



KLIWA-Kurzbericht

Das Jahr 2018 im Zeichen des Klimawandels?

Viel Wärme, wenig Wasser in Süddeutschland

(Stand 11/2019)

im Rahmen der Kooperation KLIWA

Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft

Impressum

Bearbeitung: Kooperation KLIWA – www.kliwa.de –

Redaktion:

AG Niedrigwasser
AG Grundwasser
AG Gewässerökologie
Deutscher Wetterdienst

Bestehend aus Vertretern von:

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Griesbachstraße 1
76185 Karlsruhe

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Hans-Högn-Straße 12
95030 Hof/Saale

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

Kaiser-Friedrich-Str. 7
55116 Mainz

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Rheingastr. 186
65203 Wiesbaden

Deutscher Wetterdienst

Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach am Main

Inhaltsverzeichnis

1	2018 – ein Jahr der Extreme?!	5
2	Meteorologie – So warm wie noch nie	5
3	Abflüsse – Lange Durststrecke in den Fließgewässern	7
4	Grundwasser und Bodenwasserhaushalt – Rekordverdächtig	8
5	Gewässerökologie – Kein Hitzefrei	11
6	Ausblick	13
7	Literaturverzeichnis	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mittlere Niederschlagssumme im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und prozentuale Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.	6
Abbildung 2: Monatliche Niederschlagsmengen in Süddeutschland im Jahr 2018 (rote Linie). Die grau gestrichelte Linie zeigt die mittleren Monatssummen in der Referenzperiode 1971-2000, die graue Fläche die Bandbreite zwischen minimaler und maximaler Monatssumme in diesem Zeitraum.	7
Abbildung 3: Relativer Anteil von Pegeln mit Niedrigwasserdurchfluss im Jahresverlauf der Jahre 2003, 2015 und 2018 sowie dem Referenzzeitraum 1971-2000. Die Pegelauswahl umfasst 99 KLIWA-Monitoring-Pegel in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Hinweis: ein relativer Anteil von 100% entspricht nicht zwangsläufig einer Anzahl von 99 Pegeln, da mögliche Datenlücken die absolute Anzahl verkleinern können.	8
Abbildung 4: Mittlere Grundwasserneubildung im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und prozentuale Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.	9
Abbildung 5: Mittlerer Trockenheitsindex im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und absolute Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.	11

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlerer Niederschlag (REGNIE) im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in mm/a und %.	6
Tabelle 2: Mittlere Grundwasserneubildung im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in mm/a und %.	9
Tabelle 3: Mittlerer Trockenheitsindex im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in Tage/a und Tage.	10

1 2018 – ein Jahr der Extreme?!

Verdorrrte Maisfelder, rissige Böden, spielende Kinder zwischen Bühnen, wo sonst das Wasser des Rheins meterhoch steht. Dieses Bild einer verheerenden Trockenheit bot sich im Sommer 2018 in Deutschland.

Wie außergewöhnlich war das Jahr 2018 in Süddeutschland, gemessen an verschiedenen Kennwerten der Meteorologie, des Grund- und Oberflächenwassers? Was ist zur Auswirkung auf die Gewässerökologie bekannt? Um dies zu beantworten fasst KLIWA in diesem Kurzbericht entsprechende Berichte der KLIWA-Partner Baden-Württemberg (LUBW 2019), Bayern (LFU 2019b), Rheinland-Pfalz (LFU RP 2019), Hessen (HLNUG 2019) und des DWD (DWD 2018) zum Jahr 2018 zusammen und ordnet die Erkenntnisse zur bisherigen Entwicklung in der Vergangenheit ein. Wie sich das Jahr 2018 in den Bundeswasserstraßen auswirkte, beschreibt eine Broschüre der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG 2019).

KLIWA vergleicht in seiner Zusammenschau für Süddeutschland ausgewählte Kennwerte des kalendarischen Jahres 2018 mit den dazugehörigen langjährigen Mittelwerten der Bezugsperiode 1971-2000. Aussagen zu Trends der Vergangenheit stammen überwiegend aus dem KLIWA-Monitoringbericht 2016 (KLIWA 2016), KLIWA-Heft 21 (KLIWA 2017) und darauf aufbauenden, bisher unveröffentlichten Auswertungen. Die KLIWA-Veröffentlichungen finden sich unter www.kliwa.de.

2 Meteorologie – So warm wie noch nie

Das Jahr 2018 war in Süddeutschland um 2,0 °C wärmer als der langjährige Mittelwert und damit das wärmste Jahr seit Beginn der flächendeckenden Messungen im Jahr 1881. Damit ist das Jahr 2018 ein Indiz dafür, dass sich der beobachtete Anstieg der Lufttemperatur weiter fortsetzt. Diese nahm von 1931 bis 2015 bereits um 1,3°C zu.

Gleichzeitig fiel 2018 21 % weniger Niederschlag, mit räumlich unterschiedlich starken Abweichungen (Abbildung 1, Tabelle 1). Über die Bundesländer gemittelt wich die Niederschlagssumme in Rheinland-Pfalz am geringsten ab, in Hessen am stärksten. Alle Monate des Jahres 2018 waren – abgesehen vom überdurchschnittlich feuchten Januar und Dezember – zu trocken (Abbildung 2). Insgesamt zählt 2018 zu den niederschlagsärmsten Jahren seit 1881.

Die vieljährigen Trends von 1931 bis 2015 zeigen im Sommerhalbjahr keine klare Tendenz. Im Winterhalbjahr nimmt die mittlere Niederschlagshöhe über diesen langen Zeitraum gesehen zu. 2018 reiht sich jedoch in die Beobachtung der letzten 16 Jahre ein: Seit 2003 gab es in Süddeutschland nahezu keine überdurchschnittlich feuchten Jahre mehr. Das geht vor allem auf trockenere Winterhalbjahre in diesem Zeitraum zurück.

Tabelle 1: Mittlerer Niederschlag (REGNIE) im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in mm/a und %.

Niederschlag [mm/a]					
Zeitraum	Süddeutschland	Baden-Württemberg	Bayern	Hessen	Rheinland-Pfalz
1971-2000	903	976	939	770	795
2018	714	765	749	570	655
Relative Abweichung [%] des Jahres 2018 gegenüber dem Zeitraum 1971-2000					
2018	-21	-21	-20	-26	-18

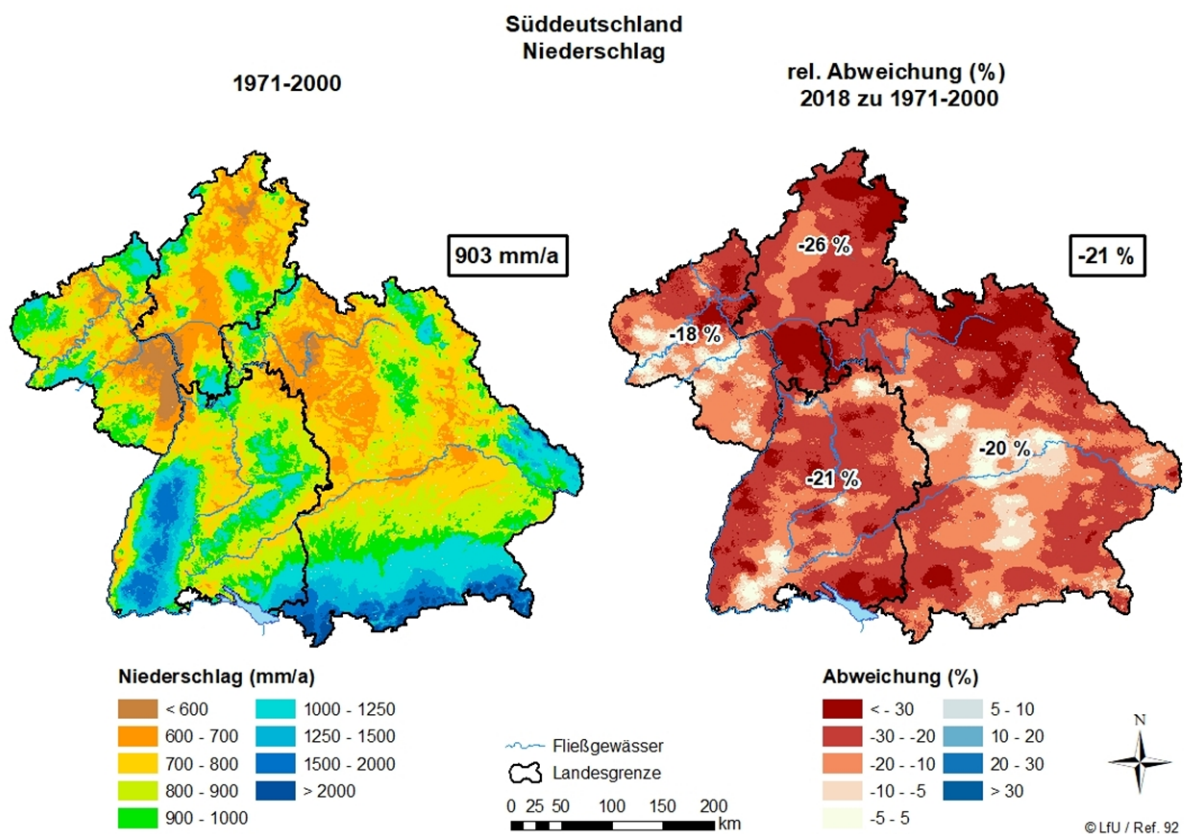


Abbildung 1: Mittlere Niederschlagssumme im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und prozentuale Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.

Trockenheitsereignisse werden von sogenannten kritischen „Trocken-Großwetterlagen“ verursacht. Diese schirmen Mitteleuropa vor feuchten Luftströmungen ab. Das hat zur Folge, dass es weniger oder gar nicht regnet. Von der Mitte der 1980er zu den 2000er Jahren wurden diese Wetterlagen im Sommer häufiger (KLIWA 2012). Das Jahr 2018 hatte 74 Tage mit trockenen Großwetterlagen. Es war damit diesbezüglich gegenüber anderen Jahren und der Referenzperiode (Mittelwert 102 Tage) zwar nicht extrem, brachte aber dennoch deutlich zu wenig Niederschlag (Tabelle 1, Abbildung 2 rote Linie).

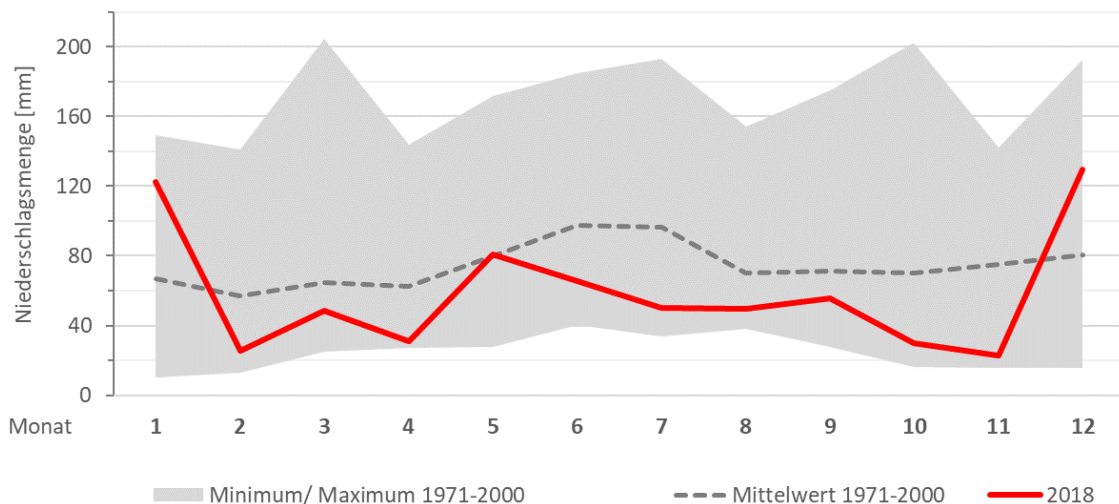


Abbildung 2: Monatliche Niederschlagsmengen in Süddeutschland im Jahr 2018 (rote Linie). Die grau gestrichelte Linie zeigt die mittleren Monatssummen in der Referenzperiode 1971-2000, die graue Fläche die Bandbreite zwischen minimaler und maximaler Monatssumme in diesem Zeitraum.

3 Abflüsse – Lange Durststrecke in den Fließgewässern

Die trockene Witterung führte 2018 auch zu einer langanhaltenden und ausgeprägten Niedrigwassersituation. Dazu zeigt Abbildung 3 im Jahresverlauf, an welchem Anteil der KLIWA-Pegel die Abflüsse unter den mittleren Niedrigwasserabfluss fielen. Der graue Bereich beschreibt, welche Anteile im Zeitraum 1971 bis 2000 maximal auftraten. In der ersten Jahreshälfte 2018 (rote Linie) gab es keine Auffälligkeiten. Ab Mitte Juli zeichnete sich allerdings eine großräumige Niedrigwassersituation ab. Bis August stieg der Anteil der Pegel mit Niedrigwasser auf über 50 % und schwankte dann zwischen 30 % und über 60 % bis Mitte November. Erst Anfang Dezember entspannte sich die Niedrigwassersituation.

Vergleicht man diesen Jahresverlauf mit den markanten Niedrigwasserereignissen in den Jahren 2003 und 2015 (grüne und blaue Linie in Abbildung 3), dann fällt auf, dass die Ereignisse alle im Juli begannen. Im Jahr 2003 wurde das Maximum der Pegel im Niedrigwasser allerdings schon im August erreicht – in 2018 lag das Maximum erst im November. In beiden Fällen wurde eine ähnlich hohe maximale Anzahl an Pegeln mit Niedrigwasser erreicht.

Was das Niedrigwasser im Jahr 2018 besonders markant machte, war seine großräumige Ausdehnung gekoppelt mit einer langen Dauer von Juli/August bis Dezember. Dieser Verlauf geht eng mit den hohen sommerlichen Temperaturen und den zu geringen Niederschlägen (Abbildung 2) einher. Während das Niedrigwasser in 2003 bereits im Oktober zu Ende war und das Ereignis in 2015 generell auf einem niedrigeren Niveau lag, ging das Niedrigwasser in 2018 weit über die Vegetationsperiode hinaus. Im gesamten Referenzzeitraum 1971-2000 kam kein Ereignis vor, das über einen so langen Zeitraum mindestens 30 % der KLIWA-Pegel betraf und im Spätherbst noch einmal ein Maximum erreichte.

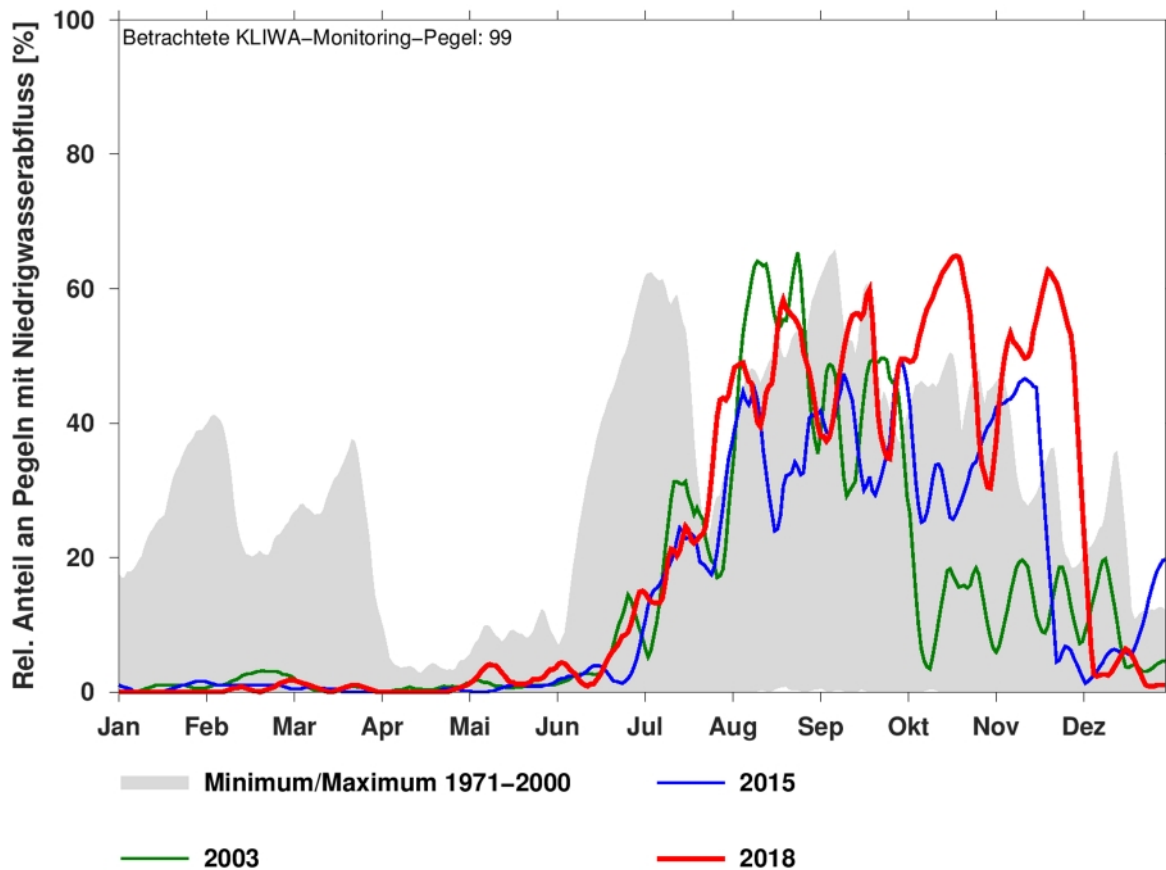


Abbildung 3: Relativer Anteil von Pegeln mit Niedrigwasserdurchfluss im Jahresverlauf der Jahre 2003, 2015 und 2018 sowie dem Referenzzeitraum 1971-2000. Die Pegelauswahl umfasst 99 KLIWA-Monitoring-Pegel in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Hinweis: ein relativer Anteil von 100% entspricht nicht zwangsläufig einer Anzahl von 99 Pegeln, da mögliche Datenlücken die absolute Anzahl verkleinern können.

4 Grundwasser und Bodenwasserhaushalt – Rekordverdächtig

Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung lag 2018 in den vier süddeutschen Bundesländern etwa 34 % unter dem langjährigen Mittelwert (Tabelle 2, Abbildung 4) und war damit ähnlich niedrig wie 2015. Die Grundwasserneubildung variierte 2018 zwischen 53 mm/a in Hessen bis zu 140 mm/a in Bayern (Tabelle 2). Während sich die Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz um 27 % und in Bayern und Baden-Württemberg um 32 % im Vergleich zur Referenzperiode reduzierte, war Hessen mit einer relativen Abweichung von -51 % am stärksten betroffen.

Extrem waren die Verhältnisse im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai-Oktober). Aufgrund eines nahezu ganzjährigen Niederschlagsdefizites (Februar bis November) in Kombination mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen wurde seit 1951 die geringste Grundwasserneubildung im Landesmittel erreicht. In einzelnen Naturräumen erfolgte sogar Grundwasserzehrung.

Im Zeitraum 1951 bis 2002 wechselten sich in der Regel mehrjährige Nass- und Trockenperioden ab (KLIWA 2017). Dabei wurden die Grundwasserspeicher überwiegend während der Neubildungsreichen Nassjahre aufgefüllt. Aufgrund der insgesamt zu geringen Niederschläge seit dem Jahr 2003 ist die Grundwasserneubildung in den vergangenen 16 Jahren gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000 eher unterdurchschnittlich (-18 %).

Tabelle 2: Mittlere Grundwasserneubildung im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in mm/a und %.

Zeitraum	Grundwasserneubildung [mm/a]				
	Süddeutschland	Baden-Württemberg	Bayern	Hessen	Rheinland-Pfalz
1971-2000	175	189	207	107	109
2018	117	128	140	53	80
Relative Abweichung [%] des Jahres 2018 gegenüber dem Zeitraum 1971-2000					
2018	-34	-32	-32	-51	-27

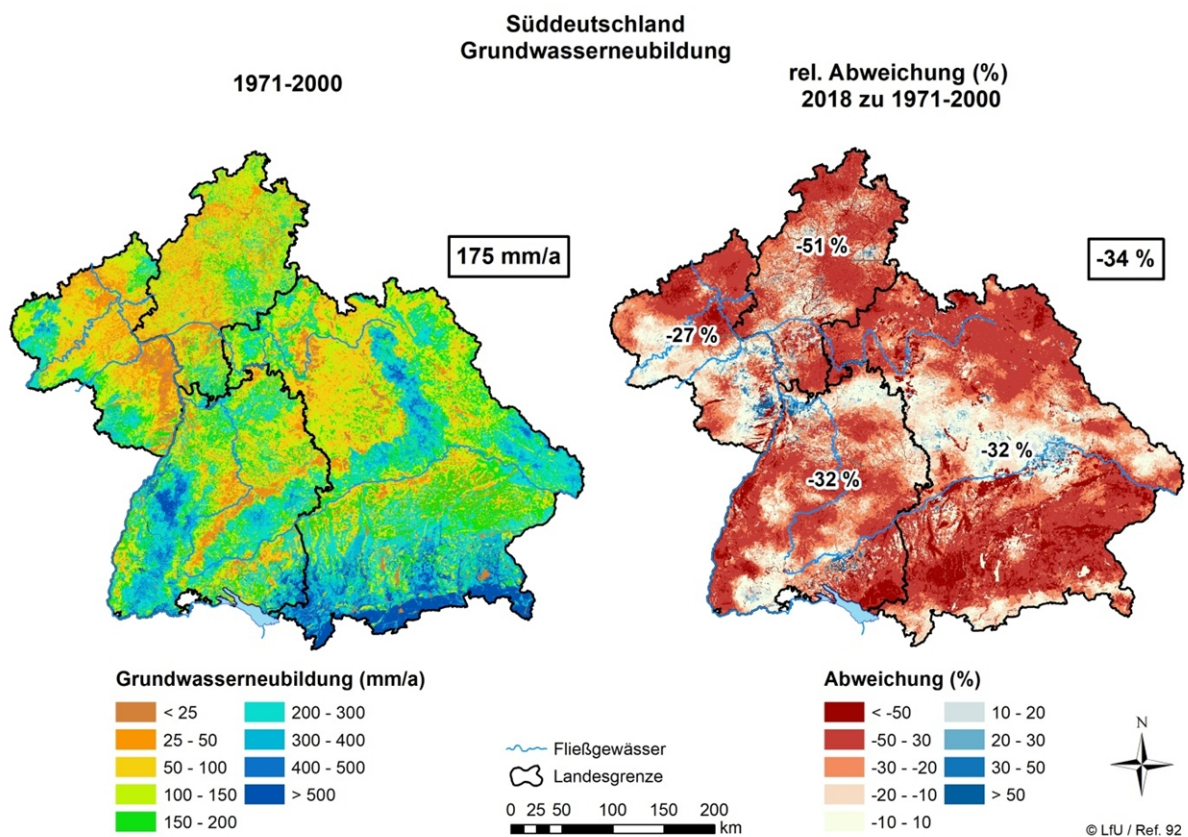


Abbildung 4: Mittlere Grundwasserneubildung im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und prozentuale Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.

Grundwasserstände und Quellschüttungen

Die extreme Trockenheit im Jahresverlauf 2018 führte zu sinkenden Grundwasserständen und Quellschüttungen. Während die Grundwasserspeicher im Winterhalbjahr 2017/2018 gut gefüllt waren, nahm der Anteil an Grundwassermessstellen mit niedrigen Grundwasserständen im Jahresverlauf stetig zu. An vielen Messstellen wurden sogar neue Niedrigstände registriert. Die

ergiebigen Niederschläge im Dezember 2018 entspannten die Situation in allen Bundesländern geringfügig. Um die Grundwasservorräte in der aktuellen trockenen Phase wieder nachhaltig aufzufüllen, ist voraussichtlich ein mehrjähriger Niederschlagsüberschuss (v.a. der Winterniederschläge) erforderlich.

Weitere Auswertungen zu der Situation der Grundwasserstände und Quellschüttungen im Jahr 2018 in den Ländern können den Gewässerkundlichen Jahresberichten (HLNUG 2019; LFU 2019a) sowie den weiterführenden Berichten zum Jahr 2018 (siehe Kapitel 1) entnommen werden.

Trockenheitsindex

Der Trockenheitsindex beschreibt die Anzahl an Tagen im Jahr, an denen die nutzbare Feldkapazität 30 % unterschreitet, der Bodenwasserspeicher also gering gefüllt ist. Die Wasserverfügbarkeit für die Vegetation ist somit limitiert. Im langjährigen Mittel beträgt der Trockenheitsindex in Süddeutschland 53 Tage. Das Jahr 2018 hatte gemittelt über Süddeutschland einen Index von 129 Tagen. Dies ist eine um 76 Tage häufigere Unterschreitung und hebt sich damit deutlich von der Referenzperiode ab (Tabelle 3, Abbildung 5). Hier spielten das Niederschlagsdefizit, wie auch die langanhaltend hohen sommerlichen Temperaturen eine wichtige Rolle. Sie führten zu einer starken Verdunstung und damit hohen Austrocknung der Böden. Weite Teile Süddeutschlands waren ähnlich stark betroffen.

Von 1951 bis 1990 kann kein Trend in der Entwicklung des Trockenheitsindex festgestellt werden. Vielmehr wechseln sich Jahre mit einem über- und unterdurchschnittlichen Trockenheitsindex im Vergleich zur Referenzperiode ab. Seit dem Beginn der 1990er Jahre nahm auch der Trockenheitsindex in allen vier Bundesländern zu (KLIWA 2017), eine indirekte Folge der seit längerem steigenden Temperatur und der damit höheren Verdunstung im Sommerhalbjahr. Die bislang mit Abstand höchste Anzahl an Tagen seit 1951 trat in allen Bundesländern im Jahr 2018 (129 Tage) auf. Der bisherige Höchstwert für Süddeutschland aus dem Jahr 2003 (109 Tage) wurde deutlich übertroffen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittlerer Trockenheitsindex im Zeitraum 1971-2000 und im Jahr 2018 sowie die relative Abweichung des Jahres 2018 vom Mittelwert. Angaben in Tage/a und Tage.

Trockenheitsindex [Tage/a]					
Zeitraum	Süddeutschland	Baden-Württemberg	Bayern	Hessen	Rheinland-Pfalz
1971-2000	53	44	48	63	78
2018	129	130	115	152	156
Absolute Abweichung [Tage] des Jahres 2018 gegenüber dem Zeitraum 1971-2000					
2018	+76	+86	+67	+89	+78

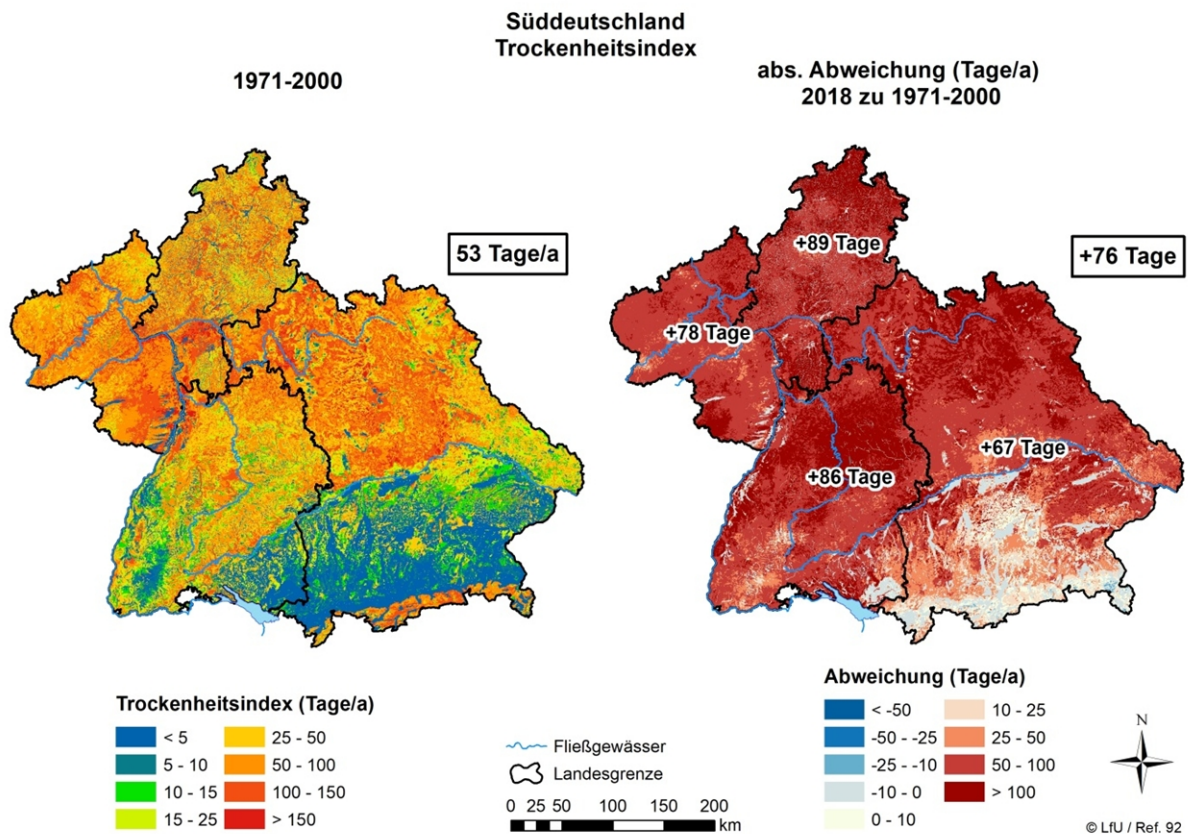


Abbildung 5: Mittlerer Trockenheitsindex im Referenzzeitraum 1971-2000 (links) und absolute Abweichung im Jahr 2018 (rechts). Die Darstellung bezieht sich auf das Kalenderjahr.

5 Gewässerökologie – Kein Hitzefrei

Die Hitze und Trockenheit im Sommer 2018 führte zu langanhaltend hohen Wassertemperaturen und einer geringen, vielfach ökologisch kritischen Wasserführung in den Fließgewässern Süddeutschlands. Dies hatte zum Teil deutlich negative Auswirkungen auf die Gewässerbewohner.

Durch die geringen Niederschlagsmengen und niedrigen Grundwasserstände fielen vermehrt Bäche und Gräben trocken, die normalerweise Wasser führen. Eine starke Beeinträchtigung der dort lebenden Gewässerorganismen ist anzunehmen. Auch an einigen Flüssen, z.B. der badischen Dreisam, trocknete das Gewässerbett teils über mehrere Kilometer aus. An den großen Flüssen wie Rhein, Main und Mosel fielen die Pegel im Spätsommer und Herbst vielfach auf Rekordtiefe. Hierdurch war der Lebensraum für Gewässerorganismen eingeschränkt. Die langanhaltend geringen Abflussmengen hatten auch Einfluss auf das Wanderverhalten einiger Fischarten. In Rhein und Mosel konnte erst mit steigenden Abflussmengen ab Dezember eine Abwanderung laichbereiter Aale beobachtet werden.

Langfristige Trendauswertungen der Wassertemperaturen in Bayern und Baden-Württemberg zeigen für den Zeitraum 1980-2015 statistisch belastbar eine Temperaturzunahme von ca. 0,2

bis 0,7 °C pro Dekade. Ein Grund ist der beobachtete Anstieg der Lufttemperatur, von dem die Wassertemperatur zu einem großen Maße abhängt. Diese klimatisch bedingten Änderungen der Temperatur unserer Gewässer werden jedoch auch über die menschliche Nutzung, beispielsweise durch Wärmeeinleitungen, Aufstau oder Wasserentnahmen beeinflusst.

Ein Massensterben von Fischen über weite Landesteile wurde 2018 zwar nicht beobachtet, jedoch wurden in stark dürrebeschädigten und ausgetrockneten Gewässerabschnitten verendete Fischbestände gefunden. Lokal kam es zu Fischsterben, die zwar unterschiedliche Gründe (z.B. Wasser-, Sauerstoffmangel, Krankheiten) hatten, aber letztlich alle auf die Witterungsbedingungen zurückzuführen waren. Ebenso wurden vielerorts einzelne tote Fische gefunden, so dass ein schleichender Individuenverlust anzunehmen ist.

Die Auswirkungen der hohen Temperaturen und Trockenheit auf das Makrozoobenthos lassen sich nur sehr schwer beurteilen. In stark vom Menschen überprägten, naturfernen Gewässerabschnitten, beispielsweise dem schiffbaren Rhein und Neckar, leben heute kaum noch heimische Arten. Derartige Gewässerstrecken werden überwiegend von anspruchslosen, wärmetoleranten Neozoen besiedelt. Entsprechend fallen die Folgen für die Lebensgemeinschaften hier vermutlich gering aus. Der Einfluss von zunehmenden Hitze- und Trockenperioden auf heimische, wärmeempfindliche Arten wird sich erst durch Detailuntersuchungen in den nächsten Jahren zeigen. Für einzelne Muschelarten wurden 2018 deutlich kritische Situationen beobachtet. Geringe Abflussmengen, Sauerstoffdefizite und das Trockenfallen der Oberläufe gefährdete die Bestände von Flussperlmuschel und Bachmuschel. In Bayern wurden daher stellenweise Bestände umgesiedelt oder zusätzlich Wasser zugeführt. An den größeren Gewässern in Baden-Württemberg traten kleinere Muschelsterben beispielsweise an Abschnitten von Neckar und Rhein auf (LUBW 2019). Ein größerer Verlust an Muschelbeständen wurde dort nicht bekannt. Im nördlichen Oberrhein (Rheinland-Pfalz) konnte ein partielles Muschelsterben der massenhaft verbreiteten und im Rhein als gebietsfremd geltenden Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis*) beobachtet werden.

Auch in den Seen spiegelten sich die Auswirkungen des heißen und trockenen Sommers wider. Durch hohe Wassertemperaturen wird die massenhafte Entwicklung bestimmter Algen und Wasserpflanzen gefördert. Besonders in kleineren, nährstoffreichen Seen kam es im Sommer 2018 zu einer Beeinträchtigung der Badegewässerqualität durch Cyanobakterien. Vereinzelt mussten Badeverbote ausgesprochen werden. In manchen Seen, wie dem Ammersee, setzte die sommerliche thermische Schichtung bedingt durch die hohen Lufttemperaturen im April deutlich früher ein als in den Vorjahren. Im Bodensee führten die starke Gewässererwärmung und die ab Juni zunehmend sinkenden Wasserstände u.a. zu einer starken Makrophytenentwicklung in den trocken gefallenem Flachwasserbereichen und zur Ausbildung von lokalen Algenmatten. Die hohen Temperaturen begünstigten zudem das Auftreten der Süßwasserqualle.

Die Flussauen waren ebenfalls von Hitze und Trockenheit betroffen. Die meisten Altrheinarme in der Oberrheinebene führten ungewöhnlich wenig Wasser. In einigen Altgewässern am Rhein (z.B. Neuhofener Altrhein, Lamprather Altrhein, Nachtweideweier) kam es zu

kritischen Sauerstoffdefiziten während der herbstlichen Zirkulationsphase, in der sich sauerstoffarmes Tiefenwasser mit dem Oberflächenwasser mischte. Mit Sofortmaßnahmen konnten dort Fischsterben verhindert werden. In anderen Altwassern traten durchaus Fischsterben auf.

6 Ausblick

Das Jahr 2018 vermittelte den Eindruck, dass sich die Trockenheitslage immer weiter verschärft. Ist das nun ein Zeichen für den Klimawandel? Oder ist es ein Einzelereignis, wie es im natürlichen, schwankenden Klimageschehen natürlicherweise immer mal auftreten kann? Vielleicht. Denn belastbar nachweisen lassen sich klimatische Veränderungen erst bei der Betrachtung eines langen Zeitraums, der mindestens 30 Jahre umfasst. Allerdings beobachtet man mit den letzten 15 Jahren bereits eine außergewöhnlich lange, relativ trockene Phase. Auch die fortwährende Zunahme der Lufttemperatur, einer wesentlichen Steuerungsgröße im Wasserhaushalt, ist belastbar nachgewiesen (IPCC 2013). Eine Tendenz scheint vorhanden zu sein, ein abschließendes Urteil kann KLIWA aktuell aber nicht treffen.

Die aktuellen Klimaprojektionen des 5. IPCC-Berichtes sind sich einig: Es wird in Zukunft wärmer. Aktuell wertet KLIWA noch aus, wie sich das auf den Wasserhaushalt, die Abflüsse und das Grundwasser in Süddeutschland auswirkt.

Bereits veröffentlichte Auswertungen deuten darauf hin, dass trockene Zeiträume in Zukunft häufiger und stärker auftreten werden (KLIWA 2012). Die Verdunstung steigt mit der zunehmenden Lufttemperatur. Damit werden die Sommer tendenziell trockener – wenn auch mit einem höheren Risiko für Starkniederschläge. Die Winter werden laut der bestehenden Ergebnisse bis Mitte des Jahrhunderts wohl niederschlagsreicher. Dieses Trendverhalten beobachten wir zwar seit 2003 nicht, es ist aber möglicherweise eine Phase, welche die Klimamodelle aus methodischen Gründen nicht abbilden können. Der längjährige Trend seit 1931 spiegelt aktuell dieses Verhalten noch wieder. Nach bisherigen Erkenntnissen werden die sommerlichen Niedrigwasserabflüsse bis Mitte des 21. Jahrhunderts überwiegend abnehmen und sich die Niedrigwassersituationen damit verschärfen (KLIWA 2018a). Gewässerabschnitte werden häufiger und länger trockenfallen, mit den entsprechenden Folgen für die Gewässerökologie (JÄHNIG ET AL. 2010). Mit der zukünftig steigenden Lufttemperatur werden zudem die Fließgewässer und Seen wärmer. Auch damit wird der Stress für die Gewässerökologie voraussichtlich steigen. Für den Bodenwasserhaushalt deuten die bisherigen Auswertungen (KLIWA 2017) auf eine verringerte Grundwasserneubildung und einen höheren Trockenheitsindex. Dies bedeutet, dass sich die Zeit mit erheblichem Trockenstress und Wassermangel verlängern wird.

Die Auswirkungen auf die wasserabhängigen Nutzungen sind vielfältig und erfordern wirksame, robuste und flexible Anpassungsstrategien (KLIWA 2018b). Solche berücksichtigen neben den hydrologischen Anforderungen auch die politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekte basierend auf den Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Umweltverträglichkeit.

7 Literaturverzeichnis

BFG, BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2019): Das Niedrigwasser 2018. Koblenz.

DWD, DEUTSCHER WETTERDIENST (28.12.2018): Deutschlandwetter im Jahr 2018. 2018 – ein außergewöhnliches Wetterjahr mit vielen Rekorden. Offenbach.

HLNUG, HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE (2019): Gewässerkundlicher Jahresbericht 2018. Veröffentlichung in Vorbereitung. Wiesbaden.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2013 - Naturwissenschaftliche Grundlagen. IPCC, Genf, Schweiz, Bonn, 36 S.

JÄHNIG, SONJA; HERING, DANIEL; HAASE, PETER (2010): Einfluss des Klimawandels auf die Fließgewässerqualität: Literatúrauswertung und erste Vulnerabilitätseinschätzung. Auftrag im Rahmen des Kooperationsvorhaben KLIWA: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft". Gelnhausen, 108 S.

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

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

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2017): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). KLIWA-Berichte, Heft 21.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018a): Ergebnisse gemeinsamer Abflussprojektionen für KLIWA und Hessen basierend auf SRES A1B. KLIWA-Kurzbericht, 27 S.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018b): Klimawandel in Süden Deutschlands; Herausforderungen - Anpassungen. Folgen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte, Heft 22.

LFU RP, LANDESAMT FÜR UMWELT RHEINLAND-PFALZ (2019): Der Sommer 2018 in Rheinland-Pfalz. Ein wasserwirtschaftlicher Bericht. Mainz, 61 S.

LFU, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2019a): Gewässerkundlicher Jahresbericht 2018. Augsburg.

LFU, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2019b): Niedrigwasser 2018. Veröffentlichung in Vorbereitung. Augsburg.

LUBW, LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (2019): Zu warm, zu heiß, zu trocken? Eine klimatische Einordnung des Jahres 2018 für Baden-Württemberg. Karlsruhe, 28 S.