rechts 21.08.2019

1.1.7 Herbst 2018

Im September 2018 setzte sich die sommerlich warme Witterung zunächst fort. Vom 01. bis 06. entwickelten sich in feuchtlabiler Luftmasse und unter dem Einfluss eines norditalienischen Höhentiefs kräftige Regenschauer und Gewitter. Die nachfolgenden 14 Tage, 07. bis 20., prägten immer wieder mitteleuropäische Hochdruckgebiete (Perryman, Quirin, Rodegang). Es blieb verbreitet niederschlagsfrei und spätsommerlich warm bei Tageshöchsttemperaturen um 30 °C (München-Stadt: 29,3 °C am 12., Würzburg: 31,5 °C am 18.) und das nördliche Franken verzeichnete eine 14-tägige Trockenperiode. Lediglich am 13., im Bereich der Frontensysteme des Tiefs Anthea, traten in Alpennähe Starkregenfälle und Hagel auf. Vom 21. bis 25. gelangte Bayern in eine westliche bis nordwestliche Strömung, wechselhafte Witterung und eine starke Abkühlung setzten ein. Beim Kaltfrontdurchzug des Orkantiefs Fabienne wurden zum Herbstanfang Starkniederschläge registriert, die gebietsweise die Dürre beendeten. Die niedrigsten Lufttemperaturen des Septembers wurden am 26. mit Werten um –2 °C registriert. In den Folgetagen bis zum Monatsende bescherte eine mitteleuropäische Hochdruckbrücke mehrheitlich trockene Tage. Die Ausnahme war der 30., als im Bereich des Tiefs Inge leichter Niederschlag fiel. Außergewöhnlich war für den September die große Zahl von Sommertagen, die sich in Nordbayern auf 6 bis 13 (Würzburg) und in Südbayern auf 5 bis 11 (München) aufsummierte. In Nordbayern wurden sogar vereinzelt 4 heiße Tage registriert (Würzburg). Durch die häufigen Hochdrucklagen entstand ein zu warmer und zu trockener Monat.

Anfang Oktober 2018 verursachten die Frontensysteme eines Norditalientiefs Regenfälle, die aber nur im Alpenvorland und an den Alpen eine Starkregenintensität aufwiesen. Anschließend führte eine Folge von Hochdruckgebieten (Ulf, Viktor und Wolfgang) zum sprichwörtlich goldenen Oktober. Nach morgendlicher Nebelaufklärung schien die Sonne, es wurde spätsommerlich warm und es blieb trocken. Um den 12. herrschte zwischen einem Ostatlantiktief und dem Osteuropahoch Viktor eine südliche Strömung, die Höchsttemperaturen kletterten örtlich über 25 °C und es wurden 2 bis 3 Sommertage verzeichnet. Im letzten Monatsdrittel herrschte häufig Tiefdruckeinfluss und es setzte eine deutliche Abkühlung ein. Die Frontensysteme des Skandinavientiefs Rachel verursachten am 24. die stärksten Regenfälle mit dem Schwerpunkt in den Nordweststaulagen. Weitere Starkniederschläge und ein Wintereinbruch waren am 27. zu verzeichnen als das Italtief Vaia wetterwirksam wurde. In Südbayern betrug die Tagesniederschläge vereinzelt um 30 mm und im Alpenvorland sowie in den Kammlagen der Mittelgebirge entstand eine dünne, kurzzeitige Schneedecke. Im Oktober wurden bayernweit nur 3 bis 7 Niederschlagstage registriert, verbreitet traten 15-tägige, in Franken sogar 23- bis 27-tägige Trockenperioden auf. Im Oktober 2018 dominierten die Hochdrucklagen und in Verbindung mit den Südlagen resultierte ein zu warmer und zu trockener Monat, der in Nordbayern sogar deutlich zu trocken ausfiel (Abb. 7).

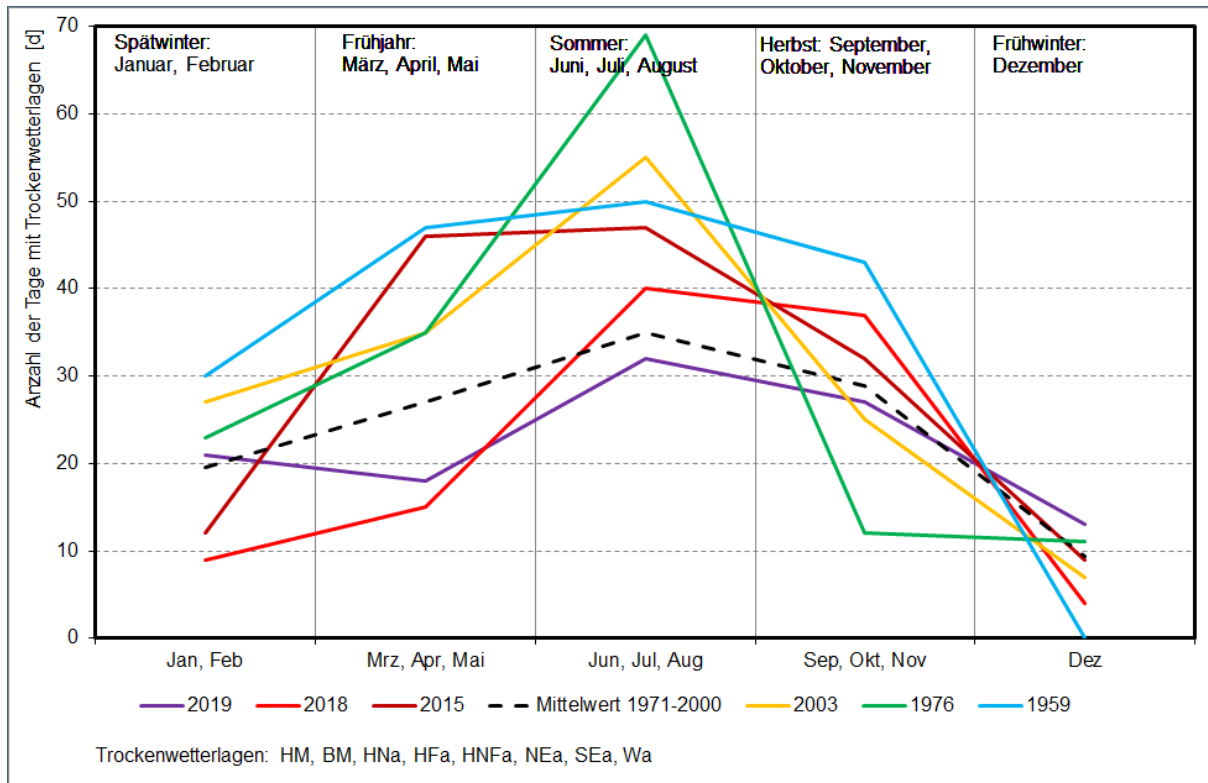


Abb. 9: Verteilung der Trockenwetterlagen im langjährigen Vergleich. Die Trockenwetterlagendefinition des DWD wurde um die antizyklonale Westlage (Wa) ergänzt, da diese Bayern oft ebenfalls trockenes Wetter beschert. Erläuterung der Abkürzungen siehe Tab. 13.

Im November 2018 setzte sich die Serie der zu trockenen und zu warmen Monate fort. Der November startete mit sonnigem und trockenem Hochdruckwetter. Zwischen einem ausgedehnten Atlantiktief und einem osteuropäischen, blockierenden Hoch gelangten vom 01. bis 13. November warme Luftmassen aus südwestlichen bis westlichen Richtungen nach Bayern und die Höchsttemperaturen erreichten zwischenzeitlich Werte um 20 °C. Vom 14. bis 23. dominierte weiterhin Hochdruckeinfluss, aber bei der Verlagerung des Kerns von Mitteleuropa nach Skandinavien wurde zunehmend aus östlichen Richtungen kontinentale Kaltluft herangeführt und die Nebeltage häuften sich. Am 19. fiel leichter Schnee und am 21. wurden die Tiefsttemperaturen des Monats gemessen. Vom 24. bis zum Monatsende beeinflussten schwache Tiefdruckgebiete mit leichten Niederschlägen das Wetter. Insbesondere das Italtief Edeltraud verursachte vom 24. bis 26. leichte Niederschläge, die in Alpennähe in Schnee übergingen und eine dünne Schneedecke entstehen ließen. Anschließend setzte Dauerfrost ein und die Kaltfront von Tief Jadwiga erreichte am Monatsende nur die westlichen Landesteile. Im gesamten November traten keine Starkniederschläge auf und Nordbayern verzeichnete 2 bis 4 und Südbayern 4 bis 5 Niederschlagstage. Nahezu alle Landesteile waren von langanhaltenden Trockenperioden betroffen (Ausnahme: Bereiche Unterfrankens). Bei vielen ober-, mittelfränkischen und oberpfälzischen Stationen erreichte die Trockenperiode sogar eine Dauer von 29 Tagen und die Monatsniederschlagssumme lag dort unter 13 mm. Bayernweit fiel der November deutlich zu trocken aus (Abb. 7). Die Gesamtzahl der Schneedeckentage blieb gering, in den tiefen Lagen Südbayerns wurden 1 bis 2 Tage mit Schneebedeckung registriert.

Die Zahl der Trockenwetterlagen der Herbstperiode 2018 überstieg die Vergleichszahlen aus den Jahren 2003 und 2015 signifikant (Abb. 9).

1.1.8 Herbst 2019

In den ersten drei Septemberwochen 2019 überwog Hochdruckeinfluss, meist als Hochdruckbrücke vom Ostatlantik nach Russland, teils als Hoch über den Britischen Inseln oder als mitteleuropäisches Hoch. Unterbrochen wurde diese niederschlagsarme Periode durch zwei Starkregenereignisse. Am 01. wurde es zunächst sehr heiß und die Lufttemperatur kletterte auf den höchsten Wert des Monats (Regensburg: 30,8 °C, Straubing: 29,2 °C). Im Lauf des Tages erreichte eine Gewitterfront und die Kaltfront des Nordmeertiefs Egbert Südbayern mit Starkregen und Hagel. Vom 08. auf den 09. zog das Mittelmeertief Hans auf einer vb-artigen Zugbahn nach Nordosten und verursachte ergiebigen Dauerregen. Die höchsten Zweitagesniederschläge (08. bis 09.) wurden am Bodensee, in der Oberpfalz und in Oberfranken registriert. Vom 10. bis 21. entstand eine bayernweite 12-tägige Trockenperiode, die die Dürre im nördlichen Franken verschärfte. Am 19. sorgte das Hoch Hanneke für wolkenlosen Himmel und vereinzelt wurde der erste Frosttag des Herbstes gemessen. Bis zum 22. hatte sich Hoch Hanneke nach Osteuropa verlagert und erste frontale Regenfälle erreichten von Westen her Bayern. Weitere Tiefausläufer gelangten vom 24. bis 30. in einer westlichen Strömung nach Bayern und brachten nach dem trockenen Sommer den ersehnten Regen. Bei insgesamt 6 bis 11 Niederschlagstagen in Nordbayern und 7 bis 14 in Südbayern fiel der September zu trocken aus. Die Gesamtzahl der Sommertage erreichte durchschnittliche Werte: Hof 1, Augsburg 3 und Würzburg 5. In Regensburg wurde sogar noch ein heißer Tag registriert und im langjährigen Monatsvergleich blieb der September 2019 zu warm.

Vom 01. bis 11. Oktober 2019 lenkte eine Westlage zahlreiche Atlantiktiefs nach Bayern und sorgte für eine wechselhafte Witterung. Bereits am 02. entstanden beim Durchzug der Frontensysteme von Tief Nils Starkniederschläge an den Alpen mit einem Niederschlagsschwerpunkt vom Chiemgau bis zu den Berchtesgadener Alpen. Weitere Starkniederschläge folgten vom 04. bis 06., als der ehemalige Hurrikan Lorenzo und nachfolgend das Großbritannienntief Olaf Deutschland querten. Der Niederschlagsschwerpunkt lag an den Alpen mit Dreitagesniederschlägen zwischen 60 bis 100 mm. Die nächsten Starkniederschläge verursachten die Frontensysteme des Ostseetiefs Peter am 08. und 09. Es regnete bayernweit, mit den höchsten Zweitagesniederschlägen im Oberallgäu und Unterfranken. Vom 12. bis 22. lagen entweder über dem Nordmeer oder über den Britischen Inseln ausgedehnte Tiefdrucksysteme und Bayern geriet in eine südwestliche Anströmung. Bei milder Luftmassenzufuhr wurde es spätsommerlich warm und gebietsweise förderte Föhnwind die Erwärmung. Die höchsten Temperaturen des Monats wurden am 13. gemessen (Würzburg 26,9 °C, Garmisch-Partenkirchen: 25,5 °C). In den Folgetagen vom 23. bis 29. sorgte eine Hochdruckbrücke, die sich vom Atlantik bis in die Ukraine erstreckte, für eine Wetterberuhigung. Der Zeitraum vom 16. bis 26. blieb nahezu bayernweit trocken – lediglich Unter- und Oberfranken wiesen keine 11-tägige Trockenperiode auf, da dort am 18. und 19. leichter Regen fiel. Am 29. brachte eine Kaltfrontpassage dem Oberallgäu und dem südlichen Oberbayern kräftige Regenfälle. Außerdem wurde bayernweit ein starker Temperaturrückgang eingeleitet und unter Hochdruckeinfluss entstanden am 31. die tiefsten Temperaturen des Monats. Im Oktober wurden bayernweit 9 bis 16 Niederschlagstage registriert und der Monat fiel zu nass aus. Durch die häufigen Südwest- und Westlagen (Abb. 4) entstand ein deutlich zu warmer Oktober (Abb. 5) und einzelne Stationen verzeichneten noch Sommertage: 1 (Garmisch-Partenkirchen und Nürnberg) und 2 (Würzburg und Bamberg).

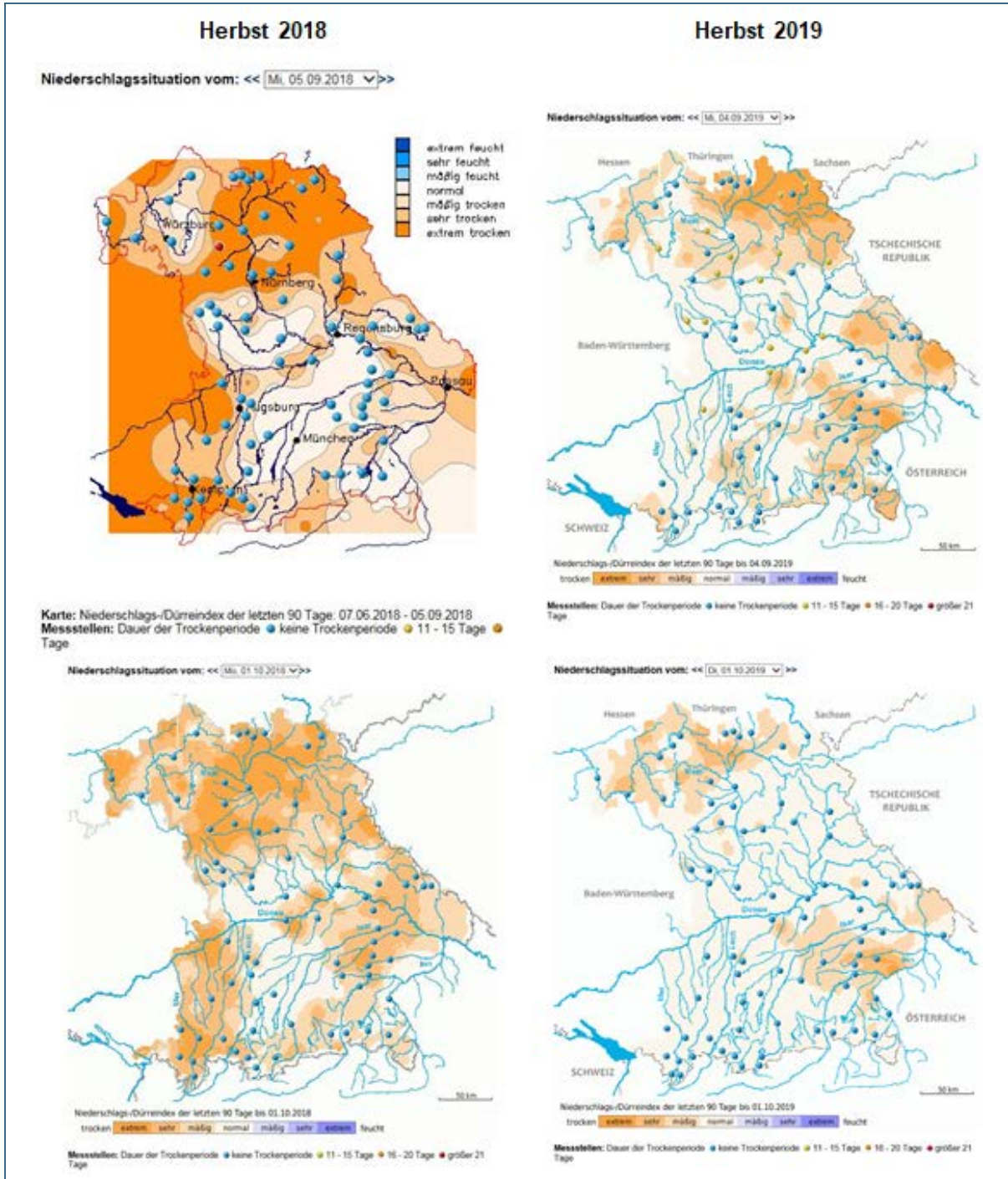


Abb. 10: Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Herbsttagen: links oben 05.09.2018, rechts oben 04.09.2019, links unten 01.10.2018 und rechts unten 01.10.2019

In der ersten Novemberhälfte 2019 sorgten atlantische Tiefdruckgebiete für regnerisches Wetter, wobei keine Starkniederschläge verzeichnet wurden. Im Warmsektor des Großbritannienientiefs Zed wurden am 02. die höchsten Temperaturen des Monats gemessen (Würzburg: 16,0 °C und Garmisch-Partenkirchen: 18,2 °C). Beim Durchzug des Nordseetiefs Elvis schneite es am 12./13. in Südbayern oberhalb von etwa 600 m und um den 14. wurden vielerorts die höchsten Schneehöhen des Monats registriert (Ettal-Linderhof/Lkr. Garmisch-Partenkirchen: 19 cm). Vom 15. auf 16. zog ein Tiefdruckkomplex über Bayern hinweg (Tief Günther nördlich der Alpen und Tief Heiner über Norditalien).

Bei zeitweiliger Südströmung entstanden Orkanböen, Bäume stürzten um, es kam zu Verkehrsbehinderungen und der starke Föhn ließ die alpinen Schneedecken rasch verschwinden. Vom 16. bis 27. blockierte das Russlandhoch Quincy die atlantischen Tiefdruckgebiete, es wurde nochmal spätsommerlich warm und vielerorts entstand eine 14-tägige Trockenperiode (Ausnahme: Teile Unter- und Oberfrankens sowie alpine Lagen). Am 28. und 29. zogen die Frontenzüge des ehemaligen Hurrikans ex-Sebastien mit starkem Regen über Bayern hinweg. Die höchsten Zweitagesniederschläge wurden in Unter-, Oberfranken sowie im Oberallgäu gemessen. Rückseitig der Kaltfront wurden am 30. vielerorts die tiefsten Temperaturen des Monats registriert. Der November wies bayernweit 7 bis 13 Niederschlagstage auf und nur die höheren Lagen der Mittelgebirge und Alpen verzeichneten einzelne Schneetage. Bei häufiger südlicher Strömung fiel der Monat zu trocken und zu warm aus.

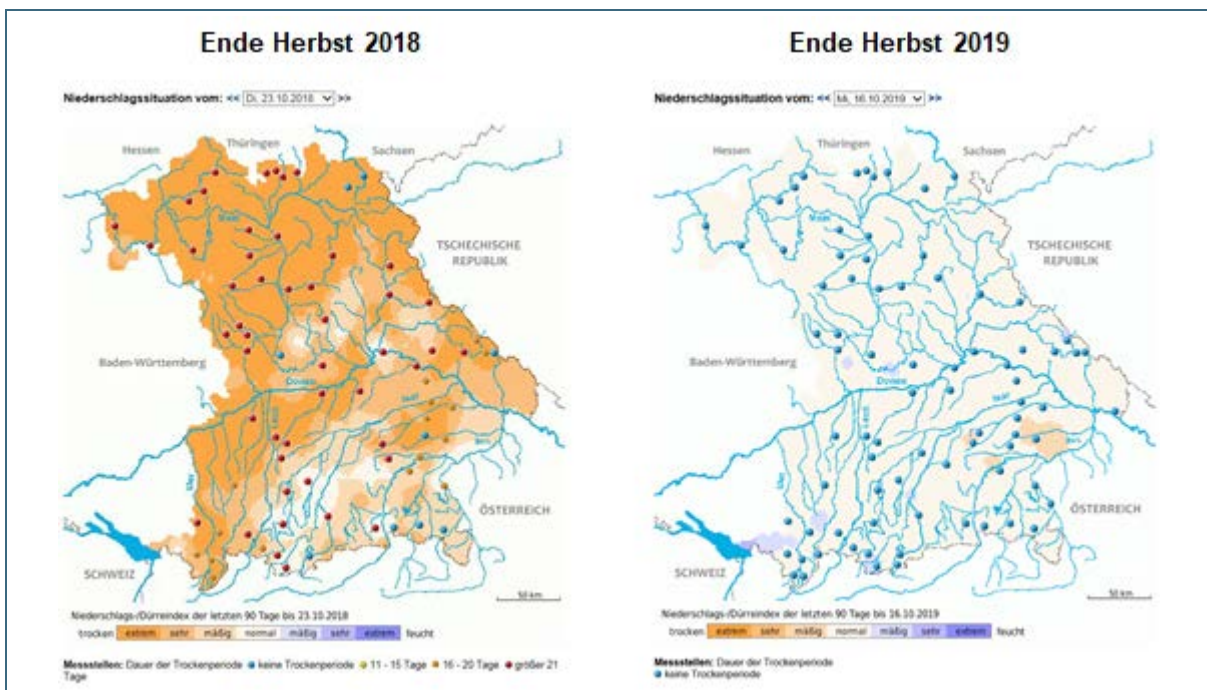


Abb. 11: Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot).
Vergleich zu Spätherbsttagen: links 23.10.2018 und rechts 16.10.2019

Das herbstliche Niederschlagsdefizit des Jahres 2018 (Nordbayern: -49% vom Mittel 1971–2000, Südbayern: -36% vom Mittel) war deutlich ausgeprägter als im Herbst 2019 (Nordbayern: -11% vom Mittel, Südbayern: -11% vom Mittel). Dies belegen die kumulierten Niederschlagsdefizite der Abb. 7 und Abb. 12 sowie die Kartendarstellungen der Abb. 10 und Abb. 11, die den Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und die Dauer der Trockenperioden als eingefärbten Stationspunkt jeweils für exemplarische Herbsttage zeigen. Alle Herbstmonate des Jahres 2018 fielen zu trocken aus und dadurch wurden insbesondere weite Teile Nordbayerns als „extrem trocken“ eingestuft. Im Herbst 2019 führte ein zu nasser Oktober zu einer gewissen Entspannung. Selbst die im September 2019 noch als extrem trocken eingestuft Gebiete Niederbayerns und Franken zeigten dann normale Verhältnisse (langjährige Mittelwerte). In beiden Jahren dominierte die gemischte Zirkulation in einem vergleichbaren Umfang (Herbst 2018: 42 Tage, Herbst 2019: 41 Tage), aber die Trockenwetterlagen waren im Herbst 2018 zahlreicher (Herbst 2018: 37 Tage, Herbst 2019: 27 Tage).

1.1.9 Frühwinter 2018

Vom 01. bis 10. Dezember 2018 gelangten vorwiegend aus westlichen Richtungen immer wieder Tiefdruckgebiete nach Bayern und verursachten einen regenreichen Witterungsabschnitt – nur in den Hochlagen fiel zeitweise Schnee. Vom 02. auf den 03. querte die Kaltfront des Skandinavientiefs Kerin das nördliche Bayern und die Zweitagesniederschläge summieren sich auf über 50 mm. Am 03. wurden in dieser lebhaften Westströmung die höchsten Lufttemperaturen des Monats gemessen (München: 14,3 °C, Bamberg: 12,9 °C). Bei der Passage des Tiefs Marielou am 09./10. traten erneut Starkniederschläge auf, wobei der Niederschlagsschwerpunkt an den Alpen lag. Das nachfolgende Skandinavienhoch Gotthard führte vom 11. bis 15. zu einer Wetterberuhigung. Es blieb verbreitet trocken, aber aus Norden gelangte kalte Luft nach Bayern und dabei entstanden die tiefsten Temperaturen des Monats. Vom 16. bis 24. wurden drei Tiefdruckgebiete in einer Westströmung wetterwirksam. Dabei verursachte das Nordseetief Tete an seiner Kaltfront Starkniederschläge. Die Dreitagesniederschläge vom 21. bis 23. fielen sehr ergiebig aus und lösten zu den Weihnachtstagen ein Hochwasser mit dem Schwerpunkt an den kleineren Donauzuflüssen aus. Im Tagesverlauf des 24. ließen die Regenfälle nach und außerhalb der Hochalpen wurden grüne Weihnachten gefeiert. Vom 25. bis zum Monatsende erzeugten die Westeuropatiefs Hugo und Ignatius eine nordwestliche Strömung und es floss maritime Polarluft nach Deutschland, dabei traten nur zeitweilige Niederschläge auf. In der Gesamtbilanz führten die häufigen West- und Nordwestwetterlagen (Abb. 4) zu einem zu nassen und zu warmen Dezember, der in Nordbayern deutlich zu warm ausfiel (Abb. 5). Die Zahl der Eistage blieb unterdurchschnittlich und erreichte in Nordbayern 11 bis 19, in Südbayern 13 bis 21. Auch die Zahl der Schneetage war gering und reichte von 0 (Würzburg) bis 12 (Oberstdorf).

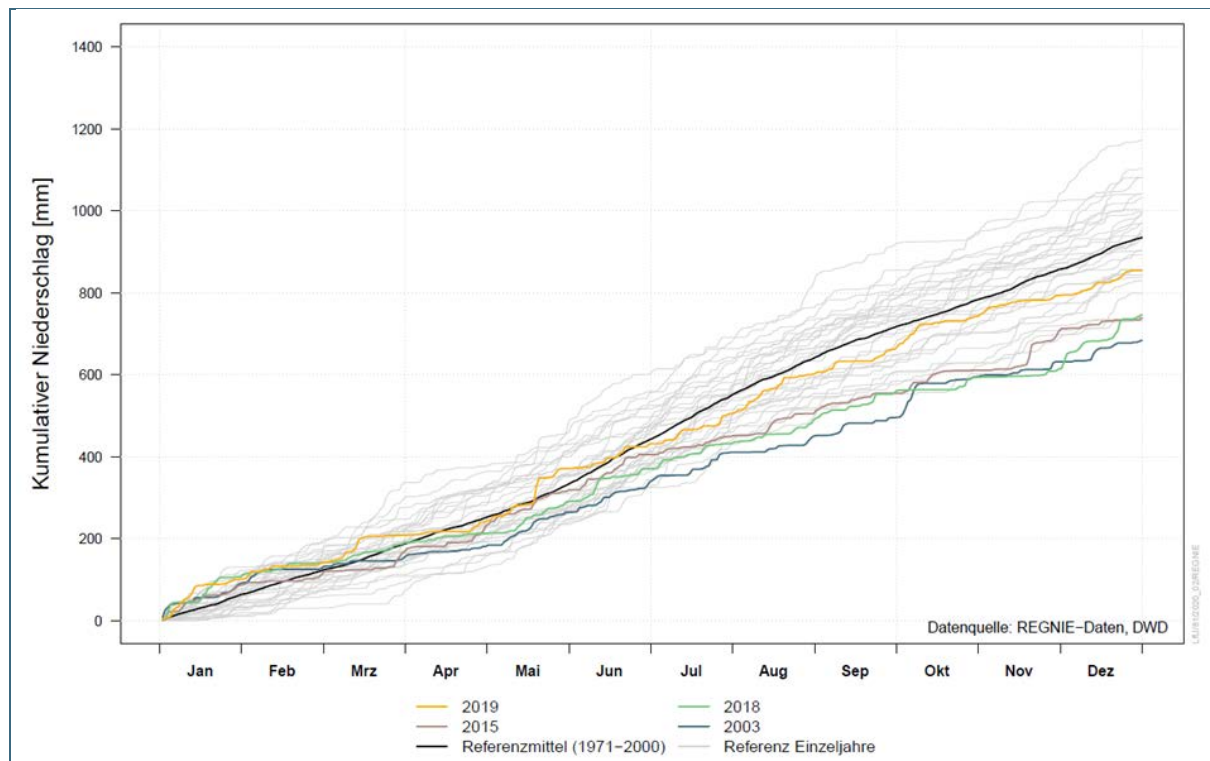


Abb. 12: Kumulierte Niederschlagssummen im Jahresverlauf für das Gebiet Bayern. Ausgewählte Trockenjahre der letzten Jahrzehnte sind farblich hervorgehoben (Datenquelle: DWD REGNIE).

1.1.10 Frühwinter 2019

Vom 01. bis 05. Dezember 2019 herrschte weitgehend trockenes Hochdruckwetter und in Fließgewässer- und Seenähe hielten sich länger zähe Nebelfelder. Im Zeitraum vom 06. bis 15. lag Bayern in einer Westströmung und die darin eingelagerte Kaltfront des Ostseetiefs Rudi gelangte am 09. mit schauerartigen Niederschlägen zu den Alpen. Mit der Passage der Kaltfront sank die Schneefallgrenze und in den Alpen sowie den Hochlagen der Mittelgebirge entstand eine Schneedecke. Vom 13. bis 15. überquerten in einer kräftigen Westströmung drei Tiefausläufer hintereinander Bayern ostwärts (Toni, Veiko, Wilfried). Der Niederschlagschwerpunkt lag im nördlichen Franken mit Dreitagesniederschlägen um 40 mm. Nur kurzzeitig bildete sich in Nordbayern eine Schneedecke. Vom 16. bis zum 22. herrschte eine niederschlagsarme Witterung bei südwestlicher Strömung und es wurden die höchsten Lufttemperaturen des Monats gemessen (Bamberg: 11,8 °C am 16. und Piding/Lkr. Berchtesgadener Land: 20,2 °C am 20.). In den Folgetagen gelangte kühlere Meeresluft nach Deutschland und Bayern wurden grüne, verregnete Weihnachten beschert (Schneedecken erst oberhalb von etwa 1.000 m). Die Frontensysteme von Tief Dietmar verursachten am 25. Starkniederschläge mit 25 bis 50 mm im Alpenstau, wobei der Niederschlagschwerpunkt im Berchtesgadener Land lag. Vom 26. bis zum Monatsende brachte Hoch Wiltrud ruhiges, mildes Winterwetter nach Mitteleuropa. Vielerorts wurden am 29. die tiefsten Temperaturen des Monats gemessen. Die häufigen West- und Südwestwetterlagen führten zu einem zu warmen und zu trockenen Dezember. Die Anzahl der Eistage blieb unterdurchschnittlich und reichte von 0 (München, Bamberg) bis 3 (Weiden). Auch die Zahl der Schneetage war in den Höhenlagen unterhalb von 1.000 m gering und reichte von 1 (Würzburg und München) bis 7 (Oberstdorf).

Der Frühwintervergleich der Jahre 2018 und 2019 zeigt gegensätzliche Verhältnisse. Während der Dezember 2018 zu nass ausfiel (Nordbayern: +77 % vom Mittel 1971–2000, Südbayern: +59 % vom Mittel), kam es im Dezember 2019 zu einem weiteren zu trockenen Monat (Nordbayern: –21 % vom Mittel, Südbayern: –24 % vom Mittel). Den Unterschied machten die 13 Dezembertage mit Trockenwetterlagen im Jahr 2019 gegenüber nur 4 Tagen mit Trockenwetterlagen im Dezember 2018 (Abb. 9). Ende Dezember 2018 war ein kumuliertes 12-Monats-Niederschlagsdefizit von etwa 180 l/m² entstanden. Zum Jahreswechsel 2019/2020 betrug das kumulierte 24-Monats-Niederschlagsdefizit rund 260 l/m² (Abb. 7).

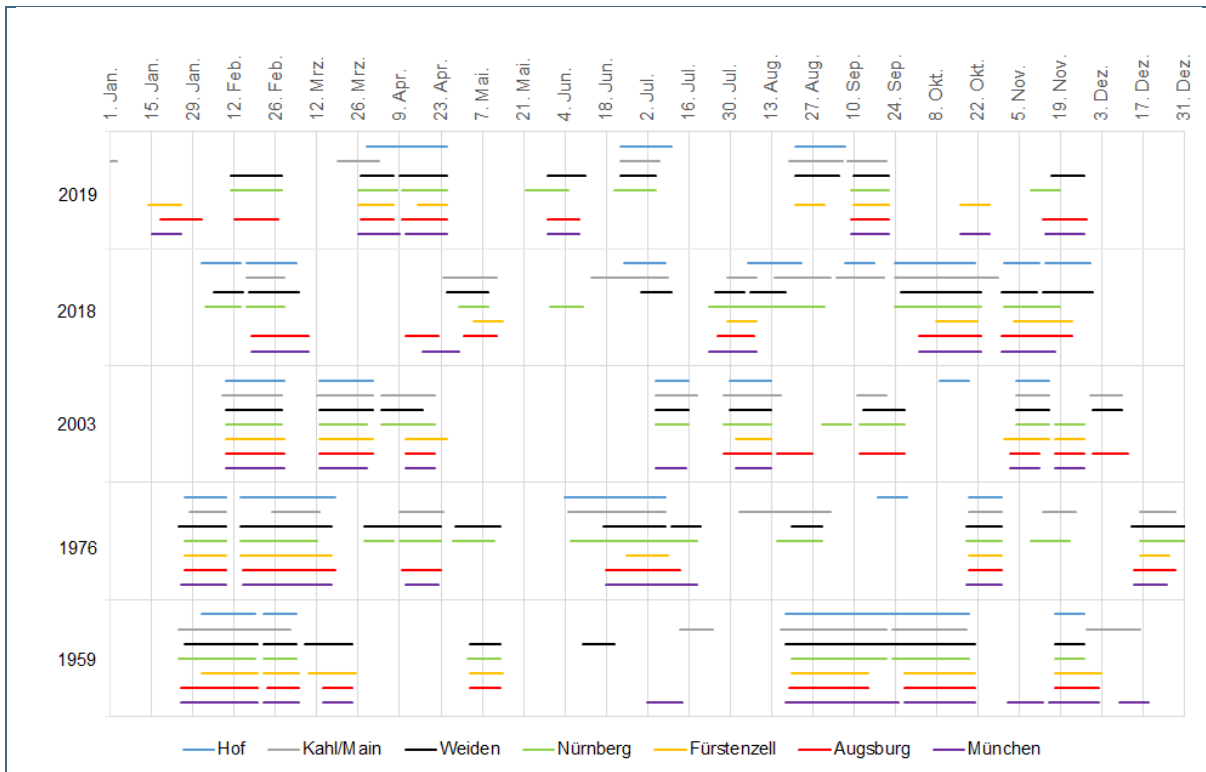


Abb. 13: Andauer von Trockenperioden in den Jahren 1959, 1976, 2003, 2018 und 2019 am Beispiel von 7 bayrischen Wetterstationen. Von einer Trockenperiode spricht man ab einer Aufeinanderfolge von mindestens 11 Tagen mit einem jeweiligen Tagesniederschlag von kleiner gleich 1 mm.

1.1.11 Fazit

Das Jahr 2018 besticht durch die Häufung und lange Andauer von Trockenperioden (Abb. 13). In der Auswertung zu den Trockenjahren 1959, 1976, 2003, 2018 und 2019 am Beispiel von 7 Wetterstationen nimmt das Jahr 2018 einen führenden Rang ein (4 bis 9 Trockenperioden mit einer maximalen Andauer von 40 Tagen). Mehr Trockenperioden hatten nur die Jahre 1976 (5 bis 10) und 2003 (6 bis 9). Herausragend ist im Jahr 2018 die Häufung und Andauer der Trockenperioden im Zeitraum Spätsommer bis Herbst. Lediglich im Vergleichszeitraum des Jahres 1959 finden sich noch längere Trockenperioden (Weiden: 65 Tage).

Nahezu einmalig ist die **Aufeinanderfolge von 10 zu trockenen Monaten** im Zeitraum Februar bis November 2018 (Abb. 7). In der gesamten Beobachtungsreihe seit 1881 finden sich 10 zu trockene Monate in Folge nur noch von Dezember 1928 bis September 1929. **Der Niederschlag von Februar 2018 bis November 2018 summiert sich für Gesamtbayern auf 508 mm und ergibt den niedrigsten Wert in der Reihe seit 1881**, gefolgt von 1921 (529 mm), 1911 (530 mm) und 2003 (545 mm). Die nachfolgende Kartendarstellung (Abb. 14) zeigt die Niederschlagssumme von Februar bis November als Mittelwert 1971 bis 2000 und als prozentuale Abweichung zum Mittelwert.

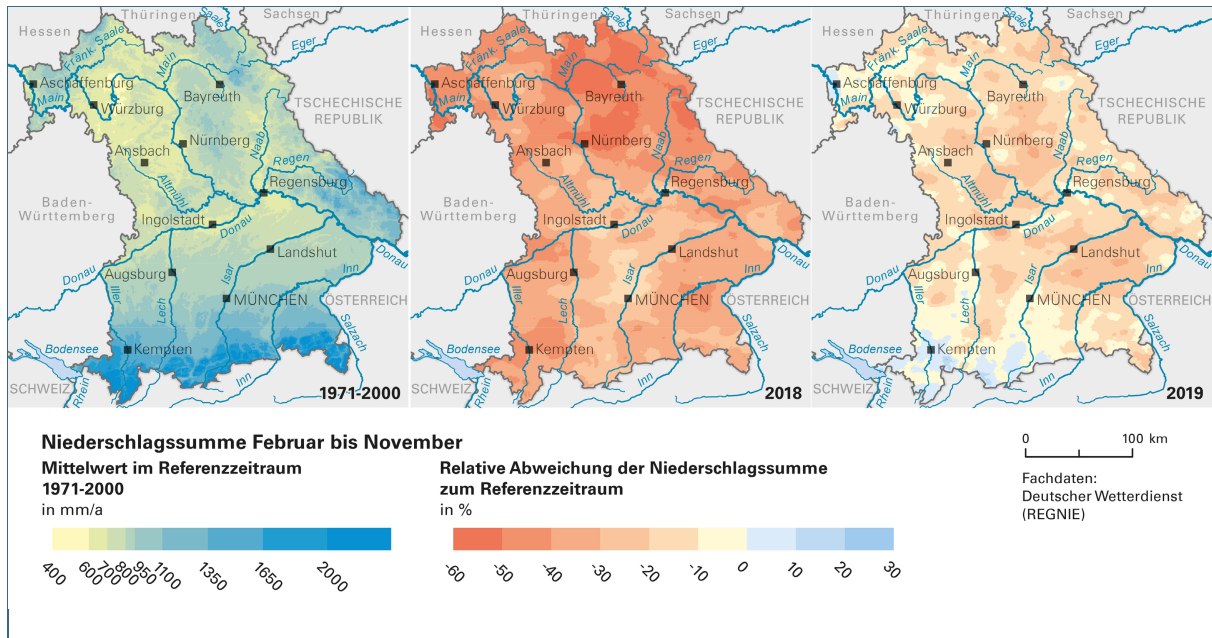


Abb. 14: Niederschlagssumme von Februar bis November. Links: Mittelwert im Referenzzeitraum 1971–2000, Mitte und rechts: Relative Abweichung zum Mittelwert in den Jahren 2018 und 2019; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA

Der Regierungsbezirk Oberfranken bildete 2018 einen extremen Trockenheitsschwerpunkt. So beträgt die 10-monatige Niederschlagssumme 336 mm, die bei 10 zu trockenen Monaten in Folge mit zwei markant zu trockenen Monaten (Feb., Nov.) und zwei deutlich zu trockenen Monaten (Aug., Okt.) entstand. In der Rangfolge der Betroffenheit folgt Unterfranken mit 355 mm (7 zu trockene Monate mit einem markant zu trockenen Okt. und deutlich zu trockenem Feb., Aug., Nov.), vor Mittelfranken mit 371 mm (9 zu trockene Monate mit deutlich zu trockenem Feb., Apr., Aug., Okt., Nov.) und der Oberpfalz mit 384 mm (10 zu trockene Monate mit deutlich zu trockenem Feb., Apr., Jul., Nov.).

Die Niederschlagssummen für den Zeitraum Februar bis November 2019 (Tab. 2) liegen bezogen auf die Regierungsbezirke um 119 bis 227 mm über den Vergleichswerten des Jahres 2018. Die geringste 10-Monatsniederschlagssumme zeigt Mittelfranken mit 508 mm (6 zu trockene Monate mit einem deutlich zu trockenen Feb.), vor Unterfranken mit 542 mm (6 zu trockene Monate mit einem deutlich zu trockenen Feb.), der Oberpfalz mit 548 mm (7 zu trockene Monate mit einem deutlich zu trockenen Juni) und Oberfranken mit 563 mm (6 zu trockene Monate mit deutlich zu trockenem Feb., Jun.).

Tab. 1: Tabellarische Übersicht der monatlichen Niederschlagsmengen sowie der prozentualen Abweichungen gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 je Regierungsbezirk für 2018; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA

Zeitraum	Bayern		Mittelfranken		Niederbayern		Oberbayern		Oberfranken		Oberpfalz		Schwaben		Unterfranken	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Jahr	747	-20	606	-17	748	-18	980	-16	571	-31	623	-21	869	-21	551	-25
Jan	113	73	93	74	104	51	135	98	105	47	99	57	142	115	87	41
Feb	28	-50	15	-66	23	-58	45	-28	10	-80	14	-71	50	-21	13	-73
Mrz	47	-28	41	-21	51	-21	44	-45	54	-13	43	-23	43	-40	56	0
Apr	26	-59	22	-56	18	-68	22	-73	30	-44	22	-54	25	-69	50	2
Mai	76	-7	80	19	67	-14	97	-9	56	-12	50	-25	103	2	59	-3
Jun	81	-25	56	-31	93	-8	129	-11	43	-50	57	-36	89	-34	42	-43
Jul	61	-44	50	-37	47	-56	93	-38	44	-49	43	-52	76	-43	43	-42
Aug	58	-37	21	-66	60	-33	109	-17	20	-71	44	-41	72	-38	22	-62
Sep	66	-12	43	-25	69	-4	95	-2	43	-33	61	-3	78	-16	39	-30
Okt	37	-45	28	-53	41	-36	54	-29	23	-64	32	-47	47	-39	15	-76
Nov	20	-72	15	-74	31	-57	25	-72	13	-81	18	-71	18	-79	16	-75
Dez	132	70	142	120	143	75	133	63	130	55	142	93	126	56	109	46

Tab. 2: Tabellarische Übersicht der monatlichen Niederschlagsmengen sowie der prozentualen Abweichungen gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 je Regierungsbezirk für 2019; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA

Zeitraum	Bayern		Mittelfranken		Niederbayern		Oberbayern		Oberfranken		Oberpfalz		Schwaben		Unterfranken	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Jahr	855	-9	638	-12	771	-15	1107	-5	722	-12	681	-14	1085	-2	682	-8
Jan	102	56	79	49	104	52	137	101	88	23	79	26	115	74	69	12
Feb	35	-36	18	-61	43	-22	52	-16	25	-54	31	-36	36	-43	18	-62
Mrz	72	11	54	3	80	23	63	-21	85	36	76	38	79	12	73	31
Apr	32	-49	26	-48	20	-65	40	-53	36	-33	26	-46	41	-50	32	-36
Mai	130	60	86	28	108	39	204	92	88	39	76	14	173	71	100	63
Jun	53	-51	50	-39	55	-46	62	-57	26	-70	38	-57	80	-41	49	-34
Jul	82	-26	56	-29	66	-38	132	-12	45	-48	56	-37	118	-12	39	-47
Aug	95	3	81	28	80	-12	122	-7	57	-15	95	28	147	27	45	-24
Sep	61	-19	31	-45	51	-29	81	-16	66	2	53	-14	78	-16	43	-22
Okt	80	19	66	11	69	8	98	29	70	7	58	-6	105	35	77	24
Nov	51	-30	40	-30	47	-35	53	-41	65	-3	39	-36	50	-42	66	4
Dez	61	-22	52	-20	48	-41	64	-21	71	-15	53	-28	64	-21	72	-4

Die nachfolgende Tabelle stellt die meteorologischen Fakten zu den Jahren 2018 und 2019 abschließend gegenüber.

Tab. 3: Meteorologische Fakten zu den Jahren 2018 und 2019

2018	2019
<p>Trockenwetterlagen: Herbst: 37 Tage, Rang 2 hinter 1959 Sommer und Herbst: 77 Tage, 13 Tage mehr als im Mittel 1971–2000</p>	<p>Trockenwetterlagen: Außerhalb des Winters war die Anzahl unterdurchschnittlich.</p>
<p>Lufttemperaturbilanz: Jahresmitteltemperatur Bayern: 9,9 °C, 2,1 °C über dem Mittel 1971–2000, wärmstes Jahr in der Reihe ab 1881 und achtens zu warmes Jahr in Folge Drittwärmerster Januar und wärmster April in der Reihe ab 1881 April bis Dezember 2018: neun zu warme Monate in Folge</p>	<p>Lufttemperaturbilanz: Jahresmitteltemperatur Bayern: 9,5 °C, 1,7 °C über dem Mittel 1971–2000, drittwärmstes Jahr nach 2018 und 2014 und neuntes zu warmes Jahr in Folge. Zweitwärmerster Juni in der Reihe ab 1881, nur der Juni 2003 war noch wärmer. April 2018 bis April 2019: 13 zu warme Monate in Folge Jahreshöchsttemperaturen vielerorts höher als 2018 (z. B. Regensburg: 38,9 °C am 26.07.2019, 38,2 °C am 31.07.2018)</p>
<p>Niederschlagsbilanz: Jahresniederschlag Bayern: 757 mm 20 % unter dem Mittel 1971–2000 In den letzten 50 Jahren waren nur folgende Jahre noch trockener: 2003 (690 mm), 1972, 1971, 2015, 1976 10 zu trockene Monate in Folge. Feb.–Nov. Niederschlagssumme Feb. bis Nov. 2018: Nordbayern: 387 mm (417 mm in 1976) Südbayern: 648 mm (660 mm in 2003) Bayern: 508 mm (neuer Niedrigstwert in der Reihe ab 1881) Anzahl Trockenperioden: 4 bis 9 mit einer Dauer von 11 bis 40 Tagen</p>	<p>Niederschlagsbilanz: Jahresniederschlag Bayern: 861 mm 9 % unter dem Mittel 1971–2000 Niederschlagssumme Feb. bis Nov. 2019: Nordbayern: 558 mm Südbayern: 864 mm Bayern: 694 mm Anzahl Trockenperioden: 3 bis 8 mit einer Dauer von 11 bis 28 Tagen</p>
<p>Sonnenscheindauer: 2026 h (128 % vom Mittel 1971–2000) Rang 2 in der Reihe ab 1951 hinter dem Jahr 2003 (2065 h)</p>	<p>Sonnenscheindauer: 1905 h (120 % vom Mittel 1971–2000) Rang 5 in der Reihe ab 1951 hinter den Jahren 2003, 2018, 1959 und 2011</p>
<p>Charakteristische Tage: Anzahl Sommertage: 63 (Kempten) bis 98 (Nürnberg). Nur einzelne Stationen hatten mehr Sommertage als im Jahr 2003. Anzahl heiße Tage: 8 (Hof) bis 31 (Nürnberg) Nur einzelne Stationen erreichten die Anzahl von 2003.</p>	<p>Charakteristische Tage: Anzahl Sommertage: 43 (Kempten) bis 67 (München). Anzahl heiße Tage: 8 (Hof) bis 25 (Nürnberg)</p>

Im Anhang sind für die Wetterstationen Bad Kissingen, Hof, Nürnberg, Weiden, München, Fürstentzell und Kempten die Temperatur- (Abb. 84, Abb. 85), Niederschlags- (Abb. 86) und Einstrahlungsverhältnisse (Abb. 87) der Jahre 2018 und 2019 im Vergleich zum langjährigen Mittel 1971–2000 ergänzend dargestellt. Diese sieben Wetterstationen wurden so gewählt, dass zumindest jeder Regierungsbezirk eine Station aufweist. Die Auswertungen des Anhangs sollen als zusätzliche Informationsquelle dienen.

1.2 Klimatische Einordnung

Sowohl das Jahr 2018 als auch das Jahr 2019 setzen den in Bayern beobachteten Anstieg der Lufttemperatur fort. Diese nahm von 1951 bis 2019 im Durchschnitt der Landesfläche hochsignifikant (Signifikanzniveau 99 %) um 1,9 °C zu (StMUV 2021).

Die langfristigen Trends der Niederschlagssummen von 1951 bis 2019 sind weit weniger deutlich. Lediglich im Sommerquartal (Juni–August) ergibt sich eine signifikante Abnahme um 13 % im bayernweiten Mittel (StMUV 2021, Signifikanzniveau 90 %). Die beobachteten Änderungen sind regional unterschiedlich stark ausgeprägt: Statistisch signifikante Niederschlagstrends zeigen sich nur in der Donauregion, dem Südbayerischen Hügelland und der Klimaregion Spessart-Rhön (Abb. 15). Im Frühjahrs-, Winter- und Herbstquartal sind die ermittelten Trends in keiner Klimaregion statistisch signifikant.

2018 und 2019 reihen sich jedoch in die Beobachtung der letzten 17 Jahre ein: Seit 2003 gab es in Süddeutschland nahezu keine überdurchschnittlich feuchten Jahre mehr mit den entsprechenden Folgen für die Grundwasserneubildung (siehe auch Kapitel 2.2). Das geht vor allem auf trockenere Winterhalbjahre in diesem Zeitraum zurück.

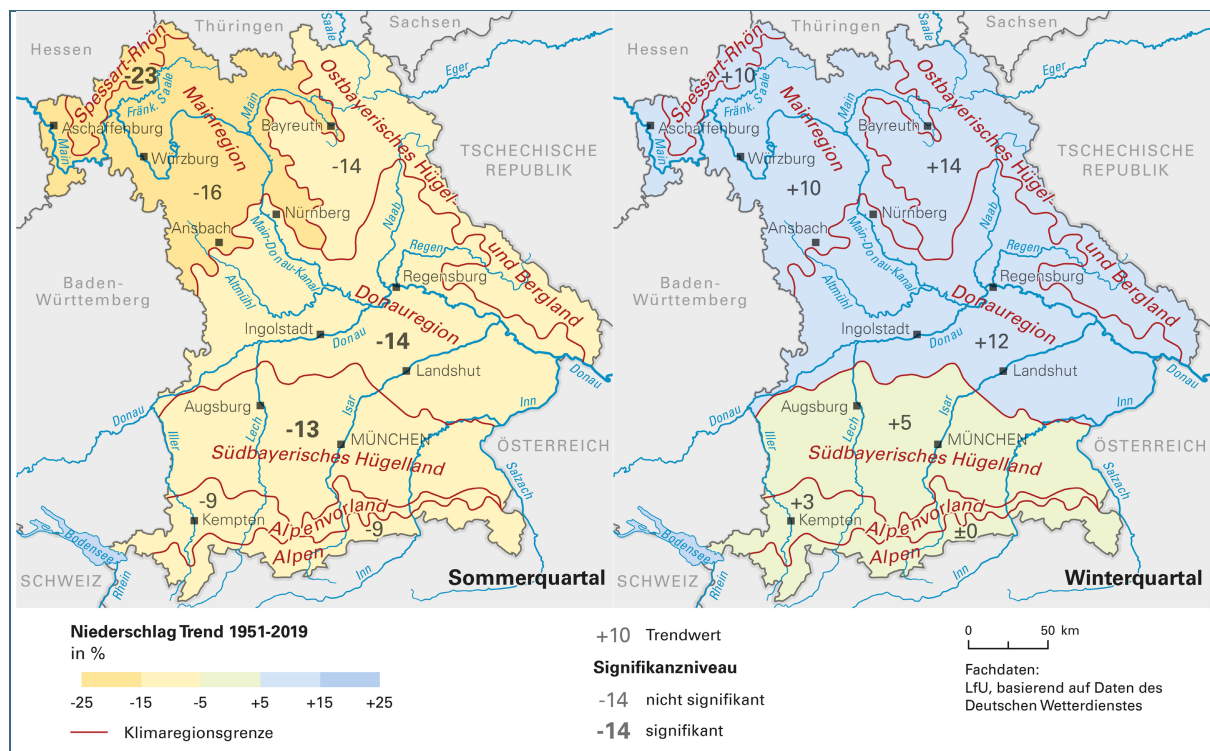


Abb. 15: Relativer Trend der 3-Monats-Niederschlagssummen in den sieben Klimaregionen Bayerns über die vergangenen 69 Jahre zwischen 1951 und 2019, jeweils für das Sommerquartal Juni–Aug. (links) und für das Winterquartal Dez.–Feb. (rechts). Fett gedruckte Werte symbolisieren einen statistisch signifikanten Trend (Konfidenzniveau > 90 %). StMUV 2021)

Die Zukunftsaussagen basieren auf dem qualitätsgeprüften Bayerischen Klimaprojektionsensemble (LfU 2020a). Unterschieden wird dabei zwischen zwei grundlegenden Treibhausgasszenarien: Das RCP2.6 steht für die Entwicklung, die eintritt, wenn die politisch vereinbarte 2-Grad-Obergrenze eingehalten wird. Demgegenüber steht das RCP8.5. Dieses geht davon aus, dass global kein verstärkter Klimaschutz betrieben wird. Methodische Hintergründe und genauere, regional spezifischere Informationen bieten unter anderem der Klimareport Bayern 2020 (StMUV 2021), die LfU-Infoblätter zum regionalen Klimawandel (LfU 2020c) oder der KLIWA-Monitoringbericht (KLIWA 2016).

Auch für die Zukunft sagen alle Klimaprojektionen steigende Lufttemperaturen voraus. Nimmt man das RCP2.6-Szenario an, ist bis Ende des Jahrhunderts von einer Temperaturzunahme zwischen 0,7 und 1,6 °C gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 auszugehen (LfU 2020c). Bei dem RCP8.5-Szenario kann die Temperaturzunahme zwischen 3,0 und 4,8 °C liegen.

Die zukünftige Entwicklungsrichtung der Niederschläge zeigt unter Annahme des „Klimaschutz-Szenarios“ RCP2.6 keine Änderungen der Niederschlagssummen in den einzelnen Quartalen. Lediglich eine Entwicklung „ohne Klimaschutz“ (RCP8.5) lässt für die ferne Zukunft (2071–2100) eher Abnahmen der Sommerniederschlagsmengen um 11 % erwarten sowie Zunahmen um etwa 14 % bzw. 13 % in Winter- und Frühjahrsquartal. Einzelne Klimamodelle deuten auch hier zum Teil an, dass eine jeweils entgegengesetzte Änderung möglich ist.

Trockenheitsereignisse werden von trockenen Großwetterlagen verursacht. Untersuchungen in KLIWA zeigen: Diese Großwetterlagen haben bereits in der Vergangenheit zugenommen und werden in Zukunft wahrscheinlich noch häufiger auftreten (KLIWA 2012).

Die Folgen davon bestätigt auch ein neues Analyseverfahren, das auf das Bayern-Ensemble angewendet wurde. In diesem sogenannten Screening-Verfahren wurde unter anderem anhand eines vereinfachten 12-Monats-SPEI verglichen, ob die Einzeljahre in den Klimaprojektionen ähnlich oder extremer als das Jahr 2018 sind. Hat das Jahr 2018 im Referenzzeitraum 1971–2000 noch eine Jährlichkeit von ungefähr 30 Jahren innerhalb des 30-Jahres-Zeitraums, sinkt diese bis Mitte des Jahrhunderts (2041–2070) im Ensemble-Median auf 10 Jahre, bis Ende des Jahrhunderts sogar noch darunter. Werden in einer komplexeren Auswertungsvariante Intensität, Dauer und Ausdehnung gemeinsam betrachtet, sind die Jährlichkeiten für das Betrachtungsgebiet Bayern deutlich größer (>1.000 Jahre im Referenzzeitraum), die Tendenz zu einer starken Häufung ähnlicher Situationen wie 2018 bleibt aber bestehen (~90 Jahre in der fernen Zukunft).

2 Hydrologische Situation

2.1 Fließgewässer und Seen

Die hohen Niederschlagsdefizite und überdurchschnittlichen Lufttemperaturen mit einhergehend hoher Verdunstung führten in weiten Teilen Bayerns in den Kalenderjahren 2018 und 2019 zu außergewöhnlich niedrigen Wasserständen und Abflüssen an den oberirdischen Gewässern.

2.1.1 Fließgewässer

Für die folgenden Betrachtungen wurde eine Auswahl der Messstellen des Gewässerkundlichen Landesmessnetzes verwendet, welche über eine genügend lange Messzeitreihe (seit mindestens 1971) verfügen. Dabei handelt es sich um vorläufige Werte bis zu ihrer endgültigen Bestätigung durch eine umfassende hydrologische Plausibilisierung, so dass evtl. spätere Änderungen nicht auszuschließen sind. Hinzu kommt, dass gerade bei Niedrigwasser die Messungenauigkeit im Vergleich zu anderen Abflussbereichen besonders hoch ist. Die Fließgewässer in Bayern unterliegen vielfältigen anthropogenen Beeinflussungen durch z. B. Aus- und Einleitungen, Speicher- und Kraftwerksteuerung, die bei diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt wurden.

2.1.1.1 Jahresabfluss 2018 und 2019

Der Jahresabfluss 2018 wurde durch hohe Abflüsse im Januar und Dezember, aber noch mehr durch die bayernweit ausgeprägte Niedrigwassersituation in Folge der von Februar bis November herrschenden Trockenheit bestimmt. Diese langanhaltende Trockenheit von Februar bis November spiegelt sich im geringen Jahresabfluss des Kalenderjahres 2018 wider (Abb. 16 und Tab. 4). Bayernweit (mit einzelnen Ausnahmen) liegt der Jahresabfluss unterhalb des langjährigen Mittels. Der Jahresabfluss beträgt 80–100 %, im Bereich der östlichen und nördlichen Mittelgebirge sowie südlich einer Linie vom Allgäu bis zum südlichen Niederbayern 60–80 % des langjährigen Mittels. An einigen Pegeln sind nur 50–60 % des langjährigen Jahresabflusses zu verzeichnen. Insgesamt liegt die Spannweite bei 50 bis 115 % des langjährigen Mittels. 2018 zählt vor allem im Bereich südlich der Donau sowie in den östlichen Mittelgebirgen zu einem der abflussärmsten Jahre seit Beobachtungsbeginn. An einzelnen Pegeln wird sogar der geringste Jahresabfluss seit Beobachtungsbeginn registriert.

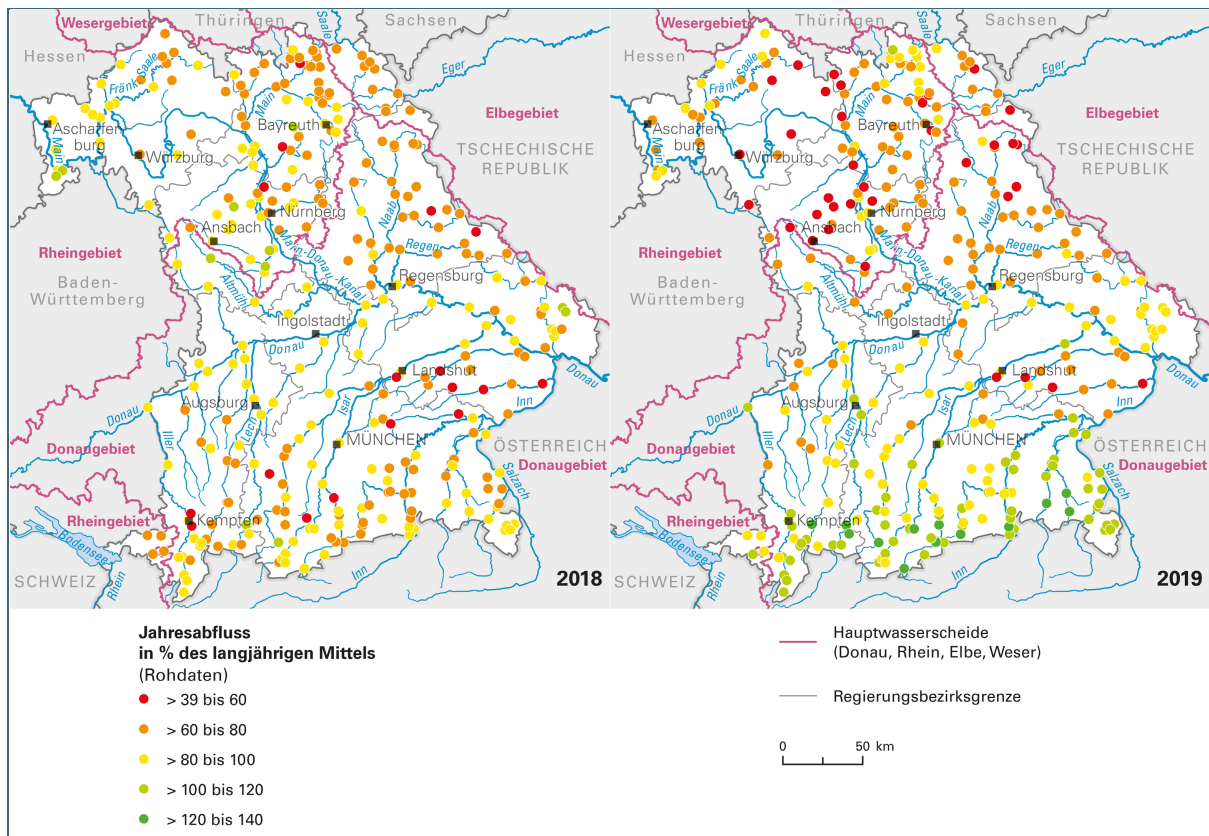


Abb. 16: Jahresabfluss der Kalenderjahre 2018 (links) und 2019 (rechts) in [%] des langjährigen mittleren Abflusses an ausgewählten Pegeln mit Beobachtungszeitreihen seit mindestens 1971 (Rohdaten)

Das im außergewöhnlichen Trockenjahr 2018 aufgebaute Wasserdefizit in den Grund- und Bodenspeichern sowie das anschließende, in weiten Teilen Bayerns ebenfalls zu trockene, Jahr 2019 mit extremen Hitzeperioden sorgte auch für sehr niedrige Abflüsse 2019. Ausnahme bildet der Alpenbereich mit höheren Niederschlägen sowie umfangreichen Schneerücklagen im Winter 2018/2019, die den Abfluss mit Schneeschmelzwasser auch in Trockenwetterphasen stützten.

So zeigt sich beim Vergleich des Jahresabflusses 2019 zum langjährigen mittleren Jahresabfluss (Abb. 16 und Tab. 4) eine deutliche räumliche Zweiteilung sowie eine große Spannweite von 39 – 140 %. Dabei beträgt der Jahresabfluss an den Fließgewässern im Alpenbereich sowie an den größeren Fließgewässern, welche einen wesentlichen Alpenanteil im Einzugsgebiet aufweisen (wie Inn, Isar, Iller, Salzach), vielfach Werte von 100–120 % des langjährigen Mittels, im Alpenbereich z. T. sogar 120–140 %. Im Großteil Bayerns hingegen liegen die Werte unterhalb des langjährigen Mittels. Nördlich der Donau sowie in Niederbayern sind verbreitet Werte von nur 60–80 % zu verzeichnen. In Franken, der nördlichen Oberpfalz sowie im südlichen Niederbayern werden z. T. sogar nur 39–60 % des langjährigen mittleren Jahresabflusses erreicht. 2019 zählt hier zu den abflussärmsten Jahren seit Beobachtungsbeginn.

2.1.1.2 Niedrigwasserabfluss

Niedrigwasser liegt vor, sobald für das Gewässer ein typischer Schwellwert unterschritten wird. Es gibt verschiedene Definitionen der Schwellwerte. Bei den vorliegenden Betrachtungen bzgl. Niedrigwasser werden die Kenngrößen und Definitionen, die beim Niedrigwasserinformationssystem des Bayerischen Landesamtes für Umwelt NID (<https://www.nid.bayern.de/>) verwendet werden, genutzt. Zwei wesentliche Kenngrößen sind:

NQ: Niedrigster Tagesabfluss im betrachteten Zeitraum (meist > 30 Jahre).

MNQ: Arithmetisches Mittel aller niedrigsten Tagesabflüsse (NQ) jeden Jahres des betrachteten Zeitraums.

Abflüsse unterhalb des MNQ werden beim NID als sehr niedrig klassifiziert.

Der Vergleich des **niedrigsten Tagesabflusses** 2018 mit dem MNQ (Abb. 18 und Tab. 4) zeigt, dass im Laufe des Jahres 2018 nahezu bayernweit sehr niedrige Abflüsse registriert wurden. In Oberfranken, der Oberpfalz, in Niederbayern, im westlichen Mittelfranken sowie im Allgäu liegen die niedrigsten Tagesabflüsse sogar bei weniger als 50 % des MNQ. Die Niedrigwerte der Trockenjahre 2003 oder 1976 werden häufig erreicht bzw. unterschritten. An vielen Pegeln liegt der niedrigste Tagesabfluss im Bereich des niedrigsten bisher gemessenen Tageswertes. Einzelne Pegel an kleineren Fließgewässern fielen trocken (Abb. 17).



Abb. 17: Trockengefallene Pegelmessstellen im Frankenwald Geschwend/Kremnitz [Einzugsgebiet 46,2 km²] (links) und Friedersdorf/Buchbach (rechts) [Einzugsgebiet 11,1 km²] im August 2018

Bei der Betrachtung der niedrigsten Tagesabflüsse 2019 (Abb. 18 und Tab. 4) zeigt sich analog zum Jahresabfluss eine Zweiteilung Bayerns. Während an den Fließgewässern mit alpinem Einzugsgebiet der niedrigste Tagesabfluss im Jahr 2019 den MNQ nicht unterschreitet, z. T. sogar doppelt so hoch ist, liegen in Franken und im östlichen Bayern die Abflüsse deutlich darunter und werden als sehr niedrig eingestuft. Oftmals beträgt der niedrigste Tagesabfluss weniger als 50 %, im äußersten Nordosten Bayerns sogar weniger als 20 % des MNQ. Ausnahme bildet hier die Rednitz/Regnitz durch die Aufhöhung der Abflüsse durch die Donauüberleitung.

In den stark von Niedrigwasser betroffenen Bereichen werden die Niedrigwerte der Trockenjahre 2018, 2003 oder 1976 häufig erreicht bzw. unterschritten. An vielen Pegeln liegt der niedrigste Tagesabfluss im Bereich des niedrigsten bisher gemessenen Tageswertes.

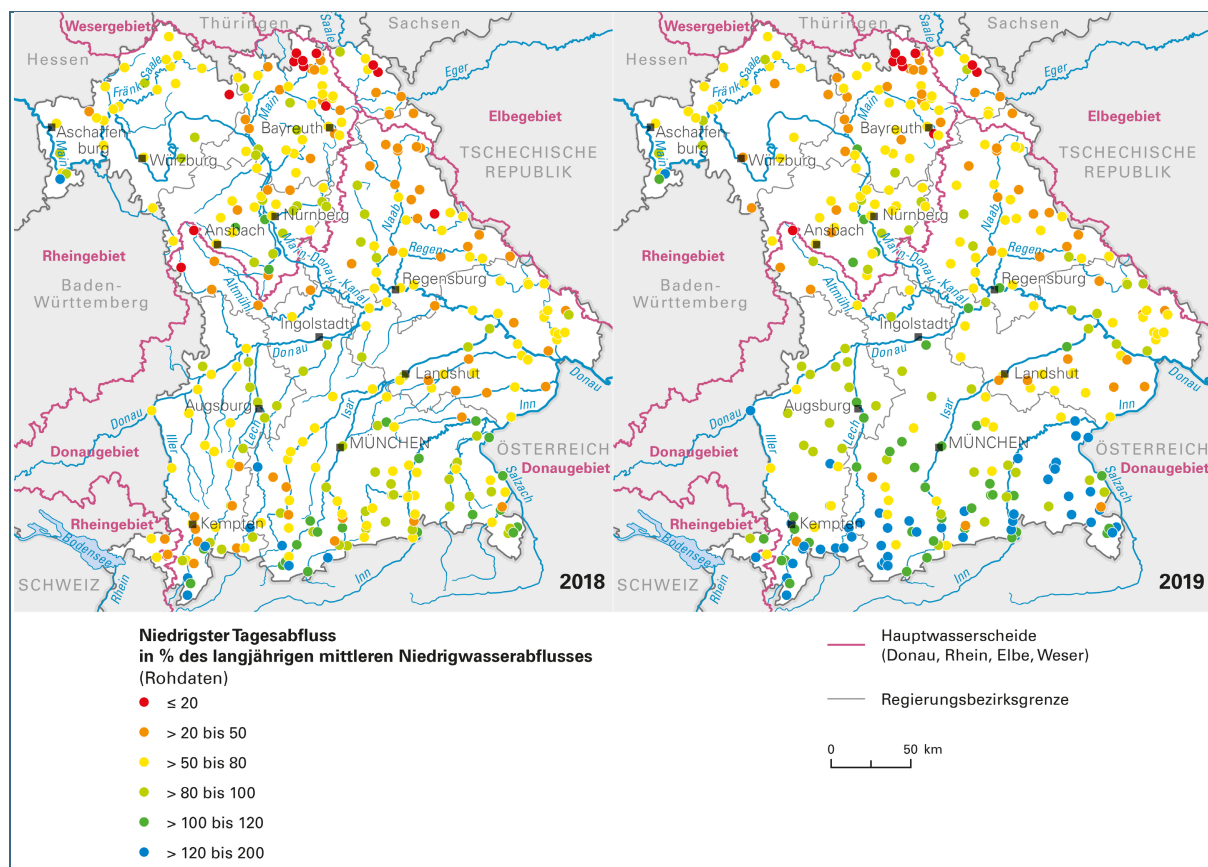


Abb. 18: Niedrigster Tagesabfluss der Kalenderjahre 2018 (links) und 2019 (rechts) in [%] des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses an ausgewählten Pegeln mit Beobachtungszeitreihen seit mindestens 1971 (Rohdaten)

Nicht nur die niedrigsten Tagesabflüsse in den Jahren 2018 und 2019 sind ungewöhnlich, sondern auch die zeitliche und räumliche Ausprägung der Niedrigwasserphasen.

2018 wurden im April und Mai zunächst nur an einigen Pegeln sehr niedrige Abflüsse kleiner MNQ registriert (Abb. 19). Ab Mitte Juni nahm die Anzahl stetig zu und erreichte den Höhepunkt mit über 70 % im Zeitraum 20. bis 22.08. Bis Ende November blieben an über 50 % der Pegel die Abflüsse auf diesem sehr niedrigen Niveau, nur unterbrochen durch kurze aber nicht nachhaltige Erholungen. Erst nach der von Juli bis November über fünf Monate anhaltenden Phase mit sehr niedrigen Abflüssen endete diese.

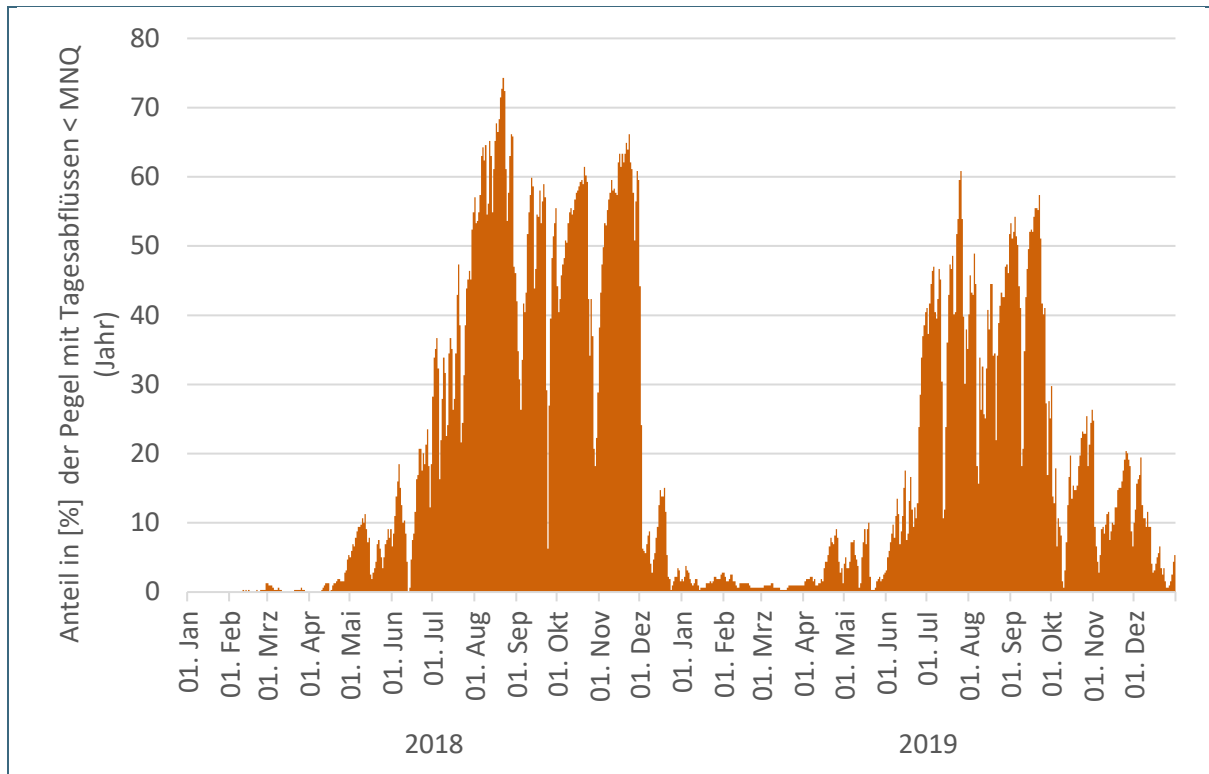


Abb. 19: Anteil [%] der ausgewählten Pegel (Anzahl 319) mit sehr niedrigen Abflüssen unterhalb des Schwellwertes MNQ (Jahr) im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 (ungeprüfte Rohdaten)

2019 wurde im Zeitraum April bis Ende Juni an einigen Pegeln der MNQ unterschritten. Ende Juni stieg die Anzahl der Pegel mit sehr niedrigen Abflüssen rapide auf über 40 % in der ersten Julihälfte an. Auf diesem hohen Niveau blieb die Anzahl bis Ende September, auch hier immer wieder durch kurze Erholungen unterbrochen. Der Höhepunkt wurde im Juli erreicht mit kurzzeitig etwa 60 % der Pegel. 2019 endete nach drei Monaten Ende September diese Phase mit sehr niedrigen Abflüssen. Von Oktober bis Anfang Dezember wurden immer wieder an bis zu 20 % der Pegel der MNQ gleichzeitig unterschritten. Derart niedrige Abflüsse sind außerhalb des Alpenraums ungewöhnlich für diese Jahreszeit.

Tab. 4: Übersicht zur Abflusssituation 2018 und 2019 in Bayern anhand ausgewählter Pegel mit Jahresabflüssen und niedrigsten Tagesabflüssen im Vergleich zu den Trockenjahren 2003 und 1976, den Gewässerkundlichen Hauptwerten (seit jeweiligem Beobachtungsbeginn geprüfter Zeitraum) sowie der Unterschreitungstage des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) (ungeprüfte Rohdaten)

			Gewässerkundliche Hauptwerte			Mittlerer Jahresabfluss				Niedrigster Tagesabfluss				Unterschreitungstage [< MNQ]	
Pegel	Fluss	EZG [km ²]	MQ	MNQ	NQ	MQ 2019	MQ 2018	MQ 2003	MQ 1976	NQ 2019	NQ 2018	NQ 2003	NQ 1976	2018	2019
			[m ³ /s]			[m ³ /s]				[m ³ /s]				[d]	
Kelheim	Donau	23.031	331	145	85,2	310	287	270	256	148	114	102	122	81	0
Hofkirchen	Donau	47.518	638	301	165	579	531	535	488	284	238	243	272	104	2
Kempten	Iller	955,3	46,5	9,45	4,06	47	38	28,8	34,7	14,7	7,19	7,76	10,5	15	0
Offingen	Mindel	951,9	12,2	6,53	2,56	9,1	9,88	10,7	10,2	3,73	4,49	5,49	4,91	131	102
Harburg	Wörnitz	1.569,5	11,5	2,01	0,502	9,13	12,4	9,66	6,68	0,695	0,896	1,52	0,664	14	25
Landsberg	Lech	2.282,6	82,6	27,3	14,3	83,8	67,8	56,6	61,3	30,7	36,4	21,3	25,9	0	0
Treuchtlingen	Altmühl	886,3	5,72	1,17	0,28	3,97	5,41	4,84	3,2	0,725	0,545	0,76	1,13	120	43
Heitzenhofen	Naab	5.433,7	50,1	18	7,91	35,1	38	47,3	34	12,5	12,8	15,9	11,4	141	76
Kienhof	Regen	2.177,3	34,5	12	5,13	25	24,3	27,7	27,3	5,48	5	7,92	6,96	102	112
Landau	Isar	8.578,1	169	87,6	59	176	139	135	126	102	81,6	77,8	78,4	19	0
Fürstenfeldbruck	Amper	1.230,3	23,2	9,22	3,4	22,3	18,6	14,9	16,2	9,39	5,32	4,32	8,51	74	0
Grafenmühle	Vils	1.439,5	10,4	4,48	1,82	6,6	7,36	10,1	6,64	2,36	2,59	3,91	2,65	145	186
Rosenheim o.d. Mangfall	Inn	10.153	316	104	71,6	399	295	276	248	126	109	95,7	103	0	0
Rosenheim	Mangfall mit Hammerbach	1.094,6	26,8	10,2	6,42	25,6	20,0	20,4	18,7	9,41	6,53	7,43	8,12	74	4
Ruhstorf	Rott	1.049,1	9,18	3,3	1,9	5,11	4,94	6,35	6,82	1,58	1,61	2,79	2,47	195	198
Kemmern	Main	4.249,8	44,3	9,83	3,1	31,3	31,7	34,8	24,2	4,49	4,8	5,37	3,69	144	89
Kleinheubach	Main	2.151,9	165	50,9	11	121	142	161	78,7	36	28,3	37,8	11	86	31
Unterlangenstadt	Rodach	714,3	10,4	1,22	0,22	8,38	6,59	6,44	6,35	0,493	0,625	0,441	0,765	143	87
Nürnberg Ledersteg	Pegnitz	1.189,6	11,5	6,76	3,48	9,38	8,99	12	8,22	4,77	4,94	6,68	4,57	162	165
Muggendorf	Wiesent	660,7	7,21	4,59	2,9	5,02	5,58	7,72	5,04	3,29	3,67	4,73	2,99	170	192
Laufermühle	Aisch	955,2	5,13	1,47	0,3	3,01	4,53	4,88	1,73	1	0,91	0,851	0,378	130	78
Salz	Fränk. Saale	1.041,6	8,55	2,05	1	5,21	5,71	7,64	3,95	1,16	1,05	1,77	1,02	162	114

2.1.1.3 Abflussentwicklung im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019

Exemplarisch für Bayern wird die Abflussentwicklung für den Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 an den Pegeln Kemmern/Main (Einzugsgebiet 4.224 km²) sowie Kelheim/Donau (Einzugsgebiet 23.031 km²) monatsweise beschrieben. Hierfür sind für den Betrachtungszeitraum die Tageswerte sowie die Monatswerte an den Pegeln Kemmern/Main (Abb. 20 und Abb. 21) und Kelheim/Donau (Abb. 22 und Abb. 23) sowie die prozentualen Abweichungen zu den langjährigen Monatsmitteln (Abb. 24) dargestellt.

Im Jahr **2018** betrug der Abfluss am Pegel Kemmern/Main circa 71 %, am Pegel Kelheim /Donau 87 % des langjährigen Mittels. Am Pegel Kemmern lagen nur im Januar die Abflüsse über dem langjährigen Monatsmittel. Im Februar wurde das Monatsmittel bereits leicht unterschritten. Ab März bis Ende 2018 lagen die Abflüsse mit über 35 % deutlich unter dem jeweiligen Monatsmittel, von Juni bis November sogar mit über 50 %. Spitzenreiter war der November mit nur 17 % des sonst typischen Monatsabflusses. Der MNQ wurde von Ende Juli bis Ende November nahezu durchgehend unterschritten. Am Pegel Kelheim war das Bild ausgeglichener. Im Januar und Februar waren die Abflüsse deutlich, im Dezember geringfügig höher als das jeweilige Monatsmittel. Von März bis November lagen die Abflüsse darunter, von Juni bis November über 25 %, im Juni und August sogar über 50 %. Der MNQ wurde von Ende Juli bis Ende August durchgängig unterschritten. Im Oktober und November sank der Wasserstand nochmal kurzzeitig für einige Tage unter MNQ ab.

Das Jahr 2018 begann mit ungewöhnlich hohen Abflüssen. Bereits seit November 2017 kam es vor allem in Nordbayern immer wieder zu erhöhten Abflüssen und Hochwasser. Im **Januar** setzte sich dies fort. An vielen Pegeln wurden die höchsten Abflüsse im Jahr registriert. Insgesamt wurden ungewöhnlich hohe Abflüsse mit 187 % am Pegel Kemmern/Main und 231 % am Pegel Kelheim/Donau des langjährigen Monatsmittels verzeichnet. Der vor allem in Nordbayern zu trockene **Februar** ließ in der Folge die Abflüsse deutlich absinken. Dennoch lagen die mittleren Abflüsse für Februar am Pegel Kemmern/Main noch im Bereich des langjährigen Mittels, am Pegel Kelheim/Donau noch 24 % darüber. Niederschläge und Schneeschmelze ließen die Abflüsse im **März** zeitweise etwas ansteigen. Der Bereich des Bayerischen Waldes mit den Einzugsgebieten Ilz und Regen wurde durch ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit von 20 bis 50 getroffen. Der insgesamt zu trockene März führte zu niedrigen Abflüssen mit 64 % des langjährigen Monatsmittels am Pegel Kemmern/Main und 85 % am Pegel Kelheim/Donau.

Im **April** und im **Mai** verursachten die hohen Lufttemperaturen und ausbleibenden Niederschläge am Pegel Kemmern/Main deutlich sinkende Abflüsse bis Ende Mai bis in den Bereich des MNQ. Die monatlichen Abflüsse lagen am Pegel Kemmern/Main 40 bzw. 45 % unter den langjährigen Mittelwerten für April bzw. Mai. Am Pegel Kelheim/Donau stiegen die Abflüsse dem nivo-pluvialen Abflussregime folgend durch die Schneeschmelze in den Alpen wieder leicht an. Die Defizite gegenüber dem langjährigen Vergleich lagen bei 10 % im April und 13 % im Mai. Ausnahmen bildeten im April und Mai örtlich gewittrige Starkniederschläge, die lokal für kurzzeitige Anstiege im Abfluss führten und z.T. auch zu Hochwasser und Sturzfluten wie z. B. am 13.04. in Unterfranken. Der Abwärtstrend bei den Abflüssen setzte sich im **Juni** am Pegel Kemmern/Main fort. Ende des Monats lagen die Abflüsse im Bereich des MNQ. Die flächenhaften, gewittrigen Starkniederschläge vom 11.06. bis 13.06. ließen verbreitet die Abflüsse kurzzeitig ansteigen. Südlich der Donau und an der Donau kam es zu einer zwischenzeitlich deutlichen Erholung der Abflüsse, so auch am Pegel Kelheim/Donau. Anschließend nahmen aber auch hier die Abflüsse deutlich ab und lagen Ende Juni auch im Bereich des MNQ. Am Pegel Kemmern floss nur noch die Hälfte des für Juni üblichen Abflusses ab, am Pegel Kelheim noch 70 %.

Im **Juli** und im **August** verschärfte sich die Niedrigwassersituation drastisch. Die Abflüsse sanken weiter langsam ab und blieben auf dem sehr niedrigen Niveau unterhalb des MNQ. Im Juli wurde dies

nur kurzzeitig durch Schauer- und Gewitterphasen unterbrochen, wie z. B. bei den verbreiteten Starkregenfällen vom 20. bis 23.07. Ab dem 24.07. mit dem Erreichen des Höhepunktes der Hitzewelle nahmen die Abflüsse deutlich ab. An beiden Pegeln floss im Juli weniger als die Hälfte des sonst üblichen Abflusses ab. Der Trend setzte sich im August bis zum 20. und 22.08. fort. An vielen Pegel wurden in diesem Zeitraum auch die niedrigsten Abflüsse im Jahresverlauf beobachtet, so auch am Pegel Kelheim/Donau. Ende August führten Starkniederschläge vor allem im Alpenraum sowie in Schwaben und Oberbayern zu einer leichten Erholung der Abflüsse. Am Pegel Kemmern/Main flossen im August nur 30 %, am Pegel Kelheim/Donau weniger als 50 % im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel ab. Im **September** blieben die Abflüsse auf sehr niedrigem Niveau im Bereich des MNQ und unterhalb. Kleinere Niederschlagsereignisse sorgten für kurzzeitig leichte Anstiege. Die Starkniederschläge mit dem Kaltfrontdurchgang des Organtiefs Fabienne führten zu einem deutlichen zwischenzeitlichen Ansteigen der Abflüsse. Anschließend nahmen die Abflüsse wieder ab. Am Pegel Kemmern/Main beträgt der Abfluss nur 32 % des langjährigen Mittels, am Pegel Kelheim/Donau 60 %.

Anfang **Oktober** kam es nur im Alpenvorland und an den Alpen zu kräftigeren Regenfällen, die zu einem kurzzeitigen Ansteigen der Abflüsse führten. Im anschließenden „goldenen“ Oktober sanken die Abflüsse wieder ab und Ende Oktober sorgten die Niederschläge vom 24. sowie 27. nur kurzzeitig für eine leichte Erholung. Im Oktober betrug der Abfluss am Pegel Kemmern/Main nur noch 24 % des langjährigen Monatsmittels, am Pegel Kelheim/Donau 60 %. Der nahezu bayernweit deutlich zu trockene **November** führte dazu, dass die Abflüsse weiterhin auf sehr niedrigem Niveau unterhalb des MNQ verharrten und z. T. weiter absanken. Der Abfluss am Pegel Kemmern betrug nur 17 % des sonst üblichen Abflusses, am Pegel Kelheim 49 %. In weiten Teilen Bayerns werden die geringsten Novemberabflüsse seit Beobachtungsbeginn registriert. Durch den Wechsel der Wetterlage Anfang **Dezember** mit dem Durchzug von Tiefdruckgebieten wurde die Niedrigwasserphase beendet. Die Abflüsse stiegen an beiden Pegeln in den Bereich des MQ an. In der dritten Dezemberdekade um Weihnachten kam es vor allem im Süden und im Bayerischen Wald zu Hochwasser. Am Pegel Kemmern/Main wurden 52 % des sonst üblichen Abflusses im Dezember registriert. Am Pegel Kelheim/Donau lag der monatliche Abfluss ganz knapp über dem langjährigen Monatsmittel.

Im Jahr **2019** kam es zu unterschiedlichen Abflussentwicklungen und einer Zweiteilung des Abflussgeschehens, was auch an den Pegeln Kemmern/Main sowie Kelheim/Donau aufgezeigt werden kann. Für das Jahr 2019 betrug der Abfluss am Pegel Kemmern/Main nur 71 % des langjährigen Mittels, am Pegel Kelheim/Donau mit einem Anteil Alpen- und Alpenvorlandbereich im Einzugsgebiet immerhin 94 %. Am Pegel Kemmern/Main lagen die Abflüsse nur im März über dem langjährigen Monatsmittel, allerdings nur knapp. Im April sowie von Juni bis September betrug die Werte sogar weniger als 50 % der langjährigen Monatsabflüsse. Am Pegel Kelheim/Donau war das Bild ausgeglichener. Hier lagen die Abflüsse im Januar, März, Mai und Oktober über den sonst für die Monate üblichen Werten, im April und Juli mit etwa 30 bzw. 37 % deutlich darunter. Am Pegel Kemmern/Main wurde der MNQ über nahezu drei Monate von Ende Juni bis Ende September deutlich unterschritten. Am Pegel Kelheim/Donau sank der Abfluss nur Ende Juli und Ende September kurzzeitig in den Bereich von MNQ ab.

Die Schneefälle Anfang **Januar** und in der Folge Tauwetter und Regen führten bayernweit in der ersten Monatshälfte zu erhöhten Abflüssen und Hochwasser. Am Pegel Kemmern/Main lag der Wert bei 91 % des langjährigen Monatsmittels. An den durch Hochwasser besonders betroffenen Flussgebieten wie dem Oberlauf der Tauber, der südlichen Regnitz, der Wörnitz, der Altmühl sowie den kleineren südlichen Donauzuflüssen (wie Zusam, Paar, Vils) wurden die höchsten Abflüsse im Jahr registriert. Die monatlichen Abflüsse lagen hier z. T. deutlich über denen des langjährigen Mittels. So lag in der Folge am Pegel Kelheim/Donau der Monatsabfluss 20 % über dem sonst für Januar üblichen Wert. Regen- und Schneefälle ließen vom 10. bis 14. **Februar** die Abflüsse zwischenzeitlich ansteigen. Die

nahezu bayernweit anschließende 17-tägige Trockenperiode führte wieder zu einem Absinken der Wasserstände. Die monatliche Abflussbilanz im Februar am Pegel Kemmern/Main lag 30 % unter dem langjährigen Februarmittel, am Pegel Kelheim/Donau 8 %. Die in der ersten **Märzhälfte** durchziehenden Tiefdruckgebiete sorgten bayernweit für Niederschläge und ansteigende Abflüsse. Die stärksten Niederschläge fielen am 15.03. In weiten Teilen nördlich der Donau sowie an der unteren Donau kam es zu Hochwasser. Davon besonders betroffen waren die Einzugsgebiete des Regens sowie der Ilz im Bayerischen Wald. Hier wurden die höchsten Abflüsse im Jahr verzeichnet, so auch am Pegel Kemmern/Main. Die anschließende bayernweite 14-tägige Trockenperiode (mit Ausnahme des alpinen Raums) führten wieder bis zum Monatsende zu einem Absinken der Wasserstände. Der März war 2019 am Pegel Kemmern/Main der einzige Monat, in dem der mittlere Abfluss mit rund 4,5 % über dem langjährigen Monatsmittel lag. Am Pegel Kelheim/Donau wurde der langjährige Monatsmittelwert mit 14 % überschritten.

Der trockene **April** sorgte vor allem in den durch eine 25-tägige Trockenperiode besonders betroffenen Bereichen in Mittel- und Oberfranken sowie der Oberpfalz für kontinuierlich abnehmende Abflüsse. Diese Abnahme zeigt sich besonders deutlich am Pegel Kemmern/Main. Am Pegel Kelheim/Donau sorgte die Schneeschmelze in den Alpen für ein weniger starkes Absinken der Abflüsse. Am 29. und 30.04. führten Starkregen in den Staulagen der Ostalpen zu stark ansteigenden Abflüssen. Der monatliche Abfluss für April fiel am Pegel Kemmern/Main mit nur 34 % des langjährigen Mittels und am Pegel Kelheim mit nur 70 % sehr gering aus. Vom 01. bis 18. **Mai** führten Niederschläge immer wieder zu leichten Abflussanstiegen. Die im Zeitraum 19. bis 21.05. ergiebigen, in Schwaben und Oberbayern auch extremen, Dauerregenfälle führten verbreitet zu hohen Abflüssen und vor allem im westlichen sowie im südlichen Bayern zu Hochwasser. Davon besonders betroffen waren die Bodenseezuflüsse, Iller, Lech, Isar und die Donau selbst. Am Pegel Kelheim/Donau wurde der mittlere Hochwasserabfluss überschritten, und der höchste Abfluss im Jahr 2019 registriert. Die im Zeitraum 27. bis 29.05. kleinräumigen Starkregenfälle südlich der Donau sowie im Bayerischen Wald sorgten in den betroffenen Gebieten wieder für kurzfristige deutliche Anstiege, so auch am Pegel Kelheim/Donau zu sehen, wo der Monatsabfluss um 10 % über dem langjährigen Abfluss im Mai lag. Auch am Pegel Kemmern/Main hatten sich die Abflüsse etwas erholt. Der Abfluss lag aber 6 % unter dem Monatsmittel. Im **Juni** sorgten (gewittrige) Starkniederschläge nur lokal kurzfristig für Anstiege. In einem Streifen von den Alpen bis zum südlichen Donauvorland führten Dauerniederschläge im Zeitraum 20. bis 22.06 zu einer kurzfristigen Erholung der Abflüsse. Die hohen Temperaturen sorgten im Juni in den Hochlagen der Alpen, insbesondere in den Tiroler Hochlagen, für eine intensive Schneeschmelze. In der Folge kam es am Inn sogar zu Hochwasser. Am Pegel Kelheim/Donau hingegen sanken die Abflüsse ab. Der Trend wurde ab und zu durch kurzfristige Anstiege unterbrochen. Der Monatsabfluss lag im Bereich des langjährigen Mittels. Im nordöstlichen Bayern, von Oberfranken bis zum nördlichen Niederbayern, waren im Juni hingegen kaum Niederschläge zu verzeichnen, so dass hier die Abflüsse drastisch zurückgingen. Am Pegel Kemmern/Main sanken diese gegen Monatsende unter MNQ ab. Der Monatsabfluss betrug nur die Hälfte des langjährigen Monatsmittels. Der Anteil der Pegel unterhalb von MNQ stieg auf 40 % an.

In der ersten Hälfte des **Julis** wechselten sich Hochdruckwetter mit Tiefdruckeinfluss ab. Der Kaltfrontdurchgang am 12. und 13.07. mit gewittrigen Starkniederschlägen vor allem im Bereich der Alpen, des Bayerischen Waldes sowie des östlichen Mittelfrankens führten kurzfristig zu einem Abflussanstieg. Im Zeitraum 14. bis 26.07. sorgte eine Trockenperiode, einhergehend mit hohen Lufttemperaturen (besonders ausgeprägt im nördlichen Franken und der Oberpfalz), für stark absinkende Abflüsse und vielfach für die niedrigsten Abflüsse im Jahresverlauf. Vom 27. bis 31.07. traten gewittrige lokale Starkniederschläge vor allem im Westen Bayerns auf. An den Alpen kam es zu länger anhaltenden Niederschlägen. Am Pegel Kelheim/Donau stiegen hierdurch die Abflüsse am Monatsende an, am Pegel Kemmern/Main blieben sie auf dem niedrigen Niveau. Die ausgeprägte Trockenperiode spiegelt

sich im geringen Abfluss mit nur 62 % des sonst üblichen Abflusses für diesen Monat am Pegel Kelheim/Donau wider. Am Pegel Kemmern/Main hatte sich die Niedrigwassersituation aus dem Vormonat weiter verschärft. Hier wurden nur 28 % des langjährigen Monatsmittels registriert. Vom 01. bis 20. **August** führte der Durchzug von Kaltfronten vor allem im Südosten Bayerns immer wieder zu (Stark-) Niederschlägen, während Unterfranken die geringsten Niederschläge aufwies. Am Pegel Kelheim/Donau sind die drei Frontendurchgänge gut zu sehen, während am Pegel Kemmern/Main nur das Ereignis vom 06./07.08. zu einem kurzfristigen Anstieg oberhalb vom MNQ führte. Die ab dem 21.08. einsetzende Trockenperiode zusammen mit hohen Lufttemperaturen ließen die Abflüsse besonders in Franken wieder bzw. weiter absinken. Der monatliche Abfluss am Pegel Kemmern/Main lag 64 % unter dem langjährigen Augustmittel. Am Pegel Kelheim/Donau hingegen erholten sich die Abflüsse. Der Monatsabfluss lag hier nur einige Prozent darunter. Dieser Trend setzte sich in den drei ersten niederschlagsarmen **September**wochen fort. Unterbrochen wurde dies nur durch ein Starkregenereignis an den Alpen am 01.09. sowie durch Dauerregen am 08. und 09.09. mit Schwerpunkten in Oberfranken, der Oberpfalz sowie am Bodensee. Am Pegel Kelheim/Donau sowie am Pegel Kemmern/Main kann man dies erkennen. Die bayernweite Trockenperiode vom 10. bis 21.09. verschärfte vor allem die Niedrigwassersituation in Franken weiter. Die niedrigsten Abflüsse im Jahr 2019 wurden an vielen Pegeln in diesem Zeitraum registriert. Vom 24. bis 30.09. brachten Tiefausläufer Regen und ließen die Abflüsse ansteigen. Am Pegel Kemmern/Main lag der Abfluss bis zu diesem Zeitpunkt drei Monate in Folge (nur mit kurzen Unterbrechungen) deutlich unter MNQ. Der monatliche Abfluss am Pegel Kemmern/Main betrug nur 32 % des langjährigen Septembermittels, am Pegel Kelheim/Donau 83 %.

In der ersten **Oktober**hälfte kam es bei wechselhaftem Wetter immer wieder zu Niederschlägen, vor allem im Bereich der Alpen, des Bayerischen Waldes sowie Spessart und Odenwald, die dort für höhere Abflüsse sorgten. Am Pegel Kelheim/Donau lag der Abfluss in der ersten Monatshälfte deutlich über MQ. Die daran anschließende Trockenphase (16.–26.10.) ließ die Abflüsse wieder absinken. Ende Oktober kam es vor allem im Bereich Oberallgäu und südliches Oberbayern zu kräftigen Niederschlägen, die auch am Pegel Kelheim/Donau zu einem Anstieg über MQ führten. Dort lag im Gegensatz zum Vormonat der Abfluss einige Prozent über dem langjährigen Oktobermittel, am Pegel Kemmern/Main dagegen 42 % darunter. Aufgrund der Niederschläge Anfang **November** stiegen die Abflüsse an. In der anschließenden Trockenperiode (16.–27.11.) sanken diese wieder ab (Ausnahme Teile Unter- und Oberfrankens sowie alpine Lagen), um Ende November aufgrund der (Stark-)Regenfälle beim Durchzug des Ex-Hurrikans Sebastian wieder kurzzeitig anzusteigen. Aufgrund der insgesamt geringen Niederschläge betrug der Monatsabfluss am Pegel Kemmern/Main nur 58 % des langjährigen Novemberabflusses, am Pegel Kelheim/Donau 90 %. In den ersten **Dezember**tagen sanken die Abflüsse bayernweit. Durch die Niederschläge im Zeitraum 06. bis 12.12., vor allem in Franken und an den Alpen, stiegen diese wieder an. In den Mittelgebirgen und in den Alpen bildete sich eine Schneedecke aus. Kräftige Niederschläge vom 13. bis 15.12. mit Schwerpunkt in Franken zusammen mit der Schneeschmelze führten vor allem im Bereich von Rhön, Frankenwald sowie Fichtelgebirge zu höheren Abflüssen. Am Pegel Kemmern/Main ist dies mit Abflüssen deutlich über MQ deutlich zu sehen. Am Pegel Kelheim/Donau war dieser Anstieg weniger deutlich ausgeprägt. Aufgrund der Trockenphase vom 16. bis 22.12. gingen die Abflüsse bayernweit wieder zurück, bevor sie dann aufgrund der Niederschläge, vor allem am 25.12., wieder kurzfristig anstiegen. Durch die ergiebigen Niederschläge im Bereich des Oberen Main hatten sich die Abflüsse am Pegel Kemmern/Main etwas erholt, dennoch lag der monatliche Abfluss 11 % unter dem langjährigen Dezemberwert. Auch am Pegel Kelheim/Donau lag dieser 10 % darunter.

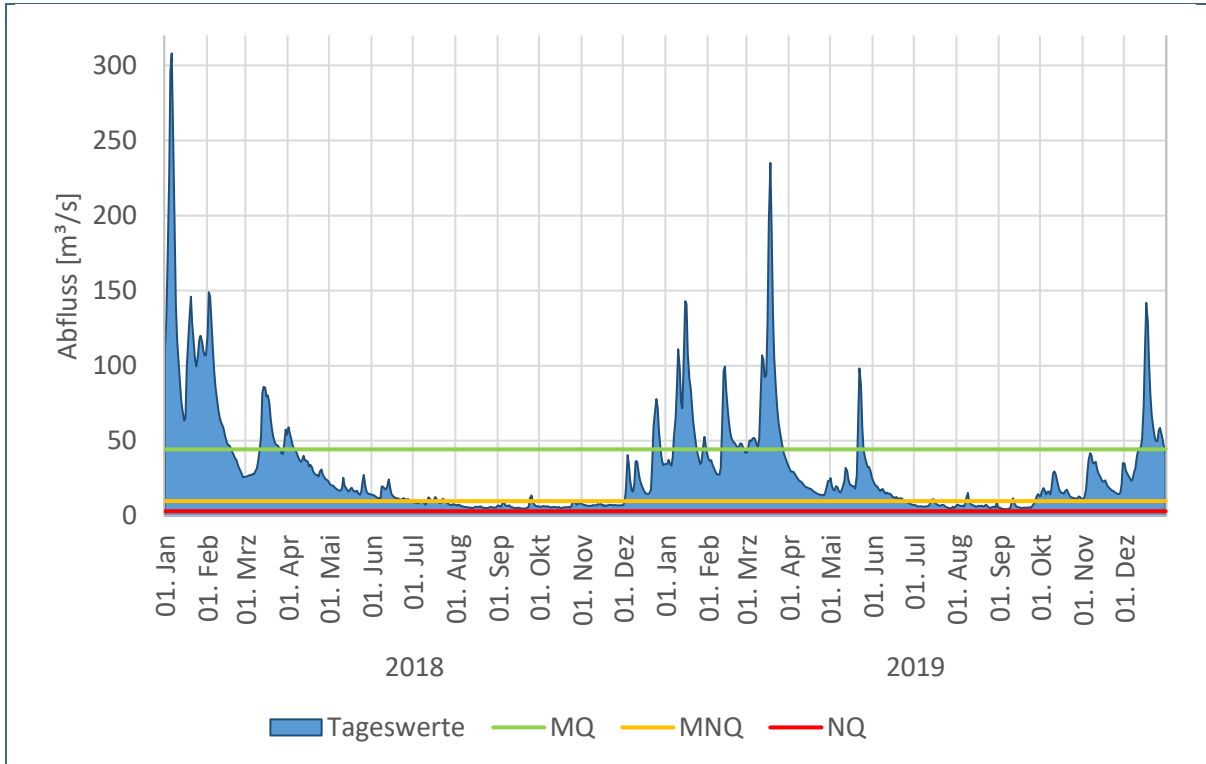


Abb. 20: Abflussentwicklung am Pegel Kammern/Main vom 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung Tagesmittelwerte in m³/s. Zusätzlich als Linien MQ (mittlerer Abfluss) 44,3 m³/s, MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) 9,83 m³/s, NQ (niedrigster Tagesabfluss) 3,1 m³/s (1931–2011) (Rohdaten)

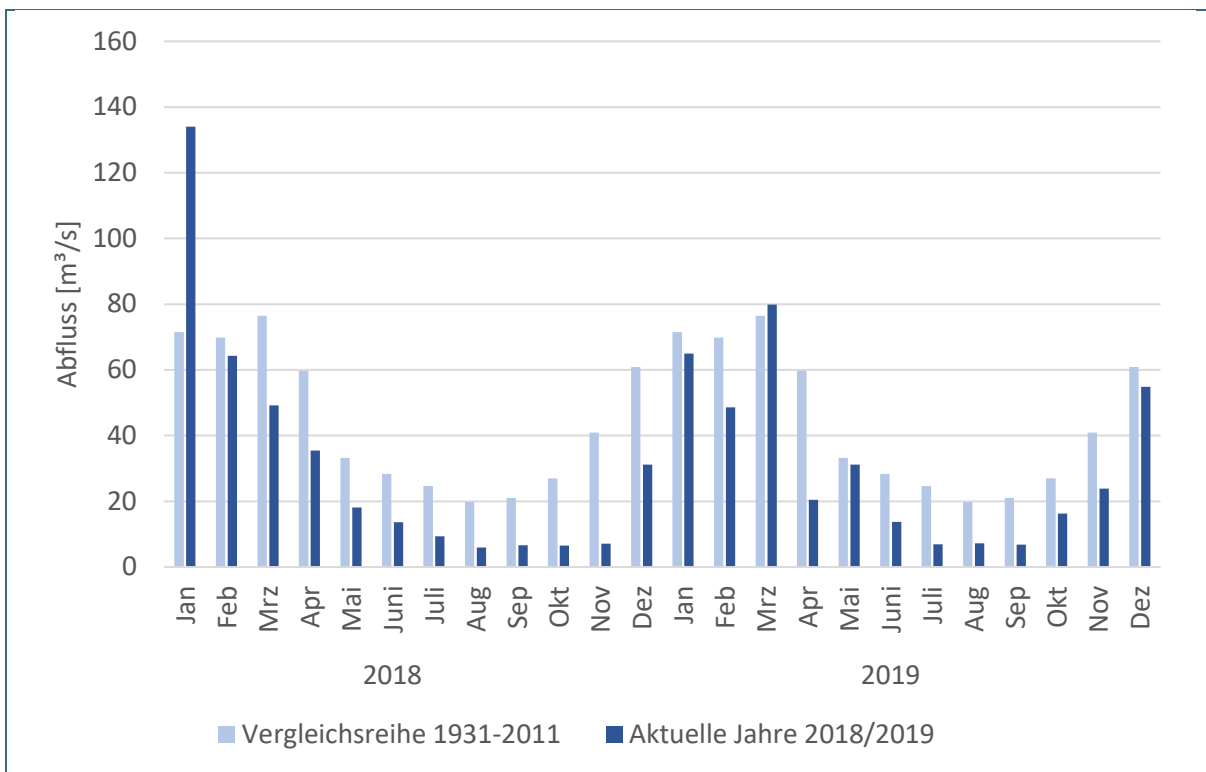


Abb. 21: Abfluss am Pegel Kammern/Main. Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1931–2011 (hellblau) in m³/s (Rohdaten)

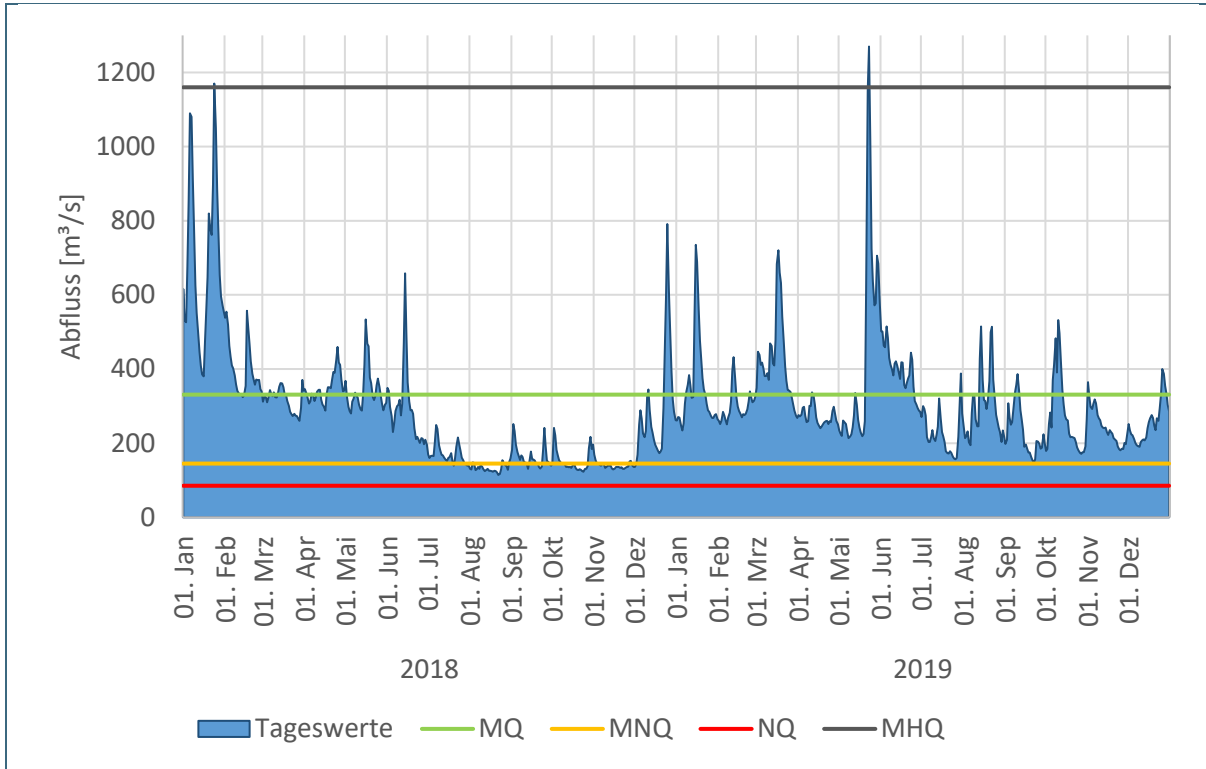


Abb. 22: Abflussentwicklung am Pegel Kelheim/Donau vom 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung Tagesmittelwerte in m³/s. Zusätzlich als Linien MQ (mittlerer Abfluss) 331 m³/s, MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) 145 m³/s, NQ (niedrigster Tagesabfluss) 85,2 m³/s, MHQ (mittlerer Hochwasserabfluss) 1.160 m³/s (Rohdaten)

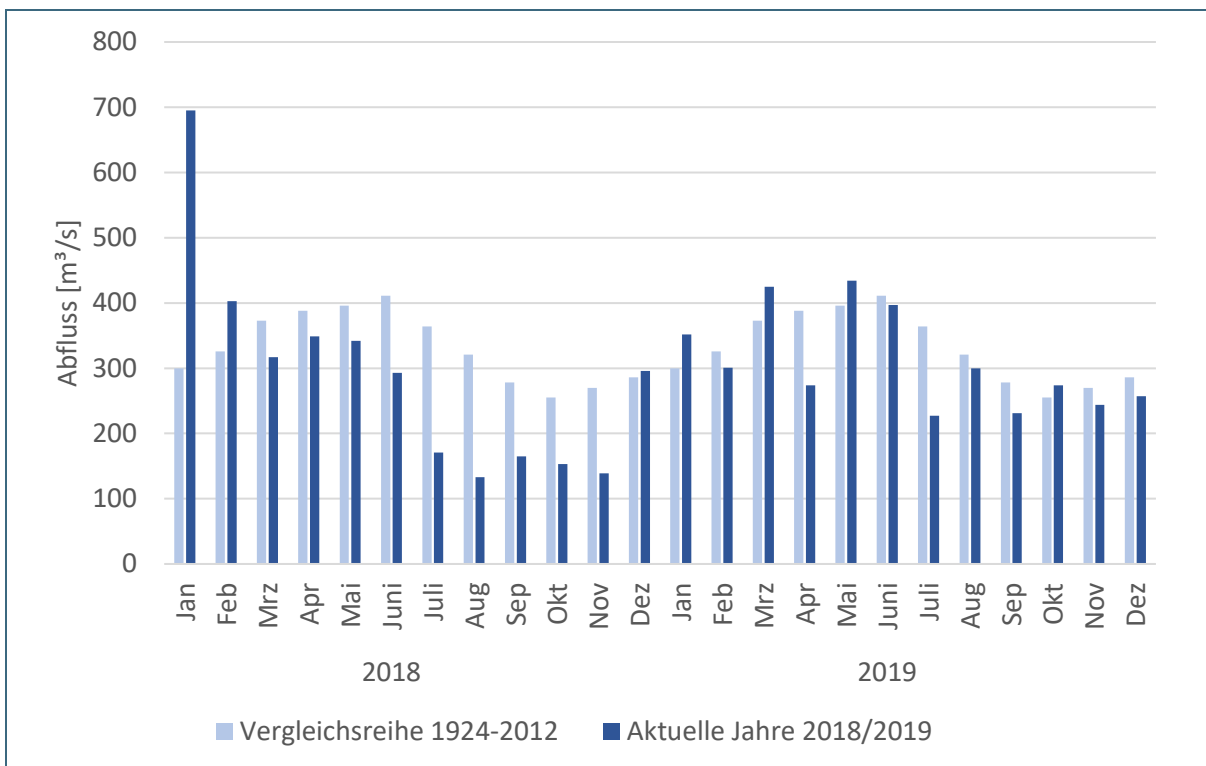


Abb. 23: Abfluss am Pegel Kelheim/Donau. Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1924–2012 (hellblau) in m³/s (Rohdaten)

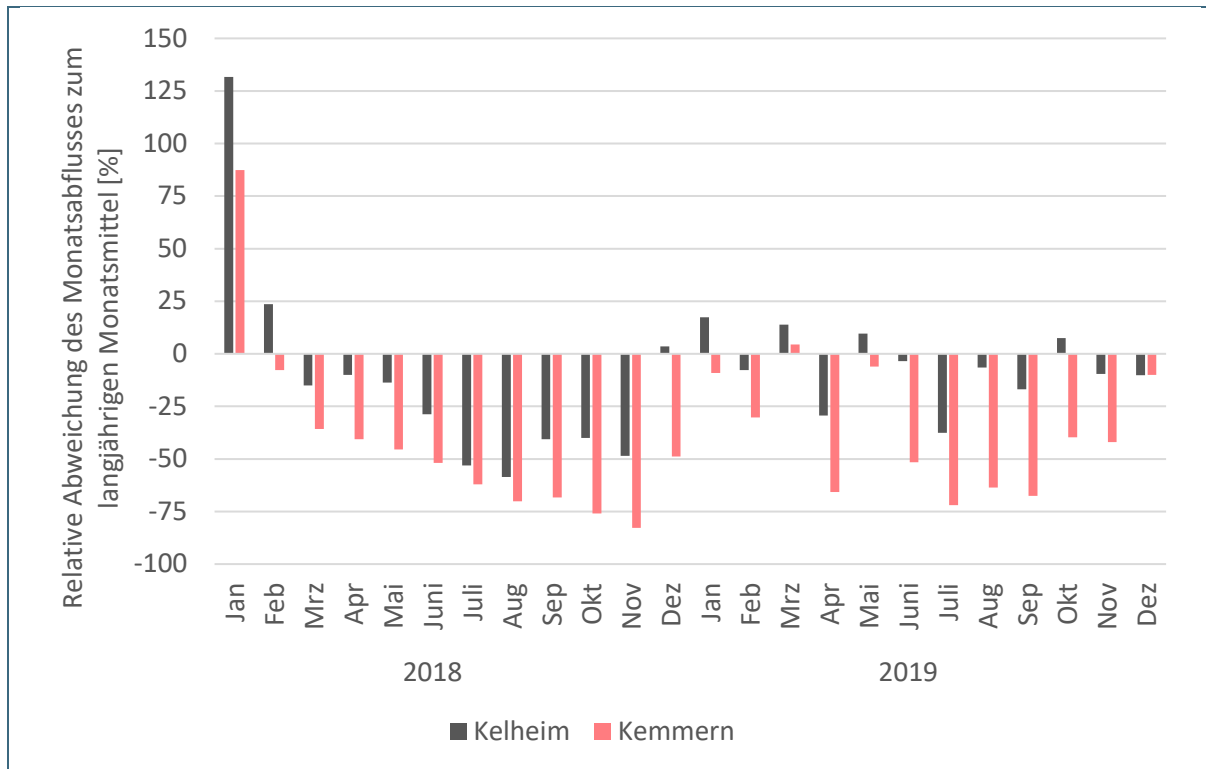


Abb. 24: Abweichungen der Monatsabflüsse in den Jahren 2018 und 2019 in [%] der langjährigen Monatsmittelwerte für den Pegel Kemmern/Main (Vergleich 1931–2011) (rot) und für den Pegel Kelheim/Donau (Vergleich 1924–2012) (schwarz) (Rohdaten)

Die kumulierte Abweichung der Abflusshöhe über den Gesamtzeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 (Abb. 25) beträgt am Pegel Kemmern/Main –189 mm, am Pegel Kelheim/Donau –86 mm. Dies entspricht 29 % bzw. 9,5 % der sonst für diesen zwei Jahreszeitraum typischen gesamten Abflusshöhe. Am Pegel Kemmern baute sich das Defizit kontinuierlich auf. Durch den abflussstarken Januar 2018 war die kumulierte Abweichung zunächst positiv, nahm dann aber kontinuierlich mit einer kleinen Abschwächung im März 2019 bis Dezember 2019 ab. Ab Mai 2018 war die kumulierte Abflusshöhenabweichung negativ und betrug Ende 2018 etwa die Hälfte des gesamten Defizits mit –93 mm. Am Pegel Kelheim war der Verlauf im Jahr 2018 ähnlich zum Pegel Kemmern. Durch den abflussstarken Januar sowie Februar war die Bilanz zunächst positiv und nahm dann bis zum November auf –58 mm ab. Im Gegensatz zum Pegel Kemmern baute sich dann zunächst das Defizit nicht weiter auf, wurde aber auch nicht abgebaut. Ab Juni 2019 wuchs das Defizit bis Ende 2019 um 30 mm auf –86 mm an.

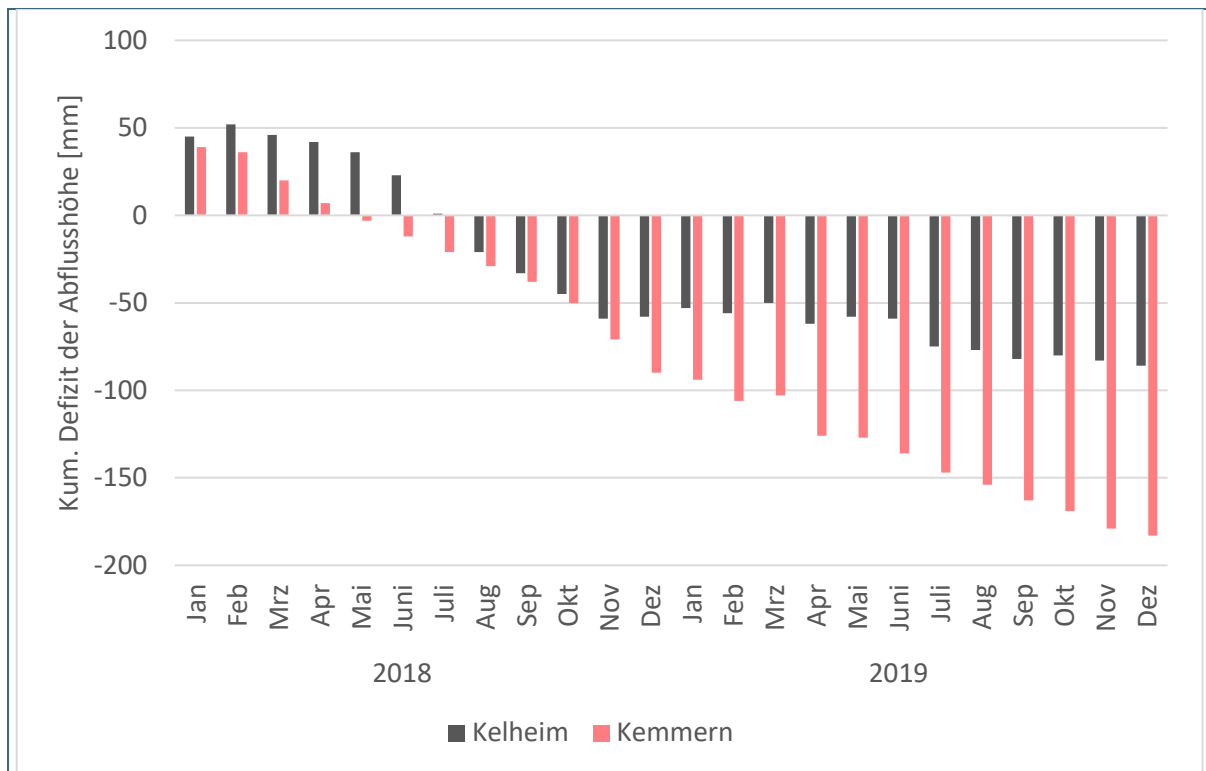


Abb. 25: Kumuliertes Abflusshöhendefizit in [mm] für die Einzugsgebiete der Pegel Kelheim/Donau (schwarz) und Kemmern/Main (rot) über den Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 (Rohdaten)

2.1.2 Seen

Die großen Seen Bayerns liegen südlich der Donau. So zeigt sich bei der Entwicklung der Seewasserstände eine Parallele zur Abflussentwicklung an den südlichen Donauzuflüssen. Daher war hier das Jahr 2019 weniger durch Niedrigwasser geprägt. Exemplarisch für die bayerischen Seen werden der Starnberger See sowie der Chiemsee betrachtet. Der Starnberger See erhält nur geringen Oberflächenzufluss und wird stark durch Grundwasser geprägt, wohingegen der Chiemsee wesentliche Zuflüsse aus dem stark alpinen Bereich erhält. So zeigen sie ein unterschiedliches Verhalten.

Der **Starnberger See** (Abb. 26 und Abb. 27) startete gut gefüllt in das Jahr 2018. Infolge des Hochwassers Ende Januar wurde Anfang Februar sogar der mittlere höchste Wasserstand (MHW) überschritten. Der mittlere Wasserstand am Starnberger See für die Monate Januar, Februar und März war 25, 32 und 20 cm über dem jeweiligen langjährigen Monatsmittel ungewöhnlich hoch. Ab Mitte Februar allerdings sanken die Wasserstände kontinuierlich bis Mitte Mai in den Bereich des mittleren Wasserstandes (MW) ab und verharrten im Juni auf diesem Niveau. Dann nahmen sie bis Ende August in den Bereich des mittleren Niedrigwasserstandes (MNW) ab. September bis Mitte Oktober blieb der Wasserstand auf diesem niedrigen Niveau. Dann sank er bis zu seinem Tiefstand am 26.11. auf 40 cm ab. Dies ist mit 10 cm über dem niedrigsten Tageswert (NW) einer der niedrigsten Wasserstände seit Beobachtungsbeginn 1908. Bis Ende 2018 erfolgte eine langsame Erholung in den Bereich des MNW. Damit war der MNW fast drei Monate unterschritten. Von Juli bis Dezember 2018 lagen die monatlichen Wasserstände deutlich mit 18 bis 27 cm unter den langjährigen Monatsmittelwerten. Im Januar 2019 ließen die Hochwasserperioden die Wasserstände deutlich in den Bereich des MW ansteigen. 2019 war der Starnberger See nicht von Niedrigwasser betroffen. Die monatlichen Mittelwerte lagen im Bereich der langjährigen Monatsmittel und darüber. Im Mai wurde infolge des Hochwassers der MHW wieder überschritten. Der zu trockene April 2019 machte sich in einem vorübergehenden Absinken der Wasserstände bemerkbar.

Der **Chiemsee** (Abb. 28 und Abb. 29) startete 2018 ebenfalls mit höheren Wasserständen oberhalb des MW. Diese nahmen von Februar bis Mitte bis März ab. Im Gegensatz zum Starnberger See kam es zu einem deutlichen Anstieg im zu warmen April infolge der starken Schneeschmelze im alpinen Bereich. Dies führte zu Wasserständen im Bereich des langjährigen Monatsmittels. Mai bis Mitte Juni nahmen sie ab, und die monatlichen Mittelwerte lagen mit 26 bzw. 32 cm deutlich unter den sonst üblichen Werten für diese Monate. Ende Juni und Anfang Juli führten Niederschläge im Einzugsgebiet des Chiemsees zu einer deutlichen kurzzeitigen Erholung der Wasserstände. Anschließend gingen sie aufgrund der fehlenden Niederschläge und der hohen Temperaturen bis zur 3. Augustdekade deutlich zurück. Der mittlere Wasserstand im August lag mit 37 cm deutlich unter dem langjährigen Monatsmittel. Aufgrund wiederkehrender Niederschläge im September erholten sich die Wasserstände. Im Oktober und November sanken diese, dem typischen Jahrestrend folgend, wieder ab und erreichten im November die niedrigsten Werte im Jahresverlauf knapp im Bereich des MNW. Der mittlere Wasserstand im November war 15 cm niedriger als der langjährige Monatsmittelwert. Im Dezember stiegen die Wasserstände wieder auf MW an. 2019 lagen die monatlichen Wasserstände mit Ausnahme Juli bis September im Bereich oder deutlich über den langjährigen Monatsmittelwerten. Wie 2018 kam es im April wieder zu einer starken Schneeschmelze, was ein Absinken der Wasserstände verhinderte. Durch die ergiebigen Dauerregenfälle vom 20. bis 22.05. im Süden Bayerns stiegen die Wasserstände abrupt innerhalb von drei Tagen um etwa 60 cm an bis in den Bereich des MHW. Nochmalige Starkregenfälle am 29.05. im Chiemgau führten zu einer zweiten Hochspitze auf gleichem Niveau der ersten. Im Juni nahmen die Wasserstände stetig um rund 90 cm ab. Aufgrund der hohen Vorfüllung lag der mittlere Wasserstand im Juni noch 20 cm über dem langjährigen Monatsmittel. Im Juli sanken die Wasserstände bis zum 27.07. stetig weiter ab. Am 27.07. wurde der geringste Wasserstand im Jahresverlauf aufgezeichnet, der 17 cm über dem MNW lag. Die hohen Niederschläge am 27. und 28.07. im Alpenbereich ließen die Wasserstände Ende Juli innerhalb von zwei Tagen sprunghaft um etwa 30 cm ansteigen. Trotz des Anstieges am Ende des Monats wurden für den Monat Juli mit 31 cm unter dem langjährigen Monatsmittel ungewöhnlich niedrige Wasserstände registriert. Über den August hinaus bis Ende September nahmen die Wasserstände langsam ab. Unterbrochen wurde dies nur Ende der ersten Septemberdekade durch den kurzzeitigen Anstieg in Folge des Dauerregens am 08. und am 09.09. In beiden Monaten lagen die mittleren Wasserstände 21 cm unter dem jeweiligen langjährigen Monatsmittel. Niederschläge im Alpenbereich in der ersten Oktoberhälfte führten zu einer Erholung der Wasserstände. Bis zum Jahresende sorgten immer wieder Niederschläge für ein zwischenzeitliches Ansteigen der Wasserstände.

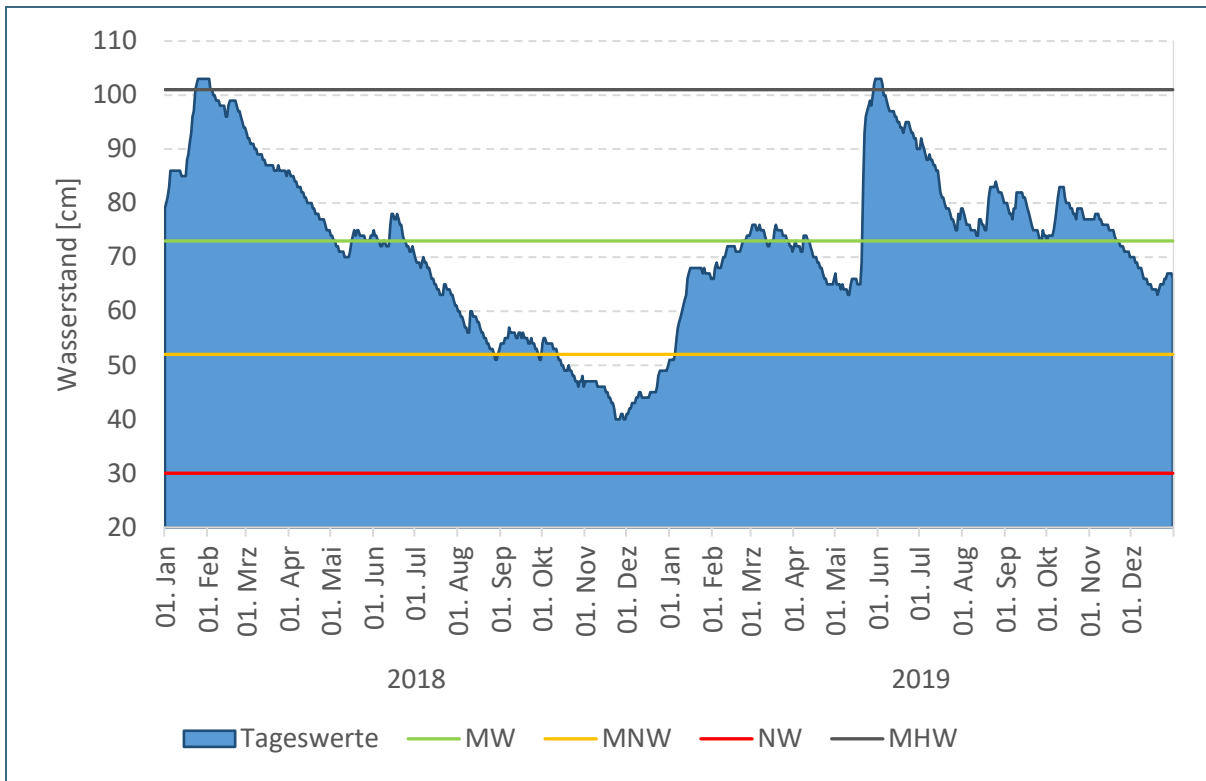


Abb. 26: Wasserstandsentwicklung am Pegel Starnberg/Starnberger See im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung der Tagesmittelwerte in cm. Zusätzlich als Linien: MW (mittlerer Wasserstand) 73 cm, MNW (mittlerer Niedrigwasserstand) 52 cm, NW (niedrigster Tageswasserstand) 30 cm und MHW 101 cm (mittlerer höchster Wasserstand) (1908–2016) (Rohdaten)

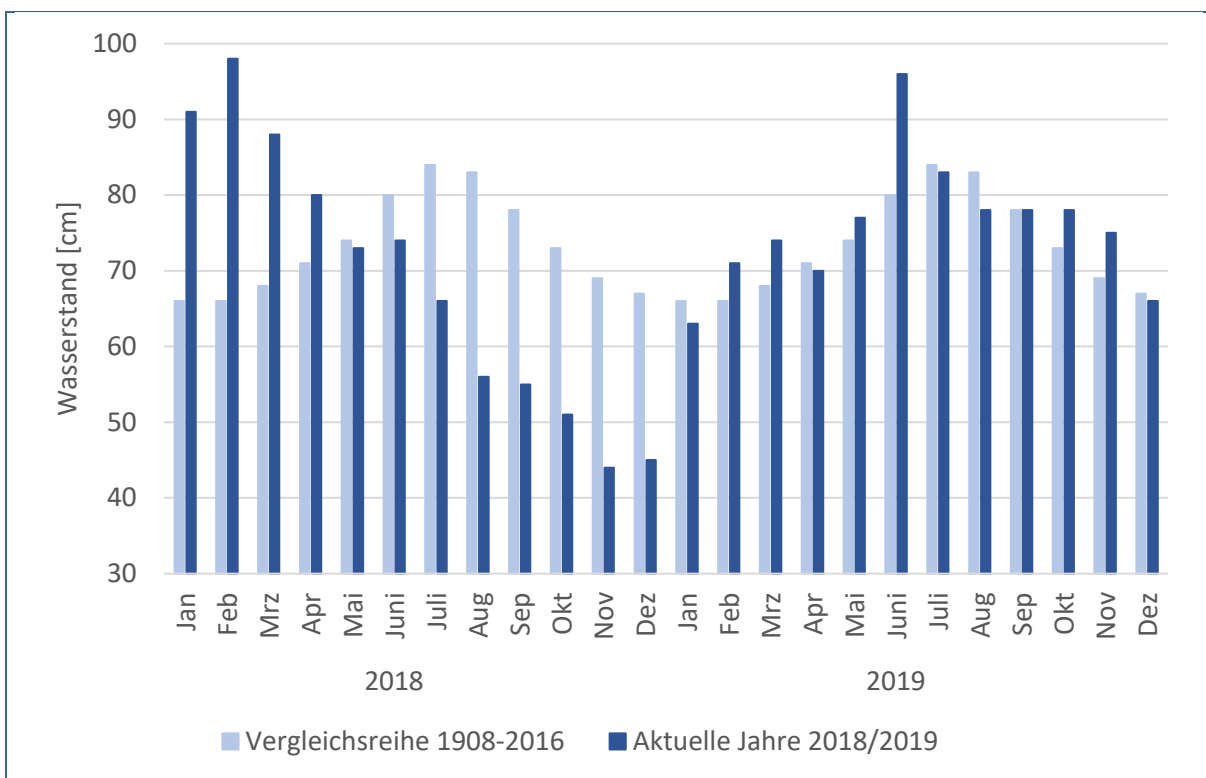


Abb. 27: Wasserstand am Pegel Starnberg/Starnberger See – Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte für 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1908–2016 (hellblau) (Rohdaten)

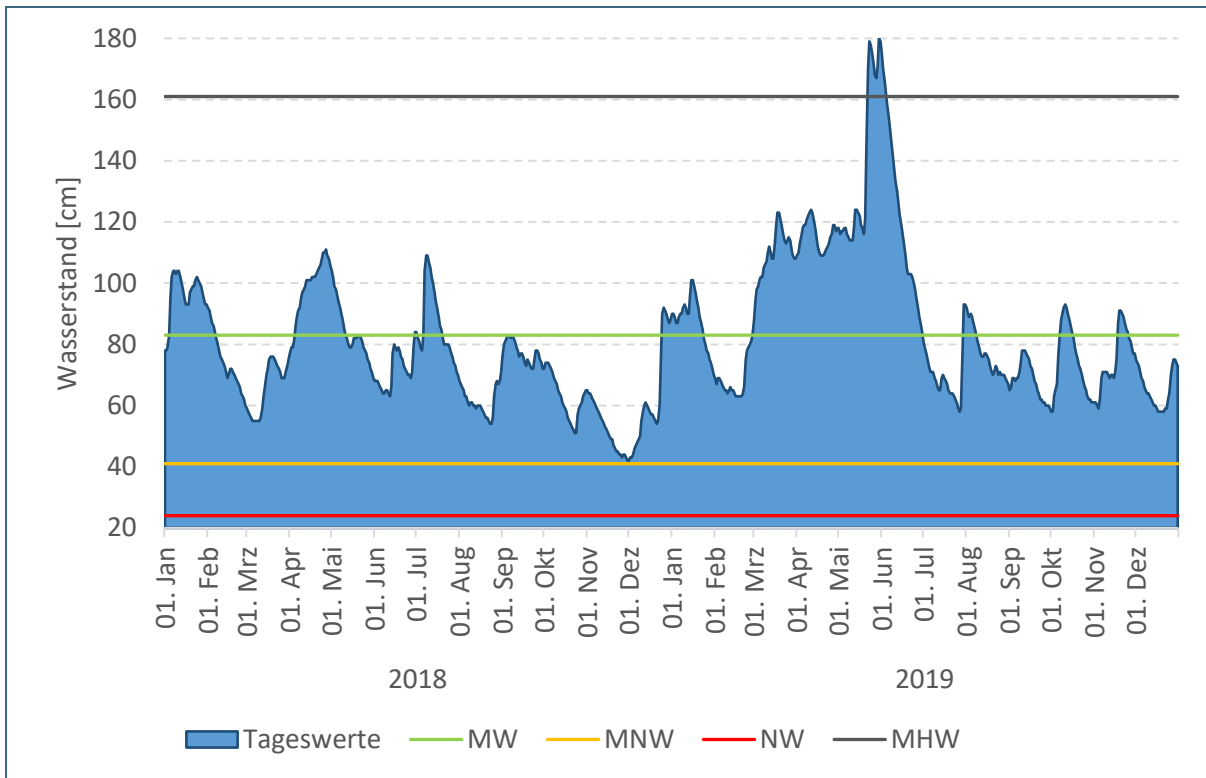


Abb. 28: Wasserstandsentwicklung am Pegel Stock/Chiemsee im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung der Tagesmittelwerte in cm. Zusätzlich als Linien: MW (mittlerer Wasserstand) 83 cm, MNW (mittlerer Niedrigwasserstand) 41 cm, NW (niedrigster Tageswasserstand) 24 cm und MHW 161 cm (mittlerer höchster Wasserstand) (1907–2016) (Rohdaten)

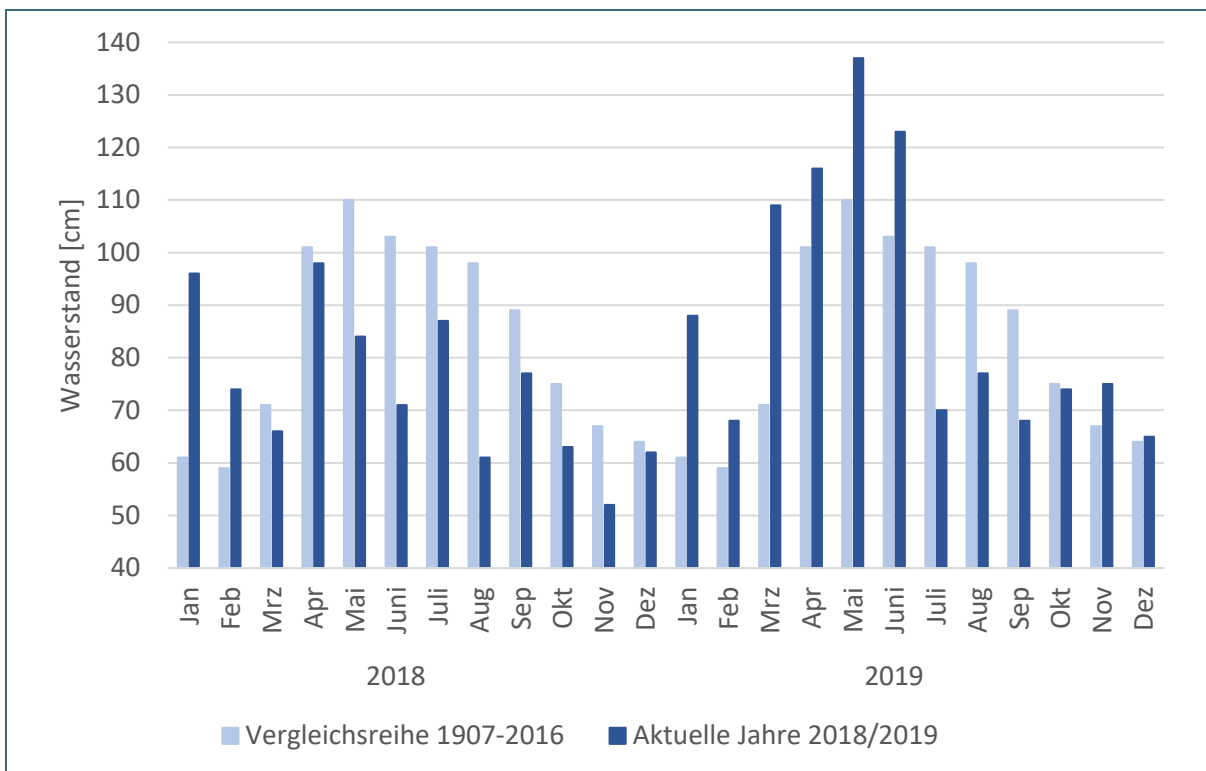


Abb. 29: Wasserstand am Pegel Stock/Chiemsee – Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte für 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1907–2016 (hellblau) (Rohdaten)

2.1.3 Klimatische Einordnung

Die langfristige Entwicklung der Abflüsse folgt zwar prinzipiell der Entwicklung der Klimagrößen Niederschlag und Temperatur (Verdunstung). Doch direkte Rückschlüsse auf das Klima sind zum Teil schwierig, da es zahlreiche Wechselwirkungen mit natürlichen und menschlichen Einflussfaktoren gibt. So überprägt die menschliche Nutzung das natürliche Abflussverhalten beispielsweise durch Entnahmen oder Ableitungen, durch Abflusserhöhung infolge von Speicherbewirtschaftung oder durch Einleitungen aus Kläranlagen. In Niedrigwasserphasen kann dies unter anderem zu einer Vergleichmäßigung der Abflüsse führen.

Der Trend des mittleren Abflusses im Jahr (MQ), wie auch des Sommerhalbjahres zeigte im Zeitraum 1932–2015 eher wenige signifikante Änderungen (Tab. 5, Abb. 30). Auffällig sind Abnahmen im Voralpenraum, was möglicherweise mit Rückgängen in Schneeschmelzzuflüssen zusammenhängt. Die Zunahmen in Mittel- und Unterfranken lassen den Effekt der Donau-Main-Überleitung vermuten. Dagegen tendierten viele Pegel im Winterhalbjahr mehrheitlich zu zunehmenden Abflüssen. Es ist anzunehmen, dass sich vor allem 2018 die Abnahmetrends verstärken und die Zunahmetrends abschwächen werden.

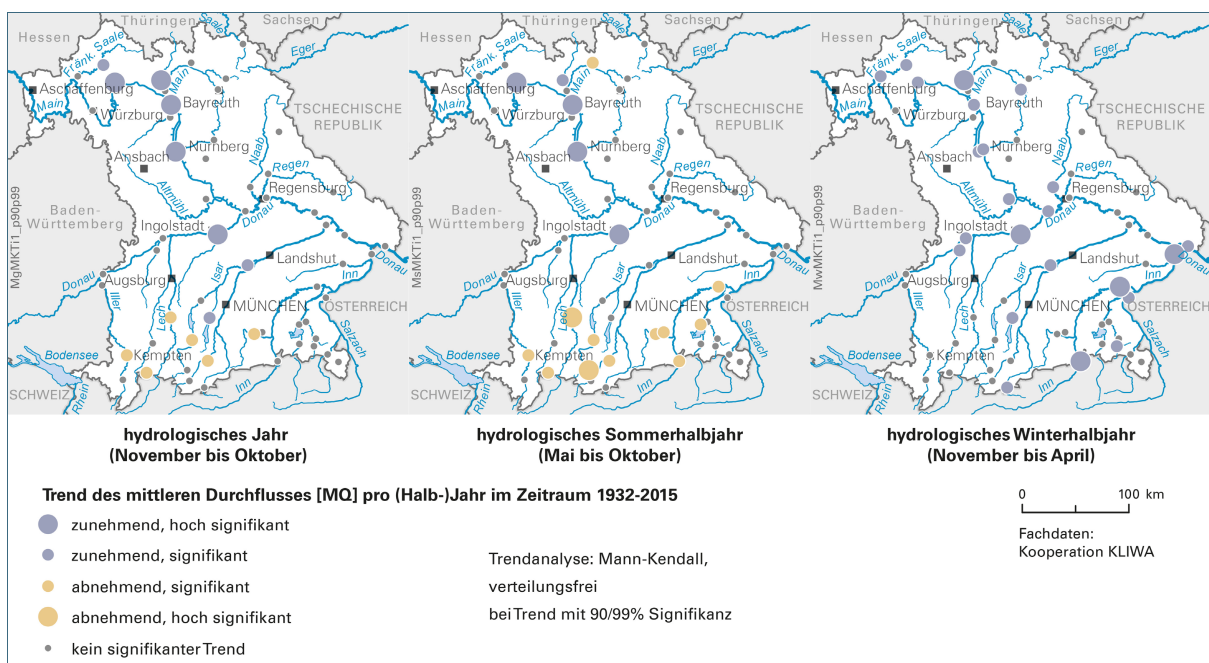


Abb. 30: Trend des mittleren Durchflusses pro hydrologischem (Halb-)Jahr im Zeitraum 1932–2015, Signifikanzniveau 90 % (signifikant) und 99 % (hoch signifikant)

Tab. 5: Signifikante Trends des MQ im Zeitraum 1932–2015 an 59 bayerischen Messstellen (Signifikanzniveau 90 %), Mittelwert über alle signifikanten Messstellen (Anzahl in Klammern), Datenquelle: KLIWA-Monitoring-Bericht (KLIWA 2016)

Kenngroße	Zunehmender Trend	Abnehmender Trend
MQ hyd. Jahr [m ³ /s pro Jahrzehnt]	2,9 (8)	-1,8 (6)
MQ hyd. Sommerhalbjahr [m ³ /s pro Jahrzehnt]	4,0 (5)	-2,4 (12)
MQ hyd. Winterhalbjahr [m ³ /s pro Jahrzehnt]	2,6 (23)	Keine Abnahme

Betrachtet man die langfristigen Trends der halbjährlichen Niedrigwasserabflüsse (NQ) ab Beginn der Messung (meist vor 1950) bis 2015, erkennt man an vielen Pegeln signifikante Abflussänderungen, meist in Form von Zunahmen (Tab. 6). Ab 1980 zeigen weniger Pegel signifikante Trends. Zudem verschieben sich die Trendrichtungen hin zu Abflussabnahmen, insbesondere im Wasserhaushalts-Sommerhalbjahr. So nahm in diesem jüngeren Zeitraum der NQ im Mittel über die 21 signifikanten Pegel um etwa 0,6 m³/s pro Jahrzehnt ab. Die Unterschreitungshäufigkeit des MNQ zeigte an deutlich mehr Pegeln signifikante und im Mittel auch stärkere Zunahmen, wogegen die Zahl der Pegel mit abnehmenden Trends merklich zurückging. Die letzten recht trockenen Jahre 2018 und 2019 sind in diesen Analysen noch nicht enthalten. Doch sprechen die Trends des jüngeren Zeitraums, wie auch die neuen Niedrigstwerte (Abb. 16, Abb. 18) 2018/2019 dafür, dass sich eine allgemeine Tendenz zu mehr Trockenheit ausprägen könnte.

Die Tendenz zu abflussärmeren Sommern kann unter anderem mit der steigenden Temperatur (siehe Kap 1.2) und damit höheren Verdunstung im Sommer zusammenhängen. Aber auch ein verminderter Basisabfluss aus dem Grundwasser, vor allem in den letzten Jahren, kann eine Ursache sein.

Tab. 6: Niedrigwasserkenngroßen an 71 bayerischen Messstellen: Signifikante Trends von Messbeginn bis 2015 sowie von 1980 bis 2015 (Signifikanzniveau 90 %); Angabe als: Mittlerer Trend und Konfidenzintervall aller signifikanten Messstellen, Anzahl Messstellen mit signifikanter Änderung

Kenngroße	Trend Messbeginn – 2015		Trend 1980–2015	
	Zunehmender Trend	Abnehmender Trend	Zunehmender Trend	Abnehmender Trend
NQ Sommerhalbjahr [m ³ /s pro Jahrzehnt]	0,24 ±0,10 (26)	-0,31 ±0,17 (9)	0,49 ±0,22 (4)	-0,64 ±0,39 (21)
NQ Winterhalbjahr [m ³ /s pro Jahrzehnt]	0,28 ±0,12 (45)	-0,25 ±0,12 (7)	0,51 ±0,30 (11)	-0,50 ±0,27 (10)
SumD (Anzahl Tage pro Jahr mit Unterschreitung des MNQ)	0,36 ±0,27 (4)	-1,31 ±0,67 (39)	1,46 ±1,06 (10)	-3,15 ±1,97 (6)

Die zukünftige Abflussentwicklung ("Abflussprojektionen") in Bayern wird in der Kooperation KLIWA mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen abgeschätzt. Welche Abflussänderungen auf Grundlage des Bayern-Ensembles (RCP-Projektionen des 5. IPCC-Berichtes, siehe auch Kap. 1.2) zu erwarten sind, wird derzeit erarbeitet. Aussagen auf Grundlage der Klimaprojektionen des 4. IPCC-Berichtes sind aber bereits möglich.

Die Klimaprojektionen sind sich einig: Es wird in Zukunft wärmer. Damit steigt auch die Verdunstung, vor allem im Sommerhalbjahr. Wenn gleichzeitig die Niederschlagsmengen gleichbleiben oder gar abnehmen, steht weniger Wasser für den Oberflächenabfluss zur Verfügung. Die Abflussmengen bei Niedrigwasser werden also sinken und kleinere Gewässer häufiger und länger trockenfallen.

Die nachfolgende Karte zeigt exemplarisch die Veränderung des mittleren sommerlichen Niedrigwasserabflusses bis Mitte des Jahrhunderts (2041 bis 2070) gegenüber dem Referenzzeitraum 1971 bis 2000. KLIWA stellt Zukunftsaussagen immer als Bandbreite (Minimum/ Maximum) für das aktuelle bayerische Ensemble an Abflussprojektionen dar. Der Median kennzeichnet dabei die Änderung, die in der Mitte des Ensembles liegt. Gelbbraune Kreise beschreiben Abnahmen an den Pegeln, blaue Kreise Zunahmen. Der Bereich zwischen -10% und $+10\%$ ist als „keine Änderung“ definiert.

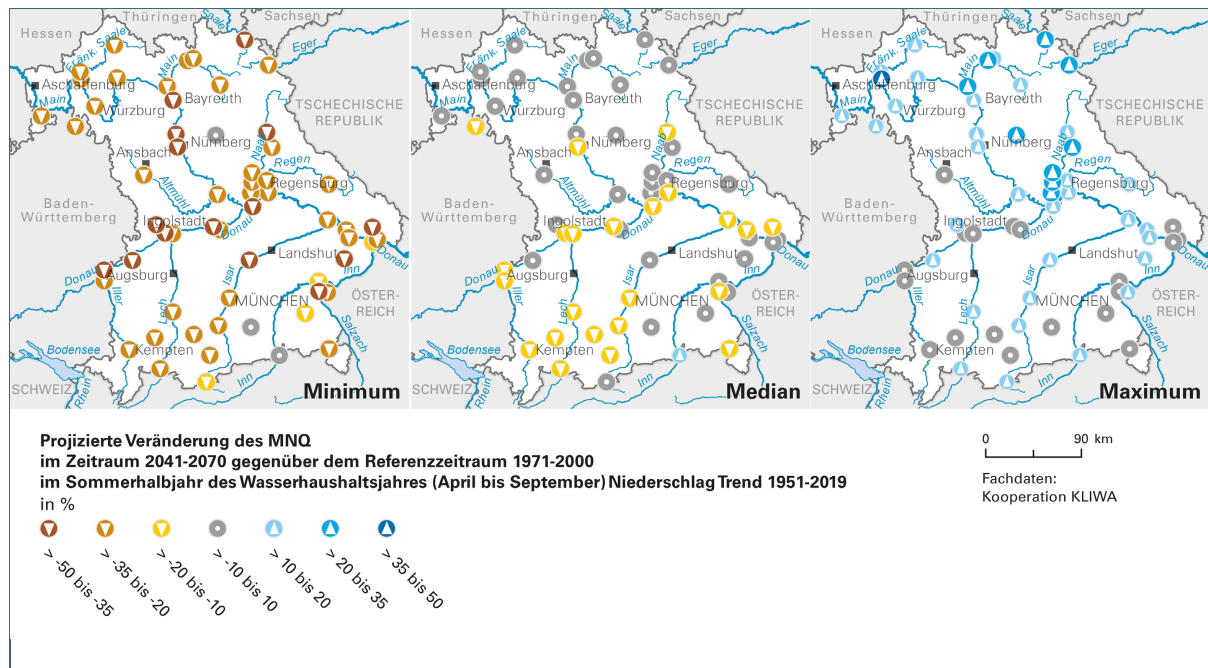


Abb. 31: Projizierte prozentuale Veränderung des MNQ in Bayern im Zeitraum 2041–2070 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000, Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltsjahres (Apr.–Sep.)

Im Wasserhaushalts-Sommerhalbjahr (Abb. 31) ergeben sich für den Median in Nord- und Südbayern unterschiedlich starke Entwicklungen: Während nördlich der Donau keine Änderungen erkennbar sind, nehmen die Abflüsse südlich davon ab. Im Jahresgang sind hier eher hohe Abflüsse typisch, es ist entsprechen eine mäßige Verschärfung der Niedrigwassersituation anzunehmen. Im Minimum des Ensembles ergeben sich überall Abnahmen. Das Ensemble-Maximum zeigt dagegen Abflusszunahmen nördlich der Donau und deutet damit eine Entspannung der Niedrigwassersituation an. Bis Ende des Jahrhunderts verschärft sich die Situation: Die Abflussabnahmen im Ensemble-Minimum und –Median werden stärker, im Ensemblemaximum sind die Zunahmen weniger deutlich.

Im Wasserhaushaltsjahr insgesamt sowie im Wasserhaushalts-Winterhalbjahr ändern sich die Niedrigwasserabflüsse in der mittleren Zukunft im überwiegenden Teil Bayerns nicht. Im Alpenraum nehmen sie leicht zu. Diese Aussagen betreffen den Ensemble-Median. Das Minimum zeigt überwiegend Abnahmen, das Maximum Zunahmen. Dies verstärkt sich zum Ende des Jahrhunderts hin. Im Ensemble-Median ergeben sich im Donaauraum und Norden Bayerns leichte Abflussabnahmen, die leichten Abflusszunahmen im Alpenraum bleiben bestehen. Denkbar ist, dass hier eine Regimeverschiebung stattfindet: Der Niederschlag im Winterhalbjahr wird weniger als Schnee zwischengespeichert, sondern läuft vermehrt direkt ab. Damit fehlt das Schmelzwasser im Sommerhalbjahr und führt zu sinkenden Abflüssen.

Der Kennwert SumD als Unterschreitungshäufigkeit des MNQ verhält sich auch in Zukunft invers zu dessen Entwicklung: Abnehmende MNQ-Werte führen zu einer Zunahme der Überschreitungshäufigkeit, zunehmende MNQ-Werte zu einer Abnahme.

2.2 Grund- und Bodenwasser

Die Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 führte zu einer ausgeprägten Niedrigwassersituation im Grundwasser. So betrug die mittlere Niederschlagsmenge (DWD, REGNIE-Niederschlagsdaten) in Bayern im Jahr 2018 747 mm (2019: 855 mm), was einem Niederschlagsdefizit von -20% (2019: -9%) gegenüber dem langjährigen Mittel 1971–2000 entspricht. Regional fiel das Niederschlagsdefizit noch deutlicher aus. In den Regierungsbezirken variierte der Niederschlag im Jahr 2018 zwischen 551 mm in Unterfranken und 980 mm in Oberbayern. Im Jahr 2019 variierte der Niederschlag zwischen 638 mm in Mittelfranken und 1.107 mm in Oberbayern.

Durch die im Jahr 2018 aufeinanderfolgenden 10 übermäßig trockenen Monate (Februar bis November) lag die Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Vergleich zum langjährigem Mittel insgesamt um 33% niedriger. In 2019 war mit -22% erneut ein ausgeprägtes Defizit in der Grundwasserneubildung zu verzeichnen. Dieses führte in beiden Jahren, an nahezu allen oberflächennahen Grundwasserleitern, zu einem kontinuierlichen Rückgang der Grundwasserstände und Quellschüttungen und zu meist deutlich unterdurchschnittlichen Verhältnissen. Teilweise sind Quellen auch vorübergehend trockengefallen (Abb. 32). Auch viele Grundwassermessstellen der tieferen Grundwasserleiter verzeichneten abnehmende Grundwasserstände.



Abb. 32: Trockengefallene Quellen im Fichtelgebirge am 15.10.2018.
Links: Fichtelnaabquelle, rechts: Weißmainquelle

2.2.1 Grundwasserstände und Quellschüttungen

2.2.1.1 Situation 2018 und 2019

Zur genauen Beschreibung der bayernweiten Grundwasserstandsentwicklung können die tagesaktuellen Daten des Niedrigwasser-Informationsdienstes (NID) (<https://www.nid.bayern.de/grundwasser>) herangezogen werden. Der NID umfasst insgesamt rund 500 Messstellen, die entweder dem oberflächennahen Grundwasser (einschließlich Quellen) oder tieferen Grundwasserleitern zugeordnet sind. Auf der Basis einer statistischen Einteilung des Langzeitverhaltens der Messwerte erfolgt für jede Messstelle mit einer mindestens fünfjährigen Messreihe eine Klassifikation der aktuellen Niedrigwassersituation (kein Niedrigwasser; niedrig; sehr niedrig; neuer Niedrigstwert). Betrachtet man den zeitlichen Verlauf des Messstellenanteils der oberen Grundwasserleiter, der innerhalb des NID mindestens als niedrig eingestuft war, so ergibt sich die in Abb. 33 dargestellte Niedrigwasserentwicklung im Verlauf der Jahre 2018 und 2019.

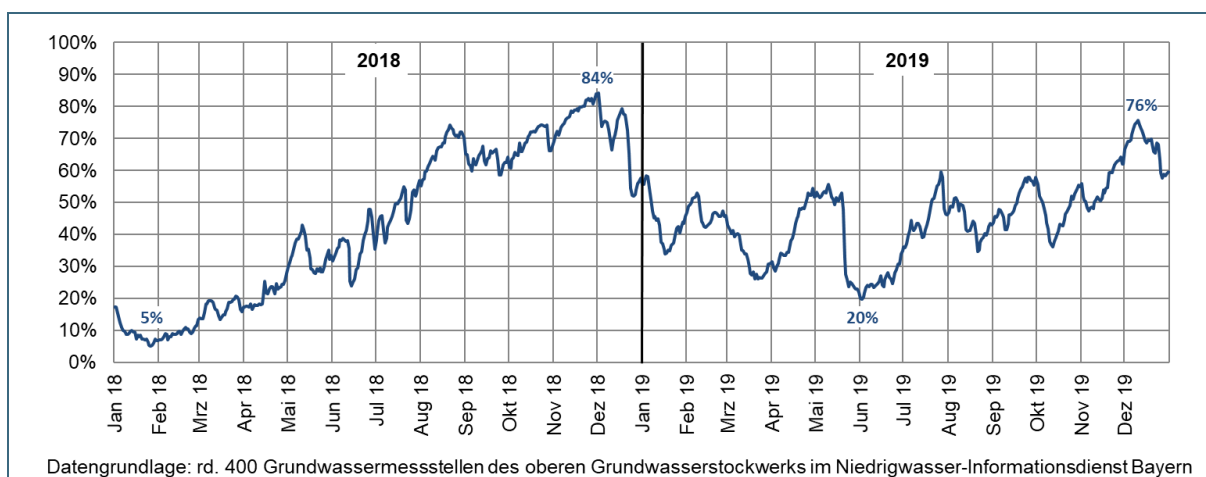


Abb. 33: Verlauf der Niedrigwassersituation 2018 und 2019 im Grundwasser. Dargestellt ist der Anteil an Grundwassermessstellen und Quellen des oberen Grundwasserstockwerks im Niedrigwasser-Informationsdienst mit Einstufung „Niedrigwasser“ und einer Beobachtungsdauer > 5 Jahre

Von Januar bis Mitte April 2018 lag an den meisten bayerischen Messstellen noch keine Niedrigwassersituation vor. Maximal wiesen in diesen Monaten rund 20 % der Messstellen niedrige oder sehr niedrige Wasserstände auf (Minimum: 5 %, Ende Januar). Mit den steigenden Temperaturen sowie den über Monate zu geringen Niederschlägen fielen in der folgenden Zeit bayernweit die Grundwasserstände. So wurden Ende August an über 70 % der Messstellen im oberen Grundwasserstockwerk niedrige und sehr niedrige Messwerte registriert. Der Höhepunkt der Niedrigwasserphase wurde Anfang Dezember mit einem Anteil von 84 % erreicht. Diese Entwicklung wurde im Laufe des Dezembers durch feuchtere Witterung mit verhältnismäßig großen Regenmengen beendet. Als Konsequenz verringerte sich bis März 2019 die Zahl der Messstellen mit niedrigen und sehr niedrigen Messwerten auf 26 %. Nach einer zwischenzeitlichen Trockenperiode von April bis Ende Mai (rund 54 %) führten Niederschläge zu einer kurzfristigen Erholung der Situation mit dann 20 % niedrig oder sehr niedrig eingestuften Messstellen. Im Anschluss fielen die Grundwasserstände bayernweit erneut bis Dezember 2019. In der Folge wurde Anfang Dezember ein erneuter Höhepunkt der Niedrigwasserphase erreicht (76 % als niedrig oder sehr niedrig eingestufte Messstellen).

In beiden Jahren konnten einzelne stärkere Niederschläge die ausgetrockneten Böden zum Teil wieder auffüllen, was sich auch an mehreren Messstellen in einem vorübergehenden Anstieg der Grundwasserstände und Quellschüttungen zeigte. Jedoch beschränkten sich diese Erholungsphasen meist auf die überwiegend schnell regenerierenden Grundwasservorkommen entlang der Fließgewässer sowie auf Grundwasservorkommen mit geringer Überdeckung und erwiesen sich daher als nicht nachhaltig.

Da die tieferen Grundwasserstockwerke nur verhältnismäßig langsam reagieren, sind an den entsprechenden Messstellen nach wie vor die Auswirkungen der vorangegangenen Trockenjahre gut nachvollziehbar. So zeigten von 2016 bis Ende 2019 nie weniger als 40 % der tiefen Messstellen niedrige oder sehr niedrige Grundwasserstände. Im Laufe des Jahres 2018 stieg dann der Anteil der als niedrig und sehr niedrig klassifizierten Grundwassermessstellen der tieferen Grundwasserstockwerke an und lag seit Mitte Oktober konstant hoch bei rund 80 %. Durch die Niederschläge Ende Dezember entspannte sich die Situation nur geringfügig. Besonders in der zweiten Jahreshälfte 2019 erhöhte sich der Anteil der als niedrig und sehr niedrig klassifizierten Grundwassermessstellen erneut und war mit den Werten des Jahres 2018 vergleichbar.

Anhand der repräsentativen Messstellen des bayernweiten Grundnetzes (Grundwasser und Quellen; Landesgrundwasserdienst-quantitativ) lassen sich die Auswirkungen der Trockenheit 2018 und 2019 auf die Grundwasserstände und Quellschüttungen deutlich nachvollziehen. Dies wird im Folgenden an Hand des Zeitpunktes verdeutlicht, zu dem an jeder Messstelle der jeweilige niedrigste Wert (NNW bzw. NNQ) gemessen wurde. Hierfür erfolgte in einem ersten Schritt eine Reduzierung des Messstellenbestandes auf die 347 Grundwassermessstellen und Quellen, die mindestens seit dem Jahr 2000 in Betrieb sind (Abb. 34).

Besonders auffallend ist hier die hohe Anzahl an Messstellen mit einem NNW bzw. NNQ in den letzten beiden Jahren. So wiesen für das Trockenjahr 2018 79 Messstellen und auf Grund weiter abnehmender Grundwasserstände und Quellschüttungen, zum Ende des Folgejahres 2019 118 Messstellen einen NNW bzw. NNQ auf. Somit wurde an mehr als jeder zweiten Grundnetzmessstelle (57 %) innerhalb des 20-Jahres Zeitraumes 2000–2019 einen NNW bzw. NNQ entweder in 2018 oder in 2019 erreicht. Diese Zahlen verdeutlichen das bayernweit niedrige Niveau der Grundwasserstände und Quellschüttungen in diesen Jahren, und somit die teils erheblichen Auswirkungen der Trockenheit auf die Grundwasservorkommen. Insgesamt waren die Grundwasserstände und Quellschüttungen deutlich niedriger als in den vorangegangenen Trockenjahren 2003 und 2015. Für diese Jahre ist jeweils nur noch für 23 bzw. 21 Messstellen einen NNW bzw. NNQ registriert.

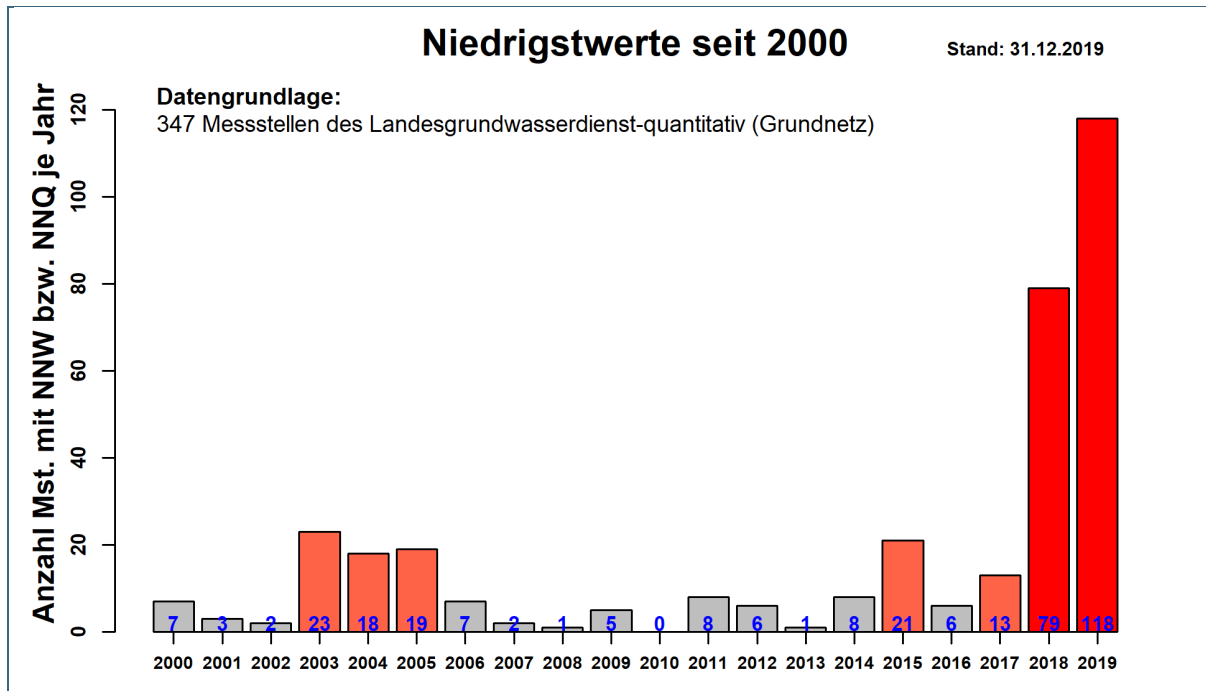


Abb. 34: Von 347 Grundnetz-Messstellen (Landesgrundwasserdienst- quantitativ), die mindestens seit dem Jahr 2000 durchgängig in Betrieb sind, zeigt zum Jahresende 2019 mehr als jede zweite Messstelle einen Niedrigstwert entweder im Jahr 2018 bzw. im Jahr 2019 (basierend auf der Messzeitreihe 2000 bis 2019).

Mithilfe von ausgewählten Messstellen lassen sich die Entwicklungen der gemessenen Grundwasserstände und Quellschüttungen in verschiedenen hydrogeologischen Räumen exemplarisch aufzeigen (Abb. 35, Abb. 36, Abb. 37, Abb. 38, Abb. 39). Weitere Informationen können den Gewässerkundlichen Jahresberichten 2018 und 2019 entnommen werden (LfU 2019).

Die Grundwasserleiter (oberes Grundwasserstockwerk) waren zum Jahreswechsel 2017/2018 noch überwiegend gut gefüllt. Entsprechend wurde der 2-Jahreshöchstwert der nachfolgend gezeigten Grundwassermessstellen (Abb. 35, Abb. 36 und Abb. 37) häufig zwischen Januar und März 2018 erreicht. Im weiteren Verlauf des Jahres sorgte die Trockenheit für ein weitgehend kontinuierliches Absinken der Grundwasserstände. Lokale Niederschläge unterbrachen diese Entwicklung, wenn überhaupt, nur kurzfristig. Auch die hohen Niederschlagsmengen im Dezember 2018 wirkten sich bei den gezeigten Messstellen nicht wesentlich auf die Grundwasserstände aus. An allen drei Messstellen wurde in 2018 ein neuer NNW registriert, welcher in 2019 aufgrund der fortschreitenden Trockenheit sogar noch einmal unterschritten wurde.

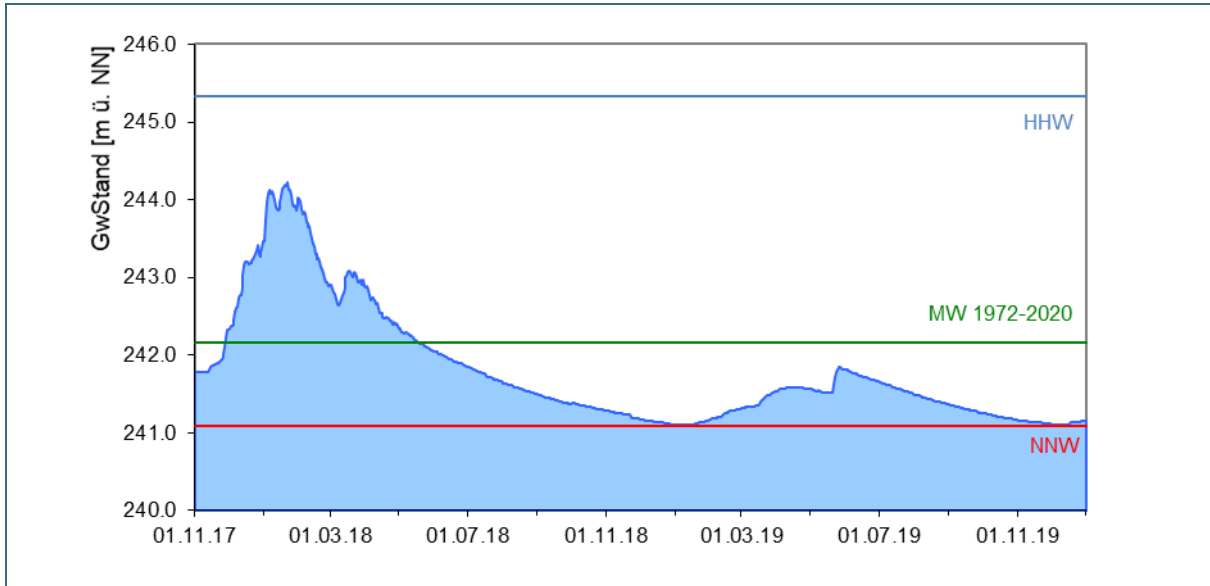


Abb. 35: Verlauf des Grundwasserstands in einem quartären Grundwasserleiter (Messstelle Rattelsdorf 136, beobachtet seit 1972), HHW: 245,33 m ü. NN, MW: 242,18 m ü. NN, NNW: 241,09 m ü. NN

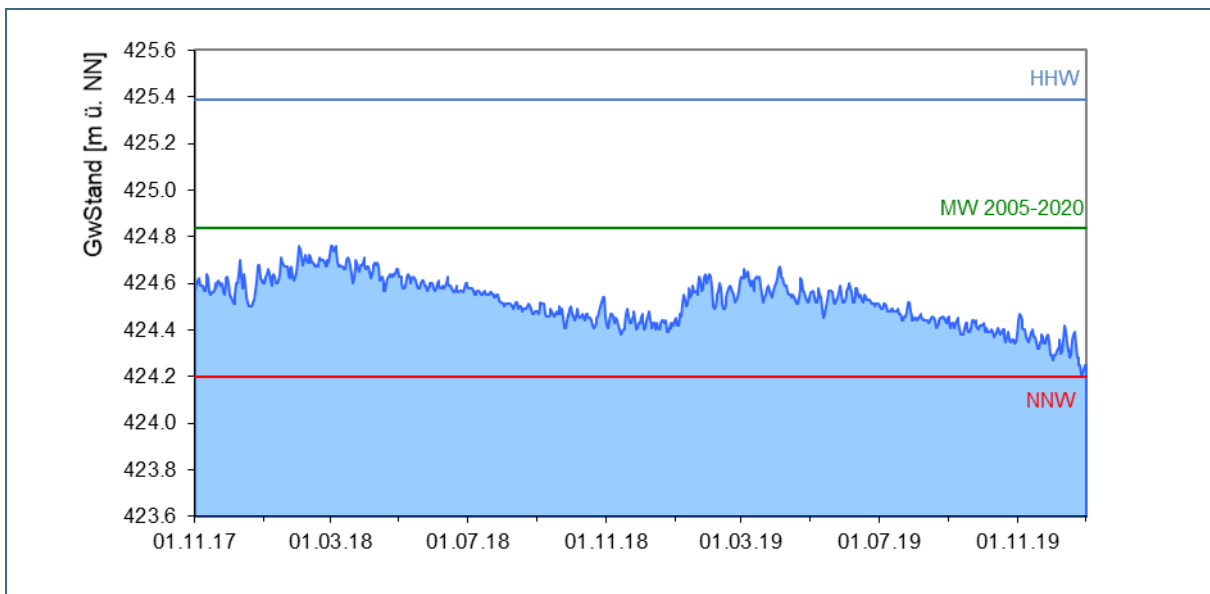


Abb. 36: Verlauf des Grundwasserstands im Bereich der Oberen Süßwassermolasse des Tertiärs (Messstelle Mauern T 1, beobachtet seit 2005), HHW: 425,39 m ü. NN, MW: 424,89 m ü. NN, NNW: 424,37 m ü. NN

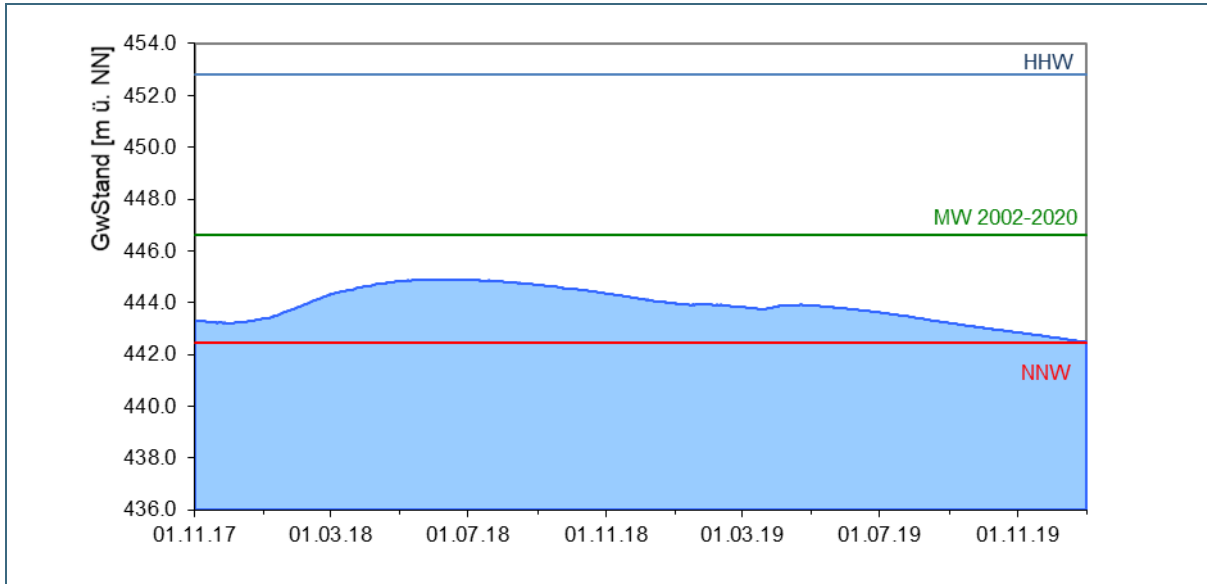


Abb. 37: Verlauf des Grundwasserstands im Malmkarst (Messstelle EICHENSTRUTH-W5, beobachtet seit 2002), HHW: 452,79 m ü. NN, MW: 446,60 m ü. NN, NNW: 442,47 m ü. NN

Quellen reagieren in der Regel schneller auf Niederschlagsereignisse als Grundwasserstände (Abb. 38 und Abb. 39). Das Jahr 2018 begann an den beiden hier gezeigten Quellmessstellen (Rassreuth Quelle 1, Ostbayerisches Kristallin und Strailach 3-5 Quelle, Alpiner Raum) mit einer durchschnittlichen Quellschüttung. Die geringen Niederschlagsmengen ab Februar sorgten dann dafür, dass sich die Schüttung im Jahresverlauf insgesamt verringerte. Lokale (Stark-)Niederschläge im Januar und Februar sowie im Juli, August und September ließen die Schüttungsmenge kurzzeitig sprunghaft ansteigen. Im Gegensatz zu den Grundwassermessstellen bewirkte bei den ausgewählten Quellmessstellen der überdurchschnittlich feuchte Dezember einen deutlichen Anstieg der Quellschüttung. Die weitere Entwicklung im Jahr 2019 führte dann bei beiden Messstellen zu keiner nennenswerten Verringerung der Quellschüttung, so dass zum Jahresende 2019 wieder durchschnittliche Messwerte registriert wurden.

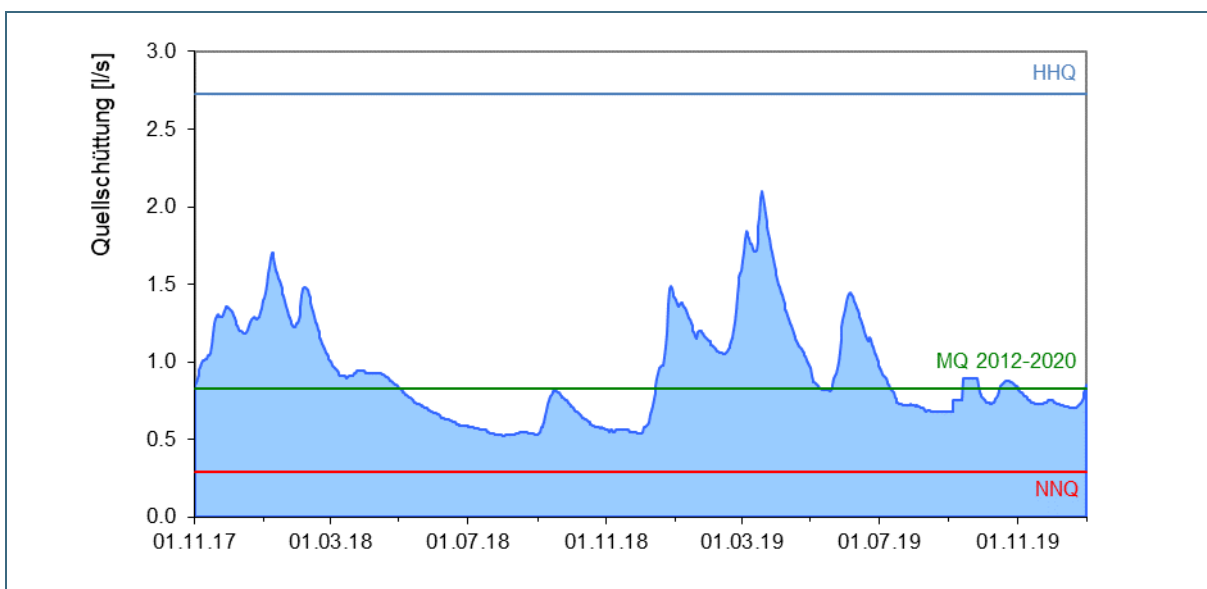


Abb. 38: Verlauf der Quellschüttung im Ostbayerischen Kristallin (Messstelle Rassreuth Quelle I, beobachtet seit 2012), HQ: 2,73 l/s, MQ:0,79 l/s, NQ: 0,29 l/s

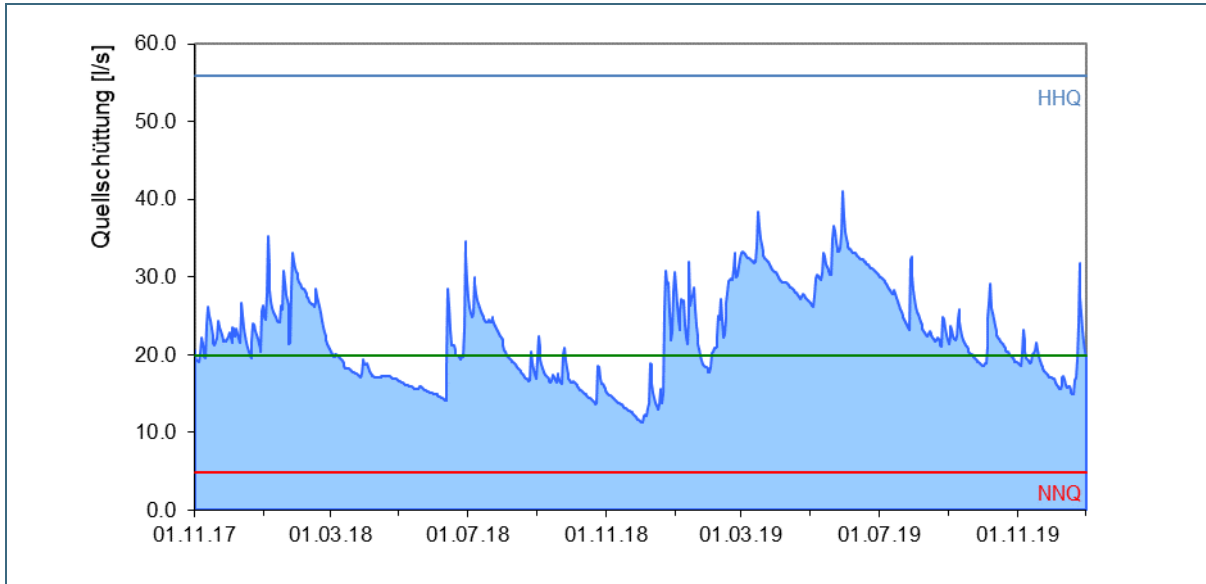


Abb. 39: Verlauf der Quellschüttung im alpinen Raum (Messstelle Strailach 3-5, beobachtet seit 1988),
 HQ: 55,93 l/s, MQ: 24,13 l/s, NQ: 4,91 l/s

2.2.1.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells GWN-BW wurde die landesweite Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1951 bis 2019 berechnet. Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag lag 2018 in Bayern im Mittel um 33 % (2019: 22 %) unter dem Mittelwert von 207 mm/a der Referenzperiode 1971–2000 (Abb. 40). Die Grundwasserneubildung war damit im Mittel ähnlich niedrig wie in den Trockenjahren 2003 und 2015. Gleichzeitig verdoppelte sich im Jahr 2018 der Flächenanteil in Bayern mit einer vergleichsweise geringen Grundwasserneubildung (≤ 100 mm/a) auf rund 41 % im Vergleich zum langjährigen Mittel (rund 22 %). Insgesamt variierte die Grundwasserneubildung in 2018 in den Regierungsbezirken zwischen 74 mm/a in Unterfranken bis zu 205 mm/a in Oberbayern. Im Jahr 2019 variierte die Grundwasserneubildung zwischen 82 mm/a in Mittelfranken und 257 mm/a in Oberbayern. Die geringsten relativen Abnahmen der Grundwasserneubildung im Vergleich zur Referenzperiode wurden 2018 in Mittelfranken (–19 %) und in der Oberpfalz (–24 %) verzeichnet. In 2019 waren dies Oberbayern (–17 %) und Schwaben (–18 %). Die stärksten Abnahmen traten 2018 mit jeweils –39 % in Unter- und Oberfranken auf, in 2019 dann in Niederbayern (–33 %) und in der Oberpfalz (–29 %) (Tab. 11).

Tab. 7: Grundwasserneubildung aus Niederschlag (GWN) im Referenzzeitraum 1971–2000, für die Jahre 2018 und 2019 sowie die relative Abweichung der Jahre 2018 und 2019 zum Referenzzeitraum 1971–2000, jeweils aufgliedert für Bayern und die Regierungsbezirke

	GWN [mm/a]			Relative Änderung [%] der GWN gegenüber 1971–2000	
	1971–2000	2018	2019	2018	2019
Bayern	207	140	162	-33	-22
Mittelfranken	115	94	82	-19	-28
Niederbayern	186	129	126	-31	-33
Oberbayern	308	205	257	-33	-17
Oberfranken	160	98	124	-39	-23
Oberpfalz	171	131	122	-24	-29
Schwaben	261	164	215	-37	-18
Unterfranken	122	74	93	-39	-23

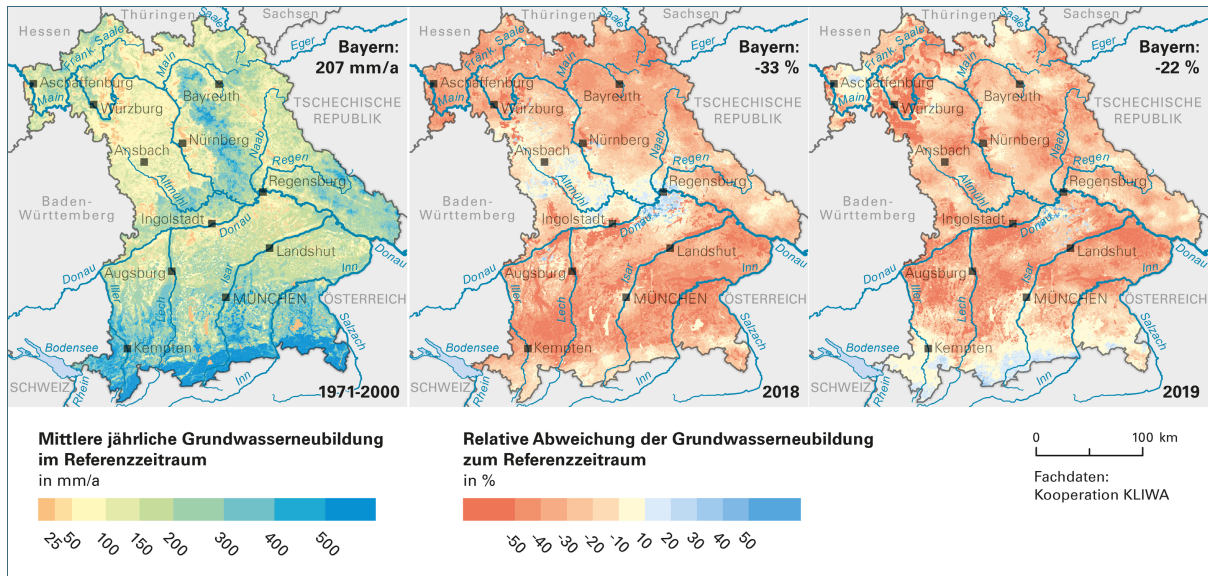


Abb. 40: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Referenzzeitraum 1971–2000 (links). Relative Abweichung der Jahre 2018 (Mitte) und 2019 (rechts) zum Referenzzeitraum 1971–2000

Im Zeitraum 1951 bis 2019 lagen naturgemäß keine einheitlichen meteorologischen Bedingungen vor. Neben der beobachteten Temperaturzunahme seit Ende der 1980er Jahre wechselten sich beim Niederschlag mehrjährige Nass- und Trockenperioden ab. Dabei wurden die Grundwasserspeicher überwiegend während der Neubildungsreichen Nassjahre aufgefüllt (Abb. 41, blaue Balken). Aufgrund der insgesamt zu geringen Niederschläge seit dem Jahr 2003 ist die Grundwasserneubildung in den vergangenen 17 Jahren gegenüber dem Zeitraum 1971–2000 im Mittel mit einer Abnahme von -15% deutlich unterdurchschnittlich, was auch durch das gehäufte Auftreten der roten Balken seit der Jahrtausendwende verdeutlicht wird. Verantwortlich hierfür ist eine Häufung von Trockenjahren, verhältnismäßig trockenen Winterhalbjahren sowie einer ganzjährig höheren Verdunstungsrate, die durch gestiegene Lufttemperaturen bedingt ist (HyWa Kopp 2018, KLIWA 2017).

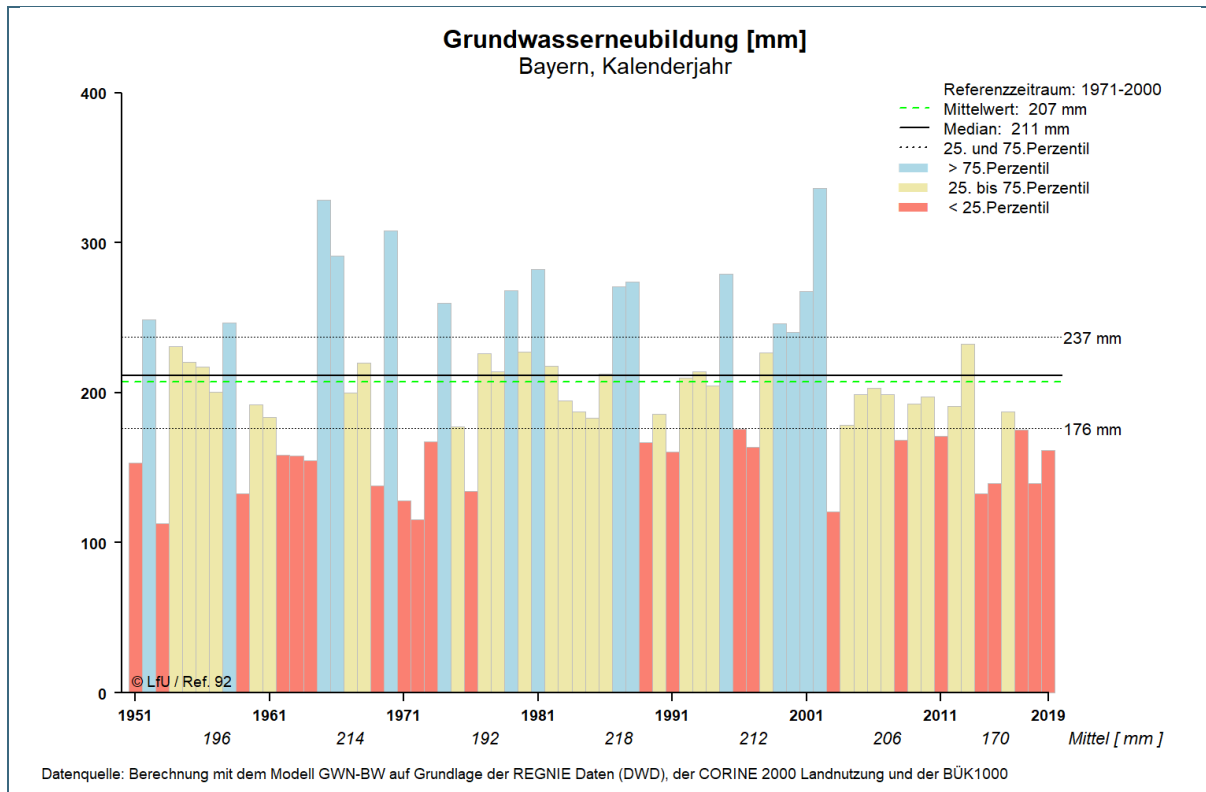


Abb. 41: Entwicklung der Grundwasserneubildung in Bayern über den Zeitraum 1951–2019. Die Daten stammen aus der KLIWA-Langzeitsimulation mit dem Modell GWN-BW. Angaben in mm/a.

Die Entwicklung der Grundwasserstände und Quellschüttungen sowie die modellierte Grundwasserneubildung aus Niederschlag in den Jahren 2018 und 2019 haben gezeigt, dass die Grundwasserneubildung als „Wasserbilanzrest“ auf Änderungen des Niederschlags- und Verdunstungsgeschehens besonders empfindlich reagiert. Dieser Aspekt ist von zentraler Bedeutung, da sich die Trinkwasserversorgung in Bayern zum überwiegenden Teil auf die Nutzung von Grundwasservorkommen stützt. Direkte Konsequenzen aus der Entwicklung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag lassen sich daraus jedoch nicht ableiten, da das regional verfügbare Grundwasserdargebot zusätzlich von weiteren Faktoren, wie z. B. der Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen, beeinflusst wird. Vor allem das Jahr 2018 kann aber als „Testlauf“ für künftige Verhältnisse und ggf. erforderliche Anpassungsmaßnahmen der Wasserversorger betrachtet werden.

2.2.2 Bodenwasser

2.2.2.1 Situation 2018 und 2019

Zur medienübergreifenden Beobachtung von Stoffflüssen im Wasserkreislauf wird im Rahmen des Integrierten Hydrologischen Monitorings (IHM) der Weg des Wassers vom Niederschlag über das Sickerwasser bis zum Grundwasser und Gebietsabfluss untersucht.

Der Jahresverlauf der Bodenfeuchte kann als wesentliche Steuerungsgröße für die Sickerwasserbildung und Grundwasserneubildung herangezogen werden. Am Beispiel eines bewaldeten Standorts im östlichen Oberfranken (Messgebiet Fichtelgebirge) ist die Durchfeuchtung und Austrocknung des Bodens durch Niederschlag und Verdunstung im 2-Jahres Zeitraum 2018 und 2019 zu erkennen (Abb. 42). Bei hohem Bodenwassergehalt bildet sich freies Sickerwasser, das in durchlässigen Böden

der Schwerkraft folgend dem Grundwasser zufließt. Die Bodenfeuchte wird direkt als Bodenwassergehalt (Vol. %) und indirekt als Bodensaugspannung in Hektopascal (hPa) in einer Messtiefe von 50 cm und 200 cm gemessen.

Der Standort liegt im Fichtelgebirge im Ostbayerischen Kristallin und ist durch Verwitterungsprodukte (schluffig-lehmige Gruse) geprägt. Er wird forstwirtschaftlich (überwiegend Fichte) genutzt.

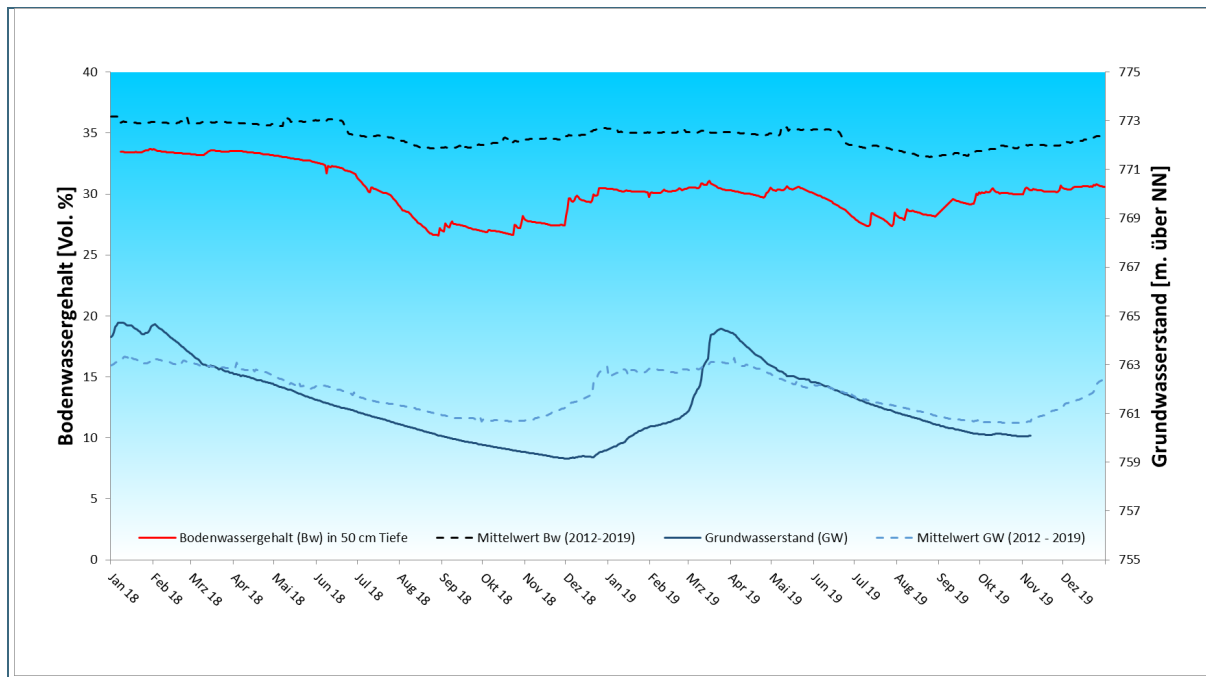


Abb. 42: Der Jahresverlauf von Bodenwassergehalt (Bw) in 50 cm Tiefe am Messstandort „Fichtelgebirge“ ist für die Jahre 2018 und 2019 (rot) sowie für den gemittelten Verlauf der Bodenwassergehalte der Jahre 2012 bis 2019 (gestrichelte schwarze Linie) dargestellt. Die dunkelblaue Linie zeigt den jahreszeitlichen Verlauf des Grundwasserstandes 2018 und 2019. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den mittleren Grundwasserstand der Jahre 2012 bis 2019.

Betrachtet man den in Abb. 42 dargestellten Verlauf des Bodenwassergehaltes im Jahr 2018 in 50 cm Tiefe, so zeigt sich, dass der Bodenwassergehalt in den Monaten Januar bis März auf einem relativ konstanten, für die Jahreszeit aber vergleichsweise niedrigen Niveau (ca. 33 Vol. %) lag. Das Niederschlagsdefizit der Folgemonate bis einschließlich November führte dann zu einer erheblichen Abnahme der Bodenwassergehalte. Besonders der Februar fiel in Nordbayern laut Witterungsbericht markant zu trocken aus. Ab diesem Zeitpunkt sank auch der Grundwasserstand kontinuierlich ab. Die überdurchschnittlichen Niederschläge im Januar reichten nicht aus, um den oberen Boden feucht zu halten.

Die mit dem Einsetzen der Vegetationsperiode und auf zunehmende Verdunstungsraten zurückzuführende, verstärkte Zehrung des Bodenwasservorrates hielt im Jahr 2018 aufgrund des regenarmen Sommers bis Ende August an und führte zu einem minimalen Bodenwassergehalt von knapp 27 %. Erst nach der Vegetationsperiode stieg der Bodenwassergehalt ab Oktober wieder leicht an. Er erreichte Ende Dezember ein weiterhin deutlich unterdurchschnittliches Niveau von rund 31 %. Im Wesentlichen wiederholte sich dieser Jahresverlauf im Jahr 2019, auch wenn die sommerliche Austrocknungsphase weniger ausgeprägt verlief als in 2018. Zum Jahresende erreichte der Bodenwassergehalt wieder ein Maximum von rund 31 %, und lag damit weiterhin unter dem mehrjährigen Mittelwert im Winterhalbjahr von rund 35 Vol. %.

2.2.2.2 Trockenheitsindex

Die langanhaltenden hohen sommerlichen Temperaturen, insbesondere im Jahr 2018, bewirkten eine teils erhebliche Austrocknung der Böden. Die Einordnung der jeweiligen Bodenwassergehalte in Bayern in den Jahren 2018 und 2019 erfolgt anhand der mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW berechneten Entwicklung des Trockenheitsindex im Zeitraum 1951–2019. Der Trockenheitsindex beschreibt die Anzahl an Tagen im Jahr mit einer geringen Füllung des Bodenwasserspeichers (< 30 % der nutzbaren Feldkapazität) und somit die Anzahl an Tagen im Jahr, an denen die Vegetation unter Wasserstress steht. Im langjährigen Mittel (1971–2000) beträgt der Trockenheitsindex in Bayern 48 Tage. Das Jahr 2018 erreichte gemittelt für die Fläche Bayerns einen Index von 115 Tagen und damit eine um 67 Tage häufigere Unterschreitung der nutzbaren Feldkapazität von < 30 % als im Referenzzeitraum 1971–2000 (Abb. 14). In 2019 liegt der Index im Landesmittel bei 72 Tagen (+24 Tage). Anhand dieser Zahlen wird auch der erhebliche zusätzliche landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf in den Jahren 2018 und 2019 zur Vermeidung von Ernteaufschlägen deutlich.

Im regionalen Maßstab fallen innerhalb von Bayern große Unterschiede auf (Tab. 8). Besonders betroffen waren 2018 die nördlichen Regierungsbezirke mit einem Trockenheitsindex von über 150 Tagen. Spitzenreiter waren Oberfranken mit 182 Tagen und Unterfranken mit 177 Tagen, der niedrigste Wert wurde mit 51 Tagen in Oberbayern erreicht. Auch in 2019 waren die nördlichen Regierungsbezirke (> 100 Tage) am stärksten betroffen. Spitzenreiter waren Unter- und Mittelfranken mit je 113 Tagen, der niedrigste Wert wurde mit 26 Tagen in Schwaben erreicht.

Tab. 8: Trockenheitsindex für den Referenzzeitraum 1971–2000, für die Jahre 2018 und 2019 sowie die absolute Abweichung der Jahre 2018 und 2019 zum Referenzzeitraum 1971–2000, jeweils aufgliedert für Bayern und die einzelnen Regierungsbezirke

	Trockenheitsindex [Tage/a]			Absolute Änderung [Tage] des Trockenheitsindex gegenüber 1971–2000	
	1971–2000	2018	2019	2018	2019
Bayern	48	115	72	+67	+24
Mittelfranken	80	165	113	+85	+33
Niederbayern	27	95	65	+68	+38
Oberbayern	24	51	33	+27	+9
Oberfranken	72	182	112	+110	+40
Oberpfalz	69	156	103	+87	+34
Schwaben	19	68	26	+49	+7
Unterfranken	85	177	113	+92	+28

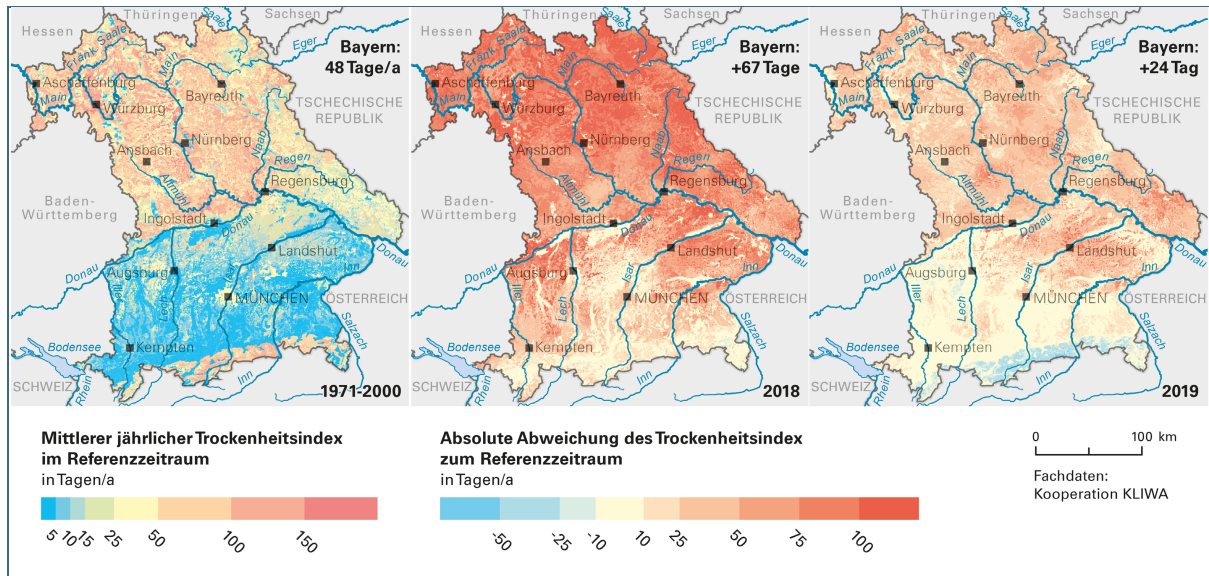


Abb. 43: Mittlerer Trockenheitsindex im Referenzzeitraum 1971–2000 (links). Absolute Abweichung der Jahre 2018 (Mitte) und 2019 (rechts) im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971–2000

Insgesamt kann im Zeitraum 1951 bis 2019 allerdings kein eindeutiger Trend in der Entwicklung des Trockenheitsindex festgestellt werden (Abb. 44). Vielmehr wechselten sich Jahre mit einem über- und unterdurchschnittlichen Trockenheitsindex im Vergleich zur Referenzperiode ab. Seit dem Beginn der 1990er Jahre zeigt sich eine geringe Zunahme des Trockenheitsindex (HyWa Kopp 2018, KLIWA 2017), was sich auch in einer geringeren Auftrittshäufigkeit der blauen Balken in Abb. 44 zeigt. Seit 2011 liegt der Trockenheitsindex mit einem Mittel von 64 Tagen/a dann recht deutlich über dem Wert des Referenzzeitraumes (48 Tage/a). Die bislang mit Abstand höchste Anzahl an Tagen seit 1951 trat im Jahr 2018 auf. Damit wurde der bisherige Höchstwert aus dem Jahr 2003 (106 Tage) deutlich übertroffen.

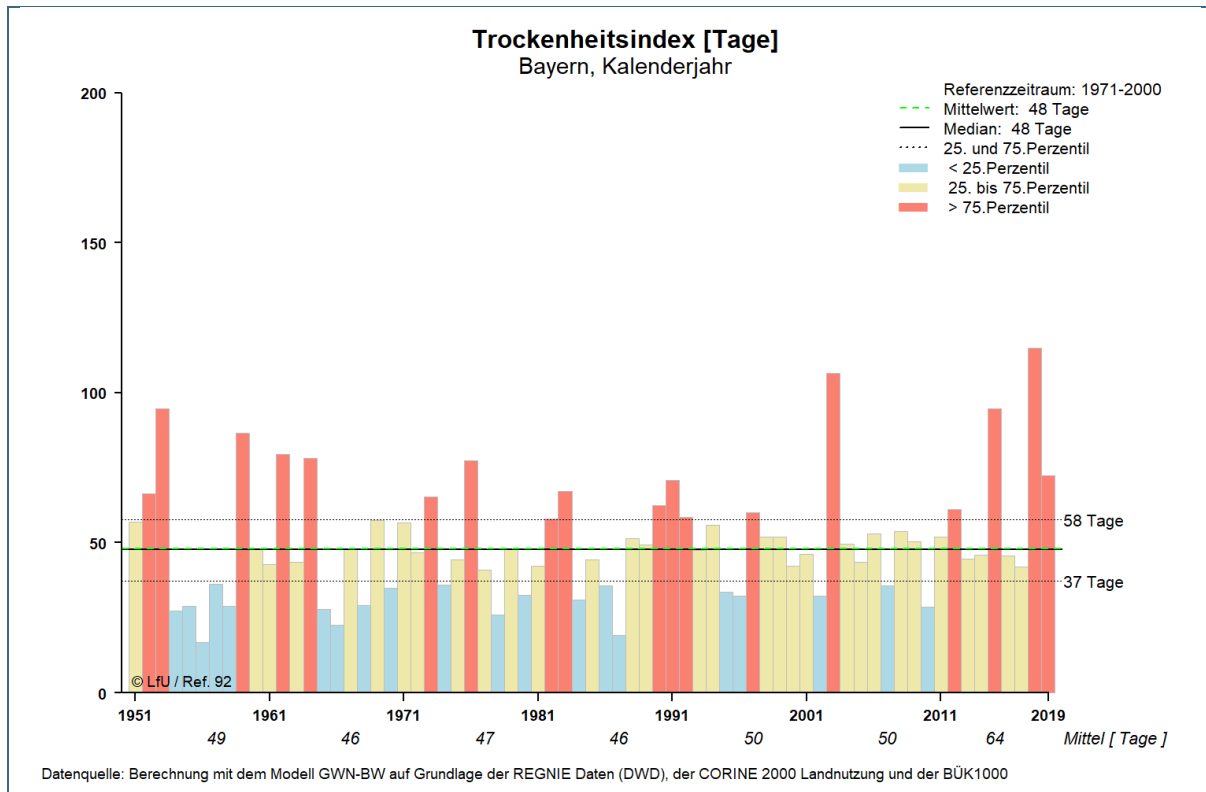


Abb. 44: Entwicklung des Trockenheitsindex in Bayern über den Zeitraum 1951–2019. Die Daten stammen aus der KLIWA Langzeitsimulation mit dem Modell GWN-BW. Angaben in Tagen/a.

Durch die zukünftig zu erwartenden steigenden Lufttemperaturen und die damit verbundene stärkere Verdunstung sowie eine verlängerte Vegetationsperiode muss bayernweit mit einer weiteren Zunahme des Trockenheitsindex gerechnet werden. Dies bedeutet, dass sich die Trockenstressphasen voraussichtlich verlängern werden, was regional zu einem weiter steigenden Wasserbedarf, insbesondere auf Seiten der Landwirtschaft, führen wird.

2.3 Wasserversorgung

2.3.1 Aufgabe und Struktur

Die öffentliche Trinkwasserversorgung ist eine Aufgabe der Daseinsvorsorge (§ 50 Abs. 1 WHG). Der Wasserbedarf ist vorrangig aus ortsnahen Vorkommen zu decken, soweit überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit nicht entgegenstehen (§ 50 Abs. 2 WHG). Es obliegt in Bayern den Gemeinden, die aus Gründen des öffentlichen Wohls erforderlichen Einrichtungen zur Versorgung mit Trinkwasser herzustellen und zu betreiben (Art. 57 Abs. 2 GO).

Um dieser Aufgabe nachzukommen, waren im Jahr 2016 in Bayern 2.232 öffentliche Wasserversorgungsunternehmen, davon 1.727 mit eigenen Wassergewinnungsanlagen, tätig (UStat 2016). Der Anschlussgrad der Bevölkerung an öffentliche Wasserversorgungsanlagen lag 2016 in Bayern bei rund 99,2 %.

Die öffentliche Trinkwasserversorgung ist in Bayern überwiegend dezentral und kleinräumig strukturiert. Aufgrund der unterschiedlichen klimatischen und hydrogeologischen Situationen gibt es im Freistaat Bereiche, in denen der Wasserbedarf nicht (vollständig) aus den örtlichen Vorkommen gedeckt werden kann. Dort sichern 12 Großraum- und Fernwasserversorgungen den Bedarf (Abb. 45).

In den drei fränkischen Regierungsbezirken kommt dem bayerischen Ausgleichs- und Verbundsystem besondere Bedeutung bei der Trinkwasserversorgung zu. Hier wird über die verknüpften Leitungsnetze von sechs im fränkischen und nordschwäbischen Raum tätigen Fernwasserversorgungsunternehmen Wasser in einer Größenordnung von jährlich etwa 25 bis 30 Mio. m³ aus Südbayern in den wasserärmeren nordbayerischen Raum geleitet.

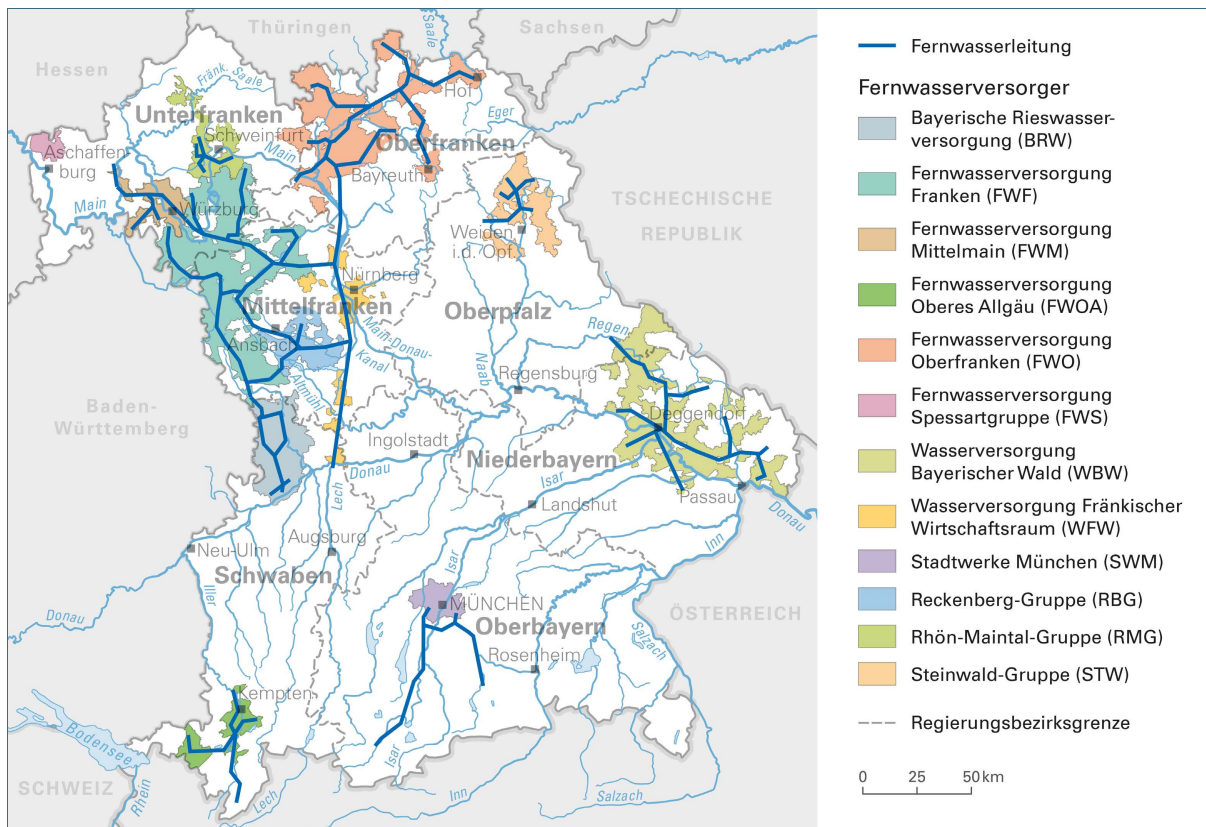


Abb. 45: Großraum- und Fernwasserversorgungen in Bayern

2.3.2 Trinkwasserherkunft

Etwa 8.400 Wasserfassungen in rund 2.920 Wassergewinnungsanlagen werden für die Trinkwassergewinnung in Bayern genutzt. Hierbei handelt es sich um circa 4.300 Brunnen, etwa 4.100 Quellen und drei Oberflächenwasserentnahmen (die Trinkwassertalsperren Mauthaus und Frauenau sowie der Bodensee). In Bereichen des Bayerischen Waldes, des Spessarts und des Alpenraums ist der Anteil der zur Trinkwasserversorgung genutzten Quellen überdurchschnittlich.

2016 wurde mit knapp 90 % der überwiegende Teil des bayerischen Trinkwassers aus Grundwasser (etwa 72 % aus Brunnen und rund 17 % aus Quellen) gewonnen (UStat 2016). Der Anteil der aus Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser gewonnenen Menge betrug ca. 7 %. Mit knapp 3 % war der Anteil der Trinkwassergewinnung aus Oberflächengewässern in Bayern zwar gering, jedoch ist diese Wasserressource regional für die Gewährleistung der Versorgung in Teilen der Wassermangelgebiete Oberfrankens und des Bayerischen Waldes unverzichtbar.

2.3.3 Trinkwasserverbrauch im Trockenjahr 2018

Da das Jahr 2018 kein Erhebungsjahr der im dreijährigen Turnus stattfindenden Umweltstatistikauswertung (UStat) war, liegen bayernweit keine statistischen Angaben über die in 2018 abgegebene Trinkwassermenge vor. Die zuletzt im Rahmen der UStat 2016 für Bayern erfolgte Auswertung des an Haushalte und Kleingewerbe abgegebenen Trinkwassers ergab eine Menge von rund 608,7 Mio. m³. Unter Berücksichtigung sonstiger Abnehmer (Industrie, Gewerbe etc.) betrug die Trinkwasserabgabe in Bayern im Jahr 2016 insgesamt circa 758,3 Mio. m³. Der einwohnerspezifische Verbrauch lag bei etwa 131 Liter pro Einwohner und Tag (UStat 2016).

Im Vergleich zu Vorjahren war bei den Fernwasserversorgern das Trockenjahr 2018 von hohen Jahreswasserabgaben geprägt, die u.a. auch von überdurchschnittlichen Bezugsmengen teilversorgter Abnehmer (d. h. von Abnehmern mit Eigengewinnung) herrührten. Einige Wassergewinnungsanlagen der Fernwasserversorger waren zeitweise nahe der Kapazitätsgrenze ausgelastet. Die maximalen Tagesspitzenabgabemengen der Fernwasserversorger waren – mit Ausnahme eines Fernwasserversorgers, bei dem sich die Tagesspitzenabgabemenge 2018 deutlich erhöhte – im Vergleich zu früheren Jahren annähernd unverändert, jedoch nahm die Anzahl der Tage mit Wasserabgaben im Spitzenbereich im Jahr 2018 signifikant zu.

2.3.4 Sicherheit der öffentlichen Trinkwasserversorgung im Trockenjahr 2018

Insgesamt gesehen war die Trinkwasserversorgung in Bayern im Trockenjahr 2018 gewährleistet. Die Fernwasserversorger kamen ihrer Aufgabe für eine ausreichende Versorgung in den Wassermangelgebieten jederzeit nach. Die für Versorgungsbereiche in Nord- und Ostbayern zur Verfügung stehenden Talsperren Mauthaus und Frauenau wiesen 2018 stets ausreichende Füllstände auf (die Niederschläge im darauffolgenden Winterhalbjahr 2018/2019 füllten die Talsperren wieder vollständig, siehe 2.4.3 und 2.4.4).

Aufgrund der Trockenheit kam es zu vereinzelt, lokal beschränkten temporären Engpässen in der Trinkwasserversorgung. In den betroffenen Bereichen ergingen vorsorglich Aufrufe an die Bevölkerung zum Wassersparen, teilweise verbunden mit Einschränkungen des Wassergebrauchs, z. B. Verbot von Autowäsche, Gartengießen oder Befüllen von Swimmingpools. In einigen Fällen – betroffen waren eher kleinere Wasserversorgungsanlagen, in der Mehrheit mit Quellwassernutzung – musste Trinkwasser zugeführt werden, z. B. mittels Tankwagen oder Notleitungen. Auch wurden in manchen Fällen stillgelegte Wasserfassungen vorübergehend in Betrieb genommen.

Um einen konkreteren Überblick zu erhalten, führte das Bayer. Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Februar 2019 bei allen öffentlichen Trinkwasserversorgern Bayerns mit eigener Wassergewinnung eine Umfrage zur Sicherheit der Trinkwasserversorgung im Jahr 2018 durch. An der Umfrage, bei der ausschließlich standardisierte Antworten möglich waren, beteiligten sich knapp 50 % der öffentlichen Trinkwasserversorger, die Angaben zu etwa 40 % der in Bayern betriebenen öffentlichen Trinkwasserversorgungsanlagen machten. Inwieweit die Umfrageergebnisse repräsentativ für Bayern sind, ist schwer abschätzbar. Zumindest zwei weitere Fälle mit zeitweilig problematischer Versorgungssicherheit wurden im Jahr 2018 bekannt, zu denen keine Rückmeldungen im Rahmen der Umfrage erfolgten.

Die Rückmeldungen der Trinkwasserversorger zur Umfrage ergaben:

- Für die überwiegende Mehrheit der Trinkwasserversorgungsanlagen (~82 %) war die Versorgungssicherheit im Jahr 2018 sichergestellt, d. h. es gab keine mengenkritische Einschränkung der Brunnenförderleistungen oder Schüttmengen bei Quellen. Bei rund 15 % der Anlagen war die Versorgungssicherheit noch sichergestellt, d. h. es traten dort geringe mengenmäßige Einschränkungen im Tagesverlauf auf, die noch ausgeglichen werden konnten, z. B. durch Erhöhung des Fremdbezugs.
- Bei etwa 2,5 % der Anlagen war die Versorgungssicherheit zeitweise gefährdet (d. h. es erfolgten zur Abdeckung von Bedarfsspitzen gelegentlich Wasserbezüge mittels Tankwagen oder Notleitungen bzw. es wurden zeitweise stillgelegte Wasserfassungen aktiviert) oder nicht mehr gegeben (d. h. es erfolgten regelmäßige Wasserbezüge mittels Tankwagen oder Notleitungen). Hier-von betroffen waren rund 42.000 Einwohner. Es handelte sich überwiegend um kleinere Anlagen, die mehrheitlich in Ostbayern und im Allgäu lagen, wo der Anteil kleiner und kleinster Trinkwas-serversorgungsanlagen überdurchschnittlich hoch ist.
- Die Versorgungssicherheit von Trinkwasserversorgungsanlagen, bei denen sich die Wasserge-winnung auf Quellen stützte, war anteilig problematischer als bei Anlagen mit Brunnennutzung. Im Jahr 2018 problematische Anlagen wiesen bereits in den letzten 10 Jahren zuvor tendenziell überdurchschnittlich häufig auch selten oder wiederholt aufgetretene Einschränkungen in der Versorgungssicherheit auf.
- Bei etwa einem Drittel der Trinkwasserversorgungsanlagen ergaben sich im Jahr 2018 neue Tiefststände der Brunnenruhe- und -betriebswasserspiegel bzw. Niedrigstwerte in der Quellschüt-tung. Bei drei Viertel der Anlagen zeigten sich auf Grund der bis Februar 2019 eingetretenen Nie-derschläge wieder steigende Wasserspiegel bzw. Quellschüttungen.
- Bei rund 40 % der Trinkwasserversorgungsanlagen sahen die Wasserversorger zusätzliche Maß-nahmen für erforderlich. Am häufigsten wurde genannt, dass – aus wasserwirtschaftlicher Sicht sehr zu begrüßen – die Wasserverluste reduziert werden sollen, gefolgt von der Schaffung von Versorgungsverbänden und dem Ausbau der Eigengewinnung. Bei einem sehr hohen Anteil die-ser Anlagen befanden sich Maßnahmen nach den Angaben der Wasserversorger bereits in Pla-nung oder Umsetzung.
- Wenn im Jahr 2019 erneut ein Trockenjahr folgen sollte, wurde nach Einschätzung der Wasser-versorger eine Verschärfung der Situation erwartet. So prognostizierten die Wasserversorger dann einen Anteil von etwa 21,4 % der Trinkwasserversorgungsanlagen mit evtl. Versorgungs-problemen.

Infolge des Trockenjahres 2018 wurde im Allgäu beobachtet, dass bei Einzelanwesen oder kleinen Ortsteilen, die bisher mit eigenen Wassergewinnungen versorgt wurden, vermehrt ein Anschluss an öffentliche Wasserversorgungsanlagen angestrebt wurde.

2.3.5 Trinkwasserversorgung im Jahr 2019

Im Jahr 2019, in dem zwar die Jahresniederschläge gegenüber dem langjährigen Mittel 1971–2000 unterdurchschnittlich ausfielen (siehe 1.1), jedoch nicht an das außergewöhnliche Extrem des Jahres 2018 heranreichten, wurden nur wenige vereinzelte Schwierigkeiten bei der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in den Sommermonaten bekannt. Die von Dezember 2018 bis März 2019, aber auch im Mai 2019 überdurchschnittlichen Niederschläge wirkten sich günstig auf die Grundwassersitu-ation und damit auch auf die Trinkwasserversorgung aus. Trotz unterdurchschnittlicher Jahresnieder-schläge trat insofern die von den Wasserversorgern bei der o. g. Umfrage prognostizierte Verschär-fung der Situation 2019 nicht ein.

So wurden lediglich in einigen Bereichen, z. B. in Oberfranken oder in der Oberpfalz, zeitweise geringe Schüttungen genutzter Quellen beobachtet. In wenigen Fällen ergingen dort vorsorgliche Aufrufe zum Wassersparen bzw. wurden Anordnungen zum Wassersparen mit z. B. Verbot von Autowäsche, Gartengießen oder Befüllen von Swimmingpools, erlassen. In einigen Ortsteilen zweier Gemeinden in Mittelfranken mit rund 750 betroffenen Einwohnern mussten zeitweise Trinkwasserbezüge mittels Tankwagen erfolgen, in einigen anderen Fällen wurden stillgelegte Wasserfassungen vorübergehend wieder in Betrieb genommen. Für die o. g. Ortsteile in den zwei Gemeinden Mittelfrankens ist als Abhilfe der Verbund mit der Fernwasserversorgung vorgesehen.

2.3.6 Staatliche Maßnahmen (Beispiele)

Im Jahre 2016 wurde die erste Runde der bayernweiten Erhebung und Bewertung der öffentlichen Trinkwasserversorgung abgeschlossen. Der Prognosezeitraum der Betrachtungen war bis zum Jahr 2025. Die Ergebnisse wurden von den Regierungen in Wasserversorgungsbilanzen zusammengefasst und veröffentlicht. Beschrieben sind u. a. Handlungsempfehlungen zur Verbesserung bzw. Optimierung der Versorgungssituation. Damit die Trinkwasserversorgung auch darüber hinaus hinreichend mit Blick auf Herausforderungen wie die Auswirkungen des Klimawandels, der Erhalt der Grundwasserqualität etc. gewappnet ist, wird unter Mitwirkung der Wasserversorger ab dem Jahr 2020 bis voraussichtlich 2026 eine zweite Runde der Erhebung und Bewertung der öffentlichen Trinkwasserversorgung – auch der überregionalen Systeme – von der Wasserwirtschaftsverwaltung durchgeführt.

Auch finanziell unterstützt der Freistaat Bayern die Wasserversorger bei der Optimierung der Versorgungssicherheit von Trinkwasserversorgungsanlagen. Auf Grundlage der RZWas 2018 wird die erstmalige Errichtung von Verbundleitungen gefördert und zwar unabhängig vom Vorliegen eines „Härtefalls“ des Wasserversorgers. Die finanzielle Förderung von Sanierungen z. B. von Trinkwasserleitungen ist möglich, wenn Härtefallsschwellen nach RZWas überschritten werden. Am 09.07.2020 beschloss der Bayerische Landtag die Weiterführung des derzeit bis 2021 befristeten Förderprogramms um zumindest für weitere 4 Jahre. Details der zukünftigen Förderung sind offen.

Um die Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit für den Erhalt und die Sanierung von Trinkwasserleitungen (und Abwasserkanälen) zu sensibilisieren, wurde die Kampagne „Schau auf die Rohre“ gestartet (siehe z. B. den Internetauftritt unter „<https://www.schaudrauf.bayern.de>“). Ziel der seit 2015 auf ganz Bayern ausgeweiteten Aktion Grundwasserschutz (siehe z. B. den Internetauftritt unter <https://www.grundwasserschutz.bayern.de/index.htm>) ist es, den Wert des Grundwassers in der Öffentlichkeit zu verdeutlichen und aufzuzeigen, wie die Qualität des Grundwassers bewahrt werden kann. Modellprojekte, wie z. B. das „Wasserschutzbrot“, und Informationskampagnen, die sich z. B. gezielt an Schüler oder Landwirte richten, begleiten die Aktion.

2.3.7 Fazit

Insgesamt kann die öffentliche Trinkwasserversorgung für Bayern – auch künftig – als gesichert angesehen werden. Schwachpunkte gilt es – u. a. im Rahmen der zweiten Runde der bayernweiten Erhebung und Bewertung der öffentlichen Trinkwasserversorgung – zu erkennen und zu beseitigen.

In Wassermangelgebieten bewährten/bewähren sich Fernwasserversorgungen oder Kooperationen mit leistungstarken örtlichen Wasserversorgungsunternehmen.

Als Voraussetzung für eine auch künftig sichere Trinkwasserversorgung kommt dem Schutz der Wasserressourcen hinsichtlich Menge und Qualität besondere Bedeutung zu.

2.4 Speicherbewirtschaftung und Überleitung

Bei den 26 staatlichen Wasserspeichern handelt es sich um große Stauanlagen, die verschiedene wasserwirtschaftliche Funktionen erfüllen. Mit einem Hochwasserrückhalteraum von insgesamt 200 Mio. m³ stellen die Talsperren und Rückhaltebecken zusammen mit dem Flutpolder Weidachwiesen das zentrale Element für ein übergebietlich wirkendes Hochwassermanagement dar.

Neben der Hochwasserschutzfunktion leisten die staatlichen Wasserspeicher mit einem Betriebsraum von 180 Mio. m³ bei Niedrigwasser einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung des Abflussregimes in den Gewässerstrecken unterhalb der Anlagen. An den Trinkwassertalsperren Mauthaus und Frauenau dienen die Betriebsräume vorrangig der Trinkwasserversorgung für die Bevölkerung in Oberfranken und im Bayerischen Wald.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über diejenigen Talsperren, die regelmäßig die Hauptlast der Niedrigwasseraufhöhung tragen. Dabei wurde die maximale Beanspruchung der Betriebsräume im Kalenderjahr 2015 den Jahren 2018 und 2019 gegenübergestellt.

Tab. 9: Überblick über maximale Beanspruchungen der Talsperren mit Niedrigwasseraufhöhungsfunktion für die Jahre 2015, 2018 und 2019

Name der Talsperre	Verfügbarer Betriebsraum für Niedrigwasser im Sommerhalbjahr [Mio. m ³]	Maximal beanspruchter Betriebsraum [Mio. m ³] (Prozentwert vom verfügbaren Betriebsraum)		
		2015	2018	2019
Sylvensteinseer	28,04	7,60 (26,2 %)	12,71 (44,8 %)	2,79 (8,8 %)
Ellertshäuser See	1,36	0,12 (9,8 %)	0,13 (9,8 %)	0,21 (15,0 %)
Liebensteinspeicher	1,28	0,76 (59,1 %)	1,13 (88,3 %)	0,19 (15,0 %)
TWT Mauthaus	19,52	7,15 (36,6 %)	8,61 (44,1 %)	7,06 (36,2 %)
Eixendorfer See	3,80	1,98 (43,7 %)	1,44 (27,2 %)	0,13 (3,3 %)
Förmitztalsperre	8,37	4,59 (54,8 %)	6,64 (79,4 %)	5,00 (59,8 %)
TWT Frauenau	20,72	8,42 (40,6 %)	7,87 (38,0 %)	7,38 (35,6 %)
Rottachsee	19,85	3,38 (17,0 %)	10,97 (55,2 %)	0,4 (2,0 %)
Altmühlsee	5,80	2,23 (37,8 %)	2,23 (37,8 %)	1,29 (22,2 %)
Großer Brombachsee	56,23	35,91 (36,1 %)	42,28 (75,2 %)	22,57 (40,1 %)
Rothsee	7,95	6,53 (82,1 %)	6,32 (79,5 %)	2,64 (33,1 %)

Für die Jahre 2018 und 2019 wird der Speicherbetrieb anhand des Überleitungssystems Donau-Main zusammen mit dem Sylvensteinsee und den beiden Trinkwassertalsperren beispielhaft betrachtet.

2.4.1 Überleitung Donau-Main

Das Überleitungssystem Donau-Main dient dem Ziel, die Gegensätze im Wasserdargebot zwischen Nord- und Südbayern auszugleichen. Dazu werden aus dem wasserreicheren Donaauraum im Mittel etwa 150 Mio. m³ Wasser über die europäische Wasserscheide in das wasserärmere Nordbayern transportiert. Vorrangiges Ziel ist die Niedrigwasseraufhöhung für Regnitz und Main.

Hierfür stehen der Main-Donau-Kanal mit Rothsee sowie die Überleitung von Altmühlhochwasser aus dem Altmühlsee in den Kleinen und Großen Brombachsee als sich ergänzende Teilsysteme zur Verfügung. Mit rund 125 Mio. m³ trägt die Kanalüberleitung mit Donauwasser den Hauptanteil. Eine Abgabe aus dem Brombachsee ist immer dann erforderlich, wenn die Kanalüberleitung bei niedrigem Donauabfluss ausfällt. Der Bewirtschaftungsplan sieht vor, den Abfluss der Regnitz am Pegel Hüttendorf auf 27 m³/s im Sommer und auf 22 m³/s im Winter zu erhöhen.

Auch in den Jahren 2018 und 2019 hat das Überleitungssystem seine Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt. Dabei wurde 2019 mit 234 Mio. m³ die bisher höchste Wassermenge seit Beginn der Überleitung in das Maingebiet transportiert.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Betriebsweise der Überleitung in den Jahren 2018 und 2019.

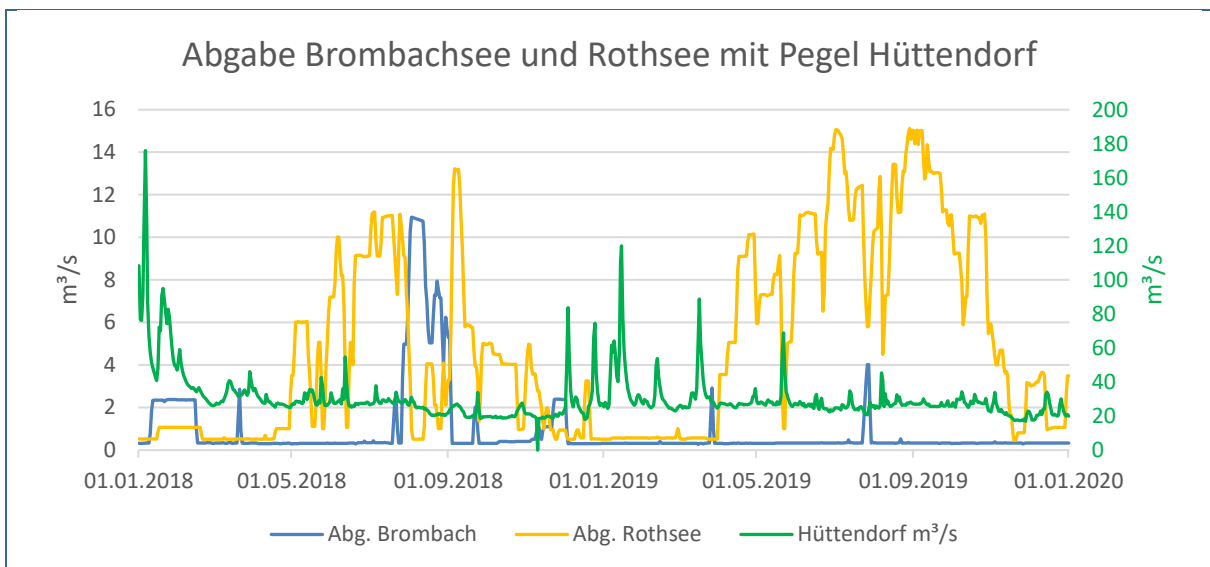


Abb. 46: Niedrigwasserbewirtschaftung am Pegel Hüttendorf /Regnitz

Aus der Abb. 46 sind die Unterschiede in der Speicherbewirtschaftung der beiden Jahre ersichtlich. Im Jahr 2018 war infolge der langanhaltenden Trockenheit auch im Süden Bayerns die Entnahme aus der Donau über mehrere Wochen nicht möglich. Im August sieht man deutlich den Anstieg der Abgabe aus dem Brombachsee, der die fehlende Entnahme aus der Donau planmäßig ersetzte. In Spitzenzeiten wurden hier bis zu 11 m³/s abgegeben. Das Niederschlagsdefizit im Jahr 2019 betraf dagegen vor allem Nordbayern. Die Abb. 46 zeigt hier eine bis auf wenige Tage kontinuierliche Wasserlieferung aus der Donau über den Rothsee in Richtung Maingebiet.

Der Steuerpegel Hüttendorf der Überleitung (in Abb. 46 auf der rechten Seite in Grün dargestellt) konnte durch das Zusammenwirken der beiden Speicher Brombachsee und Rothsee auf dem geforderten Niveau gehalten werden. Die Unterschreitung des festgelegten Abflusses war nur auf wenige Tage begrenzt.

2.4.2 Sylvensteinsee

Der Sylvensteinsee dient vorrangig dem Schutz des Isartales vor Hochwasser und verfügt über einen steuerbaren Hochwasserrückhalteraum von 60,7 Mio. m³. Neben dem Hochwasserschutz und der Erzeugung von Wasserkraftstrom stellt der Sylvensteinsee in Trockenzeiten die Aufhöhung des durch Ableitungen zu den Kraftwerken Walchensee und Achensee geschmälernten Isarabflusses sicher. Dabei wird die Abgabe so gesteuert, dass am Pegel Bad Tölz im Winterhalbjahr mindestens 10 m³/s und im Sommerhalbjahr mindestens 20 m³/s in der Isar abfließen.

Das Jahr 2018

Die vor Ort gemessene Niederschlagshöhe betrug 1.417 mm (Regen und Schnee) und lag damit 18 % unter dem langjährigen Mittelwert von 1.734 mm der Jahre 1960 bis 2017. Dieser Wert verdeutlicht die anhaltende Trockenheit des Jahres 2018. Die Monate Februar bis November fielen im Vergleich zum langjährigen Mittelwert der Jahre 1960 bis 2017 deutlich trockener aus. Diese 9 Monate waren gemittelt um 44,6 % niederschlagsärmer als die entsprechenden Monate im langjährigen Mittel. Die Wintermonate Januar und Dezember lagen dagegen deutlich über den langjährigen Mittelwerten. Im Januar wurde ein mehr als verdoppelter Wert (Zunahme von 107 %) erreicht.

Das Jahr 2019

Die im Jahr 2019 am Speicher gemessene Niederschlagshöhe betrug 1.702 mm (Regen und Schnee) und lag damit nur geringfügig unter dem langjährigen Mittelwert. Ebenso wurde mit 97,3 % der gemittelte Niederschlagswert der Zeitreihe 1960 bis 1990 nahezu erreicht. Einzeln betrachtet fällt auf, dass in den Monaten Januar (+ 112 % zum langjährigen Mittel) und Mai (+ 78 % zum langjährigen Mittel) die Niederschläge deutlich überdurchschnittlich ausfielen. Auf den niederschlagsreichen Mai folgte ein sehr niederschlagsarmer Juni mit lediglich 61 mm Niederschlag. Zugleich muss mit diesem Wert ein neues Minimum der gemessenen Juniwerte festgestellt werden.

Die Niedrigwasserbewirtschaftung konnte in beiden Jahren ohne größere Einschränkungen erfolgen. Dabei musste wiederholt die Abgabe erhöht werden, um den am Pegel Bad Tölz angestrebten Abfluss nicht zu unterschreiten. Die nachfolgende Abb. 47 zeigt die Bewirtschaftung des Sylvensteinsees anhand von Zufluss, Seepiegel, Abfluss und den Steuerpegel in Bad Tölz.

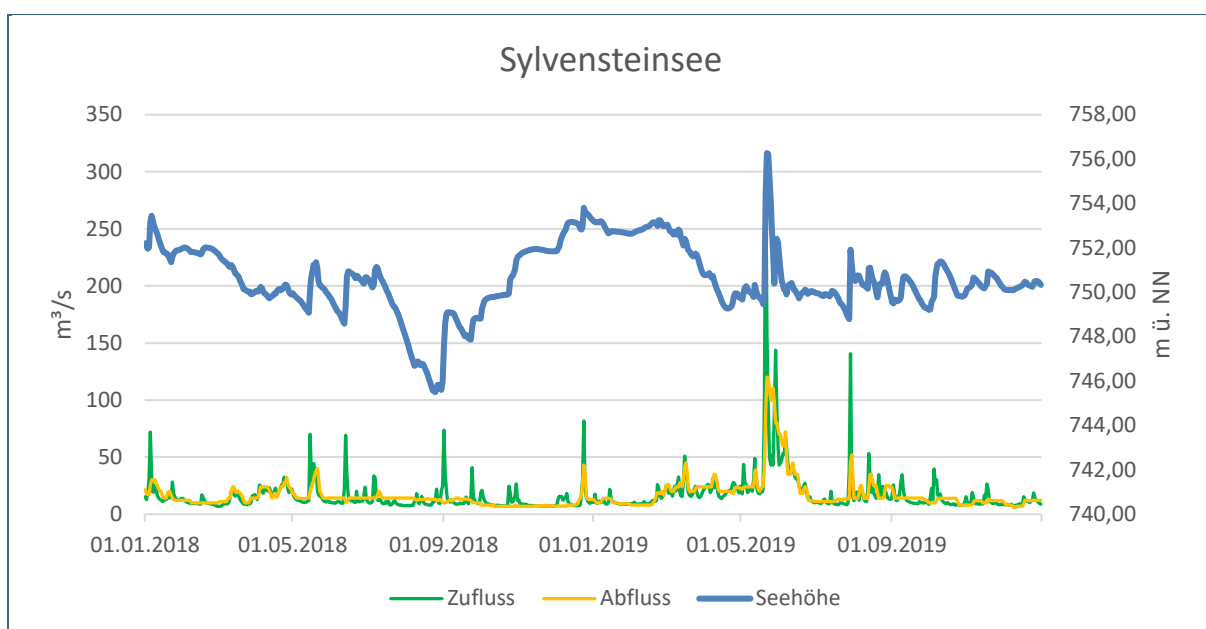


Abb. 47: Seepiegelreaktion infolge von Zu- und Abfluss

Die Abb. 47 lässt die stark unterschiedlichen Zuflüsse in den beiden Jahren deutlich erkennen. Aus der notwendigen Abgabe zur Stützung des Steuerpegels Bad Tölz resultierte im August 2018 eine Absenkung der Talsperre um etwa 7 m gegenüber dem Wasserstand bei Jahresbeginn. Im Jahr 2019 war diese Absenkung nicht erforderlich, da kontinuierliche Niederschläge den Zufluss stabil hielten.

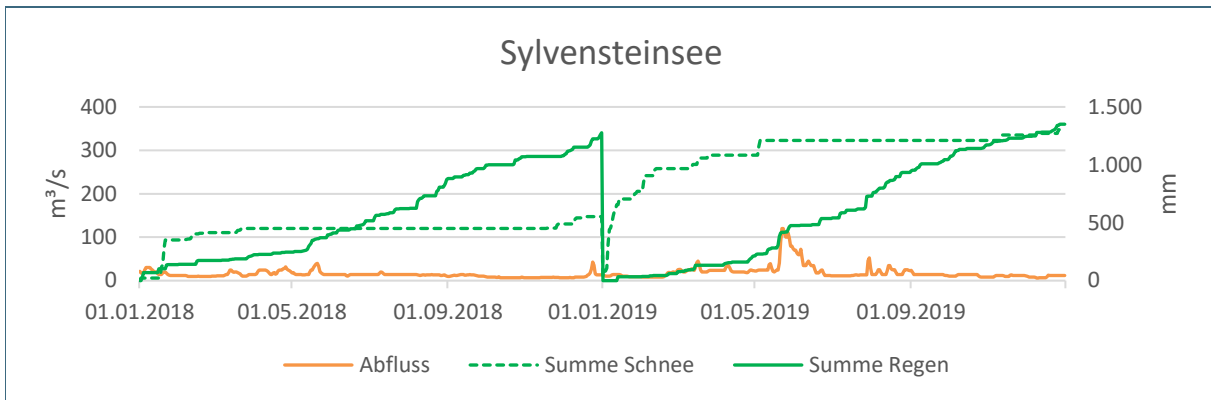


Abb. 48: Zufluss zum Sylvensteinsee

Neben den geringen Niederschlägen resultierte die Speicherabsenkung 2018 auch aus dem niedrigen Zufluss aus der Schneeschmelze. Die Summenlinie der Schneeschmelze in Abb. 48 zeigt für 2018 147 mm und für das Jahr 2019 347 mm. Die Summe der Niederschläge mit 1.270 mm bzw. 1.390 mm waren dagegen annähernd ergiebig.

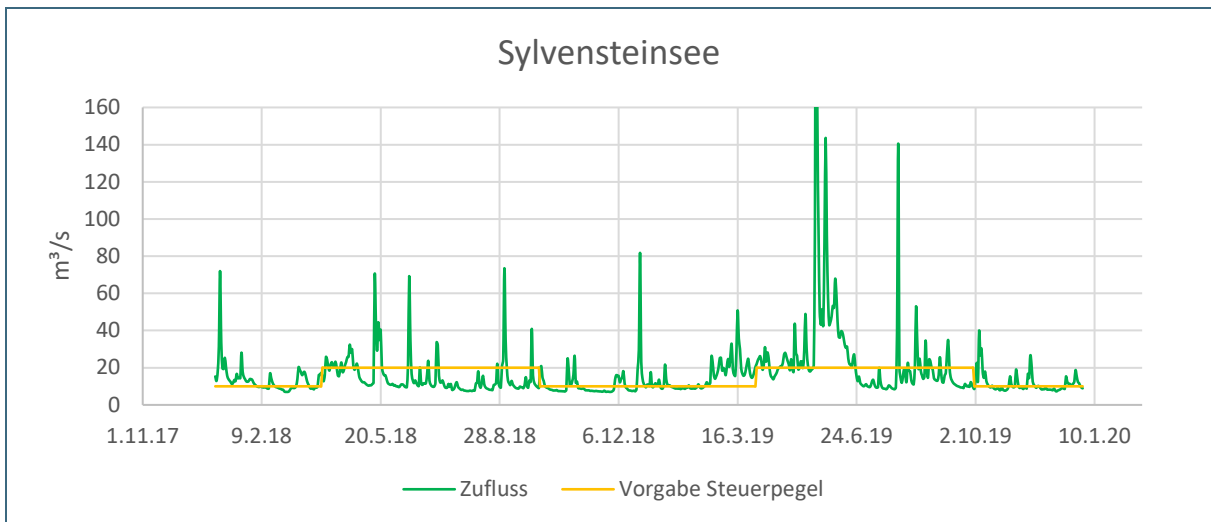


Abb. 49: Zufluss Sylvensteinsee und Zielabfluss am Steuerpegel Bad Tölz

Die Abb. 49 für den Abfluss bei Bad Tölz dokumentiert, dass der Mindestabfluss in der Isar ohne den Sylvensteinsee über einen längeren Zeitraum unterschritten worden wäre. Durch die Stützung des Abflusses konnte eine Unterschreitung der Mindestwasserführung (10 m³/s in Winter und Herbst sowie 20 m³/s in Frühjahr und Sommer) auf ein Minimum begrenzt werden.

2.4.3 Trinkwassertalsperre Mauthaus

Die Trinkwassertalsperre Mauthaus stellt eine Rohwasserlieferung von bis zu 16 Mio. m³/Jahr an die Fernwasserversorgung Oberfranken (FWO) sicher. Dafür steht ein Betriebsraum inklusive Reserverraum von 19,52 Mio. m³ zur Verfügung. Die durchschnittliche jährliche Liefermenge aus der Talsperre beträgt rund 12 Mio. m³. Neben Hochwasserschutz und Erzeugung von Wasserkraftstrom dient die Talsperre auch zur Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse in der Rodach.

Das Jahr 2018

Das Jahr 2018 war in vielerlei Hinsicht ein Rekordjahr für die Talsperre. So wurden erstmals über 13 Mio. m³ Rohwasser an die FWO geliefert. Im Juli und August wurden an vielen Tagen über 50.000 m³ zur Aufbereitungsanlage nach Rieblach weitergegeben. Die Niederschlagsmenge lag im Gesamtjahr bei nur 716,7 mm und damit über 300 mm (31 %) niedriger als der langjährige Niederschlagsmittelwert von 1.038 mm. Der Mindestwasserabfluss 70 l/s im Unterwasser der Talsperre konnte ganzjährig gewährleistet werden. Im August und September wurde zur Aufhöhung der Niedrigwasserabflüsse in der Rodach – hier darf der Abfluss von 225 l/s nicht unterschritten werden – die Abgabe für mehrere Wochen auf bis zu 120 l/s erhöht. Damit wurde der Abfluss der Rodach um über 50 % erhöht.

Infolge der hohen Abgabemengen und der gleichzeitig sehr geringen Zuläufe fiel der Seepiegel im Verlauf des Jahres 2018 um über 11 Meter. Das entspricht einem Wasservolumen von 8,61 Mio. m³. Der Füllgrad des Betriebsraums betrug noch 55,9 %.

Das Jahr 2019

Im Jahr 2019 wurde mit 837 mm erneut ein unterdurchschnittlicher Jahresniederschlag aufgezeichnet. Der Gesamtzufluss lag mit 18,7 Mio. m³ ca. 3 Mio. m³ über dem Wert von 2018. Die Abgabe an das Gewässer fiel durch die erhöhten Niederschläge mit 2,7 Mio. m³ deutlich geringer aus als im Vorjahr. Die Trinkwasseraufbereitung wurde wieder mit knapp 13 Mio. m³ Rohwasser beliefert.

Um den Niedrigwasserabfluss der Rodach zu stützen, wurde von Anfang Juli bis Ende September die Abgabe auf 100 l/s erhöht. Gegenüber der regulären Mindestabgabe wurde die Talsperre damit um rund 220.000 m³ zusätzlich beansprucht.

Im Tagesmittel schwankte die Rohwasserabgabe im Bereich zwischen 314 und 665 l/s. Als höchste Tagesmenge wurden im August 57.000 m³ an die FWO abgegeben. Insgesamt wurde die Trinkwasseraufbereitung mit 12,7 Mio. m³ beliefert.

Sowohl 2018 als auch 2019 konnte die Trinkwassertalsperre Mauthaus in vollem Umfang die Aufgabe der Niedrigwasseraufhöhung für die Rodach sowie die Rohwasserabgabe an den ZV FWO sicherstellen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Zufluss, Abfluss, Seehöhe sowie die Niederschlagssummen an der Trinkwassertalsperre Mauthaus.

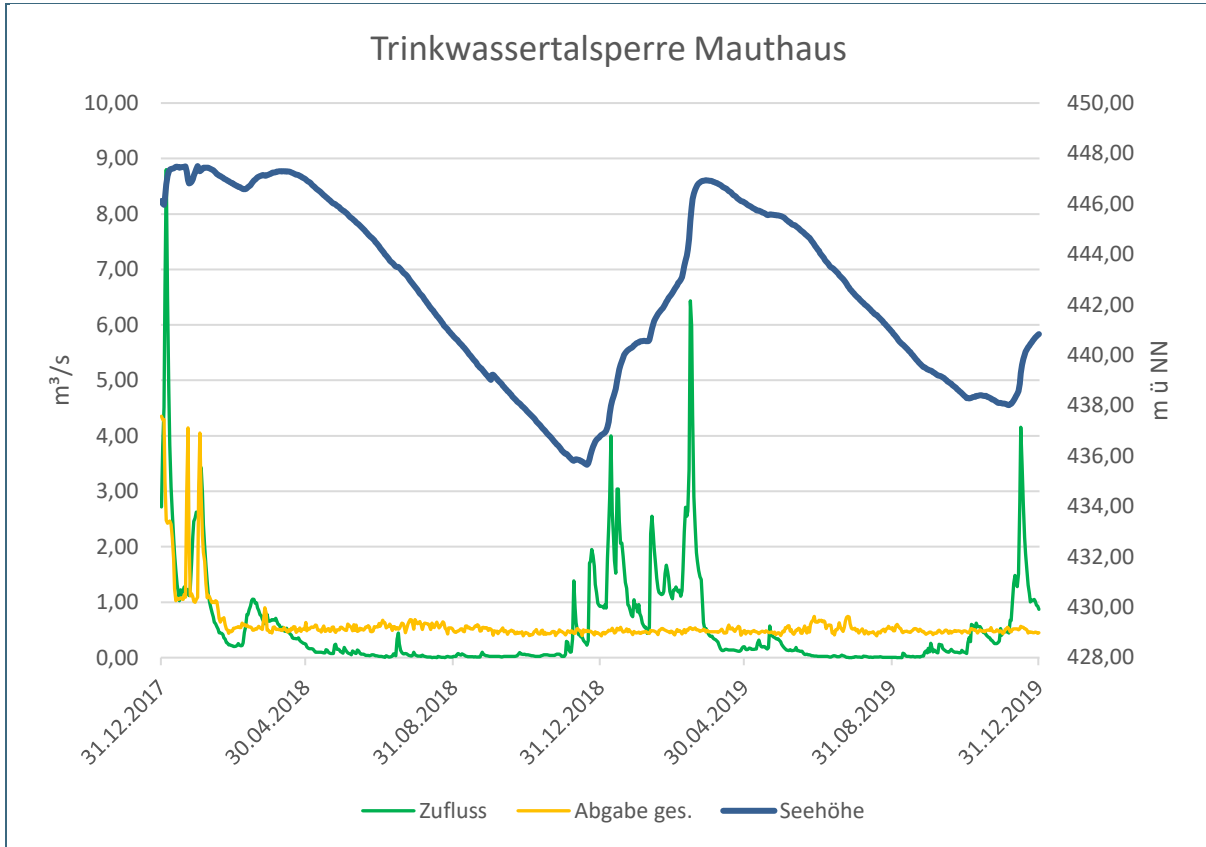


Abb. 50: Seepiegel mit Zufluss und Gesamtabgabe (Rohwasser und Unterwasserabfluss) an der TWT Mauthaus

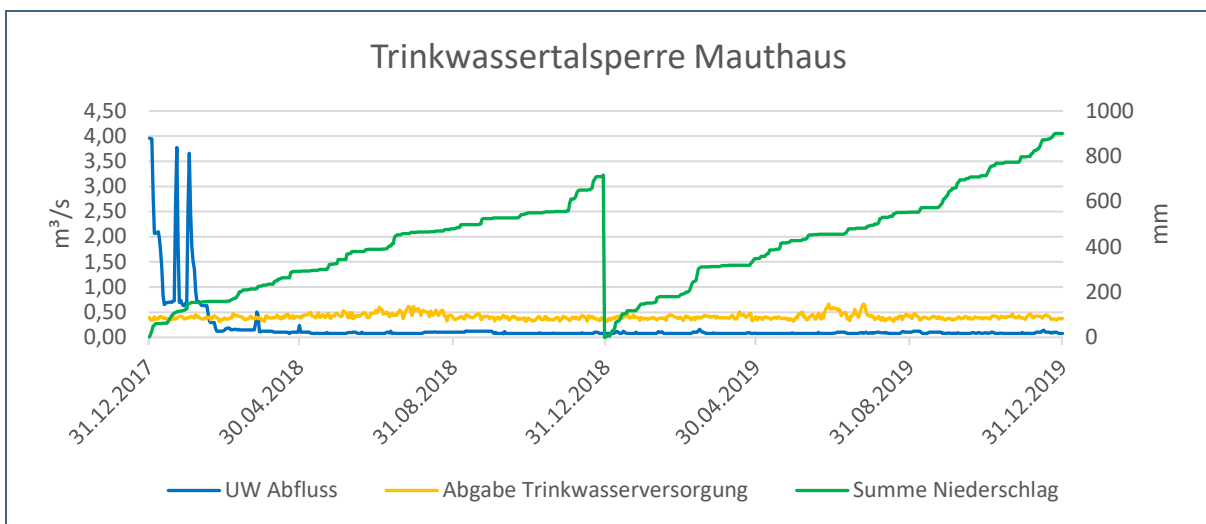


Abb. 51: Niederschlag, Unterwasserabfluss und Abgabe an die Trinkwasserversorgung

2.4.4 Trinkwassertalsperre Frauenau

Die Trinkwassertalsperre Frauenau versorgt weite Teile des Bayerischen Waldes bis nach Deggen-
dorf mit zusätzlichem Trinkwasser. Mit einem Betriebsraum von 20,72 Mio. m³ stellt sie für die Fern-
wasserversorgung Bayerischer Wald (WBW) eine Rohwasserlieferung von bis zu 15 Mio. m³/Jahr si-
cher. Neben Hochwasserschutz und Erzeugung von Wasserkraftstrom dient die Talsperre auch zur
Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse des Kleinen Regen.

Das Jahr 2018

Der Jahresniederschlag lag 2018 mit 1.002 mm rund 19 % unterhalb des langjährigen Jahresdurch-
schnitts. Dementsprechend wurde auch das langjährige Mittel für den Zufluss zur Talsperre von
1,04 m³/s mit einem Wert von 0,85 m³/s deutlich unterschritten. In den Monaten Mai bis November
nahmen die Zuflüsse stetig ab und erreichten im November mit 0,24 m³/s den niedrigsten Wert.

Ein kurzes Niederschlagsereignis im März leitete die Schneeschmelze im Einzugsgebiet ein. Der
Speicher erreichte im Mai seinen Jahreshöchststand von 766,77 m ü. NN (23 cm unterhalb des Stau-
ziels). Die bis in den November andauernde Trockenperiode führte in Kombination mit einer hohen
Rohwasserabgabe an den ZV WBW zu einer Abnahme des Speicherpegels bis auf 758 m ü. NN. Ein
ausgeprägtes Niederschlagsereignis zum Monatswechsel November/Dezember leitete für den stetig
gefallenen Seepiegel die Trendumkehr ein.

Die Trinkwasserversorgung konnte trotz des zum Teil geringen Speicherzuflusses ohne Einschrän-
kung aufrechterhalten werden. Mit fortschreitendem Sommer nahm die Rohwasserabgabe stetig zu.
So wurden zwischen Mitte Juli und Mitte August im Tagesmittel mehr als 400 l/s zur Trinkwasserauf-
bereitungsanlage Flanitz abgeleitet. Der höchste Wert wurde im August mit 513 l/s erreicht, bei einem
Jahresmittelwert von 345 l/s. Die geforderte Abgabe an den Kleinen Regen von 200 l/s wurde dabei
zu keiner Zeit unterschritten. Die geringste Unterwasserabgabe betrug im Dezember 239 l/s.

Das Jahr 2019

Im Jahr 2019 wurde mit 1.107 mm erneut ein unterdurchschnittlicher Jahresniederschlag aufgezeich-
net. Mit einem mittleren Zufluss von 0,91 m³/s ist das Jahr 2019 noch als „trockenes Abflussjahr“ an-
zusprechen. Der September war mit 0,30 m³/s der Monat mit dem geringsten Zufluss. Das höchste
Monatsmittel beim Zufluss mit 2,90 m³/s wies aufgrund der Schneeschmelze der April auf.

Im April wurde auch der Jahreshöchststand des Speicherpegels von 767,12 m ü. NN erreicht. Im wei-
teren Jahresverlauf führten die trockenen und warmen Sommermonate mit geringen Talsperren-Zu-
flüssen sowie hohen Rohwasserabgaben an den ZV WBW zu einem kontinuierlichen Absinken des
Speicherpegels. Nach einer Niederschlagsperiode Anfang Oktober 2019 blieben größere Nieder-
schläge bis zum Jahresende aus.

Im Vergleich zum Vorjahr wurde der maximale Rohwasserbedarf zur Trinkwasseraufbereitung schon
Mitte bis Ende Juli erreicht. Der Spitzenwert lag bei 474 l/s. Weiterhin ist festzustellen, dass die
400 l/s-Marke nur an wenigen Sommertagen im Jahr erreicht wurde. Die mittlere Rohwasserabgabe
lag mit 336 l/s nur geringfügig unter dem Vorjahreswert. Die geforderte Abgabe an den Kleinen Regen
von 200 l/s wurde auch in diesem Jahr zu keiner Zeit unterschritten. Dabei wurde die niedrigste Unter-
wasserabgabe im August mit 377 l/s erreicht.

Die nachfolgende Abb. 52 zeigt für die Jahre 2018 und 2019 den Zufluss und die Gesamtabgabe so-
wie den Seewasserstand der Trinkwassertalsperre Frauenau.

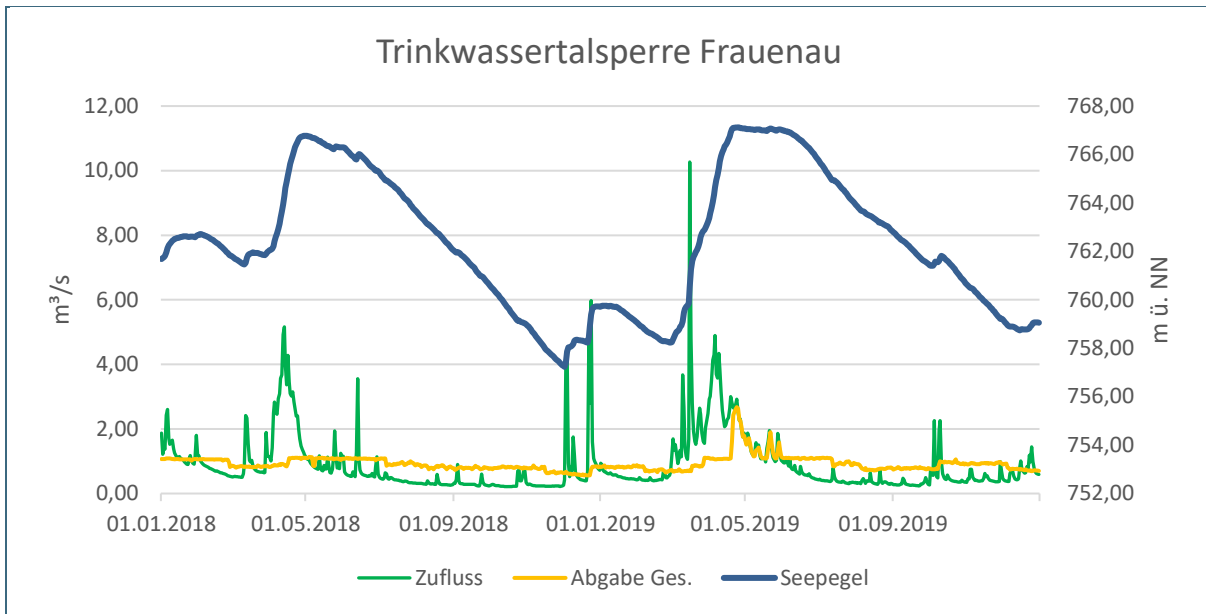


Abb. 52: Seepegel mit Zufluss und Gesamtabgabe (Rohwasser und Unterwasserabfluss) an der TWT Frauenau

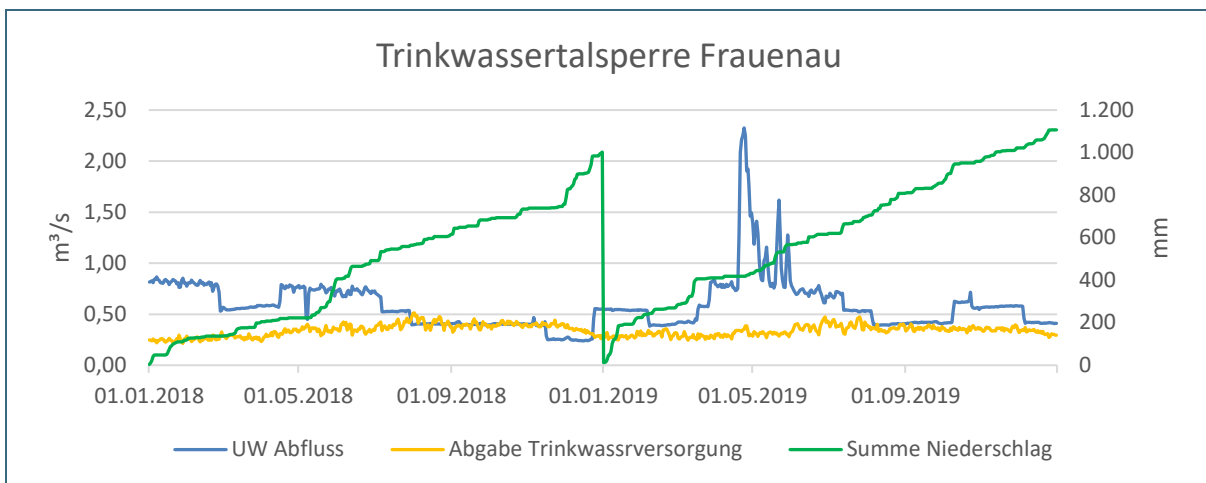


Abb. 53: Niederschlag und Rohwasserabgabe an der Trinkwassertalsperre Frauenau

In der obigen Abb. 53 ist die Wasserführung des Kleinen Regen mit der Speicherabgabe an die Trinkwasserversorgung und der Summenlinie des Niederschlags dargestellt.

2.4.5 Fazit und Ausblick

In den Jahren 2018 und 2019 wurden die staatlichen Wasserspeicher neben ihren weiteren Funktionen in besonderem Maße durch den Betrieb zur Niedrigwasseraufhöhung der nachfolgenden Fließgewässer beansprucht. Auf Grundlage der Betriebspläne konnten alle Anlagen den Anforderungen zur Stabilisierung der Abflussverhältnisse gerecht werden. Die verfügbaren Betriebsräume wurden dabei bis zu über 80 % entleert, die Leistungsgrenzen aber noch nicht erreicht. Für eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird es notwendig, mögliche Erweiterungen der Betriebsräume zu prüfen und geeignete Abgabestrategien für eine Fortschreibung der Betriebspläne zu entwickeln.

3 Ökologische Situation

3.1 Wassertemperatur Fließgewässer

3.1.1 Situation in den Jahren 2018 und 2019

Der Verlauf der Wassertemperaturen in den Jahren 2018 und 2019 an den Pegeln des Temperaturmessnetzes war aufgrund der ausgeprägten Hitzeperioden in beiden Jahren von einer Vielzahl neuer Höchstwerte geprägt. Aufgrund der Trockenheit waren einzelne Wassertemperaturmessstellen an kleineren Fließgewässern trockengefallen (Abb. 54).



Abb. 54:
Messsteg mit Radarsensor über dem trockengefallenen Flussbett der Kirnach am Pegel Unterhingau am 09.08.2018

3.1.1.1 Jahreshöchstwerte

Für die Betrachtung der Wassertemperatur wurden 122 Messstellen an Fließgewässern herangezogen, bei denen der Beobachtungszeitraum mindestens fünf Jahre oder mehr umfasst. 87 Stationen stammen aus dem Donauebiet, 33 aus dem Main- und zwei aus dem Elbegebiet. Die Spannweite der Jahreshöchstwerte 2018 und 2019 der Wassertemperatur an den Flusspegeln bewegte sich zwischen 11,0 °C (niedrigster Jahreshöchstwert am 16.08.2018) am Pegel Mittenwald/Isar und 30,8 °C (höchster Jahreshöchstwert am 02.08.2018) am Pegel Straubing/Donau.

In den Abb. 55 und Abb. 56 sind in den beiden Karten jeweils die Wassertemperaturmessstellen an Flüssen in Bayern eingezeichnet zusammen mit dem jeweils höchsten Temperaturwert, der in den beiden Jahren 2018 und 2019 erfasst worden ist.

Zusätzlich sind die Messstellen in zwei Klassen unterteilt. Als orange Punkte sind die Messstellen abgebildet, an denen in 2018 oder 2019 ein neuer Jahreshöchstwert seit Beobachtungsbeginn ermittelt worden ist, als blaue Punkte werden die Pegel dargestellt, an denen kein neuer Jahreshöchstwert seit Beobachtungsbeginn aufgezeichnet worden ist.

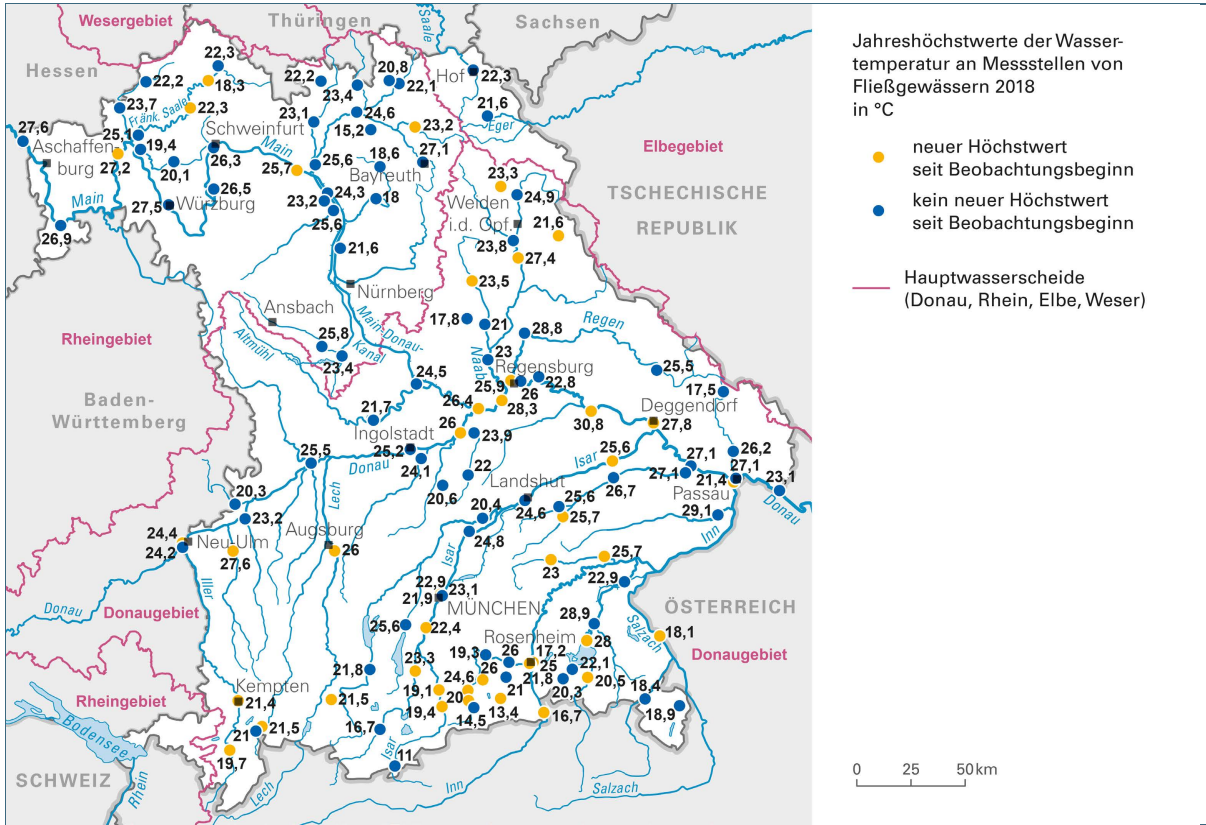


Abb. 55: Wassertemperaturmessstellen an Fließgewässern mit den Jahreshöchstwerten 2018

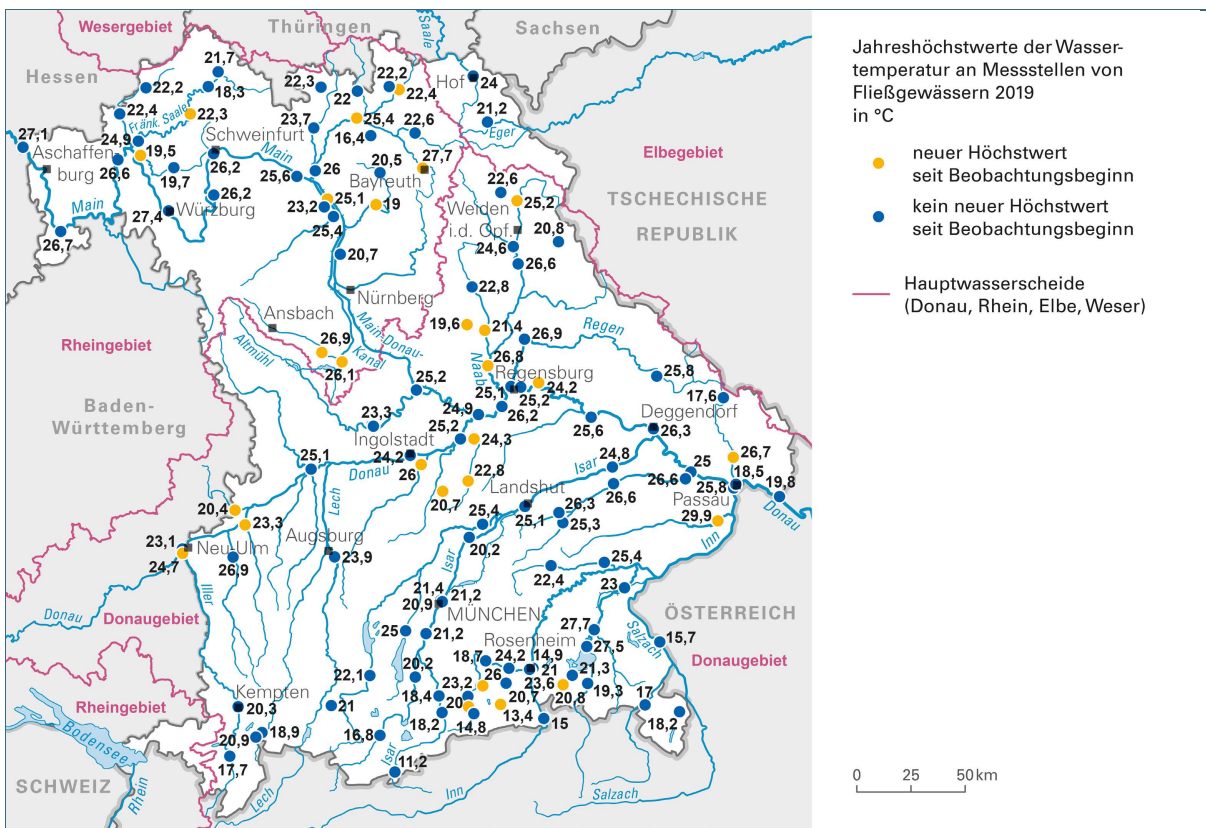


Abb. 56: Wassertemperaturmessstellen an Fließgewässern mit den Jahreshöchstwerten 2019

Im Jahr 2018 wurde an 44 Pegeln (36 %) ein neuer Höchstwert bei der Wassertemperatur seit Beobachtungsbeginn gemessen, 2019 an 27 Messstellen (22 %). An vier Stationen wurde in beiden Jahren der identische Höchstwert erreicht, weswegen diese Messstellen auch für beide Jahre mit einem neuen Höchstwert gezählt worden sind.

Betrachtet man die beiden Jahre 2018 und 2019 zusammen, so zeigt sich, dass an über der Hälfte der Temperaturmessstellen an Flüssen in Bayern ein neuer Höchstwert seit Beobachtungsbeginn erreicht worden ist.

3.1.1.2 Jahresmittelwerte

Zur Einordnung der Temperaturverläufe an Fließgewässern der Jahre 2018 und 2019 sowie der Temperaturentwicklung über einen längeren Zeitraum sind exemplarisch die Jahresmittelwerte des Main am Pegel Kemmern (Landkreis Bamberg/Oberfranken) für den Beobachtungszeitraum 1981 bis 2019 (39 Jahre) aufgetragen (Abb. 57). Zusätzlich sind der höchste und der niedrigste Jahresmittelwert im Beobachtungszeitraum farblich hervorgehoben.

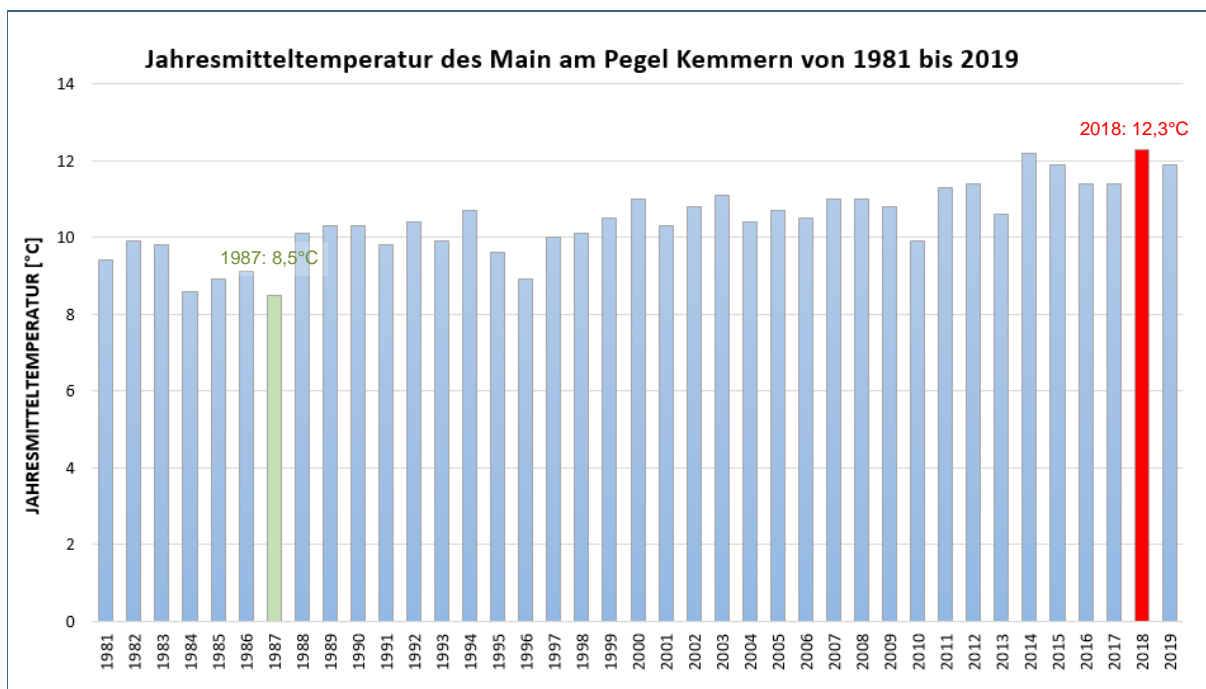


Abb. 57: Jahresmitteltemperatur des Main am Pegel Kemmern seit 1981

Die Jahresmitteltemperatur hat 2018 mit 12,3 °C einen neuen Höchstwert seit Beobachtungsbeginn erreicht. An dieser Messstelle traten 17 der 20 höchsten Jahresmitteltemperaturen seit 2000 auf. Die Temperaturdifferenz zwischen dem niedrigsten (1987: 8,5 °C) und dem höchsten Jahresmittelwert (2018:12,3 °C) beträgt 3,8 °C.

Bei Betrachtung der Temperaturwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum von 39 Jahren ist ein signifikanter Anstieg der Jahresmitteltemperaturen am Main am Pegel Kemmern erkennbar.

3.1.1.3 Tagesmittelwerte

Zur Einschätzung der Temperaturverläufe sind exemplarisch die Temperaturtagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern der Jahre 2018 und 2019 vor dem Hintergrund der Gesamtschwankungsbreite aller Jahre seit 1981 eingebettet (Abb. 58). Dabei wird die Schwankungsbreite durch das jeweilige tägliche Tagesminimum und Tagesmaximum definiert.

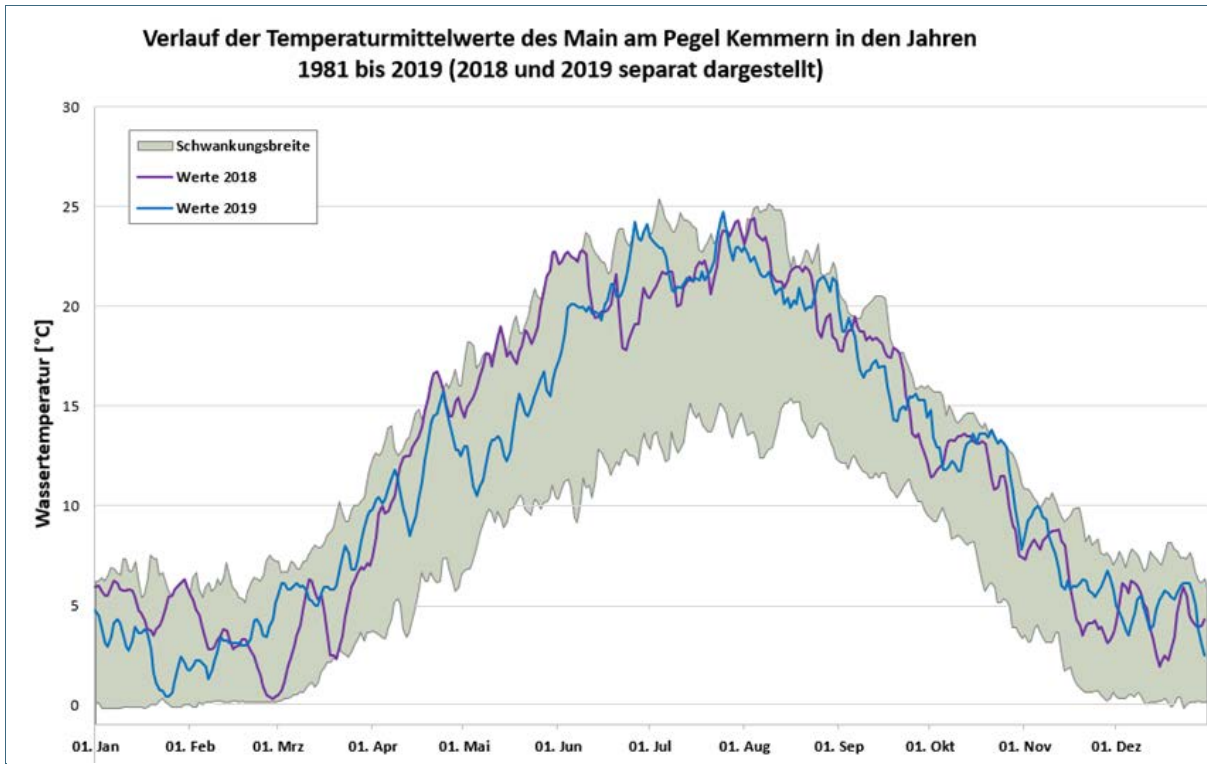


Abb. 58: Verlauf der Tagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern innerhalb der Schwankungsbreite seit 1981

Innerhalb der Gesamtschwankungsbreite der Tagesmittelwerte über den gesamten Beobachtungsbereich von 39 Jahren am Pegel Kemmern/Main verlaufen die Tagesmittelwerte von 2018 und 2019 nahezu durchgehend am oberen Rand, d. h. im Bereich der Tagesmaxima. Dies verdeutlicht die außergewöhnlichen klimatischen Bedingungen dieser beiden Jahre.

In der Abb. 59 sind die Tagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern als durchgehende Zeitreihe von Januar 2018 bis zum Dezember 2019 dargestellt.

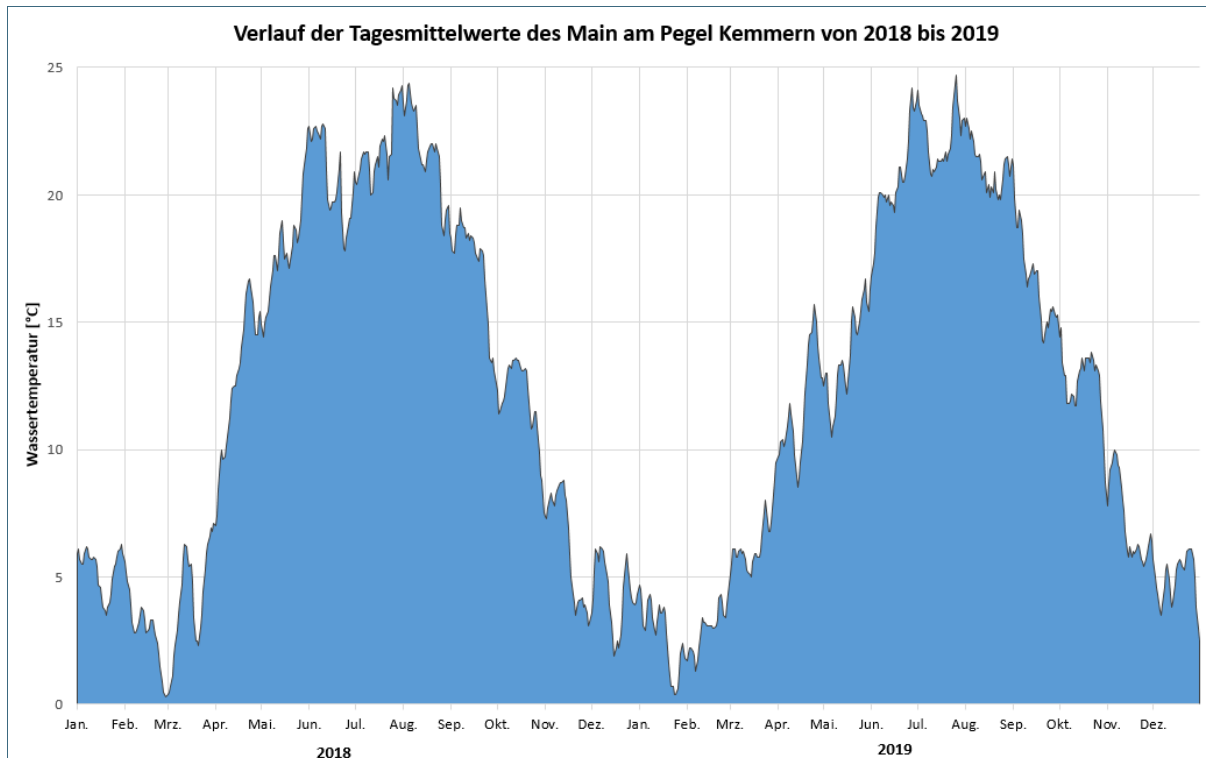


Abb. 59: Verlauf der Tagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern von 2018 bis 2019

Die niedrigsten Temperaturen im Jahr 2018 wurden am Pegel Kemmern im März aufgezeichnet. Von April bis Juni stiegen die Temperaturen kontinuierlich an und führten in der ersten Junihälfte zu einem ersten Maximum. Nach einem kurzen Temperaturrückgang erhöhten sich die Werte erneut und erreichten von Ende Juli bis Anfang August während einer zweiwöchigen Hochtemperaturperiode die höchsten Messwerte des Jahres.

Ab Ende August nahm die Wassertemperatur stetig bis zum Jahresende hin ab, wobei es immer wieder zu Wärmespitzen kam, auf welche kurze Zeiträume der Abkühlung folgten.

Im Jahr 2019 wurden am Pegel Kemmern die niedrigsten Temperaturen Anfang Februar erfasst. Der frühjahrsbedingte Temperaturanstieg war von zwei deutlichen Temperaturspitzen Anfang und Ende April gekennzeichnet.

Ende Juni wurden die zweithöchsten Temperaturen des Jahres erreicht, auf welche Ende Juli dann das Temperaturmaximum für das Jahr 2019 folgte. Dieses Maximum lag noch über dem von 2018. Im Anschluss fiel die Wassertemperatur am Main kontinuierlich zum Jahresende wieder ab.

3.1.2 Klimatische Einordnung

Die Wassertemperaturen der Jahre 2018 und 2019 sind in Anbetracht der langjährigen Entwicklung keine Überraschung. Dies stützen Untersuchungen der Kooperation KLIWA zur Temperaturentwicklung ab Messbeginn 1980 bis 2015 (LfU 2020b). Sowohl die langjährigen Mittelwerte verschiedener Kennwerte bestätigen im Vergleich zwischen früheren und jüngeren Zeiträumen (Tab. 10) einen Temperaturanstieg, als auch die dazugehörigen Trends (Tab. 11). Die Tabellen zeigen die Werte räumlich gemittelt über 24 ausgewählte Messstellen in Bayern. Bei den Trendmitteln gingen jeweils nur die Messstellen mit signifikanten Trends ein.

Die 8-Uhr-Wassertemperatur stieg seit 1980 um circa 0,5 °C/Jahrzehnt an (Tab. 11). Der gleiche Trendwert ergibt sich für den exemplarisch gezeigten Pegel Kemmern (Abb. 57). Deutlich stärker als die Jahresmitteltemperaturen nahmen die Jahresmaximalwerte zu, mit einem Trend von 0,7 °C pro Jahrzehnt (Tab. 11, Abb. 60). Besonders die Jahre 2000–2015 waren mit einem Mittelwert von 21,4 °C schon wesentlich höher als im dazugehörigen 30-Jahres-Zeitraum 1986–2015 (Tab. 10). Das zeigt, dass die Erwärmung vor allem nach 2000 stattfand und die Jahre 2018 und 2019 diese Entwicklung fortsetzen. Mit der allgemeinen Zunahme des Jahresmaximums stieg auch die Jahresamplitude. Gleichzeitig verlagerte sich dessen Eintrittszeitpunkt hin zu früheren Terminen.

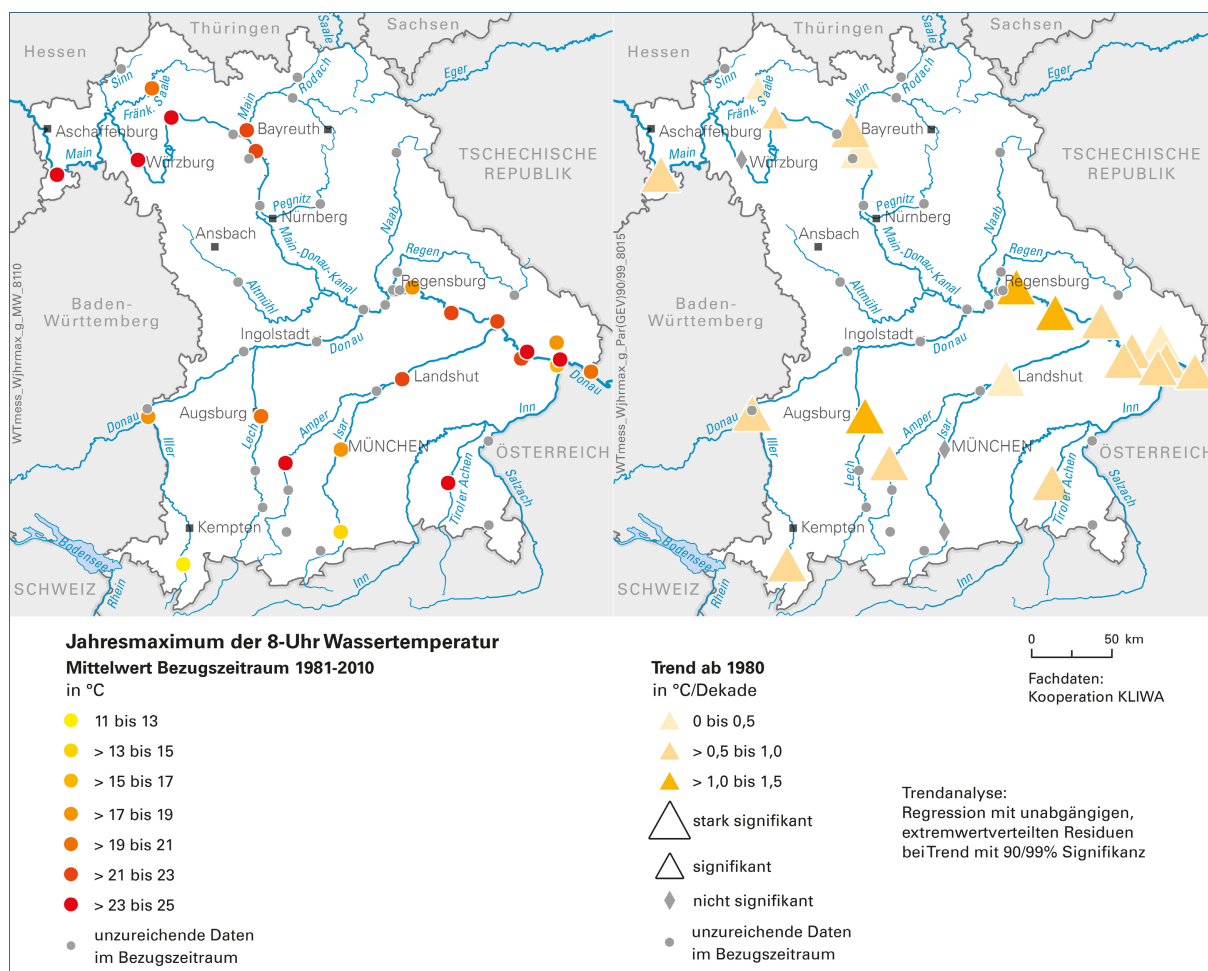


Abb. 60: Jahresmaximum der 8-Uhr-Wassertemperatur an den bayerischen Messstellen; Mittelwert 1981–2010 (links), Trends ab 1980 (rechts), Signifikanzniveau 90 % (signifikant) und 99 % (hoch signifikant)

Höhere Wassertemperaturen bedingen auch, dass die Orientierungswerte der Oberflächengewässerverordnung immer häufiger überschritten werden. Gab es im Zeitraum 1981 bis 2010 Überschreitungen nur an vereinzelten Tagen, traten in späteren Betrachtungszeiträumen immer häufiger auch mehrere zusammenhängende Tage auf, vor allem nach dem Jahr 2000 (Tab. 10). Im Gegenzug dazu ging die Zahl der maximal zusammenhängenden Tage mit Temperaturen unterhalb 3 °C, welche als Ausbreitungsschwelle für Neobiota gesehen wird, zurück.

Einer von zwei Gründen für die festgestellten Entwicklungen der Wassertemperatur ist der beobachtete Anstieg der Lufttemperatur, von dem diese zu einem großen Maße abhängt. Doch auch die menschliche Nutzung beeinflusst die Wassertemperatur unserer Fließgewässer, beispielsweise durch Wärmeeinleitungen, Aufstau oder Wasserentnahmen. Oft hat dies nachweislich Erwärmungen zur Folge, die im bayernweiten Mittel betrachtet einen ähnlich hohen Anteil an der Veränderung haben wie die Lufttemperatur. Den menschlichen Einfluss genau zu bestimmen und vom Einfluss des Klimawandels zu trennen, ist aber meist schwierig.

Tab. 10: Mittelwerte von Kenngrößen der Wassertemperatur (tägliche 8-Uhr-Wassertemperaturen) für verschiedene Mittelungszeiträume an den 24 Messstellen, die ab dem Zeitraum 1980–2010 durchgängig über Daten verfügten

Kenngröße	1981–2010	1986–2015	2000–2015
Jahresmittelwert	10,0 °C	10,2 °C	10,5 °C
Jahresmaximum	20,6 °C	20,8 °C	21,4 °C
Jahresamplitude	15,5 °C	15,9 °C	16,4 °C
Eintrittszeitpunkt des Jahresmaximums	27. Juli	24. Juli	22. Juli
Maximal zusammenhängende Überschreitung von Orientierungswerten der OGewV	1,2 d	1,4 d	2,4 d
Maximal zusammenhängende Anzahl von Tagen mit einer Wassertemperatur < 3 °C	27 d	24 d	22 d

Tab. 11: Kenngrößen der Wassertemperatur (tägliche 8-Uhr-Wassertemperaturen) an 24 bayerischen Messstellen: signifikante Trends von 1980 bis 2015 (Signifikanzniveau 90 %); Angabe als: Mittlerer Trend und Konfidenzintervall aller signifikanten Messstellen, Einheit, Anzahl Messstellen mit signifikanter Änderung

Kenngröße	Zunehmender Trend/ späteres Auftreten	Abnehmender Trend/ früheres Auftreten
Jahresmittel	0,46 ±0,19 °C/10a (20)	Keine Abnahmen
Jahresmaximum	0,71 ±0,30 °C/10a (20)]	Keine Abnahmen
Jahresamplitude	0,41 ±0,14 °C/10a (17)	-0,30 ±0,11 °C/10a (3)
Eintrittszeitpunkt des Jahresmaximums	Kein späteres Auftreten	-1,34 ±0,45 °d/10a (24)]
Maximal zusammenhängende Überschreitung von Orientierungswerten OGewV	Nur eine Messstelle mit signifikantem Trend → keine Angabe	Keine Abnahmen
Anzahl von Tagen mit einer Wassertemperatur < 3 °C	Keine Zunahmen	-9,96 ±5,4 °d/10a (11)

Für die Zukunft lässt sich annehmen, dass die Wassertemperaturverhältnisse von 2018 und 2019 keine Seltenheit bleiben werden. Die Klimaprojektionen deuten einheitlich auf eine Zunahme der Lufttemperaturen hin und die Wassertemperaturen werden dieser Entwicklung folgen. Erste Abschätzungen für Bayern gehen von Zunahmen zwischen 0,5 und 1,3 °C bis Mitte des Jahrhunderts gegenüber 1971 bis 2000 aus.

3.2 Wassertemperatur Seen

3.2.1 Situation in den Jahren 2018 und 2019

Der Verlauf der Wassertemperaturen in den Jahren 2018 und 2019 an den Pegeln des Temperaturmessnetzes war aufgrund der ausgeprägten Hitzeperioden in beiden Jahren von einer Vielzahl neuer Höchstwerte geprägt.

3.2.1.1 Jahreshöchstwerte

Für die Betrachtung der Wassertemperatur wurden elf Seemessstellen herangezogen, bei denen der Beobachtungszeitraum mindestens fünf Jahre oder mehr umfasst. Neun Stationen stammen aus dem Donauebiet und jeweils eine Station aus dem Rhein- und dem Maingebiet.

Die Spannweite der Jahreshöchstwerte 2018 und 2019 der Wassertemperatur an den Seemessstellen bewegte sich zwischen 20,3 °C (niedrigster Jahreshöchstwert am 31.08.2019) am Pegel Königssee und 30,2 °C (höchster Jahreshöchstwert am 26.06.2019) am Pegel Buchwinkel/Waginger See.

In den Abb. 61 und Abb. 62 sind in den beiden Karten jeweils die Wassertemperaturmessstellen an Seen in Bayern eingezeichnet zusammen mit dem höchsten Temperaturwert, der in den beiden Jahren 2018 und 2019 erfasst worden ist.

Zusätzlich sind die Messstellen in zwei Klassen unterteilt. Als orange Punkte sind die Messstellen abgebildet, an denen in 2018 oder 2019 ein neuer Jahreshöchstwert seit Beobachtungsbeginn ermittelt worden ist, als blaue Punkte werden die Pegel dargestellt, an denen kein neuer Jahreshöchstwert seit Beobachtungsbeginn aufgezeichnet worden ist.

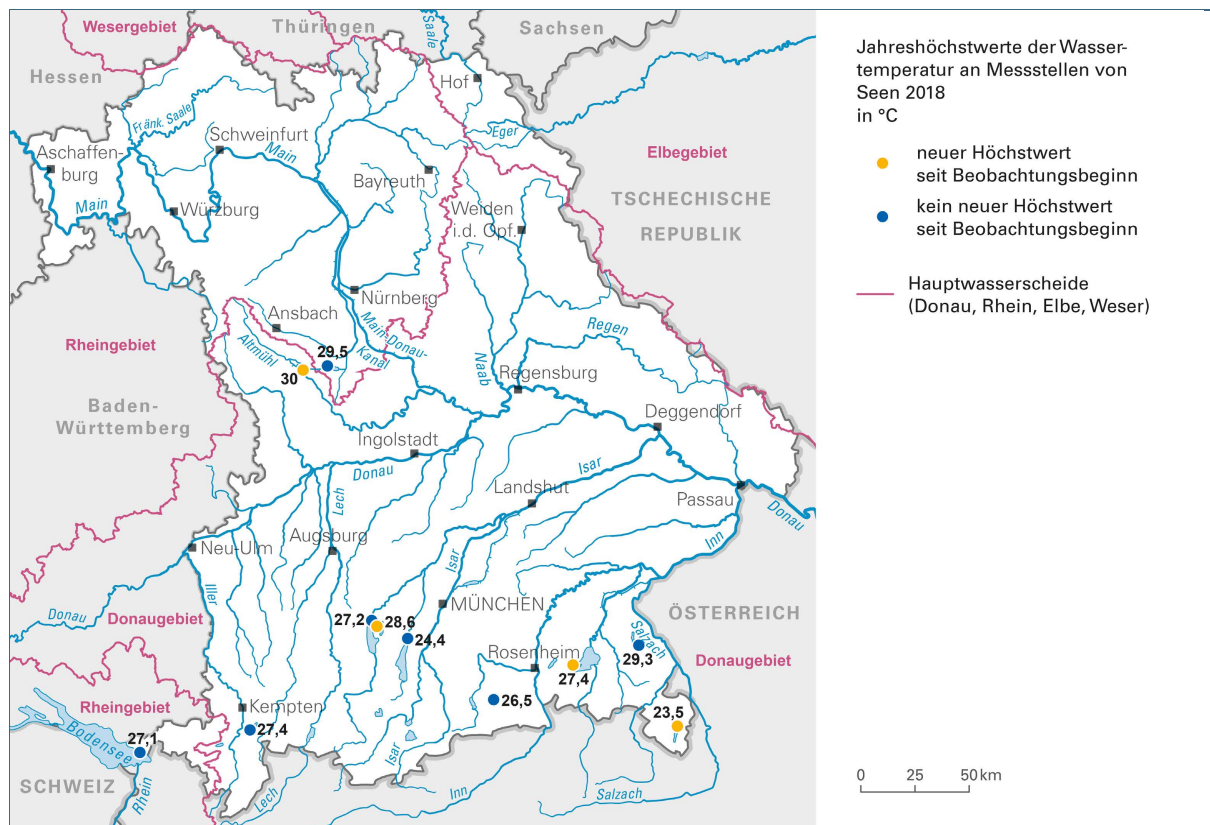


Abb. 61: Wassertemperaturmessstellen an Seen mit den Jahreshöchstwerten 2018

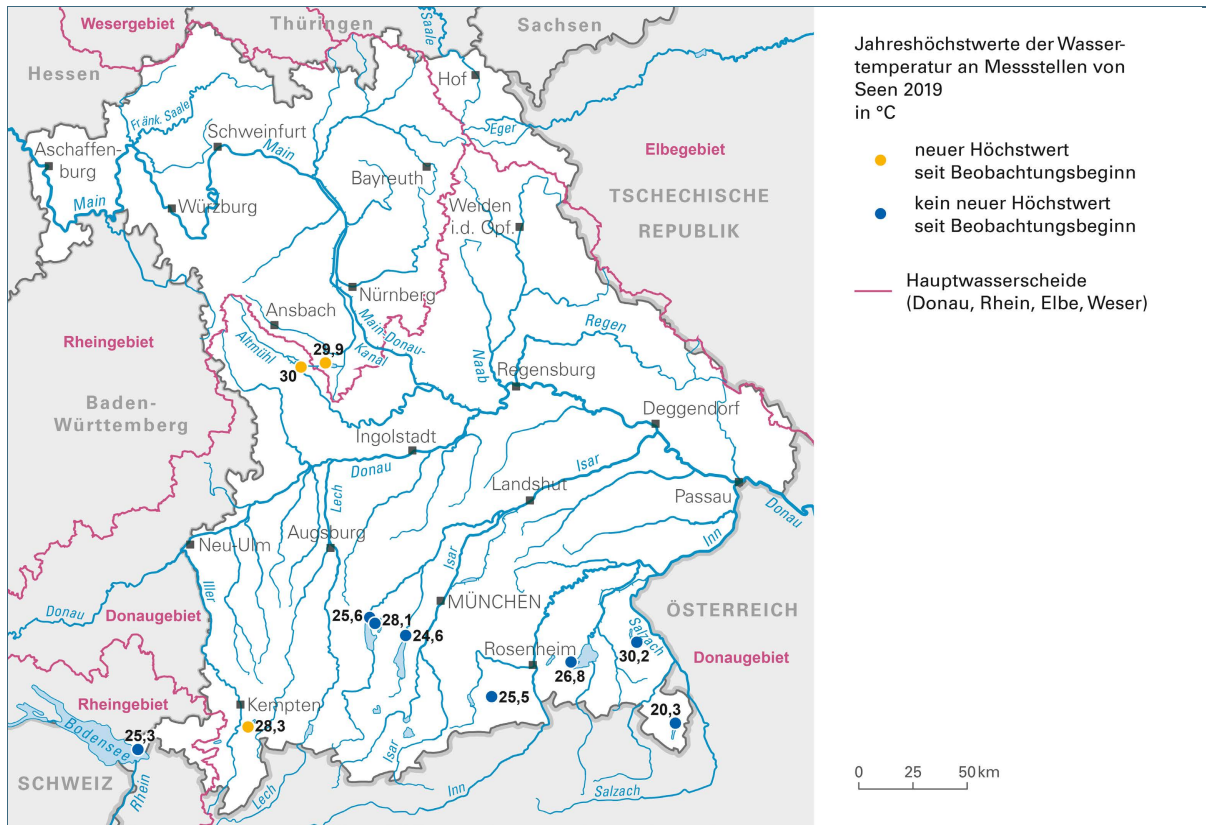


Abb. 62: Wassertemperaturmessstellen an Seen mit den Jahreshöchstwerten 2019

Im Jahr 2018 wurde an vier Pegeln ein neuer Höchstwert bei der Wassertemperatur seit Beobachtungsbeginn gemessen, 2019 an drei Messstellen. An einer Station wurde in beiden Jahren der identische Höchstwert erreicht, weswegen diese Messstelle auch für beide Jahre mit einem neuen Höchstwert gezählt worden ist.

Betrachtet man die beiden Jahre 2018 und 2019 zusammen, so zeigt sich, dass an über der Hälfte der Temperaturmessstellen an Seen in Bayern ein neuer Höchstwert seit Beobachtungsbeginn erreicht worden ist.

3.2.1.2 Jahresmittelwerte

Zur Einordnung der Temperaturverläufe an Seen der Jahre 2018 und 2019 sowie der Temperaturentwicklung über einen längeren Zeitraum sind exemplarisch die Jahresmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen (Landkreis Landsberg am Lech/Oberbayern) für den Beobachtungszeitraum 1981 bis 2019 (39 Jahre) aufgetragen (Abb. 63). Zusätzlich sind der höchste und der niedrigste Jahresmittelwert im Beobachtungszeitraum farblich hervorgehoben.

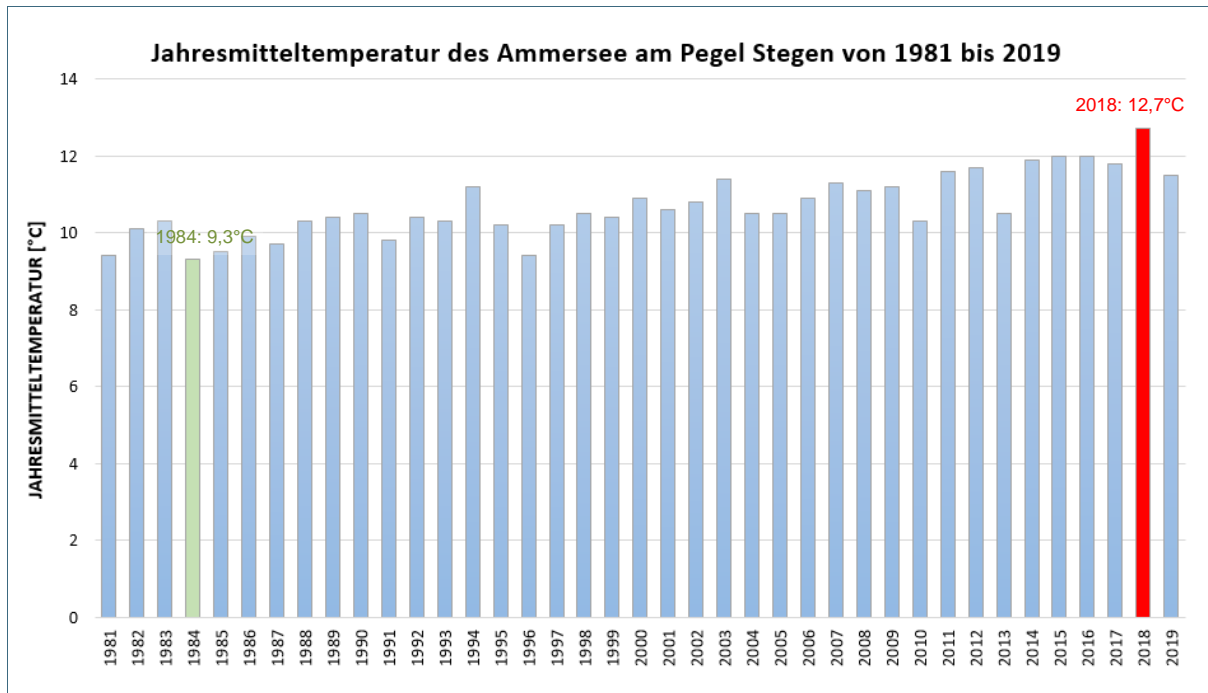


Abb. 63: Jahresmitteltemperatur des Ammersee am Pegel Stegen seit 1981

Die Jahresmitteltemperatur hat 2018 mit 12,7 °C einen neuen Höchstwert seit Beobachtungsbeginn erreicht. An dieser Messstelle traten 17 der 20 höchsten Jahresmitteltemperaturen seit 2000 auf. Die Temperaturdifferenz zwischen dem niedrigsten (1984: 9,3 °C) und dem höchsten Jahresmittelwert (2018: 12,7 °C) beträgt 3,4 °C.

Bei Betrachtung der Temperaturwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum von 39 Jahren ist ein signifikanter Anstieg der Jahresmitteltemperaturen am Pegel Stegen/Ammersee erkennbar.

3.2.1.3 Tagesmittelwerte

Zur Einschätzung der Temperaturverläufe sind exemplarisch die Temperaturtagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen der Jahre 2018 und 2019 vor dem Hintergrund der Gesamtschwankungsbreite aller Jahre seit 1981 eingebettet (Abb. 64). Dabei wird die Schwankungsbreite durch das jeweilige tägliche Tagesminimum und Tagesmaximum definiert.

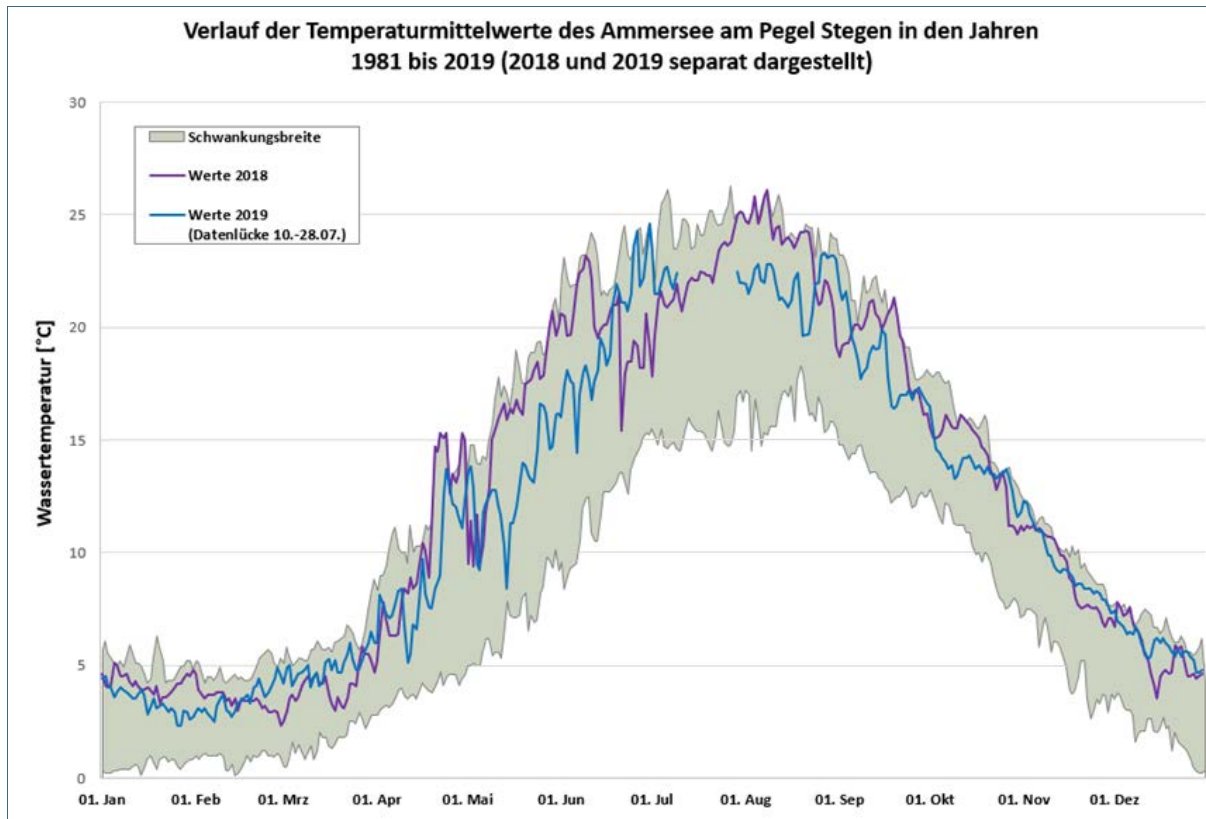


Abb. 64: Verlauf der Tagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen innerhalb der Schwankungsbreite seit 1981

Innerhalb der Gesamtschwankungsbreite der Tagesmittelwerte über den gesamten Beobachtungsbereich von 39 Jahren am Ammersee am Pegel Stegen verlaufen die Tagesmittelwerte von 2018 und 2019 nahezu durchgehend am oberen Rand, d. h. im Bereich der Tagesmaxima. Dies verdeutlicht die außergewöhnlichen klimatischen Bedingungen dieser beiden Jahre.

In der Abb. 65 sind die Tagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen als durchgehende Zeitreihe von Januar 2018 bis Dezember 2019 dargestellt.

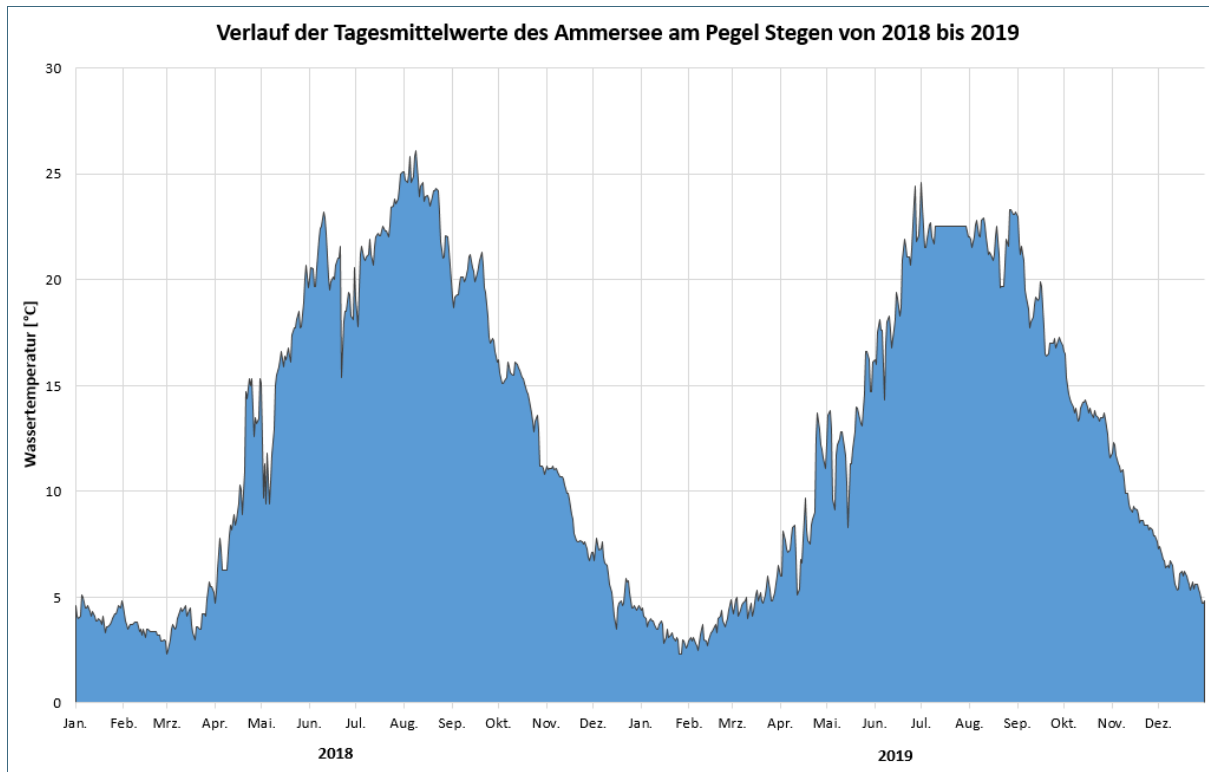


Abb. 65: Verlauf der Tagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen von 2018 bis 2019 (Datenlücke 10.07. bis 28.07.2019)

Die niedrigsten Temperaturen im Jahr 2018 wurden am Pegel Stegen im März aufgezeichnet. Im Frühjahr stieg die Temperatur kontinuierlich an und führte in der zweiten Aprilhälfte zu einem ersten Maximum, auf das eine deutliche Abkühlung folgte. Nach einem Wiederanstieg der Werte im zweiten Quartal erreichten die Messungen Mitte Juni eine weitere Hochphase. Zu Beginn der zweiten Jahreshälfte erwärmte sich der Ammersee stetig, bis von Anfang August an die höchsten Temperaturen des Jahres gemessen wurden. Im Anschluss nahm die Wassertemperatur kontinuierlich zum Jahresende hin ab.

Zu Beginn des Jahres 2019 fiel die Temperatur bis Anfang Februar geringfügig ab. In Verlauf der ersten Jahreshälfte stiegen die Wassertemperaturen stetig an, wobei immer wieder Maxima erreicht wurden, auf welche jeweils kurze Phasen der Abkühlung folgten.

Ende Juni wurden die höchsten Werte des Jahres gemessen. Aufgrund eines Ausfalls des Temperatursensors am Pegel Stegen während der zweiten Julihälfte ist nicht auszuschließen, dass ein weiteres Temperaturmaximum des Jahres nicht erfasst worden ist.

Im Anschluss fiel die Wassertemperatur am Ammersee fortwährend zum Jahresende wieder ab.

3.2.2 Klimatische Einordnung

Neben den Fließgewässern sind auch die Seen wärmer geworden. So nahm beispielsweise die oberflächennahe Wassertemperatur des Bodensees im Zeitraum 1962 bis 2015 um 0,03 °C pro Jahr zu (KLIWA 2016).

Ein Temperaturanstieg des Oberflächenwassers bis zum Jahr 2100 um 1,5–2,5 °C in großen Seen und 0,8–1,3 °C in Alpenseen ist zu erwarten. Für das Tiefenwasser (Hypolimnion) gibt es widersprüchliche Aussagen. Die langfristige Erwärmung der Luft führt zu einem Temperaturanstieg des Hypolimnions um 0,1–0,2 °C pro Dekade. Extreme Hitzesommer werden bei tiefen Seen teilweise zur Abkühlung des Hypolimnions durch verminderten Wärmeaustausch führen. Die Eisbedeckung wird sich verringern bzw. nicht mehr bilden.

3.3 Lebensraum Gewässer

3.3.1 Fließgewässer

3.3.1.1 Aspekte der Gewässerqualität im Überblick

In Hitze- und Trockenjahren wie 2018 und 2019 kommen verschiedene Faktoren zusammen, die sich negativ auf die ökologische Situation in unseren Flüssen und Bächen auswirken. So führen die bereits beschriebenen, stark reduzierten Abflüsse in Verbindung mit der starken Sonneneinstrahlung und den erhöhten Lufttemperaturen zu einer Erwärmung des verbliebenen Wassers. Damit einher geht in der Regel ein verminderter Sauerstoffgehalt, weil die Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser mit steigender Temperatur abnimmt. Andererseits steigt der Sauerstoffbedarf eines wechselwarmen Organismus mit zunehmender Temperatur. Während Gewässerbewohner wie Fische und wirbellose Organismen also mehr Sauerstoff benötigen, ist weniger Sauerstoff im Wasser verfügbar. Auffallend waren in ganz Bayern auch die Vielzahl der komplett trockengefallenen Gewässerabschnitte. Diese Gewässer stehen damit nur noch eingeschränkt als Lebensraum für Gewässerorganismen zur Verfügung.

Charakteristisch für Niedrigwasserjahre ist eine verstärkte Entwicklung von Algen und anderen Wasserpflanzen im Gewässerbett. Die Pflanzen profitieren insbesondere von der längeren Sonneneinstrahlung, den niedrigen Wasserständen und der häufig geringeren Trübung des Wassers. Auch eine mechanische Schädigung durch Umlagerung oder starke Strömung, die sonst zur Regulierung des Pflanzenwachstums führt, findet in Trockenphasen nicht statt. Fallen die Gewässer trocken, bedecken die absterbenden Pflanzen die trockenfallenden Uferbereiche wie z. B. Kiesbänke.



Abb. 66:
Algenentwicklung bei niedrigem Wasserstand an der Wertach in Augsburg

Umfangreiche Fischsterben wurden in Fließgewässern weder im Jahr 2018 noch 2019 beobachtet. Vereinzelt wurden allerdings tote Fische aufgefunden, die sich in kleinen Restwasserpfützen angesammelt haben. Dort können durch die Wärme und Sauerstoffarmut letale Bedingungen für die Fische auftreten. Ähnlich ungünstige Lebensbedingungen haben im Jahr 2019 auch zu einem Fischsterben in einem bereits stark verlandeten Altarm der Donau beigetragen.

In der Naab wurde im August 2019 über mehrere Wochen ein Muschelsterben in einem Bestand der Grobgerippten Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) beobachtet, einer aus Asien eingeschleppten gebietsfremden Art. Als Ursache wird ausgehend von hohen frühlommerlichen Wassertemperaturen eine beschleunigte Stoffwechselrate vermutet. Der damit einhergehende erhöhte Energiebedarf kann in Kombination mit niedrigen Filtrationsraten und Nahrungsmangel zu dem Massensterben führen. Ähnliche Muschelsterben sind in früheren Jahren auch am Main aufgetreten.

In Trockenjahren mit Niedrigwasser treten auch Konfliktthemen um die knapper werdende Ressource Wasser deutlicher hervor. Beobachtungen der Wasserwirtschaftsämter weisen zum Beispiel auf die Belastung gerade kleiner Fließgewässer im Bereich von Teichanlagen durch die Ausleitung von Wasser hin. Durch das Wasserwirtschaftsamt Hof wurde speziell hierzu eine Informationsveranstaltung im Rahmen des Projektes "Teichbewirtschaftung an Flussperlmuschel-Gewässern" durchgeführt.

Gerade kleinere Gewässer werden in heißen Sommern durch Wasserentnahmen zur Bewässerung von Sportplätzen beeinträchtigt. In Unterfranken wurden die Kreisverwaltungsbehörden gebeten, den Gemeingebrauch in Bezug auf Wasserentnahmen für Löschübungen in den kleineren Fließgewässern angesichts der Niedrigwassersituation aufzuheben.

3.3.1.2 Flussperlmuschel

Eine besondere Herausforderung stellen die austrocknenden Gewässer für den Schutz einiger besonders gefährdeter Arten wie der Flussperlmuschel oder der Fluss- und Teichmuscheln dar. In Oberfranken sind in den Jahren 2018 und 2019 wichtige Perlmuschelgewässer trockengefallen. Das Wasserwirtschaftsamt Hof versucht mit dem Umsetzen der Muscheln, durch kleinräumige Wasserstandsaufhöhungen durch Kiessperren und die Zuleitung von Wasser die Bestände der vom Aussterben bedrohten Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) zu erhalten. So wird zeitweise mit Hilfe von Tankwagen Wasser aus der Förmitzalsperre in die Muschelgewässer gebracht.

Im Jahr 2019 mussten bereits Mitte Juli Muschelbestände in noch wasserführende Gewässerabschnitte umgesetzt werden. Als Rettungsmaßnahme wurden auch Muscheln zeitweise in andere Bäche umgesetzt und im Herbst in die wieder wasserführenden Heimatgewässer zurückgebracht.

Auch in anderen Teilen Bayerns wurden aufwändige Schutzmaßnahmen für Bachmuschelbestände durchgeführt. So wurde mit Hilfe von Pumpen aus angrenzenden Baggerseen der Wasserstand angehoben.

3.3.1.3 Gewässerqualität am Beispiel des Mains

Der bayerische Teil des Mains wird unterhalb von Bamberg bis zur Landesgrenze nach Hessen über zahlreiche Staustufen in seinem Wasserstand reguliert. Durch die verminderte Fließgeschwindigkeit kommt es im Sommer immer wieder zu gewässerökologisch kritischen Situationen hinsichtlich der Wassertemperatur und des Sauerstoffgehaltes. Eng damit gekoppelt sind biologische Prozesse wie die Entwicklung des Planktons, das durch Photosynthese Sauerstoff produziert, in Abbauphasen aber auch zu einer erheblichen Sauerstoffzehrung beiträgt.

Am Beispiel des Jahres 2018 wird im Folgenden die Entwicklung im Jahrgang beschrieben. Ab Mai sinkt der Sauerstoffgehalt auf ein Niveau um 7 bis teilweise unter 6 mg/l ab. Gleichzeitig steigt der Gehalt an Orthophosphat-Phosphor etwas an. Dies resultiert aus dem Rückgang der Planktonalgen-Population. Dabei wird der in der Biomasse gebundene Phosphor wieder freigesetzt, die Sauerstoffproduktion durch Photosynthese sinkt. Im Laufe von Juli und August finden immer wieder Prozesse des Anwachsens und Absterbens des Phytoplanktons statt, erkennbar an dem schwankenden Verlauf des Sauerstoffs. In Zeiten sehr hoher Temperaturen können die Tiere (Makrozoobenthos und Fische) von der hohen Sauerstoffproduktion der Algen profitieren. Erst im Dezember sind die Sauerstoffverhältnisse wieder ausgeglichen.

Der Abfluss (Trunstadt, Main) sinkt ab April dauerhaft unter den mittleren Abfluss (MQ) und liegt ab August bis in den Herbst hinein meist unter dem mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ).

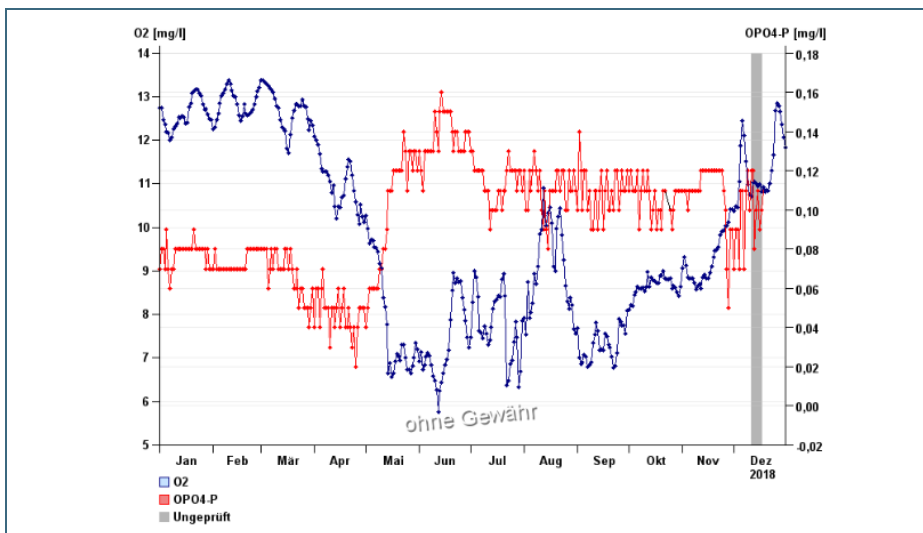


Abb. 67: Entwicklung von Sauerstoff (blaue Linie) und Orthophosphat-Phosphor (rote Linie) an der Messstation Erlabrunn/Main 2018

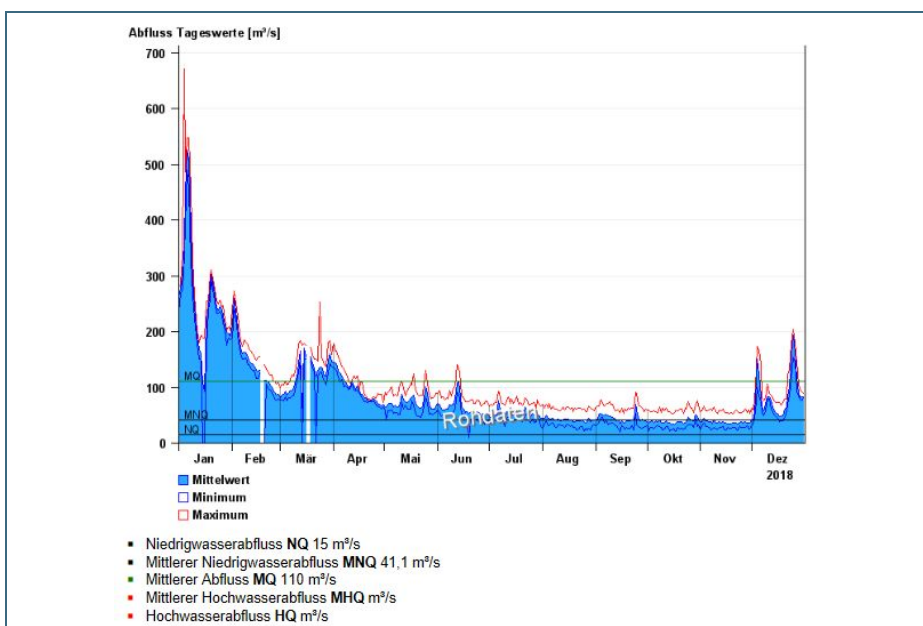


Abb. 68: Abfluss am Pegel Trunstadt/Main (Trunstadt Q) 2018

3.3.1.4 Gewässerökologischer Alarmplan – Beispiel Main

Mit dem „Alarmplan für den bayerischen staugeregelten Main – Gewässerökologie“ hat die Wasserwirtschaftsverwaltung unter Federführung der Regierung von Unterfranken eine Grundlage erarbeitet, um auf kritische Situationen in Bezug auf die Gewässerökologie des Gewässers reagieren zu können. Dabei werden drei Warn- bzw. Alarmstufen festgelegt, die anhand von Schwellenwerten für die Wassertemperatur, den Sauerstoff und den Abfluss ausgelöst werden. Mit den Meldestufen sind Maßnahmen verbunden, die mögliche ökologische Beeinträchtigungen erkennen, vermeiden oder vermindern sollen. Diese reichen von einem vertieften Monitoring über die fachliche Beratung von Anlagenbetreibern bis hin zu Maßnahmen zur Emissionsreduzierung, Sauerstoffanreicherung über die Turbinenbelüftung in Kleinostheim oder Wehrüberfall, sowie im Einzelfall über Betriebseinschränkungen.

Im Jahr 2020 wurde auch für den gesamten Verlauf der bayerischen Donau ein Gewässerökologischer Alarmplan veröffentlicht.

Im Jahr 2018 wurden im Rahmen des Alarmplans ab Mitte Mai für den gesamten stauregulierten Main die Meldestufe „interne Vorwarnung“ wegen des niedrigen Sauerstoffgehaltes ausgerufen. Ende Juli lagen im Meldebereich 1 (von Kahl am Main an der Landesgrenze zu Hessen bis Erlabrunn unterhalb Würzburg) sehr niedrige Sauerstoffgehalte von teilweise unter 5 mg/l vor. Gleichzeitig wurden hohe Wassertemperaturen gemessen, die über mehrere Tage über 27 °C und an drei Tagen Anfang August sogar über 28 °C lagen. Daraufhin wurde Ende Juli die Meldestufe „Warnung“ und ab 3. August sogar die Stufe „Alarm“ ausgegeben. Im Laufe des August entspannte sich die Lage wieder. Die „Warnung“ wurde bis Mitte August, die „interne Vorwarnung“ bis in den September hinein aufrechterhalten, da der Abfluss anhaltend niedrig war.

Im Jahr 2019 lagen die Temperaturen im Mai nach Aussage des DWD deutlich unter den vieljährigen Mittelwerten. Ende Juni wurden wieder Rekordtemperaturen beobachtet, so dass entsprechend erst Ende Juni die Meldestufe „interne Vorwarnung“ ausgegeben wurde. Diese galt für beide Meldebereiche des stauregulierten Mains. Bereits am 27.06.2019 wurden für den Meldebereich 1 (von Kahl am Main bei der Landesgrenze Hessen bis Erlabrunn bei Würzburg) hohe Wassertemperaturen über 26 °C gemessen und auf dieser Grundlage die Meldestufe „Warnung“ erklärt. Ende Juni sank auch der Abfluss deutlich ab und bewegte sich bis Ende September im Bereich des mittleren Niedrigwassers (MNQ). Die Meldestufe Warnung für den Meldebereich 1 konnte am 10.07.2019 wieder aufgehoben werden. Der Juli war aber wiederum von hohen Wassertemperaturen über 26 °C geprägt. Im Laufe des Monats gab es auch größere Algenentwicklungen, die nach einiger Zeit abstarben. Die Abbauprozesse im Gewässer sind wiederum mit einer Zehrung des vorhandenen Sauerstoffs verbunden. Für den Zeitraum 29. Juli bis 5. August wurde daher erneut für den Meldebereich 1 die Meldestufe „Warnung“ ausgerufen. Es wurden Sauerstoffwerte unter 6 mg/l gemessen. Im August wurden noch immer relativ hohe Wassertemperaturen um die 25 °C verzeichnet. Erst der September brachte eine deutliche Abkühlung. Am 19. September wurde die „Vorwarnung“ für beide Meldebereiche des Untermains aufgehoben. Die Meldestufe „Alarm“ wurde im Jahr 2019 nicht erreicht.

3.3.1.5 Wassertemperaturen

Um die ökologischen Auswirkungen der zunehmenden Wassertemperaturen abzuschätzen, können die Werte aus der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) als Maßstab für die Anforderungen der Fischgemeinschaften der Fließgewässer an die Wassertemperatur herangezogen werden.

Danach gelten je nach Fischgemeinschaft maximale sommerliche Wassertemperaturen zwischen 20 und 25 °C als oberer Orientierungswert für die Erhaltung eines guten ökologischen Zustandes bzw. ökologischen Potenzials.

In die Auswertung wurden 145 gewässerkundliche Pegel an Fließgewässern einbezogen, an denen kontinuierliche Wassertemperaturmessungen durchgeführt werden. Im Jahr 2018 wiesen von diesen Pegeln 50 % Überschreitungen bei Tagesmaximalwerten der Wassertemperatur auf. Im Jahr 2019 waren es mit 43 % etwas weniger. In der Regel sind in beiden aufeinanderfolgenden Jahren an den gleichen Pegeln Temperaturüberschreitungen festgestellt worden. Regionale Schwerpunkte konnten dabei nicht festgestellt werden.

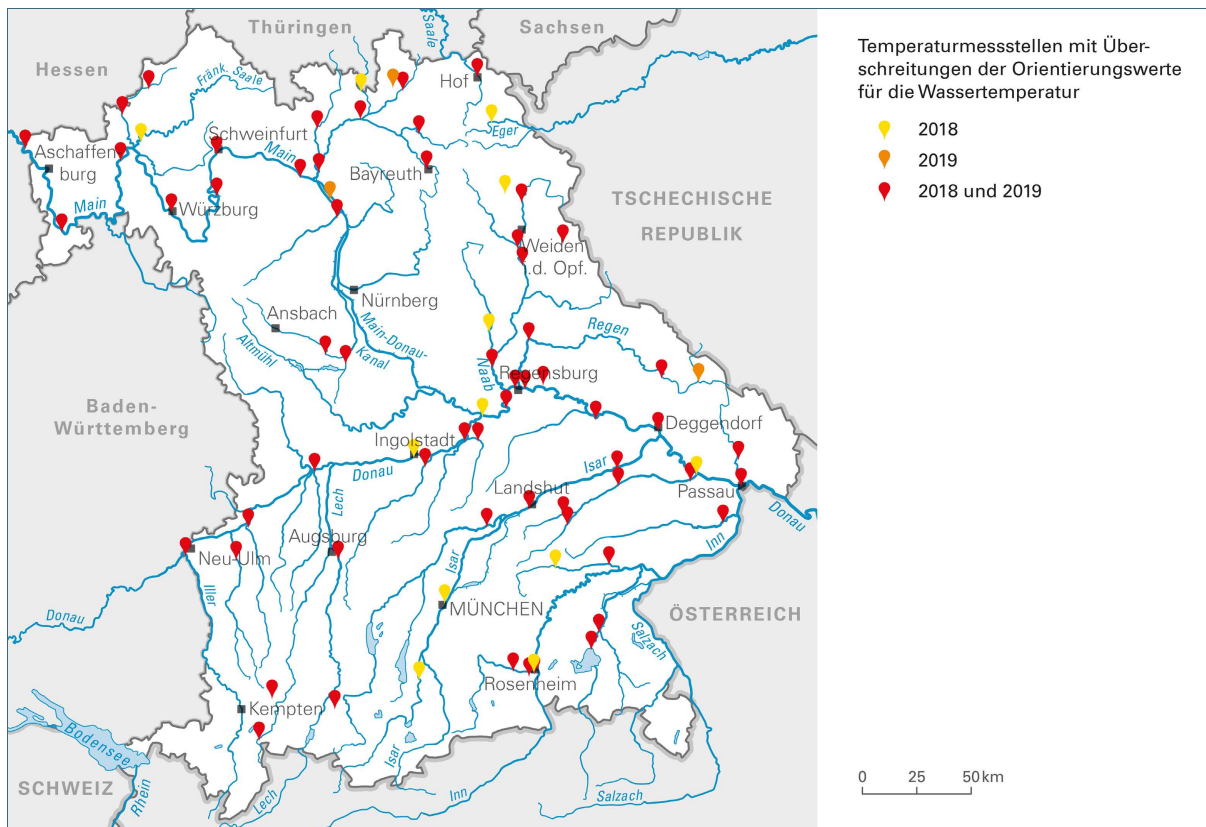


Abb. 69: Temperaturmessstellen mit Überschreitungen der Orientierungswerte für die Wassertemperatur

Im Folgenden werden beispielhaft einige Fließgewässer herausgegriffen, in denen erhöhte Wassertemperaturen aufgetreten sind.

Die Illach im Landkreis Weilheim-Schongau ist ein typischer Bach des Alpenvorlandes. Die dort anzutreffende Fischgemeinschaft bezeichnet man als Salmoniden-Epirhithral, der geforderte Wert für die Wassertemperatur beträgt 20 °C. Im Jahr 2018 wurden im August bis zu 21,5 °C gemessen.

Die Haidenaab stellt im Unterlauf ein Beispiel für einen fein- bis grob-materialreichen Mittelgebirgsfluss dar. Fischbiologisch wird die Haidenaab von der Fischgemeinschaft des Cypriniden-Rhithrals besiedelt, die überwiegende Zahl der vorkommenden Fischarten sind an mäßig warme Wassertemperaturen angepasst. Die Oberflächengewässerverordnung weist hier einen geforderten Wert von 23 °C aus. Im Jahr 2018 wurde dieser Wert im Juli und August an 12 Tagen nacheinander überschritten und stieg zeitweise auf 23,8 °C.

Die Donau als großer Strom wird dem Typ des Epipotamals zugerechnet, der nach Oberflächengewässerverordnung geforderte Wert beträgt 25 °C. Entlang der bayerischen Donau wurden im Jahr 2018 an allen Temperaturmessstellen Überschreitungen dieses Orientierungswertes gemessen. Maximalwert mit mehr als 28 °C wurden bei Straubing und Pfelling festgestellt.

3.3.1.6 Trockenfallende Gewässer

Das Trockenfallen von Fließgewässern stellt in einigen Naturräumen Bayerns ein natürliches Phänomen im Jahreszyklus dar. Das Auftreten solcher sommertrockener Gewässer ist abhängig vom geologischen Untergrund und dem hydrologischen Regime. Bekannt ist dies für Wildbäche im Alpenraum und die quellnahen Oberläufe im Mittelgebirge. Besonders in Karstgebieten, aber auch in Regionen, die durch Buntsandstein oder Tonschiefer mit Grundwasserleitern mit geringer Mächtigkeit geprägt sind, kann eine sommerliche Austrocknung auftreten.

Im Jahr 2018 sind in Bayern verbreitet und in einem erheblichen Ausmaß Fließgewässer trockengefallen. Davon waren zunächst die Oberläufe kleiner Bäche sowie die Gräben im Donaumoos betroffen. Später kamen auch Bäche mit größeren Einzugsgebieten wie die Kürnach im Allgäu hinzu. Als Besonderheit des Jahres 2018 wurde von den Wasserwirtschaftsämtern zudem beobachtet, dass die Trockenperiode bei alljährlich trockenfallenden Bächen sehr lange gedauert hat.

Ein Schwerpunkt von trockengefallenen Gewässern lag in Unter- und Oberfranken. Dies ist auf die schwächeren Quellschüttungen einerseits sowie die geringeren Niederschläge andererseits zurückzuführen.

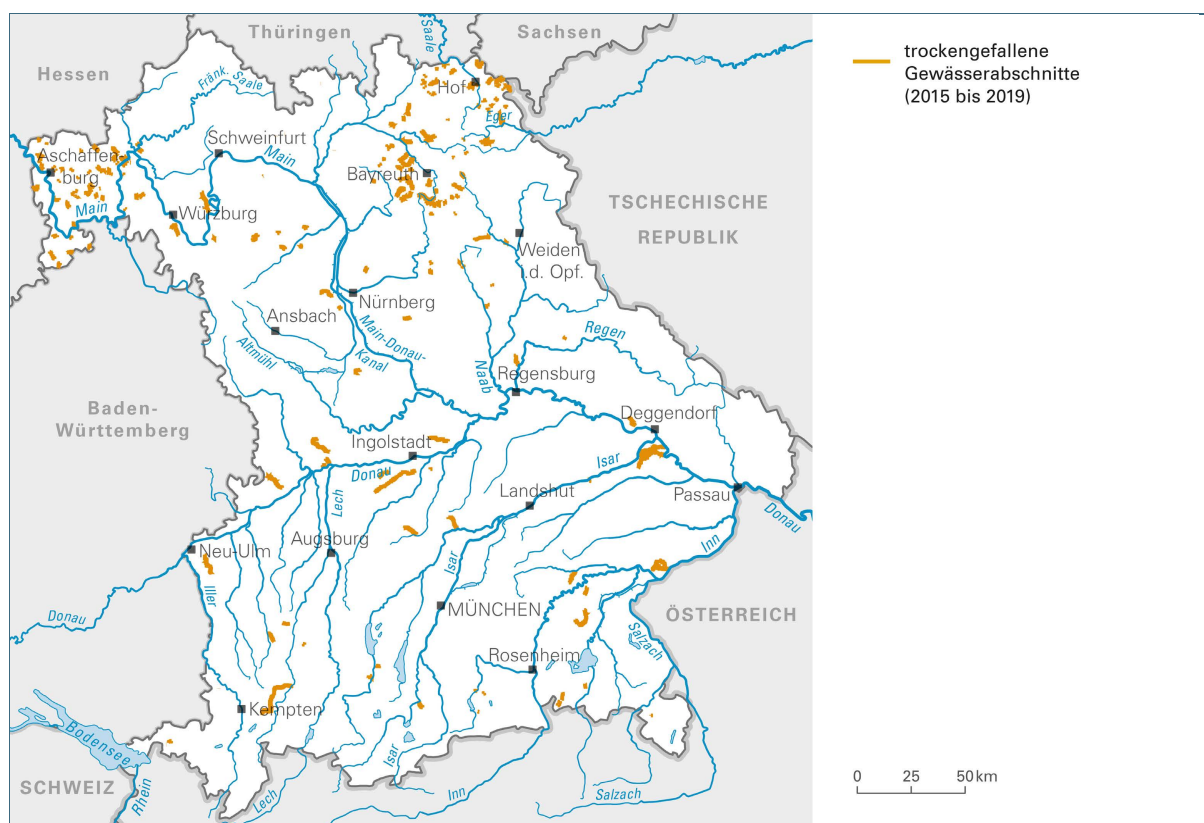


Abb. 70: Als zeitweise trockengefallen gemeldete Fließgewässer in Bayern (Meldungen der Wasserwirtschaftsämter im Rahmen des gewässerökologischen Monitorings, Zeitraum 2015 bis 2019)

In natürlich ausgeprägten trockenfallenden Fließgewässern ist eine hoch spezialisierte Lebensgemeinschaft insbesondere bei den Wirbellosenarten (auch als Makrozoobenthos bezeichnet) anzutreffen, die an diesen dynamischen Lebensraum angepasst ist. Als Überlebensstrategie findet man zum Beispiel Arten, die sich in das Lückensystem unter dem Gewässerbett zurückziehen, oder bei denen nur bestimmte Entwicklungsstadien im Wasser leben und die die Sommermonate außerhalb des Gewässers verbringen. Wieder andere Arten können das Austrocknungsereignis durch spezielle Anpassungen überleben.

sungen im Ei-, Larven- oder Puppenstadium überdauern. In Fließgewässern, die stark durch den Menschen verändert wurden, fehlen häufig solche besonders angepassten Arten. Durch die Austrocknung gehen die Gewässer als Lebensraum komplett verloren und müssen nach Trockenperioden aus anderen Gewässerabschnitten wieder neu besiedelt werden.

Verbunden mit trockengefallenen Gewässerabschnitten entstehen häufig auch kleine verbleibende Wasserpfützen und tiefere Gumpen. Hier können deutlich erhöhte Wassertemperaturen und Sauerstoffdefizite auftreten. Im Jahr 2018 wurden in solchen Gewässerabschnitten vereinzelt tote Fische registriert.

Wenn sich im Zuge des Klimawandels die beschriebenen Prozesse mit häufigeren und länger andauernden Trockenphasen in Verbindung mit weiteren Belastungen wie erhöhten Nährstofffrachten, Aufstau oder Wasserentnahmen verstärken, muss mit einem weiteren Verlust von anspruchsvolleren Arten und damit einer Verarmung der Lebensgemeinschaft gerechnet werden.

3.3.1.7 Abwassereinleitungen

Ein wichtiges Kriterium für die Anforderungen an Abwassereinleitungen stellt das Mischungsverhältnis von Abwasser zu Abfluss des Fließgewässers an der Einleitungsstelle dar. Dieses Verhältnis bestimmt das mögliche Ausmaß konzentrationsbedingter Auswirkungen von Abwasserinhaltsstoffen auf das Gewässer. In Trockenperioden nimmt die Bedeutung der Einleitungen von gereinigtem Abwasser durch Kläranlagen in die Gewässer zu, da ihr Anteil am Abfluss im Gewässer ansteigt. Während der Trockenwetterperioden 2018 und 2019 konnte dank des fortgesetzten Ausbaus der Abwasseranlagen und deren ordnungsgemäßem Betrieb keine nennenswerte Zunahme problematischer Gewässerzustände beobachtet werden.

Trockenwetterperioden wirken sich häufig positiv auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen aus, da das Abwasser in höheren Konzentrationen auf der Kläranlage ankommt. Der Fremdwasserzufluss¹ und damit die Verdünnung des Abwassers kann sich aufgrund gesunkener Grundwasserstände deutlich verringern. Am Beispiel der Kläranlage Altenmarkt an der Alz in Oberbayern mit einer Ausbaugröße von 13.000 EW ist dieser Einfluss der Trockenwetterperiode 2018 gegenüber dem Jahr 2017 gut erkennbar (siehe Abb. 71). Der Fremdwasseranteil geht ab dem Frühjahr 2018 deutlich zurück und ist ab Juli bis zum Jahresende auf unter 3 % abgesunken. Dagegen blieben im Jahr 2017 die Werte ab dem Frühjahr mit Ausnahme eines Monats immer über 10 %.

¹ Fremdwasser: z. B. durch Undichtigkeiten ins Kanalnetz einsickerndes Grundwasser oder Wasser aus geschlossenen Drainagen

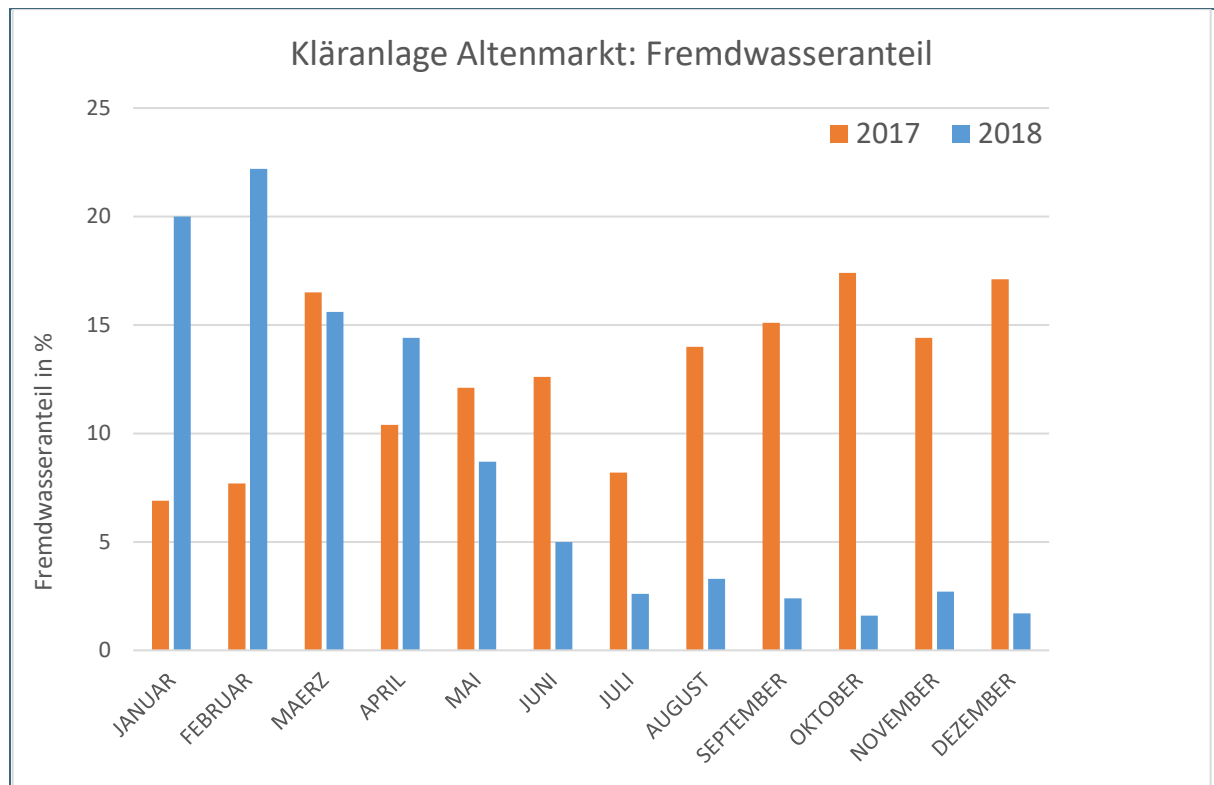


Abb. 71: Gegenüberstellung des Fremdwasseranteils bei der Kläranlage Altenmarkt 2017 und 2018

3.3.2 Seen

3.3.2.1 Wassertemperatur

Die beiden aufeinanderfolgenden heißen und trockenen Sommer 2018 und 2019 hatten auch Auswirkungen auf die Ökologie der bayerischen Seen.

Insbesondere im August 2018 wurden überdurchschnittlich hohe Temperaturen gemessen. Im Engeratsgundsee und Laufbichlsee, die auf über 1.800 m ü. NN in den Allgäuer Alpen liegen, erreichten die Oberflächenwassertemperaturen im August durchschnittlich 16 °C und lagen damit deutlich über den Monatsmittelwerten der Jahre 2016 und 2017 (< 14 °C). Im Ammersee sanken die Wassertemperaturen 2018 in den ersten zehn Augusttagen auch nachts kaum unter 25 °C. Sie beeinflussten auch die Schichtungseigenschaften. Je größer die Temperaturunterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser, desto stabiler ist in der Regel die thermische Schichtung. Im Ammersee, in dem kontinuierliche Wassertemperaturmessungen in verschiedenen Wassertiefen stattfinden, setzte die stabile Schichtung bereits Mitte April ein und damit deutlich früher als in den Vorjahren (2014–2017). Die Schichtungsdauer ist dadurch wesentlich länger als in den Vorjahren (2018 > 190 Tage, max. 172 Tage im Jahr 2015, siehe Abb. 72).

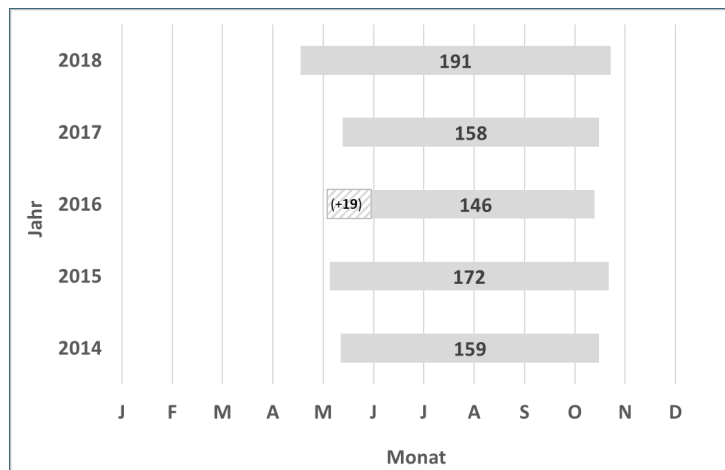


Abb. 72: Beginn und Dauer (Tage) der sommerlichen thermischen Schichtung im Ammersee in den Jahren 2014–2018. Hinweise: Die Schichtungsdauer ist hier definiert als Zeitraum, in der mindestens eine Wasserschicht einen Temperaturgradienten von 1 °C pro Meter Wassertiefe aufweist. Im Jahr 2016 ist auf Grund einer Messlücke der genaue Schichtungsbeginn nicht feststellbar (± 19 Tage).

Auch in anderen Seen, z. B. dem Waginger See, hielt die sommerliche Schichtung 2018 vergleichsweise lange an, wodurch die herbsthliche Durchmischung erkennbar später einsetzte. Lange Schichtungsperioden führen insbesondere in nährstoffreichen Seen zu Sauerstoffzehrungen im Tiefenwasser. Während der herbsthlichen Durchmischungsphase kann es so zu einem Sauerstoffmangel im gesamten Gewässer kommen. Im Drachensee beispielsweise führte im September 2018 das Sturmtief „Fabienne“ zu einer plötzlichen vollständigen Durchmischung des Sees. Infolge dessen gelangte sauerstofffreies Tiefenwasser sowie Schwefelwasserstoff in die oberen Wasserschichten. Größere Fischsterben wurden nicht beobachtet. 2019 zeigten sich im August weder in den Allgäuer Bergseen noch im Ammersee derartige Spitzen-Temperaturwerte. Die Bergseen waren im Vergleich zu den vorangegangenen drei Sommern relativ kühl. Die sommerliche thermische Schichtung im Ammersee setzte 2019 deutlich später ein als 2018. Der genaue Schichtungsbeginn und die Schichtungsdauer sind 2019 auf Grund der fehlenden Datengrundlage nicht bestimmbar.

3.3.2.2 Fischsterben

Insbesondere an kleineren Weihern wurden im Jahr 2018 witterungsbedingte Fischsterben gemeldet. In vielen Fällen führte ein Trockenfallen des Zulaufes in Verbindung mit hohen Wassertemperaturen zu einem Sauerstoffdefizit im Gewässer, wodurch die Fische verendeten. In vielen kleineren Gewässern ohne Zufluss stieg zudem auf Grund der lang anhaltenden Trockenheit und der Hitze die Gefahr des kompletten Trockenfallens. 2019 gab es auch Fälle in kleineren Fischteichen, in denen Fischsterben auf Luftdruckänderungen im Zusammenhang mit Hitzegewittern zurückgeführt wurden.

Über Fischsterben in den größeren natürlichen bayerischen Seen ist nichts bekannt. Bei stärkerer Erwärmung der oberflächennahen Wasserschichten besteht hier immer eine Rückzugsmöglichkeit für die Tiere in größere Tiefen, vorausgesetzt, dass dort genügend Sauerstoff vorhanden ist. Der kritische Wert wurde wohl nicht unterschritten, sodass hier 2018 und 2019 keine größeren Fischsterben auftraten. Im Großen Brombachsee kam es im Sommer 2018 zu einem größeren Aalsterben, infolge der Rotpunktseuche. Die langanhaltende Hitze im Sommer begünstigte die starke Vermehrung dieses Krankheitserregers, wodurch die Aale vermutlich verendeten.

3.3.2.3 (Blau-)Algenblüten

An zahlreichen Seen und Speichern konnte in beiden Jahren ein Massenaufreten von Blaualgen (Cyanobakterien) beobachtet werden. Betroffen waren insbesondere kleinere Badegewässer und Baggerseen, die sich in der Regel schneller erwärmen als größere Seen. Auf Grund erhöhter Konzentrationen von Giftstoffen, die durch Cyanobakterien produziert werden können, wurden an vielen Seen und Speichern Badewarnungen, vereinzelt auch zeitweise Badeverbote ausgesprochen, z. B. im

Eixendorfer Stausee, Altmühlsee, kleiner Brombachsee, Deichsendorfer Weiher, Hammersee (Oberpfalz), Baggerseen Kemmern und Breitengrüßbach (Oberfranken), Freudensee, Drei-Burgen-See (Niederbayern), Dechsendorfer Weiher (Mittelfranken), Kleidersee (Unterfranken). In einigen der genannten Seen treten jedoch regelmäßig Blaualgenblüten auf.

An Chiemsee und Simssee konnte im Jahr 2018 zudem eine verstärkte Entwicklung von Grünalgen nachgewiesen werden.

2019 wurde zum ersten Mal in Bayern das Auftreten der toxinbildenden Blaualgengattung *Tychonema* bekannt, welches u. a. im Zusammenhang mit stärkerer Erwärmung gesehen wird.

3.3.2.4 Entwicklung der Trophie in Niedrigwasserjahren gemäß Überwachungs- und Regionalmonitoring

Für viele Seen wurden, vor allem 2018, Spitzentemperaturen und Niedrigrekorde des Wasserstandes gemeldet. Auf die chemisch-physikalische Gewässerqualität der großen Seen, die im regelmäßigen Monitoring untersucht werden, hatten diese Bedingungen jedoch praktisch keinen Einfluss. Die Sauerstoffverhältnisse blieben stabil, die Nährstoffkonzentrationen überwiegend auf dem Niveau, welches durch die langjährigen Bemühungen zur Verbesserung der Gewässerqualität der Seen erreicht wurde. Diffuse Einträge von Nährstoffen sind in Trockenjahren quantitativ bedeutend geringer. Einschwemmungen aus dem Umland in Folge von Starkregenereignissen bleiben weitgehend aus. Beispielhaft wird die Entwicklung des Ammersees in den letzten 28 Jahren gezeigt (siehe Abb. 73). Die Phosphorgehalte und damit das Nährstoffangebot sind ebenso rückläufig wie die Chlorophyllgehalte, die ein Maß für die Produktivität der Algen sind. In den Jahren mit Niedrigwasser (2003, 2015, 2018 und 2019) waren die Chlorophyllgehalte nicht ungewöhnlich erhöht gegenüber dem langjährigen Mittel seit 2003 (3,5 µg/l; Standardabweichung ±0,8).

Die Zusammensetzung der Algen wird im Ammersee stark von der Blaualge *Planktothrix rubescens* geprägt (siehe Abb. 74). Diese Alge nahm im Niedrigwasserjahr 2015 deutlich zu, blieb in Folge auf hohem Niveau und brach nachfolgend im Winter 2017/2018 bis nahezu Null ein. Ausgehend von dieser äußerst geringen Startpopulation ist die erneute Vermehrung in den Sommern 2018 und 2019 sehr beachtlich. Eine im Sommer verstärkte Dominanz von Blaualgen wurde 2018/2019 auch im großen Alpsee bei Immenstadt, Simssee, Pelhamer See und im Eixendorfer See beobachtet, während die meisten anderen Seen nicht von einer Zunahme betroffen waren.

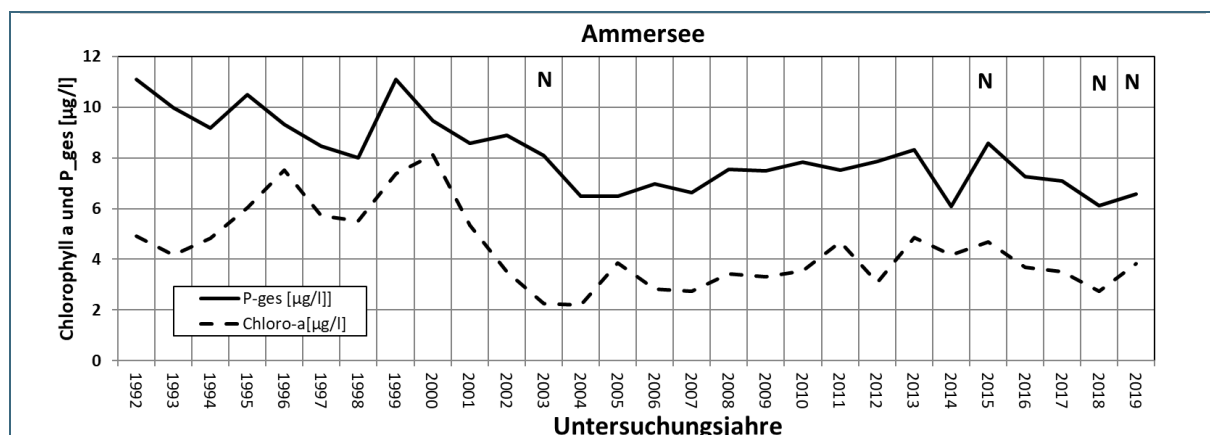


Abb. 73: Langzeitentwicklung der Trophieparameter im Ammersee seit 1992: Die Jahresmittelwerte von Gesamtposphor und Chlorophyll a waren in den Niedrigwasserjahren (gekennzeichnet mit N) nicht erhöht (Daten: LfU und WWA-WM).

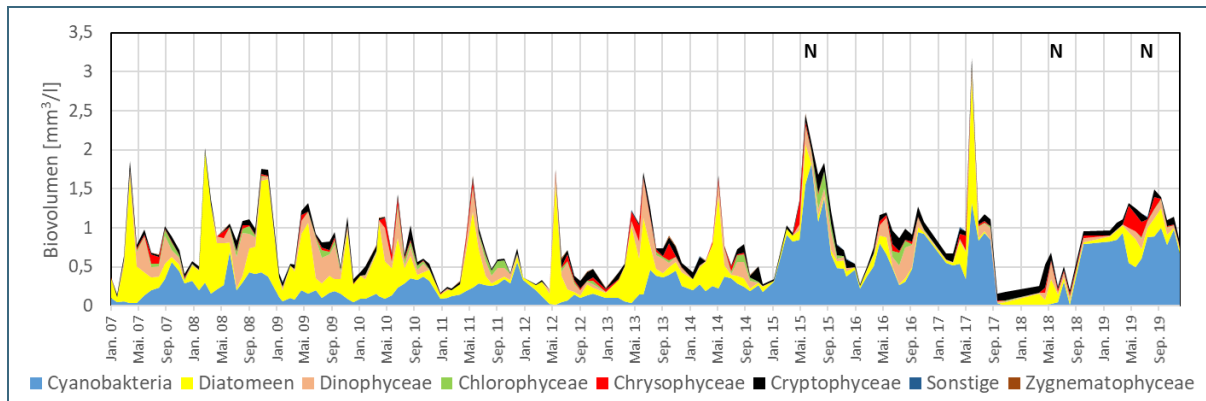


Abb. 74: Zusammensetzung des Phytoplanktons im Ammersee seit 2007 (kumulierte Biovolumina): Zunahme der Blaualgen (Cyanobakterien, blaue Flächen) bis Ende 2017, Rückgang im Winter 17/18 und erneute Zunahme in den Niedrigwasserjahren 2018 und 2019.

Für die meisten Seen, die gemäß Wasserrahmenrichtlinie nicht jedes Jahr hinsichtlich der Planktonalgen untersucht werden, sondern in einem mehrjährigen Turnus, ist es schwieriger festzustellen, ob eine trophische Besonderheit im Niedrigwasserjahr vorliegt. So fielen die letzten beiden Untersuchungen des Königsees jeweils in ein Niedrigwasserjahr, welche beide durch ungewöhnlich hohe Algenbiomassen auffielen (siehe Abb. 75). Diese Fröhsommerblüten wurden von Kieselalgen gebildet, die vermutlich von der stabileren thermischen Schichtung profitierten. In den meisten anderen großen Seen war die Algenentwicklung in den Niedrigwasserjahren nicht auffällig anders im Verhältnis zu den anderen erfassten Jahren oder sie fielen mit ihrem Untersuchungsturnus in keines der relevanten Niedrigwasserjahre (z. B. Hopfensee, Staffelsee).

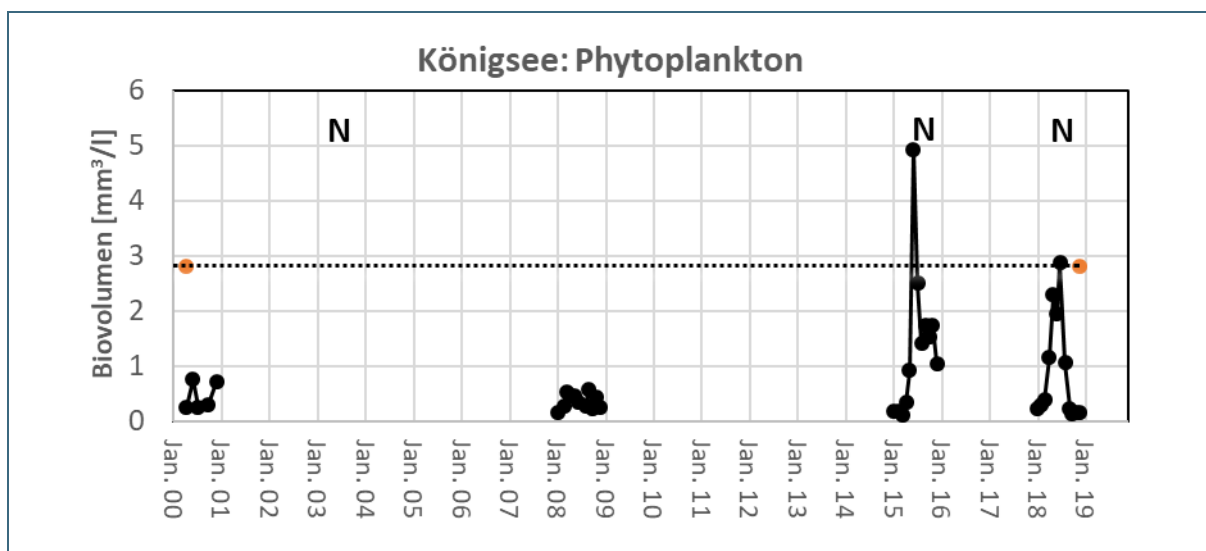


Abb. 75: Monatliche Algenbiomasse, gemessen als Phytoplanktonbiovolumen im Königsee in zwei hydrologisch durchschnittlichen und in zwei Niedrigwasserjahren (gekennzeichnet mit „N“, gestrichelte horizontale Linie; langjähriges Mittel plus doppelte Standardabweichung)

3.3.2.5 Makrozoobenthos (Wirbellose Organismen des Gewässergrundes)

Mobile Makrozoobenthosorganismen können einem schwankenden, niedriger werdenden Wasserspiegel folgen, weniger mobile, wie z. B. Muscheln, sind stärker betroffen. Am Rothsee führte eine erhebliche Absenkung des Wasserpegels im Rahmen der Donau-Main-Überleitung im Jahr 2018 zu einer Bedrohung der dort vorkommenden Muschelbestände (Maler-, Teichmuscheln). Die Muscheln im

Uferbereich wurden regelmäßig abgesammelt und in tiefere Wasserbereiche umgesetzt, um größere Muschelsterben zu verhindern. Für den Rottachsee wurde im gleichen Jahr der Bescheid zur Niedrigwasseraufhöhung ausgesetzt, da trotz Umsetzungsmaßnahmen die Muschelbestände vom Trockenfallen bedroht waren. Vereinzelt wurden tote Krebse im Uferbereich nachgewiesen. Auch am Eixendorfer Stausee wurden regelmäßig Kontrollen durchgeführt, um ggf. trockenfallende Muschelbestände rechtzeitig umsiedeln zu können. Hier fiel der Aufwand aber deutlich geringer aus. Für 2019 sind keine ähnlich gelagerten Probleme bekannt geworden.

3.3.2.6 Makrophyten/benthische Flora

Durch niedrige Wasserstände und damit trockenfallende Uferbänke wird die besiedelbare Fläche für Wasserpflanzen und Aufwuchsalgen geringer, Bestände können austrocknen, Röhrichtgürtel werden von der Wasseroberfläche abgeschnitten, stoffliche Umsätze und andere Stoffflüsse im Übergangsbereich Wasser – Land unterbunden. Neben der eventuell problematisch werdenden Wasserverfügbarkeit für einige Sumpf-Pflanzenarten steht der Lebensraum Röhricht und Wasserpflanzen des Flachwassers dann auch z. B. für Jungfische nicht mehr als Rückzugs- und Schutzgebiet zur Verfügung. Auch als Laichhabitat für Amphibien und Fische können diese Bereiche nicht mehr genutzt werden. Bereits abgelegter Laich trocknet aus. Es können einzelne Gelege bzw. Jahrgänge ausfallen. Für im Röhricht nistende Vogelarten geht der Schutz vor Landräubern, der durch die Wasseroberfläche geboten wird, verloren. Welche Auswirkungen diese Trockenperioden auf die in diesen Bereichen lebenden Tier- und Pflanzengesellschaften haben werden, wird sich erst bei zukünftigen Untersuchungen herausstellen.

Bei den Wasserpflanzen, die immer in größeren Wassertiefen wachsen, gibt es Arten, die besonders gut auf höhere Temperaturen angepasst sind, sich bei zunehmend wärmeren Verhältnissen stark ausbreiten und andere Arten verdrängen (siehe Abb. 76).



Abb. 76:
Das Nixenkraut kann erst bei höheren Wassertemperaturen Samen ausbilden und sich stark vermehren.

3.3.2.7 Parasiten

Bei höheren Wassertemperaturen (gewöhnlich ab 24 °C) besteht die Möglichkeit, dass Larven eines Pärchenegels in größeren Mengen im Freiwasser stehender Gewässer vorkommen. Im Normalfall verbreiten sich diese Parasiten über Schlammschnecken und Wasservögel als Wirtsorganismen, können aber auch den Menschen befallen und Hautausschlag hervorrufen. Im Jahr 2019 wurde dieses Problem u. a. vom Wöhrder See gemeldet.

3.3.2.8 Weitere Faktoren im Zusammenhang mit Hitzeperioden

Die Wettersituation während Hitzeperioden kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Seen. Normalerweise sind Hitzeperioden verbunden mit Gewitterneigungen und lokalen Starkregenereignissen. Solche Starkregen können kurzzeitig große Nährstoffmengen aus den Zuflüssen und Landflächen in die Seen einbringen, was zu kurzzeitig auftretenden Algenblüten führen kann. Auch Keimbelastungen können dadurch stark ansteigen und im Extremfall zu Badeverboten führen. Fehlen jedoch mehrere Wochen lang Gewitter und Starkniederschläge, bleiben die Einträge durch Starkregen aus, und die bayerischen Seen können trotz großer Hitze gute ökologische Verhältnisse im Freiwasser beibehalten.

3.3.3 Fazit Lebensraum Gewässer

Fließgewässer

In Hitze- und Trockenjahren wie 2018 und 2019 kommen verschiedene Faktoren zusammen, die sich negativ auf die ökologische Situation in unseren Flüssen und Bächen auswirken. Stark reduzierte Abflüsse in Verbindung mit starker Sonneneinstrahlung und erhöhten Lufttemperaturen führen zu einer Erwärmung des verbliebenen Wassers. Damit einher geht in der Regel ein verminderter Sauerstoffgehalt, der dem steigenden Sauerstoffbedarf von wechselwarmen Organismen entgegensteht. Auffallend waren in ganz Bayern auch die Vielzahl der komplett trockengefallenen Gewässerabschnitte. Diese Gewässer stehen damit nur noch eingeschränkt als Lebensraum für Gewässerorganismen zur Verfügung.

Charakteristisch für Niedrigwasserjahre ist eine verstärkte Entwicklung von Algen und anderen Wasserpflanzen im Gewässerbett. Die Pflanzen profitieren insbesondere von der längeren Sonneneinstrahlung, den niedrigen Wasserständen und der häufig geringeren Trübung des Wassers. Auch eine mechanische Schädigung durch Umlagerung oder starke Strömung, die sonst zur Regulierung des Pflanzenwachstums führt, findet in Trockenphasen nicht statt. Fallen die Gewässer trocken, bedecken die absterbenden Pflanzen die trockenfallenden Uferbereiche wie z. B. Kiesbänke.

Seen

Die beiden Trockenjahre 2018 und 2019 stellen sich unterschiedlich dar. 2018 waren die Auswirkungen der Witterung deutlich gravierender als im Jahr 2019, in welchem gerade im Süden Bayerns mehr Niederschläge fielen. Besonders 2018 traten in der Seemitte oberflächlich höhere Wassertemperaturen auf als normal, 2019 war dieser Trend anhand der dort erhobenen Daten nicht so deutlich zu erkennen. 2018 konnte eine deutlich verlängerte Dauer der sommerlichen Temperaturschichtung beobachtet werden. Längere stabilere Schichtung führt zu erhöhter Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser – der Sauerstoff war 2018 früher als sonst verbraucht. Daraus resultiert eine erhöhte Freisetzung von Schwefelwasserstoff und Phosphor aus dem Sediment.

In nährstoffarmen Seen tritt eine deutliche Erhöhung der Algenbiomassen auf. In beiden Jahren gab es gehäuft Bildung von Algenmassenentwicklungen, v. a. Cynaobakterien (Blaualgen) und Grünalgen. In der Folge wurden Sperrungen von Badegewässern, zum Teil wegen Gefährdung durch Blaualgentoxine, ausgesprochen. Insgesamt verstärken sich die Eutrophierungsphänome.

4 Niedrigwasser-Informationsdienst

4.1 Internetangebot NID

Das Internetangebot Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID) startete im Jahr 2008 und wurde/wird schrittweise weiter ausgebaut. Vorausgegangen waren außergewöhnliche Witterungseignisse, wie zum Beispiel die markant zu warmen Jahre 2000, 2002 und 2007, das deutlich zu trockene Jahr 2003 und der markant zu trockene April 2007. Insbesondere die lange Dürre des Jahres 2003 ließ mögliche zukünftige Auswirkungen erahnen und die Notwendigkeit, ein Niedrigwassermanagement zu etablieren.

Im NID werden tagesaktuelle Daten automatischer Messnetze zu diversen gewässerkundlichen Themen dargestellt und mit Hilfe von einfachen Klassifikationen aufbereitet sowie fachlich bewertet. Das NID-Angebot wurde nach dem Vorbild des Internetangebotes Hochwassernachrichtendienst Bayern entwickelt, unterscheidet sich aber grundlegend in der Datenaufbereitung, die zur Erkennung von Niedrigwassersituationen und einhergehenden Gefährdungen optimiert wurde.

The screenshot shows the homepage of the Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern. At the top, there is a navigation bar with links for 'Startseite', 'Kontakt', 'Impressum', 'Datenschutz', and 'LFU-Hauptangebot'. The main header includes the logo of the Bayerisches Landesamt für Umwelt and the title 'Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern'. Below this is a secondary navigation menu with categories like 'Lage', 'Abfluss', 'Niederschlag', 'Grundwasser', 'Seen/Speicher', 'Gewässerqualität', 'Ereignisse', 'Hilfe', 'Links', and 'Wir'. The main content area is divided into several sections: 'Startseite' with a search bar, 'Niedrigwasser-Lagebericht Bayern' with a report from 02.07.19, 'Niedrigwassersituation' with a map of water levels, 'Niederschlagsindex (90 Tage)' with a precipitation map, 'Alarmpläne der Ökologie' with an ecological alarm map, and 'Wetterwarnungen' with a weather warning map. The footer contains the copyright information '© Bayerisches Landesamt für Umwelt 2019'.

Abb. 77: NID-Internetangebot vom 04.07.2019 (Screenshot)

Im Einzelnen werden folgende Themen im NID behandelt:

- **Abflüsse von Fließgewässerpegeln:** Verlauf der Abfluss-Tagesmittel der letzten zwei Monate und Niedrigwasserklassifizierung im Verhältnis zu den langjährigen Tageswerten bzw. dem mittleren niedrigsten Tagesmittel aller Jahre (MNQ).
- **Wasserstände von Seen und Speichern:** Verlauf der Seewasserstände in den letzten zwei Monaten und Niedrigwasserklassifizierung im Verhältnis zu den langjährigen Tageswerten. Bei den Talsperren und Speichern erfolgt eine Einstufung auf Basis des verfügbaren Betriebsraums für die Niedrigwasseraufhöhung.
- **Niederschlagssituation:** Verlauf der Niederschlagssumme in den letzten 90 Tagen im Vergleich zum langjährigen Mittel und zu ausgewählten Trockenjahren, Andauer von Trockenperioden und Einstufung/Vorhersage des Niederschlags mit Hilfe des SPI-Dürreindex.
- **Grundwasser:** Messwertverlauf der Grundwassermessstellen und Quellschüttungen in den letzten 12 Monaten inklusive Niedrigwasser-Klassifizierung. Getrennte Darstellungen für das obere und das tiefere Grundwasserstockwerk.
- **Gewässerqualität:** Sauerstoffgehalte und Wassertemperaturen der letzten 7 Tage im Vergleich zu Orientierungswerten der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. der Gewässerverordnung OGWVO.
- **Alarmpläne der Ökologie:** Klassifizierung von gewässerökologischen Situationen für spezielle Fließgewässerteilstrecken nach Beurteilung durch ein Expertenteam.

Aktuelle **Lageberichte** zu außergewöhnlichen Situationen, die Darstellung von Hitze- sowie UV-Warnungen des DWD, wasserwirtschaftliche Berichte zu zurückliegenden Niedrigwasserereignissen sowie weiterführende Links runden das Informationsangebot ab.

Neben der Information der Öffentlichkeit, liegt das Ziel des NID darin, kritische Zustände repräsentativ zu erkennen. Damit liefert der NID die Grundlage für frühzeitige Reaktionen der Gewässernutzer und Entscheidungsträger bei Niedrigwasserlagen und die Möglichkeit, rechtzeitig geeignete Maßnahmen einzuleiten.

4.2 Zugriffszahlen

Die Internetplattform Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID) <https://www.nid.bayern.de> wurde in den Extremwetterjahren 2018 und 2019 sehr stark nachgefragt. Die Gesamtzahl der jährlichen Seitenzugriffe stieg von 2017 bis 2019 signifikant an und lag im Jahr 2019 um 70 % über den Werten des Jahres 2017. Neben einer gesteigerten Nachfrage während der außergewöhnlichen Niedrigwasserjahre 2018 und 2019, ist dies sicherlich auch ein Ausdruck dafür, dass der NID in der Öffentlichkeit bekannter geworden ist. Das Internetangebot Hochwassernachrichtendienst Bayern ist seit vielen Jahrzehnten eingeführt und einem sehr großen Nutzerkreis vertraut. Dadurch lassen sich die noch größeren Zugriffszahlen, auch unabhängig von Hochwasserereignissen, erklären.

Tab. 12: Vergleich der jährlichen Zugriffszahlen für verschiedene LfU-Internetangebote
(Datenquelle: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern)
Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID): <https://www.nid.bayern.de>
Hochwassernachrichtendienst Bayern (HND): <https://www.hnd.bayern.de/>

Vergleich der Webangebote	2017 [Anzahl]	2018 [Anzahl]	2019 [Anzahl]
Besuche NID	444.838	608.438	723.498
Seitenansichten NID	1.203.993	1.873.166	2.060.504
Besuche HND	3.710.778	4.543.621	5.580.296
Seitenansichten HND	14.585.309	16.672.690	23.935.852

Die Auswertung der täglichen Zugriffszahlen, Besuche und Seitenansichten im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019, ermöglichte detailliertere Analysen. So war das Interesse am NID-Angebot jahreszeitenübergreifend gegeben. In den hydrologischen Sommerhalbjahren waren meist mehr als 5.000 Seitenzugriffe pro Tag zu verzeichnen und die Spitzen spiegelten außergewöhnliche Witterungssituationen und/oder die Resonanz zu Medienberichten wider. Die Aufsplittung der Gesamtbesuche nach Wochentagen überrascht vielleicht. Die meisten Zugriffe erfolgten sonntags, gefolgt von donnerstags, montags, freitags, mittwochs.

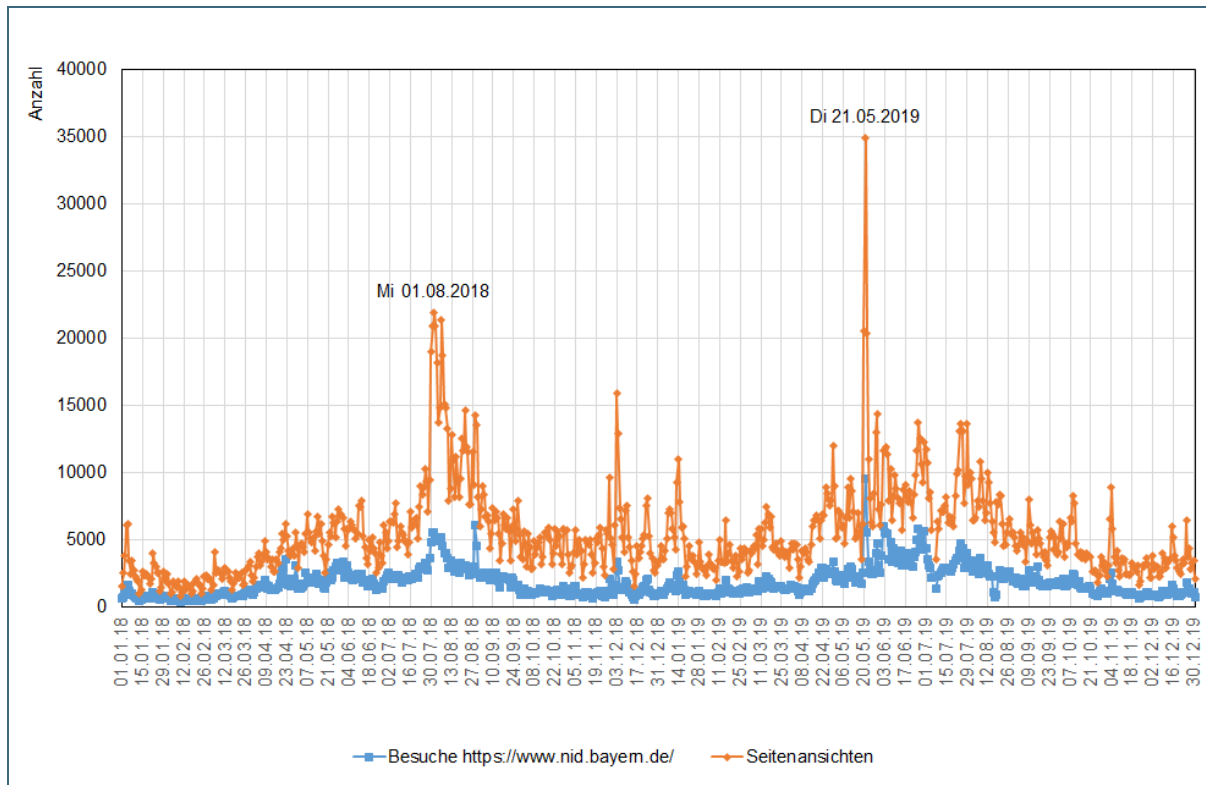


Abb. 78: Tägliche Zugriffszahlen für das NID-Internetangebot <https://www.nid.bayern.de>
Besuche und Seitenansichten im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019.

Die Tage mit den höchsten Zugriffszahlen waren:

Mittwoch, 01. August 2018 (Hitzewelle): 21.912 Seitenansichten mit folgendem Themen-Ranking (Zugriffszahlen in absteigender Sortierung): Wassertemperatur, Abfluss, Grundwasser, Speicher, Niederschlag, Gewässerqualität, Lagebericht, ...

Montag, 06. August 2018 (Hitzewelle): 21.383 Seitenansichten mit folgendem Themen-Ranking (Zugriffszahlen in absteigender Sortierung): Wassertemperatur, Abfluss, Grundwasser, Speicher, Niederschlag, Gewässerqualität, Lagebericht, ...

Montag, 03. Dezember 2018 (kräftige Niederschläge nach 10 zu trockenen Monaten): 15.881 Seitenansichten mit folgendem Themen-Ranking (Zugriffszahlen in absteigender Sortierung): Niederschlag, Grundwasser, Abfluss, Speicher, Wassertemperatur, ...

Dienstag, 21. Mai 2019 (bayernweit ergiebige Regenfälle): 34.939 Seitenansichten mit folgendem Themen-Ranking (Zugriffszahlen in absteigender Sortierung): Niederschlag, Grundwasser, Speicher, Abfluss, Wassertemperatur, ...

Im Sommer war die Wassertemperatur am gefragtesten, am Jahresende 2018 hatten die Themenbereiche Niederschlag, Speicher und Grundwasser die höchsten Zugriffe. Am 29. August 2018 wurde der Lagebericht intensiv nachgefragt und hatte die meisten Zugriffe, noch vor Wassertemperatur, Grundwasser, Abfluss und Speicher – vielleicht gab es zu diesem Zeitpunkt einen expliziten Hinweis darauf in den Medien? Um den 21. Mai 2019 traten Dauerregenfälle auf und vermutlich bestand ein bevorzugtes Interesse daran, ob die Flächenniederschläge die Niedrigwassersituation grundlegend verändert hatten.

4.3 Lageberichte

In Abhängigkeit von der Betroffenheit werden NID-Lageberichte erstellt. Dabei beschreibt der Bericht die Niedrigwassersituation zum Ausgabetag anhand der Themenblöcke Witterung, Fließgewässer, Seen und Speicher, Grundwasserstände sowie Gewässerökologie Fließgewässer und Seen. Der Kurztext am Anfang hebt besondere Auswirkungen hervor und der Ausblick am Ende prognostiziert die weitere Entwicklung im nächsten Witterungsabschnitt. Der NID-Lagebericht ist eine fachübergreifende Teamleistung der LfU-Referate 65, 92, 83, 85 und 86 unter Federführung der LfU-Abteilung 8.

Im Zeitraum Mai bis Dezember 2018 wurden 29 NID-Lageberichte veröffentlicht. Im Folgejahr 2019 lag die Gesamtzahl bei 14. Presseagenturen, öffentlich-rechtliche Medien und weitere Medienunternehmen nutzen sehr gerne diese gebündelte Informationsquelle.

5 Schifffahrt

Die Jahre 2018 und 2019 wurden durch zahlreiche sowie langanhaltende Trockenperioden geprägt, wodurch die Flusswasserstände im Jahresverlauf stark absanken. Besonders betroffen war die Donau in ihrer Funktion als Bundeswasserstraße (BWaStr) und der daraus resultierenden Bedeutung für die Berufsschifffahrt. Über die Wasserstraßenanbindung Main-Donau-Kanal, Main und Rhein erstreckten sich die ökonomischen Auswirkungen über weite Teile Mittel- und Südosteuropas.

Bei Niedrigwasser reduziert sich der schiffbare Tiefgang (Abladetiefe) und ggf. müssen Schiffe teilweise entladen (geleichtert) werden. Im extremen Niedrigwasserfall drohen Havarien und Vollsperrungen von Wasserstraßen.

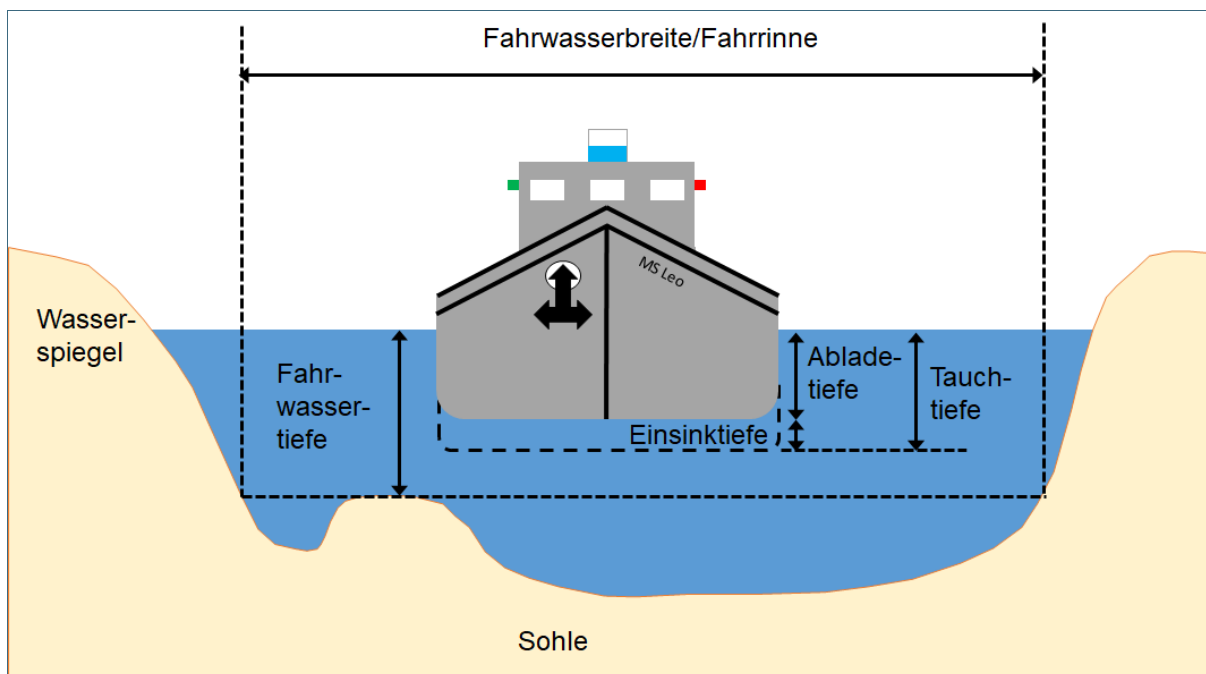


Abb. 79: Wichtige Parameter für die Binnenschifffahrt

Als Erläuterungshilfe für die Abb. 79 werden [Begriffsdefinitionen der Bundesanstalt für Wasserbau \(BAW\)](#) herangezogen:

Abladetiefe (Tiefgang): Abstand zwischen dem tiefsten Punkt eines Schiffes in Ruhe und der Ebene des Wasserspiegels.

Einsinktiefe (Absenk): Der dynamische Absenk ist das Maß, um das ein Schiff bei der Fahrt zusätzlich zur Abladetiefe einsinkt.

Tauchtiefe: Summe aus Abladetiefe und Einsinktiefe.

Ein wichtiger pegelspezifischer Richtwert für die Durchführung der Schifffahrt sowie die Unterhaltung frei fließender Wasserstraßen im Zuständigkeitsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) ist der Regulierungswasserstand (RNW). Sinkt der Wasserstand am Pegel unter den RNW, nehmen der mögliche Tiefgang und damit die Frachtkapazität der Schiffe typenabhängig ab. Abladebestimmend für die Donau ist die freifließende Strecke zwischen Straubing und Vilshofen. An dem für die Donauschifffahrt maßgebenden Pegel Pfelling beträgt der RNW 290 cm.

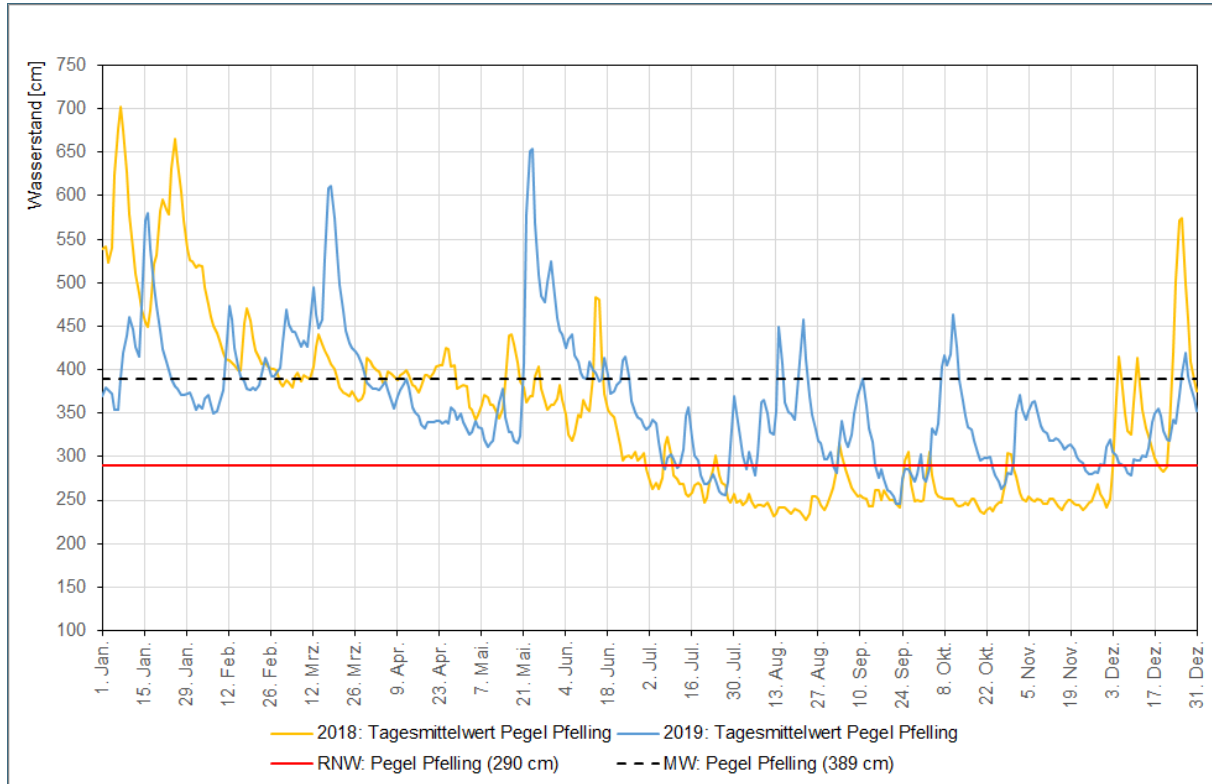


Abb. 80: Pegelwasserstand Pfelling/Donau in den Jahren 2018 und 2019 mit den Kennwerten Regulierungswasserstand (RNW) und Mittelwasser (MW) i

Die Wasserstandsganglinien des Pegel Pfelling zeigen, dass die Donau jeweils am Jahresanfang 2018 und 2019 größere Mengen Wasser führte, oft oberhalb des Mittelwassers (MW). Anfang Juli fiel der Wasserstand in den Trockenjahren 2018 und 2019 unter einen die Schifffahrt beeinträchtigenden Wert ab (01.07.2018, 07.07.2019). Die anschließende überdurchschnittlich warme und trockene Witterung im Juli und August führte insbesondere im Jahr 2018 zu einer dauerhaften RNW-Unterschreitung. Im Sommer 2018 waren es 40 aufeinanderfolgende Unterschreitungstage des RNW, im Sommer 2019 waren es maximal 10 Tage am Stück. Am 23. August 2018 wurde mit 228 cm der niedrigste Wasserstand des gesamten Zweijahreszeitraums (2018 bis 2019) gemessen. Zeitweilige Regenfälle unterbrachen im Herbst 2018 nur kurzzeitig die Niedrigwassersituation und so wurde der RNW an insgesamt 84 Herbsttagen unterschritten. Im Herbst 2019 war die Unterschreitungszahl des RNW dagegen deutlich geringer und lag bei 28. Anfang Dezember wurde der RNW im Jahr 2018 an 6 Tagen und 2019 an 3 Tagen unterschritten. Im weiteren Dezembervverlauf führten stärkere Regenfälle, sowohl im Jahr 2018, als auch im Jahr 2019 zu einer Entspannung der Niedrigwassersituation

Insgesamt wurde der RNW des Pegel Pfelling im Jahr 2018 an 148 Tagen (40 % aller Tage) unterschritten und in der gesamten Beobachtungsreihe ab 1928 wies nur das Jahr 1949 eine höhere Unterschreitungszahl von 150 Tagen auf. In der jüngeren Vergangenheit wurden zuletzt häufige RNW-Unterschreitungen in den Jahren 2015 (106 Tage) und 2003 (94 Tage) verzeichnet. Im Jahr 2019 summierten sich die Tage mit einem Wasserstand von weniger als 290 cm auf 47 Tage.

Zwar ist der Wasserstand eine zentrale Größe für die Schifffahrt, aber durch Sohleveränderungen im Fließgewässer oder flussbauliche Maßnahmen lässt sich der Wasserstand weniger gut für eine historische Einordnung heranziehen. Deshalb erfolgt im Folgenden eine Betrachtung der niedrigsten Abflusswerte für den Pegel Pfelling/Donau. Der niedrigste Abflusswert des Jahres wurde für den 23.08.2018 mit 148 m³/s ermittelt. In der 95-jährigen Reihe hatten nur 11 Jahre noch niedrigere Abflusswerte, zuletzt 1962, wobei der niedrigste Abflusswert mit 105 m³/s vom 25.09.1947 stammt.

Auf der Donau ist das Europaschiff weit verbreitet, das eine Abladetiefe von 2,5 bis 3,0 m aufweist. Dieser Binnenschiffstyp konnte in den beiden Niedrigwasserjahren 2018 und 2019 seine Ladekapazität oft nicht ausschöpfen und musste mit geringerer Auslastung fahren und/oder lange Liegezeiten in Kauf nehmen. Bei Talfahrt erfolgt die Leichterung zum Beispiel im Donauhafen Regensburg. Für die Schleusenbetriebsstellen Würzburg (Main), Viereth (Main), Kelheim (Main-Donau-Kanal) und Jochenstein (Donau) liegen Daten zu Gütermengen in t, Anzahl der Güter-/Fahrgastkabinenschiffe etc. vor. Diese Verkehrszahlen wurden freundlicherweise von der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS, Unterabteilung Binnenschifffahrt, Standort Würzburg) zur Verfügung gestellt.

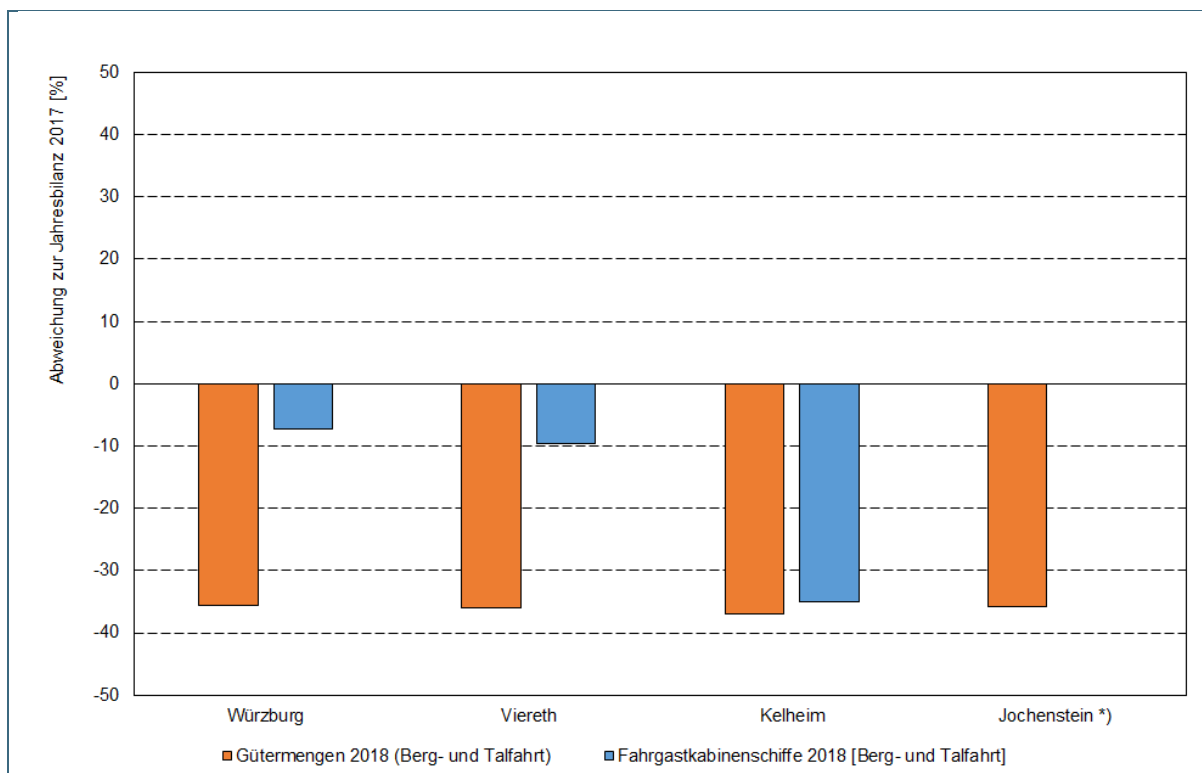


Abb. 81: Änderungen bei den Gütermengen und Schiffspassagen durch ausgewählte Schleusenbetriebsstellen im Trockenjahr 2018 (Datenquelle: GDWS, Standort Würzburg, Datenaufbereitung: LfU Ref.86)

*) Jochenstein: keine Auswertung für Fahrgastkabinenschiffe, da die Datenlage für 2017 unvollständig ist

Im Niedrigwasserjahr 2018 ist bei den Gütermengen und bei der Anzahl der Fahrgastkabinenschiffe ein deutlicher Rückgang gegenüber dem Jahr 2017 zu erkennen. Ob diese Abnahme allerdings alleine auf die Niedrigwasserverhältnisse zurückzuführen ist, lässt sich im Rahmen dieser Auswertung nicht belegen.

Insbesondere im Sommer und Herbst 2018 konnten die Binnenschiffe ihre volle Ladekapazität nicht ausschöpfen und dies führte dazu, dass Warenströme auf Bahn und/oder LKW verlagert werden mussten. In großem Umfang wurden zum Beispiel Treibstoffzulieferungen ersatzweise mittels LKW-Transport vorgenommen.

Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg 2019) zeigen, dass Niedrigwasserphasen, durch den Klimawandel bedingt, künftig möglicherweise häufiger auftreten werden. Als zusätzlicher Faktor ist in Betracht zu ziehen, dass durch verringerte Schnee- und Gletscherschmelzen eine Abflussreduzierung im Frühjahr und Sommer auftreten kann.

Das Themenfeld „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ untersucht das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mit seinem Experten-Netzwerk (BAG, BAST, BAW, BfG, BSH, DWD, DZSF, EBA) und erste Forschungsergebnisse aus der Projektphase 2016–2019 liegen vor. Diese enthalten auch Bewertungen zur Kritikalität unterschiedlicher Wasserstraßenabschnitte in verkehrlicher und ökologischer Sicht (BMVI 2020).

6 Zusammenfassung und Fazit

Die detaillierten fachlichen Analysen dokumentieren die umfangreichen Auswirkungen auf unseren Lebensraum und haben folgende herausragenden Merkmale der Niedrigwasserjahre 2018 und 2019 ergeben:

2018 stellte das wärmste Jahr in der 139-jährigen Beobachtungsreihe dar. Seit dem Jahr 2011 waren die folgenden neun Jahre zu warm sowie acht davon zu trocken ausgefallen. Einzigartig waren die zehn aufeinanderfolgend zu trockenen Monate im Jahr 2018 mit der niedrigsten Niederschlagssumme in der 139-jährigen Reihe sowie die 13 zu warmen Monate von April 2018 bis April 2019. Nach derzeitigem Stand (September 2020) könnte auch das Jahr 2020 zu warm ausfallen, da 8 der 9 Monate wärmer waren als das jeweilige Mittel 1971–2000. Die bisherige Niederschlagsbilanz für 2020 klassifiziert 6 der 9 Monate als zu trocken, wobei momentan nur Nordbayern ein Niederschlagsdefizit aufweist (– 5 % vom Mittel 1971–2000).

2018 und 2019 kam es an den Fließgewässern in weiten Teilen Bayerns zu ausgeprägten Niedrigwasserphasen. Für das Jahr 2018 verzeichneten die Fließgewässer in einem Streifen vom Allgäu bis nach Niederbayern und in den östlichen Mittelgebirgslagen eines der abflussärmsten Jahre seit Beobachtungsbeginn. Dabei wurden die Niedrigwerte der Jahre 2003 und 1976 häufig erreicht oder unterschritten, und einzelne Pegel verzeichneten im Jahr 2018 neue Niedrigstwerte. Außerdem waren in einem erheblichen Ausmaß kleinere Fließgewässer trockengefallen, wobei die Schwerpunkte in Unter- und Oberfranken lagen. 2019 war die Abflusssituation teilweise günstiger, vor allem im Alpenbereich mit höheren Niederschlägen und Stützung durch Schmelzwasser aus den Rücklagen des schneereichen Winters. Dahingegen zählt 2019 in Teilen Frankens, der nördlichen Oberpfalz sowie des südlichen Niederbayerns zu den abflussärmsten Jahren seit dem Beginn der Beobachtung. Die Niedrigwerte von 2018, 2003 und 1976 wurden häufig erreicht oder unterschritten.

Bei vielen Seen wurden im Verlauf der Jahre 2018 und 2019 die niedrigsten Wasserstände am Ende der langanhaltenden Trockenphase Ende November 2018 registriert. Am Starnberger See zum Beispiel wurde einer der niedrigsten Wasserstände seit 1908 gemessen. Im Jahr 2019 zeigten die größeren oberbayerischen Seen kein Niedrigwasser.

An ca. jeder zweiten Messstelle des Landesgrundwasserdienstes wurde entweder 2018 oder 2019 ein neuer Niedrigstwert in der Beobachtungsreihe seit 2000 erreicht. Im Dezember 2018 wurden 84 % aller Grundwassermessstellen und Quellen als niedrig oder sehr niedrig eingestuft, im Dezember 2019 waren es 76 %. Auch sind im Jahr 2018 einzelne Quellen vorübergehend trockengefallen. Die Grundwasserneubildung ging stark zurück: die größten Abnahmen in der Grundwasserneubildung wurden im Jahr 2018 für Oberfranken, Unterfranken und Schwaben ermittelt. Im Jahr 2019 waren Niederbayern und die Oberpfalz am stärksten davon betroffen. Auch die tiefen Grundwasserstockwerke zeigen in den letzten Jahren (v.a. seit 2015) mehrheitlich abnehmende Grundwasserstände. So wurden im Mittel über den Jahresverlauf in 2018 64 % der Messstellen und in 2019 71 % der Messstellen als niedrig oder sehr niedrig klassifiziert. Insgesamt wurden somit in 2019 niedrigere Grundwasserverhältnisse als in 2018 gemessen.

Die Untersuchung der Bodenwassergehalte zeigte, dass die Gesamtheit der Vegetation erheblich unter Wasserstress geriet. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (48 Tage pro Jahr) wurde im Jahr 2018 der Schwellenwert <30 % der nutzbaren Feldkapazität um zusätzliche 67 Tage unterschritten – im Jahr 2019 waren es weitere 24 Tage mit einem Wasserstress für die Vegetation.

Die Trinkwasserversorgung war 2018 und 2019 insgesamt gewährleistet, nur vereinzelt traten temporär lokal beschränkte Engpässe auf. So waren 2018 einzelne vorwiegend kleinere Wasserversor-

gungsanlagen, mehrheitlich mit Quellwassernutzung, betroffen, bei denen der Wasserbedarf zusätzlich über Notleitungen/Tankwagen etc. gedeckt werden musste. Im Jahr 2018 waren hiervon zeitweise rund 42.000 Einwohner Bayerns betroffen. Im Jahr 2019 wurden nur ganz vereinzelt lokale Versorgungsprobleme in den Sommermonaten registriert. Um die Versorgungssicherheit der Trinkwasserversorgung in Bayern auch künftig zu gewährleisten, wird die Leistungsfähigkeit der bayerischen Wasserversorgung derzeit analysiert und bewertet. Evtl. Schwachpunkte sollen identifiziert und Handlungsoptionen abgeleitet werden.

Die Trinkwassertalsperren Mauthaus und Frauenau konnten 2018 und 2019 in vollem Umfang die Aufgabe der Rohwasserabgabe für die Trinkwasserversorgung sicherstellen. Insgesamt waren die staatlichen Wasserspeicher in beiden Jahren durch den Betrieb zur Niedrigwasseraufhöhung der nachfolgenden Fließgewässer besonders beansprucht. Die Betriebsräume wurden bis zu 80 % entleert, die Leistungsgrenzen wurden aber noch nicht erreicht.

Bei einer Vielzahl von Wassertemperaturmessstellen wurden sowohl im Jahr 2018, als auch im Jahr 2019 neue Höchstwerte in ihrer Beobachtungsreihe verzeichnet. In beiden Jahren führte die Gewässererwärmung zu einer verstärkten Entwicklung von Algen und Wasserpflanzen und an etwa 50 % der Wassertemperaturmessstellen zu Überschreitungen der Orientierungswerte für die Fischgemeinschaften. In Restwasserpflützen und verlandeten Altarmen wurden 2018 und 2019 vereinzelt tote Fische gefunden. An der Naab war im August 2019 ein Muschelsterben zu verzeichnen. Vielerorts konnte durch die Umsetzung von Muschelbeständen oder Zuleitungen von Wasser, z. B. mittels Tankwagen, geholfen werden.

Der Alarmplan Gewässerökologie Main, der kritische Zustände der Gewässerqualität aufzeigt, hatte 2018 seine Bewährungsprobe. So wurde am 03.08.2018 die höchste Meldestufe „Alarm“ ausgerufen und eine Fülle von Maßnahmen, wie zum Beispiel das vertiefte Monitoring, die fachliche Beratung von Anlagenbetreibern, Sauerstoffanreicherungen am Wehrüberfall oder Turbinenbelüftungen kamen zum Einsatz.

Die Gewässerökologie der Seen beobachtete im Jahr 2018 langanhaltende stabile Temperaturschichtungen in den Seen, die zu Sauerstoffzehrungen im Tiefenwasser und dem daraus resultierenden Stress für die Fischfauna führten. In kleineren Weihern kam es im Jahr 2018 durch Trockenfallen von Zuflüssen in Verbindung mit hohen Wassertemperaturen und Sauerstoffdefiziten zu Fischsterben. Der niedrige Wasserstand im Rothsee bedrohte Maler- und Teichmuscheln, die zur Rettung umgesetzt wurden. Am Rottachsee wurde die Niedrigwasseraufhöhung ausgesetzt, um ein weiteres Trockenfallen zu verhindern und die Muschelbestände und Krebse nicht noch weiter zu gefährden. In den Jahren 2018 und 2019 wurde ein gehäuftes Auftreten von Grünalgen und Blaualgen registriert. In der Folge wurden zahlreiche Badewarnungen ausgesprochen und vereinzelt Badeverbote/Sperrungen von Badegewässern bei der Gefährdung durch Blaualgentoxine verhängt. Durch die Niedrigwassersituationen bedingt wurden auch Röhrichtbestände abgeschnitten, die als Lebensraum für Jungfische dienen, was vielfältige Auswirkungen auf die dortigen Tier- und Pflanzengesellschaften hat.

Im Aufgabenfeld der öffentlichen Abwasserbeseitigung wurden in den Jahren 2018 und 2019 keine Zunahme problematischer Gewässerzustände festgestellt.

Bei den transportierten Gütermengen der Schifffahrt und bei der Anzahl der Fahrgastkabinschiffe war 2018 ein deutlicher Rückgang gegenüber 2017 zu verzeichnen. Binnenschiffe mussten teilweise geleichtert und Warenströme auf Bahn und/oder LKW verlagert werden. An dem für die Donauschifffahrt maßgebenden Pegel Pfelling wurde der die Schifffahrt beeinträchtigende Wasserstand an 148 Tagen im Jahr 2018 unterschritten und belegt damit Rang 2 in der 92-jährigen Beobachtungsreihe.

Die Internetplattform Niedrigwasser-Informationdienst Bayern (NID) wurde sehr stark nachgefragt und die Seitenzugriffe stiegen von 2018 auf 2019 um 10 % an. Das zeigt, dass Fakten zur Ausprägung von Trockenheiten/Dürren sowie den damit einhergehenden Gefährdungen in umfangreichem Maße benötigt werden und das Interesse der Öffentlichkeit am NID wächst.

Das Jahr 2018 vermittelt den Eindruck, dass sich die Trockenheitslage immer mehr verschärft. Ist das nun ein Zeichen für den Klimawandel? Oder ist es ein Einzelereignis, wie es im natürlichen Klimageschehen natürlicherweise immer mal auftreten kann? Vielleicht, vielleicht auch nicht. Denn belastbar nachweisen lassen sich klimatische Veränderungen erst bei der Betrachtung eines langen Zeitraums, der mindestens 30 Jahre umfasst. Allerdings beobachtet man in den letzten 16 Jahren eine außergewöhnlich lange, relativ trockene Phase. Auch die fortwährende Zunahme der Lufttemperatur, eine wesentliche Steuerungsgröße im Wasserhaushalt, ist belastbar nachgewiesen. Eine Tendenz scheint da, ein abschließendes Urteil können wir aktuell aber noch nicht treffen.

Ob das Jahr 2018 in Zukunft keinen extremen Ausnahmefall, sondern den Normalzustand darstellen wird, lässt sich heute nicht mit Bestimmtheit sagen. Die Klimaprojektionen deuten allerdings darauf hin, dass trockene Zeiträume in Zukunft häufiger und stärker auftreten werden. Die wasserabhängigen Nutzungen, wie z. B. die Trinkwasserversorgung, müssen sich also anpassen. Die für die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung dafür erforderlichen staatlichen Maßnahmen, wie z. B. die o. g. Analyse und Bewertung der Wasserversorgungsanlagen Bayerns, auch unter Berücksichtigung sich ggf. verschärfender Klimabedingungen, sind auf dem Weg gebracht. Zudem sollen über eine neue Speicherstudie zusätzliche Handlungsmöglichkeiten für eine Stützung des natürlichen Wasserkreislaufes zugunsten der Gewässer sowie der wasserabhängigen Nutzungen entwickelt werden.

7 ANHANG

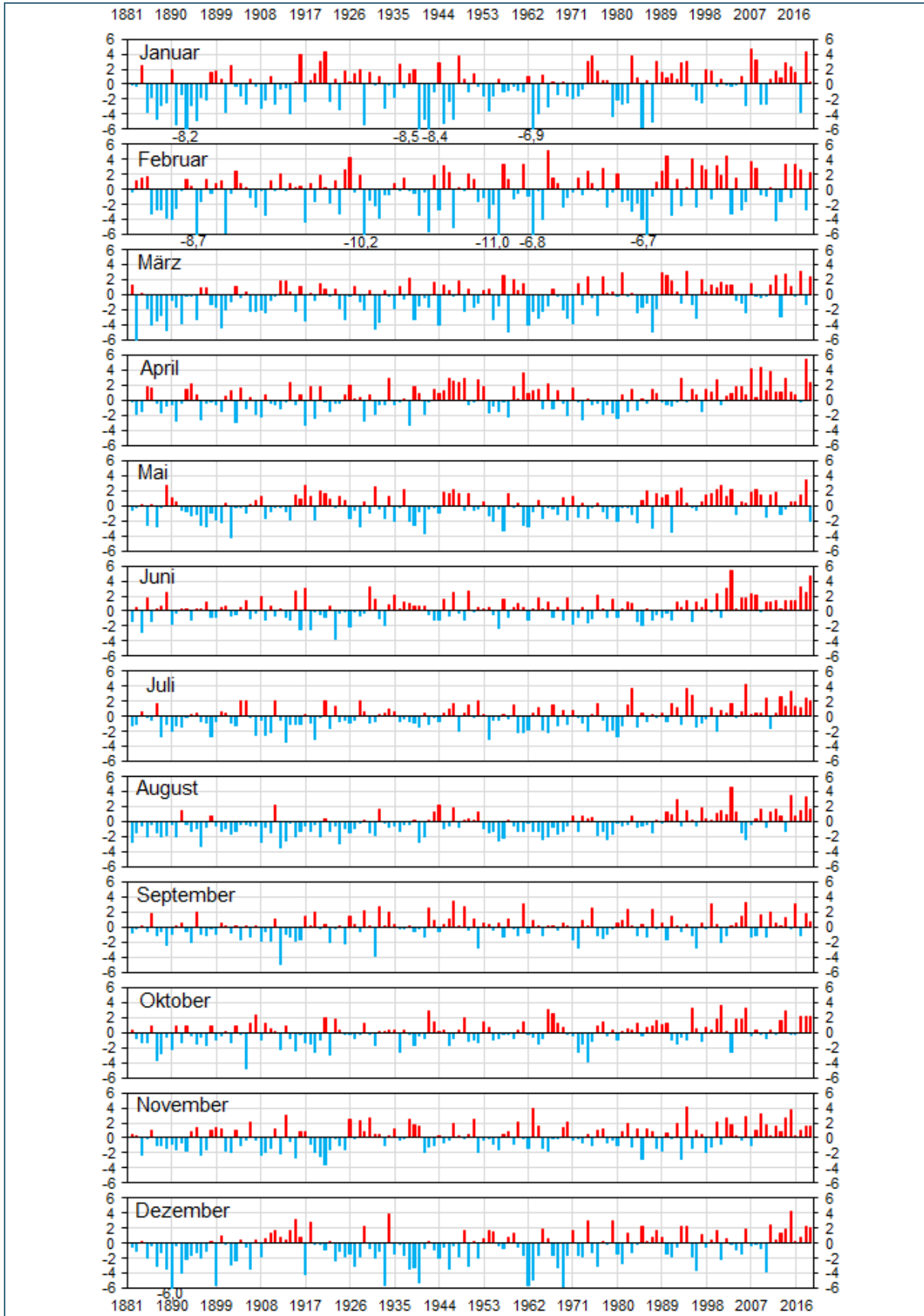


Abb. 82: Zu kalte und zu warme Monate im Vergleich zur mittleren Monatslufttemperatur 1971–2000 [Abweichung in °C]. DWD- Datenbasis: Monatliche Lufttemperaturmittel für Bayern im Zeitraum 1881 bis 2019, Datenaufbereitung: LfU/Ref86.

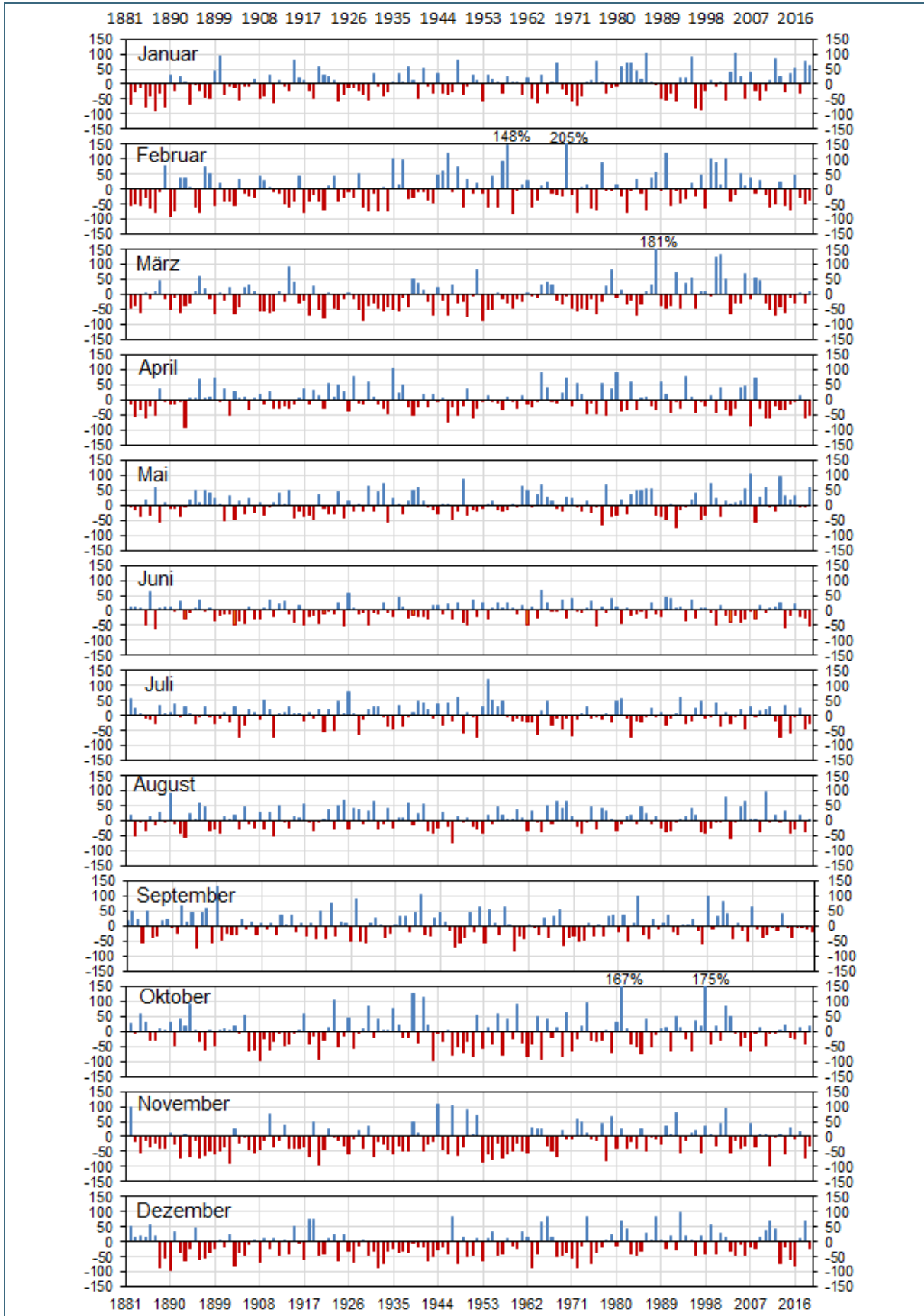


Abb. 83: Zu nasse und zu trockene Monate im Vergleich zum mittleren Monatsniederschlag 1971–2000 [prozentuale Abweichung]. DWD- Datenbasis: Monatliche Gebietsniederschläge für Bayern im Zeitraum 1881 bis 2019, Datenaufbereitung: LfU/Ref86.

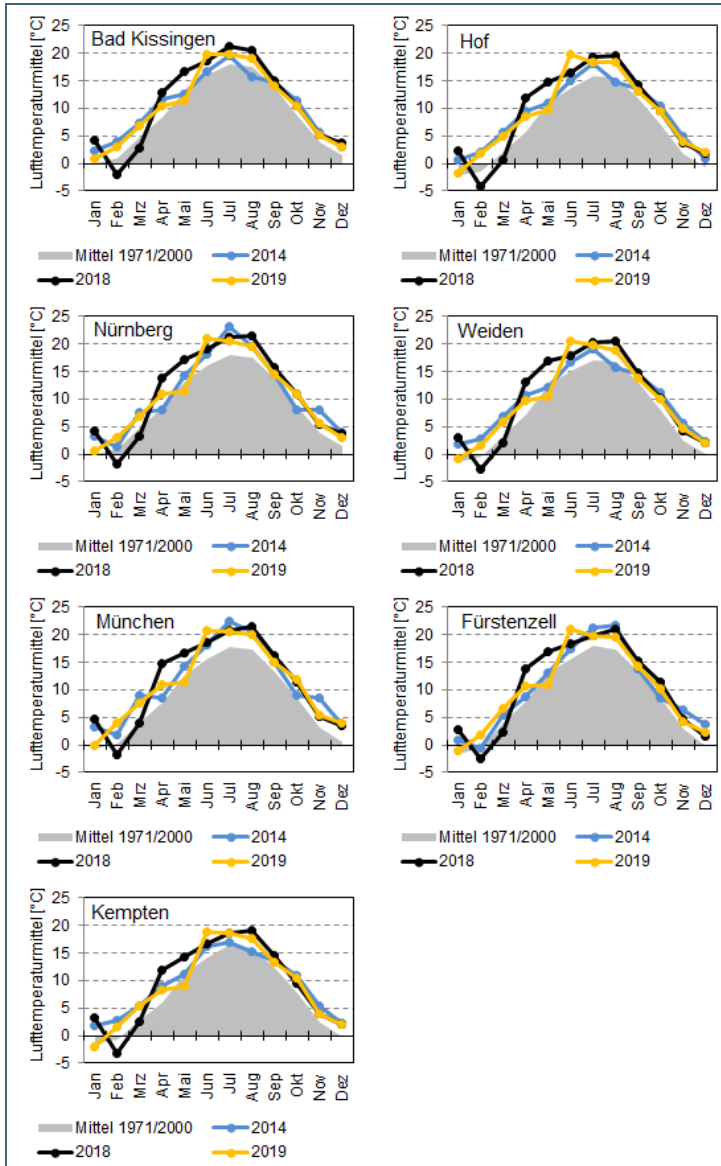


Abb. 84:
 Monatsmitteltemperaturen ausgewählter
 Wetterstationen im Vergleich der Jahre
 2014, 2018, 2019 und dem Mittel 1971–
 2000

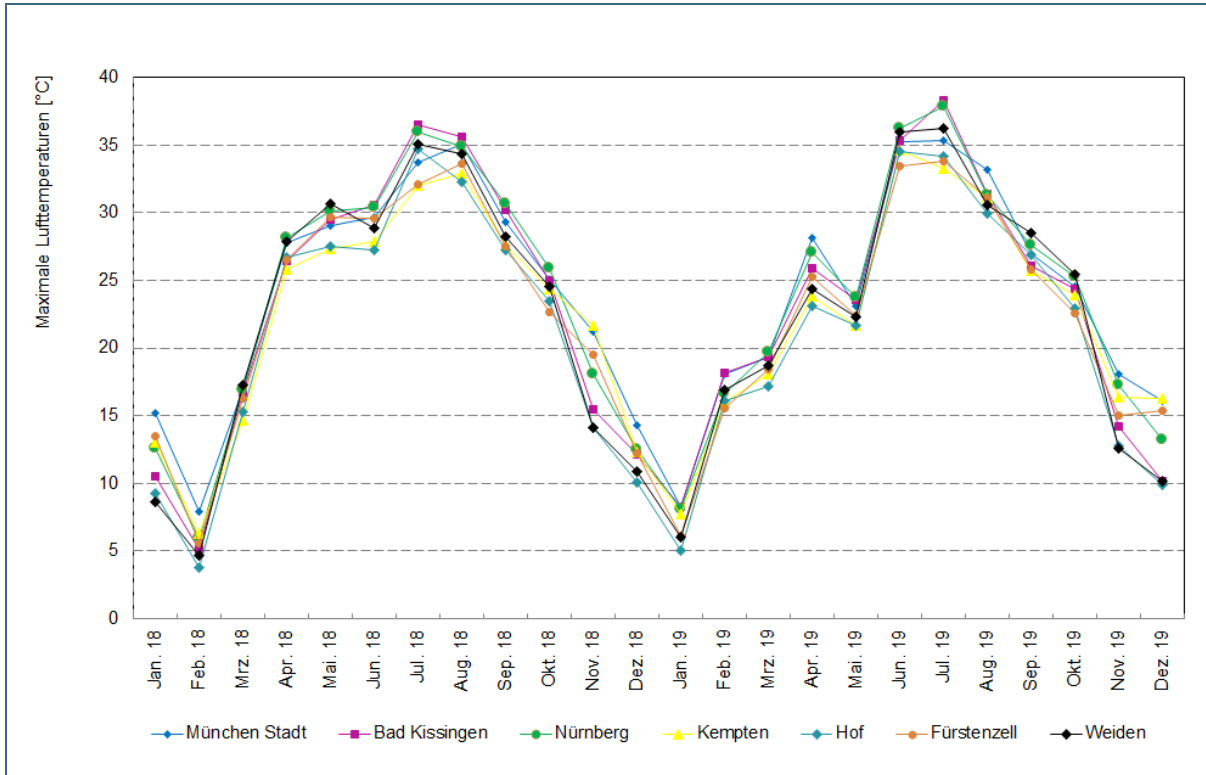


Abb. 85: Maximale Lufttemperaturen bei ausgewählten Wetterstationen in den Jahren 2018 und 2019

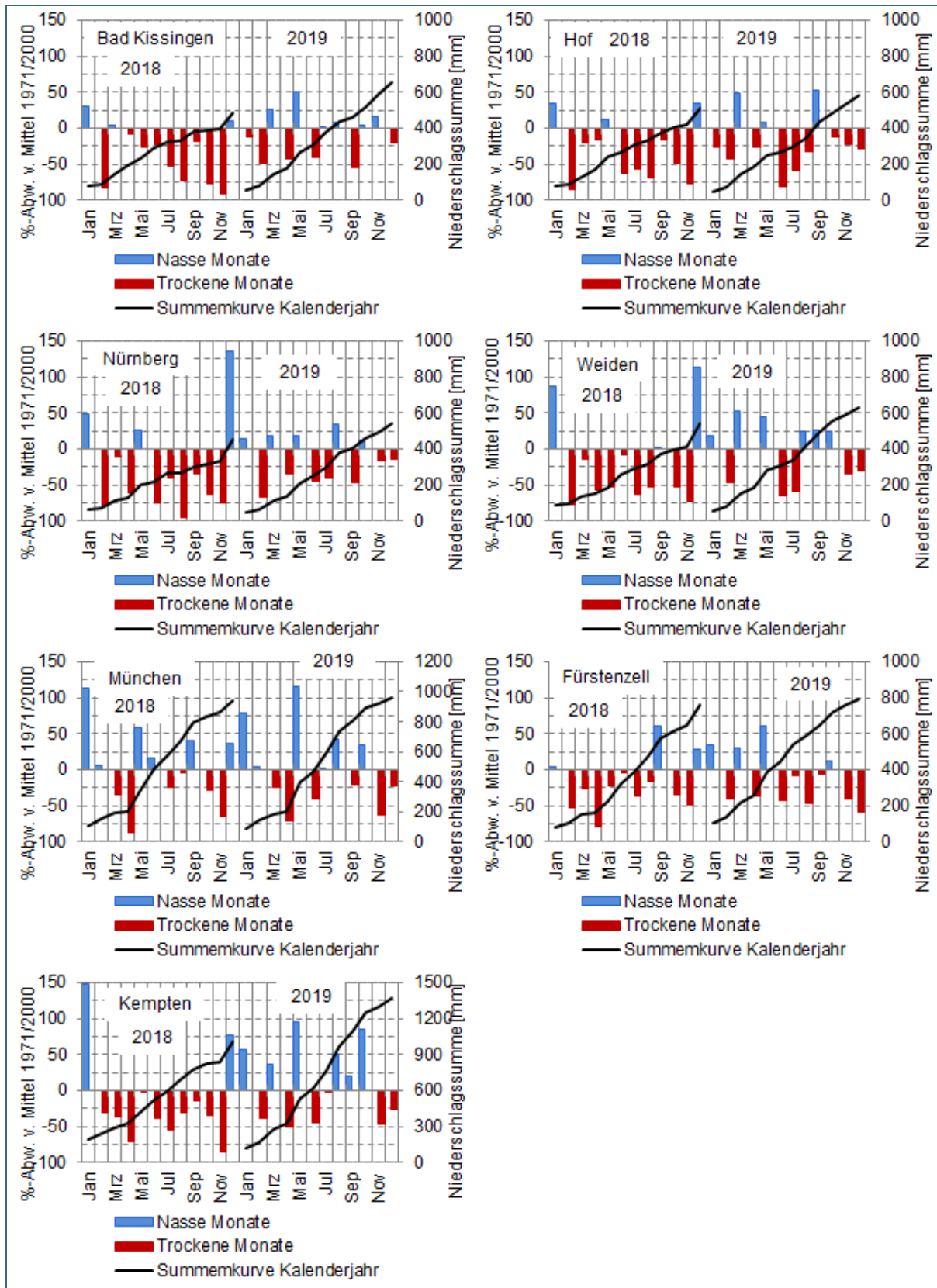


Abb. 86: Zu nasse und zu trockene Monate bei ausgewählten Wetterstationen im Zeitraum 2018 bis 2019. Dabei wird die prozentuale Abweichung zum mittleren Monatsniederschlag 1971–2000 dargestellt.

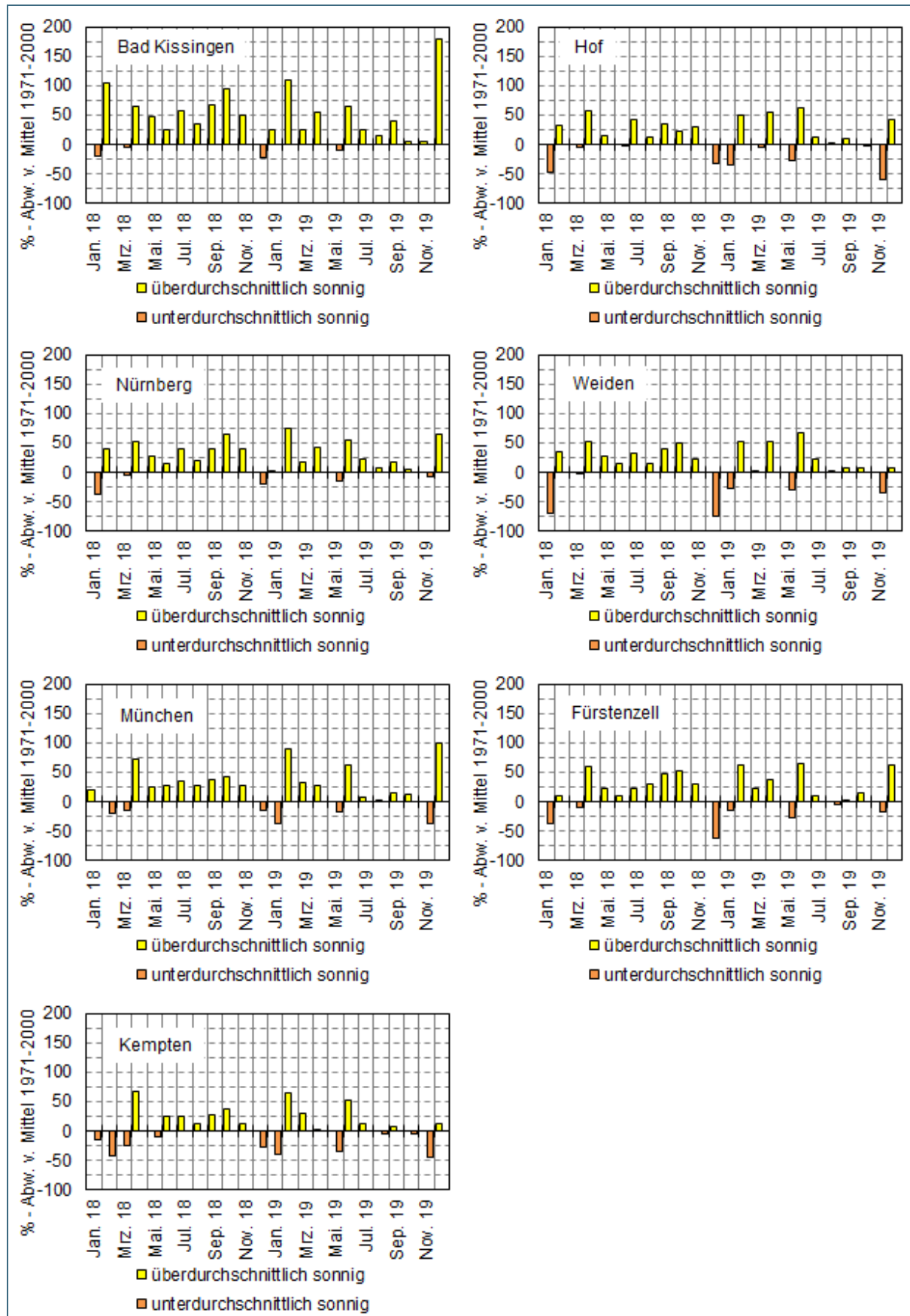


Abb. 87: Monatliche Abweichungen von der durchschnittlichen Sonnenscheindauer 1971–2000 bei ausgewählten Wetterstationen im Zeitraum 2018 bis 2019

Tab. 13: Großwettertyp (GT) gemäß DWD-Klassifikation, Großwetterlagen (GWL) und Trockenwetterlagen der Großwetterlagen (GWL) nach Hess & Brezowsky

Großwettertyp (GT)	Abkürzung
West	W
Nord	N
Ost	E
Süd	S
Südwest	SW
Nordwest	NW
Hoch Mitteleuropa	HM
Tief Mitteleuropa	TM
Trockenwetterlagen der Großwetterlagen (GWL)	Abkürzung
Hoch Mitteleuropa	HM
Hochdruckbrücke Mitteleuropa	BM
Hoch Nordmeer-Island, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	HNa
Hoch Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	HFa
Hoch Nordmeer-Fennoskandien, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	HNFa
Nordostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	NEa
Südostlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	SEa
Westlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal	Wa

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Tabellarische Übersicht der monatlichen Niederschlagsmengen sowie der prozentualen Abweichungen gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 je Regierungsbezirk für 2018; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA	28
Tab. 2:	Tabellarische Übersicht der monatlichen Niederschlagsmengen sowie der prozentualen Abweichungen gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000 je Regierungsbezirk für 2019; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA	28
Tab. 3:	Meteorologische Fakten zu den Jahren 2018 und 2019	29
Tab. 4:	Übersicht zur Abflusssituation 2018 und 2019 in Bayern anhand ausgewählter Pegel mit Jahresabflüssen und niedrigsten Tagesabflüssen im Vergleich zu den Trockenjahren 2003 und 1976, den Gewässerkundlichen Hauptwerten (seit jeweiligem Beobachtungsbeginn geprüfter Zeitraum) sowie der Unterschreitungstage des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) (ungeprüfte Rohdaten)	37
Tab. 5:	Signifikante Trends des MQ im Zeitraum 1932–2015 an 59 bayerischen Messstellen (Signifikanzniveau 90 %), Mittelwert über alle signifikanten Messstellen (Anzahl in Klammern), Datenquelle: KLIWA-Monitoring-Bericht (KLIWA 2016)	50
Tab. 6:	Niedrigwasserkenngößen an 71 bayerischen Messstellen: Signifikante Trends von Messbeginn bis 2015 sowie von 1980 bis 2015 (Signifikanzniveau 90 %); Angabe als: Mittlerer Trend und Konfidenzintervall aller signifikanten Messstellen, Anzahl Messstellen mit signifikanter Änderung	50
Tab. 7:	Grundwasserneubildung aus Niederschlag (GWN) im Referenzzeitraum 1971–2000, für die Jahre 2018 und 2019 sowie die relative Abweichung der Jahre 2018 und 2019 zum Referenzzeitraum 1971–2000, jeweils aufgliedert für Bayern und die Regierungsbezirke	58
Tab. 8:	Trockenheitsindex für den Referenzzeitraum 1971–2000, für die Jahre 2018 und 2019 sowie die absolute Abweichung der Jahre 2018 und 2019 zum Referenzzeitraum 1971–2000, jeweils aufgliedert für Bayern und die einzelnen Regierungsbezirke	62
Tab. 9:	Überblick über maximale Beanspruchungen der Talsperren mit Niedrigwasseraufhöhungsfunktion für die Jahre 2015, 2018 und 2019	69
Tab. 10:	Mittelwerte von Kenngrößen der Wassertemperatur (tägliche 8-Uhr-Wassertemperaturen) für verschiedene Mittelungszeiträume an den 24 Messstellen, die ab dem Zeitraum 1980–2010 durchgängig über Daten verfügten	83
Tab. 11:	Kenngrößen der Wassertemperatur (tägliche 8-Uhr-Wassertemperaturen) an 24 bayerischen Messstellen: signifikante Trends von 1980 bis 2015 (Signifikanzniveau 90 %); Angabe als: Mittlerer Trend und Konfidenzintervall aller signifikanten Messstellen, Einheit, Anzahl Messstellen mit signifikanter Änderung	83
Tab. 12:	Vergleich der jährlichen Zugriffszahlen für verschiedene LfU-Internetangebote (Datenquelle: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern) Niedrigwasser-Informationsdienst Bayern (NID): https://www.nid.bayern.de Hochwassernachrichtendienst Bayern (HND): https://www.hnd.bayern.de/	104
Tab. 13:	Großwettertyp (GT) gemäß DWD-Klassifikation, Großwetterlagen (GWL) und Trockenwetterlagen der Großwetterlagen (GWL) nach Hess & Brezowsky	121

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Jahresmitteltemperaturen für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD)	7
Abb. 2:	Jahresniederschlagssummen für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1881 bis 2019 (Datenquelle: DWD)	8
Abb. 3:	Jahressummen der Sonnenscheindauer für das Gebiet Bayern aus dem Zeitraum 1951 bis 2019 (Datenquelle: DWD)	9
Abb. 4:	Verteilung der Großwettertypen in den Jahren 2018 und 2019 (Erläuterungen der Abkürzungen siehe Tab. 13)	10
Abb. 5:	Zu warme und zu kalte Monate im Zweijahreszeitraum 2018–2019 für die Bereiche Nord- und Süd- bayern. Als Vergleichswerte wurden die jeweiligen monatlichen Lufttemperaturmittel aus 1971 bis 2000 herangezogen.	11
Abb. 6:	Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Frühlingstagen: links 09.05.2018 und rechts 25.04.2019	14
Abb. 7:	Monatsniederschläge für Nord- und Südbayern als Abweichungen vom Mittelwert 1971–2000 und als kumuliertes Niederschlagsdefizit für den Zeitraum Januar 2018 bis Dezember 2019 [mm]	16
Abb. 8:	Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Sommertagen: links 25.08.2018 und rechts 21.08.2019	18
Abb. 9:	Verteilung der Trockenwetterlagen im langjährigen Vergleich. Die Trockenwetterlagendefinition des DWD wurde um die antizyklonale Westlage (Wa) ergänzt, da diese Bayern oft ebenfalls trockenes Wetter beschert. Erläuterung der Abkürzungen siehe Tab. 13.	20
Abb. 10:	Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Herbsttagen: links oben 05.09.2018, rechts oben 04.09.2019, links unten 01.10.2018 und rechts unten 01.10.2019	22
Abb. 11:	Niederschlags-Dürreindex der letzten 90 Tage als Flächeneinfärbung und Dauer der Trockenperiode als eingefärbter Stationspunkt (Screenshot aus NID-Webangebot). Vergleich zu Spätherbsttagen: links 23.10.2018 und rechts 16.10.2019	23
Abb. 12:	Kumulierte Niederschlagssummen im Jahresverlauf für das Gebiet Bayern. Ausgewählte Trockenjahre der letzten Jahrzehnte sind farblich hervorgehoben (Datenquelle: DWD REGNIE).	24
Abb. 13:	Andauer von Trockenperioden in den Jahren 1959, 1976, 2003, 2018 und 2019 am Beispiel von 7 bayerischen Wetterstationen. Von einer Trockenperiode spricht man ab einer Aufeinanderfolge von mindestens 11 Tagen mit einem jeweiligen Tagesniederschlag von kleiner gleich 1 mm.	26
Abb. 14:	Niederschlagssumme von Februar bis November. Links: Mittelwert im Referenzzeitraum 1971–2000, Mitte und rechts: Relative Abweichung zum Mittelwert in den Jahren 2018 und 2019; Datenquelle: DWD (REGNIE), Datenaufbereitung: Kooperation KLIWA	27

Abb. 15:	Relativer Trend der 3-Monats-Niederschlagssummen in den sieben Klimaregionen Bayerns über die vergangenen 69 Jahre zwischen 1951 und 2019, jeweils für das Sommerquartal Juni–Aug. (links) und für das Winterquartal Dez.–Feb. (rechts). Fett gedruckte Werte symbolisieren einen statistisch signifikanten Trend (Konfidenzniveau > 90 %). StMUV 2021)	30
Abb. 16:	Jahresabfluss der Kalenderjahre 2018 (links) und 2019 (rechts) in [%] des langjährigen mittleren Abflusses an ausgewählten Pegeln mit Beobachtungszeitreihen seit mindestens 1971 (Rohdaten)	33
Abb. 17:	Trockengefallene Pegelmessstellen im Frankenwald Geschwend/Kremnitz [Einzugsgebiet 46,2 km ²] (links) und Friedersdorf/Buchbach (rechts) [Einzugsgebiet 11,1 km ²] im August 2018	34
Abb. 18:	Niedrigster Tagesabfluss der Kalenderjahre 2018 (links) und 2019 (rechts) in [%] des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses an ausgewählten Pegeln mit Beobachtungszeitreihen seit mindestens 1971 (Rohdaten)	35
Abb. 19:	Anteil [%] der ausgewählten Pegel (Anzahl 319) mit sehr niedrigen Abflüssen unterhalb des Schwellwertes MNQ (Jahr) im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 (ungeprüfte Rohdaten)	36
Abb. 20:	Abflussentwicklung am Pegel Kemmern/Main vom 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung Tagesmittelwerte in m ³ /s. Zusätzlich als Linien MQ (mittlerer Abfluss) 44,3 m ³ /s, MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) 9,83 m ³ /s, NQ (niedrigster Tagesabfluss) 3,1 m ³ /s (1931–2011) (Rohdaten)	42
Abb. 21:	Abfluss am Pegel Kemmern/Main. Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1931–2011 (hellblau) in m ³ /s (Rohdaten)	42
Abb. 22:	Abflussentwicklung am Pegel Kelheim/Donau vom 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung Tagesmittelwerte in m ³ /s. Zusätzlich als Linien MQ (mittlerer Abfluss) 331 m ³ /s, MNQ (mittlerer Niedrigwasserabfluss) 145 m ³ /s, NQ (niedrigster Tagesabfluss) 85,2 m ³ /s, MHQ (mittlerer Hochwasserabfluss) 1.160 m ³ /s (Rohdaten)	43
Abb. 23:	Abfluss am Pegel Kelheim/Donau. Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1924–2012 (hellblau) in m ³ /s (Rohdaten)	43
Abb. 24:	Abweichungen der Monatsabflüsse in den Jahren 2018 und 2019 in [%] der langjährigen Monatsmittelwerte für den Pegel Kemmern/Main (Vergleich 1931–2011) (rot) und für den Pegel Kelheim/Donau (Vergleich 1924–2012) (schwarz) (Rohdaten)	44
Abb. 25:	Kumuliertes Abflusshöhendefizit in [mm] für die Einzugsgebiete der Pegel Kelheim/Donau (schwarz) und Kemmern/Main (rot) über den Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019 (Rohdaten)	45
Abb. 26:	Wasserstandsentwicklung am Pegel Starnberg/Starnberger See im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung der Tagesmittelwerte in cm. Zusätzlich als Linien: MW (mittlerer Wasserstand) 73 cm, MNW (mittlerer Niedrigwasserstand) 52 cm, NW (niedrigster Tageswasserstand) 30 cm und MHW 101 cm (mittlerer höchster Wasserstand) (1908–2016) (Rohdaten)	47

Abb. 27:	Wasserstand am Pegel Starnberg/Starnberger See – Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte für 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1908–2016 (hellblau) (Rohdaten)	47
Abb. 28:	Wasserstandsentwicklung am Pegel Stock/Chiemsee im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019. Darstellung der Tagesmittelwerte in cm. Zusätzlich als Linien: MW (mittlerer Wasserstand) 83 cm, MNW (mittlerer Niedrigwasserstand) 41 cm, NW (niedrigster Tageswasserstand) 24 cm und MHW 161 cm (mittlerer höchster Wasserstand) (1907–2016) (Rohdaten)	48
Abb. 29:	Wasserstand am Pegel Stock/Chiemsee – Gegenüberstellung der Monatsmittelwerte für 2018 und 2019 (dunkelblau) und der langjährigen Monatsmittelwerte der Jahre 1907–2016 (hellblau) (Rohdaten)	48
Abb. 30:	Trend des mittleren Durchflusses pro hydrologischem (Halb-)Jahr im Zeitraum 1932–2015, Signifikanz-niveau 90 % (signifikant) und 99 % (hoch signifikant)	49
Abb. 31:	Projizierte prozentuale Veränderung des MNQ in Bayern im Zeitraum 2041–2070 gegenüber dem Referenzzeitraum 1971–2000, Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltsjahres (Apr.–Sep.)	51
Abb. 32:	Trockengefallene Quellen im Fichtelgebirge am 15.10.2018. Links: Fichtelnaabquelle, rechts: Weißmainquelle	52
Abb. 33:	Verlauf der Niedrigwassersituation 2018 und 2019 im Grundwasser. Dargestellt ist der Anteil an Grundwassermessstellen und Quellen des oberen Grundwasserstockwerks im Niedrigwasser-Informationsdienst mit Einstufung „Niedrigwasser“ und einer Beobachtungsdauer > 5 Jahre	53
Abb. 34:	Von 347 Grundnetz-Messstellen (Landesgrundwasserdienst- quantitativ), die mindestens seit dem Jahr 2000 durchgängig in Betrieb sind, zeigt zum Jahresende 2019 mehr als jede zweite Messstelle einen Niedrigstwert entweder im Jahr 2018 bzw. im Jahr 2019 (basierend auf der Messzeitreihe 2000 bis 2019).	55
Abb. 35:	Verlauf des Grundwasserstands in einem quartären Grundwasserleiter (Messstelle Rattelsdorf 136, beobachtet seit 1972), HHW: 245,33 m ü. NN, MW: 242,18 m ü. NN, NNW: 241,09 m ü. NN	56
Abb. 36:	Verlauf des Grundwasserstands im Bereich der Oberen Süßwassermolasse des Tertiärs (Messstelle Mauern T 1, beobachtet seit 2005), HHW: 425,39 m ü. NN, MW: 424,89 m ü. NN, NNW: 424,37 m ü. NN	56
Abb. 37:	Verlauf des Grundwasserstands im Malmkarst (Messstelle EICHENSTRUTH-W5, beobachtet seit 2002), HHW: 452,79 m ü. NN, MW: 446,60 m ü. NN, NNW: 442,47 m ü. NN	57
Abb. 38:	Verlauf der Quellschüttung im Ostbayerischen Kristallin (Messstelle Rassreuth Quelle I, beobachtet seit 2012), HQ: 2,73 l/s, MQ: 0,79 l/s, NQ: 0,29 l/s	57
Abb. 39:	Verlauf der Quellschüttung im alpinen Raum (Messstelle Strailach 3-5, beobachtet seit 1988), HQ: 55,93 l/s, MQ: 24,13 l/s, NQ: 4,91 l/s	58
Abb. 40:	Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Referenzzeitraum 1971–2000 (links). Relative Abweichung der Jahre 2018 (Mitte) und 2019 (rechts) zum Referenzzeitraum 1971–2000	59
Abb. 41:	Entwicklung der Grundwasserneubildung in Bayern über den Zeitraum 1951–2019. Die Daten stammen aus der KLIWA-Langzeitsimulation mit dem Modell GWN-BW. Angaben in mm/a.	60

Abb. 42:	Der Jahresverlauf von Bodenwassergehalt (Bw) in 50 cm Tiefe am Messstandort „Fichtelgebirge“ ist für die Jahre 2018 und 2019 (rot) sowie für den gemittelten Verlauf der Bodenwassergehalte der Jahre 2012 bis 2019 (gestrichelte schwarze Linie) dargestellt. Die dunkelblaue Linie zeigt den jahreszeitlichen Verlauf des Grundwasserstandes 2018 und 2019. Die gestrichelte blaue Linie zeigt den mittleren Grundwasserstand der Jahre 2012 bis 2019.	61
Abb. 43:	Mittlerer Trockenheitsindex im Referenzzeitraum 1971–2000 (links). Absolute Abweichung der Jahre 2018 (Mitte) und 2019 (rechts) im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971–2000	63
Abb. 44:	Entwicklung des Trockenheitsindex in Bayern über den Zeitraum 1951–2019. Die Daten stammen aus der KLIWA Langzeitsimulation mit dem Modell GWN-BW. Angaben in Tagen/a.	64
Abb. 45:	Großraum- und Fernwasserversorgungen in Bayern	65
Abb. 46:	Niedrigwasserbewirtschaftung am Pegel Hüttendorf /Regnitz	70
Abb. 47:	Seepegelreaktion infolge von Zu- und Abfluss	71
Abb. 48:	Zufluss zum Sylvensteinspeicher	72
Abb. 49:	Zufluss Sylvensteinspeicher und Zielabfluss am Steuerpegel Bad Tölz	72
Abb. 50:	Seepegel mit Zufluss und Gesamtabgabe (Rohwasser und Unterwasserabfluss) an der TWT Mauthaus	74
Abb. 51:	Niederschlag, Unterwasserabfluss und Abgabe an die Trinkwasserversorgung	74
Abb. 52:	Seepegel mit Zufluss und Gesamtabgabe (Rohwasser und Unterwasserabfluss) an der TWT Frauenau	76
Abb. 53:	Niederschlag und Rohwasserabgabe an der Trinkwassertalsperre Frauenau	76
Abb. 54:	Messsteg mit Radarsensor über dem trockengefallenen Flussbett der Kirnach am Pegel Unterhingau am 09.08.2018	77
Abb. 55:	Wassertemperaturmessstellen an Fließgewässern mit den Jahreshöchstwerten 2018	78
Abb. 56:	Wassertemperaturmessstellen an Fließgewässern mit den Jahreshöchstwerten 2019	78
Abb. 57:	Jahresmitteltemperatur des Main am Pegel Kemmern seit 1981	79
Abb. 58:	Verlauf der Tagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern innerhalb der Schwankungsbreite seit 1981	80
Abb. 59:	Verlauf der Tagesmittelwerte des Main am Pegel Kemmern von 2018 bis 2019	81
Abb. 60:	Jahresmaximum der 8-Uhr-Wassertemperatur an den bayerischen Messstellen; Mittelwert 1981–2010 (links), Trends ab 1980 (rechts), Signifikanzniveau 90 % (signifikant) und 99 % (hoch signifikant)	82
Abb. 61:	Wassertemperaturmessstellen an Seen mit den Jahreshöchstwerten 2018	84
Abb. 62:	Wassertemperaturmessstellen an Seen mit den Jahreshöchstwerten 2019	85
Abb. 63:	Jahresmitteltemperatur des Ammersee am Pegel Stegen seit 1981	86
Abb. 64:	Verlauf der Tagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen innerhalb der Schwankungsbreite seit 1981	87

Abb. 65:	Verlauf der Tagesmittelwerte des Ammersee am Pegel Stegen von 2018 bis 2019 (Datenlücke 10.07. bis 28.07.2019)	88
Abb. 66:	Algenentwicklung bei niedrigem Wasserstand an der Wertach in Augsburg	89
Abb. 67:	Entwicklung von Sauerstoff (blaue Linie) und Orthophosphat-Phosphor (rote Linie) an der Messstation Erlabrunn/Main 2018	91
Abb. 68:	Abfluss am Pegel Trunstadt/Main (Trunstadt Q) 2018	91
Abb. 69:	Temperaturmessstellen mit Überschreitungen der Orientierungswerte für die Wassertemperatur	93
Abb. 70:	Als zeitweise trockengefallen gemeldete Fließgewässer in Bayern (Meldungen der Wasserwirtschaftsämter im Rahmen des gewässerökologischen Monitorings, Zeitraum 2015 bis 2019)	94
Abb. 71:	Gegenüberstellung des Fremdwasseranteils bei der Kläranlage Altenmarkt 2017 und 2018	96
Abb. 72:	Beginn und Dauer (Tage) der sommerlichen thermischen Schichtung im Ammersee in den Jahren 2014–2018. Hinweise: Die Schichtungsdauer ist hier definiert als Zeitraum, in der mindestens eine Wasserschicht einen Temperaturgradienten von 1 °C pro Meter Wassertiefe aufweist. Im Jahr 2016 ist auf Grund einer Messlücke der genaue Schichtungsbeginn nicht feststellbar (±19 Tage).	97
Abb. 73:	Langzeitentwicklung der Trophieparameter im Ammersee seit 1992: Die Jahresmittelwerte von Gesamtphosphor und Chlorophyll a waren in den Niedrigwasserjahren (gekennzeichnet mit N) nicht erhöht (Daten: LfU und WWA-WM).	98
Abb. 74:	Zusammensetzung des Phytoplanktons im Ammersee seit 2007 (kumulierte Biovolumina): Zunahme der Blaualgen (Cyanobakterien, blaue Flächen) bis Ende 2017, Rückgang im Winter 17/18 und erneute Zunahme in den Niedrigwasserjahren 2018 und 2019.	99
Abb. 75:	Monatliche Algenbiomasse, gemessen als Phytoplanktonbiovolumen im Königssee in zwei hydrologisch durchschnittlichen und in zwei Niedrigwasserjahren (gekennzeichnet mit „N“, gestrichelte horizontale Linie; langjähriges Mittel plus doppelte Standardabweichung)	99
Abb. 76:	Das Nixenkraut kann erst bei höheren Wassertemperaturen Samen ausbilden und sich stark vermehren.	100
Abb. 77:	NID-Internetangebot vom 04.07.2019 (Screenshot)	102
Abb. 78:	Tägliche Zugriffszahlen für das NID-Internetangebot https://www.nid.bayern.de Besuche und Seitenansichten im Zeitraum 01.01.2018 bis 31.12.2019.	105
Abb. 79:	Wichtige Parameter für die Binnenschifffahrt	107
Abb. 80:	Pegelwasserstand Pfelling/Donau in den Jahren 2018 und 2019 mit den Kennwerten Regulierungs- wasserstand (RNW) und Mittelwasser (MW) i	108
Abb. 81:	Änderungen bei den Gütermengen und Schiffspassagen durch ausgewählte Schleusenbetriebsstellen im Trockenjahr 2018 (Datenquelle: GDWS, Standort Würzburg, Datenaufbereitung: LfU Ref.86) *) Jochenstein: keine Auswertung für Fahrgastkabinschiffe, da die Datenlage für 2017 unvollständig ist	109

Abb. 82:	Zu kalte und zu warme Monate im Vergleich zur mittleren Monatslufttemperatur 1971–2000 [Abweichung in °C]. DWD- Datenbasis: Monatliche Lufttemperaturmittel für Bayern im Zeitraum 1881 bis 2019, Datenaufbereitung: LfU/Ref86.	115
Abb. 83:	Zu nasse und zu trockene Monate im Vergleich zum mittleren Monatsniederschlag 1971–2000 [prozentuale Abweichung]. DWD- Datenbasis: Monatliche Gebietsniederschläge für Bayern im Zeitraum 1881 bis 2019, Datenaufbereitung: LfU/Ref86.	116
Abb. 84:	Monatsmitteltemperaturen ausgewählter Wetterstationen im Vergleich der Jahre 2014, 2018, 2019 und dem Mittel 1971–2000	117
Abb. 85:	Maximale Lufttemperaturen bei ausgewählten Wetterstationen in den Jahren 2018 und 2019	118
Abb. 86:	Zu nasse und zu trockene Monate bei ausgewählten Wetterstationen im Zeitraum 2018 bis 2019. Dabei wird die prozentuale Abweichung zum mittleren Monatsniederschlag 1971–2000 dargestellt.	119
Abb. 87:	Monatliche Abweichungen von der durchschnittlichen Sonnenscheindauer 1971–2000 bei ausgewählten Wetterstationen im Zeitraum 2018 bis 2019	120

10 Literaturverzeichnis

bfg 2019: Das Niedrigwasser 2018, Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg) Koblenz, Feb. 2019. https://www.bafg.de/DE/05_Wissen/04_Pub/04_Buecher/niedrigwasser_2018_dokument.html

BMVI 2020: Forschungsergebnissen der ersten Projektphase 2016–2019 des BMVI-Expertennetzwerks (BAG, BAST, BAW, BfG, BSH, DWD, DZSF, EBA), Ergebnisbericht des Themenfeldes 1, Sept. 2020, 59, 72, 73. https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/DE/Publikationen/Publikationen_node.html

DKK 2020: Was wir heute übers Klima wissen. Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind, herausgegeben von DKK, DMG, DWD, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, klimafakten.de, Sept. 2020, 13 ff. https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel.pdf

HyWa Kopp 2018: Kopp, B., Baumeister, C., Gudera, T., Hergesell, J., Morhard, A., und Neumann, J. (2018): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951 bis 2015, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung., 62, 62–76, https://www.hywa-online.de/download/fachartikel_hywa_1_2018_kopp/

KLIWA 2007: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2007): Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee. KLIWA-Projekt A 2.2.1 "Kovarianzanalysen physikalischer, chemischer und biologischer Langzeitdaten des Bodensees mit hydrometeorologischen Parametern" "Auswirkungen von Klimaveränderungen auf das Zirkulationsverhalten des Bodensees-Obersees". KLIWA-Berichte, Heft 11, 101 S.

KLIWA 2012: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2012): Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum. KLIWA-Berichte, Heft 18, 155 S.

KLIWA 2016: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2016): Monitoringbericht 2016. Klimawandel in Süddeutschland - Veränderung von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation KLIWA. 60 S.

LfU 2017: Niedrigwasser in Bayern - Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen, Bayer. Landesamt für Umwelt (LfU) Augsburg, Feb. 2017. <https://www.bestellen.bayern.de/> (Artikel-Nr.: lfu_was_00124).

LfU 2019: Gewässerkundlicher Jahresbericht 2018 und Gewässerkundlicher Jahresbericht 2019, Bayer. Landesamt für Umwelt (LfU), 2019. https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserkundlicher_jahresbericht_2018/index.htm, https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserkundlicher_jahresbericht_2019/index.htm

LfU 2020a: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2020): Das Bayerische Klimaprojektionsensemble. Audit und Ensemblebildung. Zier, Christopher; Müller, Christoph; Komischke, Holger; Steinbauer, Alana; Bäse, Frank.

LfU 2020b: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2020): Langzeitverhalten der Wassertemperaturen bayerischer Fließgewässer. Klimawandel und Wasserhaushalt in Bayern. [Veröffentlichung in Vorbereitung], Augsburg.

LfU 2020c: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2020): LfU-Infoblatt zu Klimadaten. Beobachtungsdaten, Klimaprojektionsensemble und Klimakennwerte für Bayern. [Veröffentlichung in Vorbereitung], Augsburg, 12 S.

StMUV 2021: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2021): Klima-Report Bayern 2021. [Veröffentlichung in Vorbereitung], München.

UStat 2016: Bayerisches Landesamt für Statistik, Umweltstatistik 2016, https://www.statistik.bayern.de/statistik/bauen_wohnen/wasser/index.html#link_1



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

