

Zu warm, zu heiß, zu trocken?

Eine klimatische Einordnung des Jahres 2018 für Baden-Württemberg



Zu warm, zu heiß, zu trocken?

Eine klimatische Einordnung des Jahres 2018 für Baden-Württemberg

BEARBEITUNG

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe

Abteilung 2 – Nachhaltigkeit und Naturschutz
Referat 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel
Dr. Kai Höpker
Dr. Sabrina Plegnière
Sandra Dezenter

Abteilung 3 – Technischer Umweltschutz
Referat 33 – Luftqualität, Immissionsschutz
Doreen Metzner

Abteilung 4 – Wasser
Referat 41 - Fließgewässerökologie
Renate Semmler-Elpers
Referat 42 - Grundwasser
Jörg Heimler
Referat 43 – Hydrologie, Hochwasservorhersage
Dr. Gabriel Fink
Dr. Manuela Nied

ISF - Institut für Seenforschung
Dr. Harald Hetzenauer
Dr. Petra Teiber-Sießegger
Dr. Martin Wessels

STAND

8. Februar 2019

VERÖFFENTLICHUNG

März 2019

1	DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE	4
2	ERGEBNISSE	5
2.1	Jahresmitteltemperatur	5
2.2	Hitze	6
2.3	Phänologie	7
2.4	Niederschlag	10
2.4.1	Mittlerer Niederschlag	10
2.4.2	Starkniederschläge	12
2.4.3	Klimatische Wasserbilanz	12
2.5	Niedrigwasser	14
2.5.1	Fließgewässer	14
2.5.2	Grundwasser	17
2.5.3	Bodensee	18
2.5.4	Fließgewässerökologie	21
2.6	Ozon	23

1 Das Wichtigste in Kürze

2018 war ein besonders warmes Jahr. Die Jahresmitteltemperatur hat 2018 mit 10,4°C in Baden-Württemberg einen neuen Höchstwert seit Beginn der Aufzeichnungen 1881 erreicht. Seit 1881 ist sie damit um 1,4°C angestiegen.

Betrachtet man den aktuellen Klimazeitraum, d. h. die letzten 30 Jahre (1989-2018), liegt die Mitteltemperatur für diesen Zeitraum bereits bei 9,1°C und damit um 1°C höher als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990. Dies ist ein Anstieg von 1°C in nur 30 Jahren.

Seit der Jahrtausendwende ist das Temperaturniveau besonders hoch. Fast in jedem Jahr ab 2000 werden die bisherigen Temperaturrekorde in Folge gebrochen. So zählen 15 Jahre aus diesem Zeitraum zu den 20 wärmsten Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen.

2018 war zwar durchschnittlich wärmer als der Jahrhundertssummer 2003, aber in der Spitze nicht ganz so heiß: In 2018 gab es gemittelt über das ganze Land 21 Heiße Tage und damit mehr als viermal so viele wie im Mittel pro Jahr im Zeitraum 1961-1990 (5 Tage); in 2003 gab es jedoch über fünfmal so viele (27 Tage). Temperaturspitzenwerte wie in 2003 von über 40°C werden in 2018 nicht erreicht.

2018 war ein sehr trockenes Jahr, was sich vor allem in der Vegetationszeit bemerkbar machte. Vergleicht man die Niederschlagssummen in der Vegetationszeit so gab es in 2018 mit nur 370 mm nach 1947 mit 354 mm die zweittrockenste Vegetationsperiode. Damit sind rund 40 % weniger Niederschlag gefallen als im Mittel des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 (603 mm).

Bis auf die Monate Januar und Dezember, die deutlich zu nass waren, war es das ganze Jahr überdurchschnittlich trocken. Der Herbst 2018, in dem nur 102 mm Niederschlag gefallen sind und der damit rund 55 % trockener war als im Zeitraum 1961-1990, ist sogar der trockenste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881 in Baden-Württemberg.

Sowohl in seiner zeitlichen als auch in seiner räumlichen Ausdehnung war 2018 ein außerordentliches Niedrigwasserjahr und vergleichbar mit den Niedrigwasserjahren 2003 und 2015. Bis zu 80 % aller Kennwertpegel waren zeitgleich von Niedrigwasser betroffen. Der Rheinpegel Maxau führte an 27 % der Tage Niedrigwasser und erreichte den niedrigsten Wasserstand seit dem Jahr 1972.

Gemeingebrauch und Schifffahrt mussten eingeschränkt werden. Es entstand ein hoher wirtschaftlicher Schaden.

Das Jahr 2018 zehrte deutlich an den Wasserreserven. Die Grundwasserstände und Quellschüttungen bewegten sich zum Jahresende 2018 überwiegend auf sehr niedrigem Niveau. Die bereits in 2017 geringen Grundwasservorräte sind in 2018 weiter zurückgegangen; insbesondere Grundwasserleiter mit geringen Mächtigkeiten und Flurabständen sind betroffen.

Am Bodensee fielen durch den niedrigen Wasserstand Flachwasserzonen trocken und Sedimentstrukturen an der Rheinmündung wurden sichtbar; zudem war die Wassertemperatur außergewöhnlich hoch.

Das Niedrigwasser und die Temperaturverhältnisse begünstigten das Wachstum von Wasserpflanzen, lokaler Algentepiche und wärmeliebender Süßwasserquallen im Bodensee.

Auch im Rhein und Neckar waren die Wassertemperaturen 2018 über einen langen Zeitraum hoch, so dass die Biozönose geschwächt wurde.

2 ERGEBNISSE

2.1 JAHRESMITTELTEMPERATUR

Kurz gesagt:

- Die Jahresmitteltemperatur hat 2018 mit 10,4°C einen neuen Höchstwert seit Beginn der Aufzeichnungen 1881 erreicht
- 15 der 20 wärmsten Jahre in Baden-Württemberg traten nach 2000 auf
- Seit Beginn der Aufzeichnung stieg die Mitteltemperatur um 1,4°C in Baden-Württemberg; seit 1989 sogar um 1°C in nur 30 Jahren

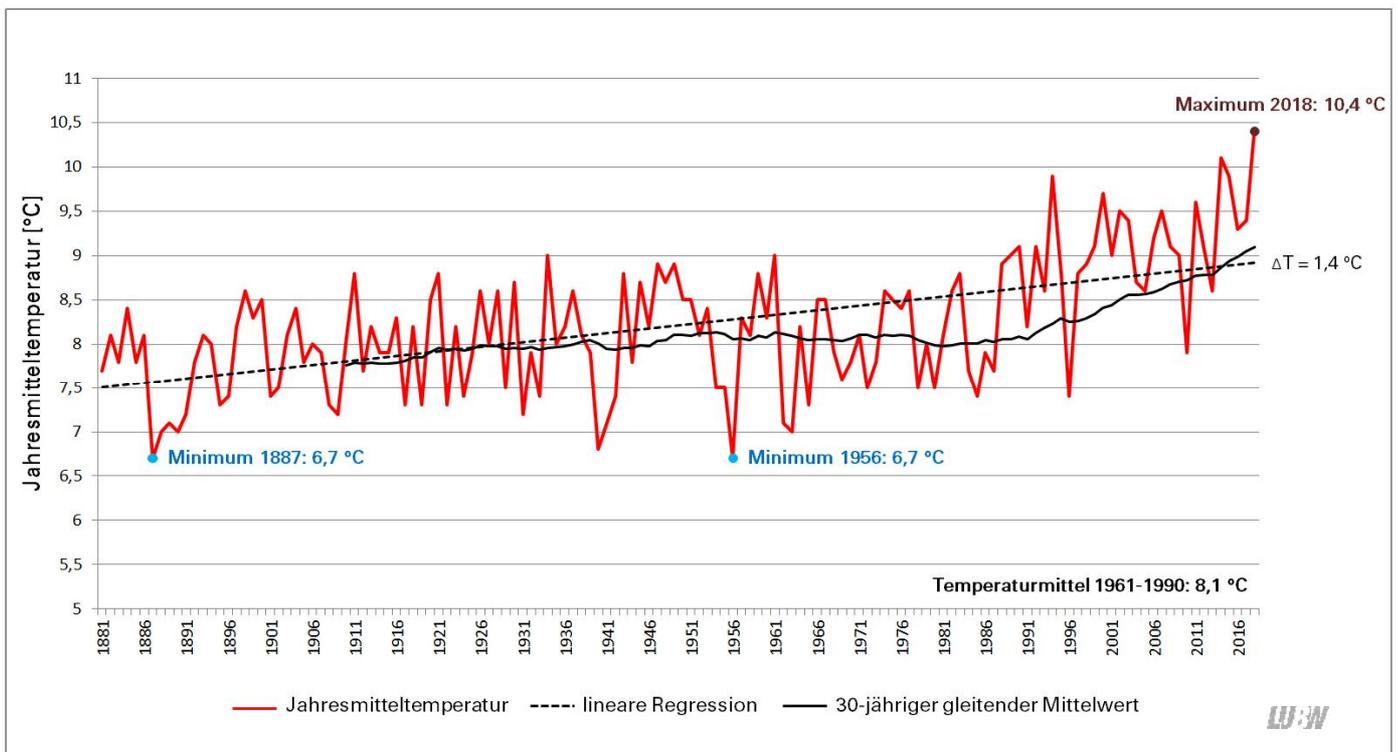


Abb. 1: Jahresmitteltemperatur seit 1881 in Baden-Württemberg

Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2018 war seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen 1881 das wärmste Jahr in Baden-Württemberg. Mit 10,4°C liegt es sogar um 0,3°C über dem letzten Maximalwert von 2014 und zum zweiten Mal über der 10-Grad-Marke (Abb. 1). Zum Vergleich: 2018 ist damit um 2,3°C höher als der Wert des internationalen Vergleichszeitraums (1961-1990) von 8,1°C.

Insgesamt betrachtet ist die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg seit rund 140 Jahren stetig angestiegen; bis Ende 2018 um mehr als 1,4°C (Abb. 1). Seit der Jahrtausendwende ist das Temperaturniveau besonders hoch. Fast in jedem Jahr ab 2000 werden die bisherigen Temperaturrekorde in Folge gebrochen. So zählen 15 Jahre aus diesem Zeitraum zu den 20 wärmsten Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen.

Betrachtet man den aktuellen Klimazeitraum, d. h. die letzten 30 Jahre (1989-2018), liegt die Mitteltemperatur für diesen Zeitraum bereits bei 9,1°C. Sie liegt damit um 1°C höher als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990; also ein Anstieg von 1°C in nur 30 Jahren.

2.2 HITZE

Kurz gesagt:

- 2018 war wärmer als der Jahrhundertsommer 2003, aber nicht ganz so heiß: Die Anzahl Heißer Tage in 2018 ist vergleichbar mit 2003, jedoch in fast allen Landesteilen etwas geringer
- In 2018 gab es gemittelt über das ganze Land 21 Heiße Tage und damit mehr als viermal so viele wie im Mittel pro Jahr im Zeitraum 1961-1990 (5 Tage); in 2003 gab es über fünfmal so viele (27 Tage)
- Temperaturspitzenwerte wie in 2003 von über 40°C werden in 2018 nicht erreicht

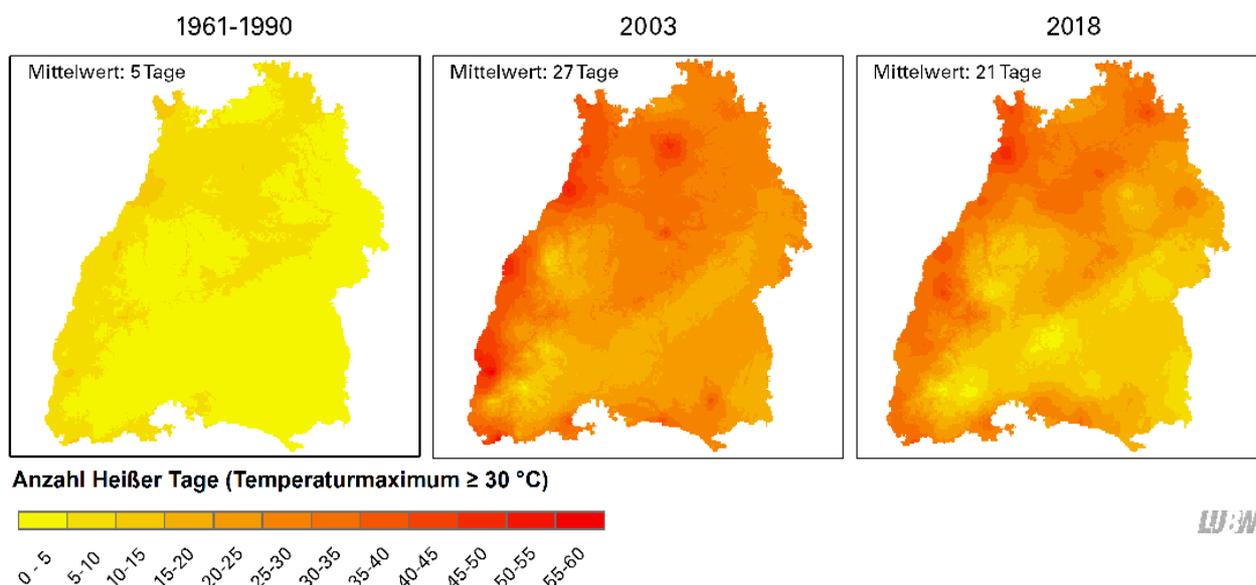


Abb. 2: Anzahl Heißer Tage in Baden-Württemberg für die Jahre 2003 und 2018 im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990
Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2018 war zwar das wärmste Jahr in Baden-Württemberg, jedoch nicht das heißeste. Deutlich wird dies beispielsweise an der Anzahl der Heißen Tage, also an Tagen mit einer maximalen Temperatur von 30°C oder mehr. In 2018 wurden gemittelt über das ganze Land an 21 Tagen 30°C oder mehr erreicht, im Jahrhundertsommer 2003, der bislang auch die meisten Heißen Tage in Baden-Württemberg aufweist, waren es hingegen 27 Heiße Tage (Abb. 2). Dennoch zählt 2018 zusammen mit 2003 und 2015, in dem es im Mittel 25 Heiße Tage gab, zu den heißesten Jahren in Baden-Württemberg.

Die Aussage, dass 2018 ein besonders warmes, aber nicht das heißeste Jahr ist, wird durch die Anzahl der Sommertage, d. h. Tage mit einer maximalen Temperatur $\geq 25^\circ\text{C}$, unterstützt. So gab es im Mittel in Baden-Württemberg sowohl 2018 als auch 2003 80 Sommertage. Daraus lässt sich schließen, dass zwar der Anteil von warmen Tagen mit 25°C und mehr 2018 sehr hoch ist, jedoch der Großteil davon nicht jenseits der 30-Grad-Marke lag. Auch Spitzenwerte von über 40°C, wie sie beispielsweise im August 2003 an der Station Karlsruhe/Rheinstetten oder Freiburg gemessen wurden, konnten bei weitem nicht erreicht werden.

Verglichen mit dem Zeitraum 1961-1990, in dem es im Mittel im Land pro Jahr rund 5 Heiße Tage gab, ist die Anzahl der Heißen Tage 2018 mit 21 Tagen über viermal und 2003 mit 27 Tagen sogar mehr als fünfmal so hoch. Damit ist, wie bei der Jahresmitteltemperatur, ebenso ein deutlicher Anstieg der Anzahl von Heißen Tagen in Baden-Württemberg festzustellen (vgl. Abb. 2).

Besonders spürbar ist die Veränderung im Oberrheingraben, der ohnehin als sehr warme Region bekannt ist. So wurde beispielsweise an der Station Mannheim sowohl 2018 als auch 2003 an 42 Tagen 30°C und mehr erreicht. Im Zeitraum 1961-1990 lag das Mittel in Mannheim hingegen nur bei 11 Heißen Tagen pro Jahr.

2.3 PHÄNOLOGIE

Kurz gesagt:

- Der langjährige Trend zu einem früheren Einsetzen der Apfelblüte setzt sich 2018 fort
- Die Apfelblüte entwickelt sich im April 2018 nahezu explosionsartig
- Blattaustrieb, Beginn und Ende der Blüte erfolgen 2018 in schneller Abfolge

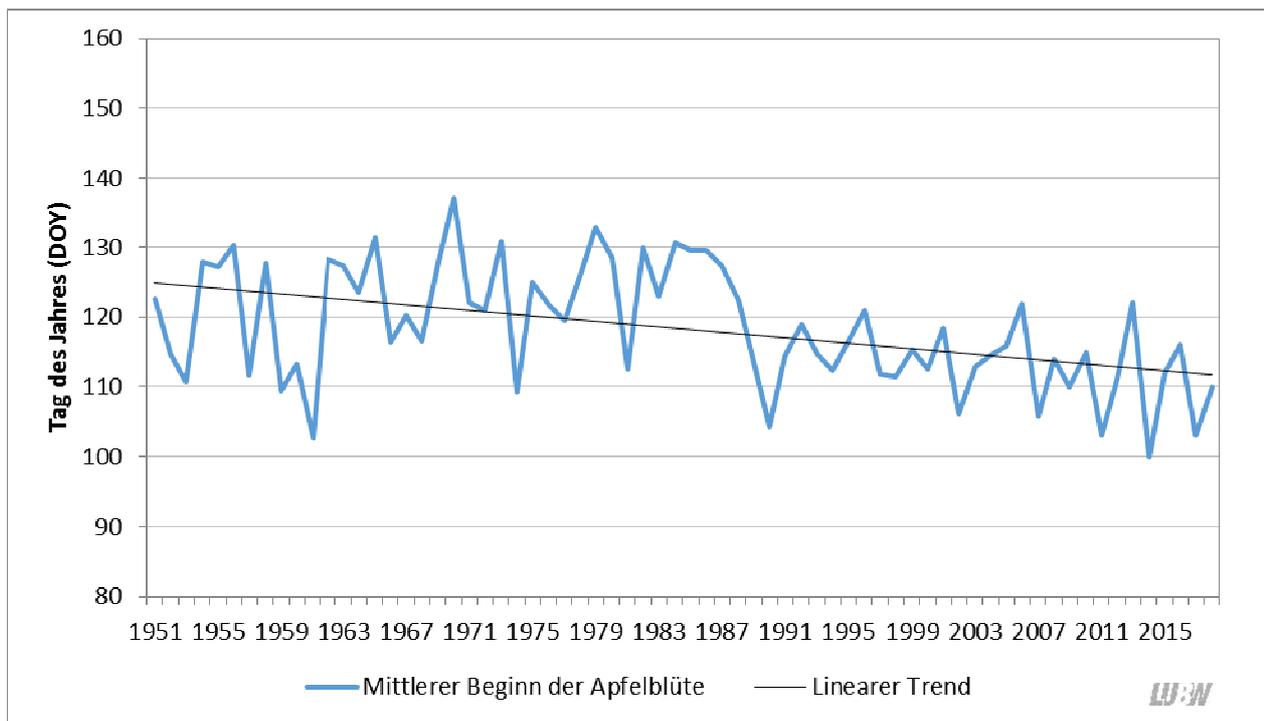


Abb. 3: Mittlerer Beginn vorwiegend frühblühender Apfelbäume in Baden-Württemberg. Für 2018 lagen zum Zeitpunkt der Diagrammerstellung noch nicht alle Meldungen der Jahresmelder vor. Somit ist der 20. April (DOY 110) als vorläufiger Wert für 2018 zu betrachten. Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

Die Phänologie befasst sich mit regelmäßig wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen bei Pflanzen und Tieren. Bei Pflanzen werden zum Beispiel der Beginn der Blattentfaltung, der Beginn und das Ende der Blüte, der Fruchtreife oder des Blattfalls als einzelne phänologische Phasen unterschieden. Anhand solcher Beobachtungen wird das Jahr in zehn phänologische Jahreszeiten eingeteilt. Die Phänologie ist stark von der Temperatur und Sonneneinstrahlung abhängig. Änderungen der Phänologie verdeutlichen somit klimatisch bedingte Veränderungen in der Natur.

Mit dem Einsetzen der ersten Apfelblüten beginnt der Vollfrühling. Dieser Tag wird als Tag des Jahres (day of year, DOY) erfasst. Beobachtungen des DWD zeigen für den Zeitraum 1991-2018 (23. April = 113. DOY) eine Vorverlagerung des Blühbeginns im Land um durchschnittlich zehn Tage als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990 (3. Mai = 123. DOY).

Seit 2007 beobachtet die LUBW im Murgtal, einem Seitenarm des südlichen Rheintals in Baden-Württemberg, die Ausbreitung der Apfelblüte bis hinauf in die Höhenlagen des Schwarzwaldes. In diesem Gebiet wird der Blühverlauf ausgewählter Apfelbäume in einer Höhenlage von 120 bis 1043 m ü. NN beobachtet und dokumentiert.



Abb. 4: Apfelblüte im Murgtal. Quelle: S. Dezenter/LUBW

Der frühere Blühbeginn des Apfels ist auch im Murgtal-Projekt zu beobachten. Trotz des kalten Starts in den Frühling blühte der erste Apfelbaum, in der Oberrheinebene bei Bietigheim auf 120 Höhenmeter, bereits am 12. April 2018, wie in den vergangenen elf Beobachtungsjahren um die Monatsmitte. Durch teilweise früh-sommerliche Temperaturen explodierte die Apfelblüte 2018 aber geradezu. Dies brachte die Apfelblüte im April innerhalb von zwölf Tagen in Rekordtempo bis in die Mittellagen auf 660 Höhenmeter. Leichte Abkühlungen zum Aprilende und ein kühler Start in den Mai bremsten den weiterhin schnellen Aufstieg in die höheren Lagen des Nordschwarzwaldes. Dennoch kam die Apfelblüte nach 27 Tagen, ähnlich schnell wie im Jahr 2015, am höchstgelegenen Standort auf 1043 Höhenmeter am Schliffkopf an. Ein schnellerer und kürzerer Höhengaufstieg, mit 14 Tagen von der Oberrheinebene bis in die Höhenlagen des Nordschwarzwaldes, wurde bisher nur im ersten Projektjahr 2007 beobachtet.

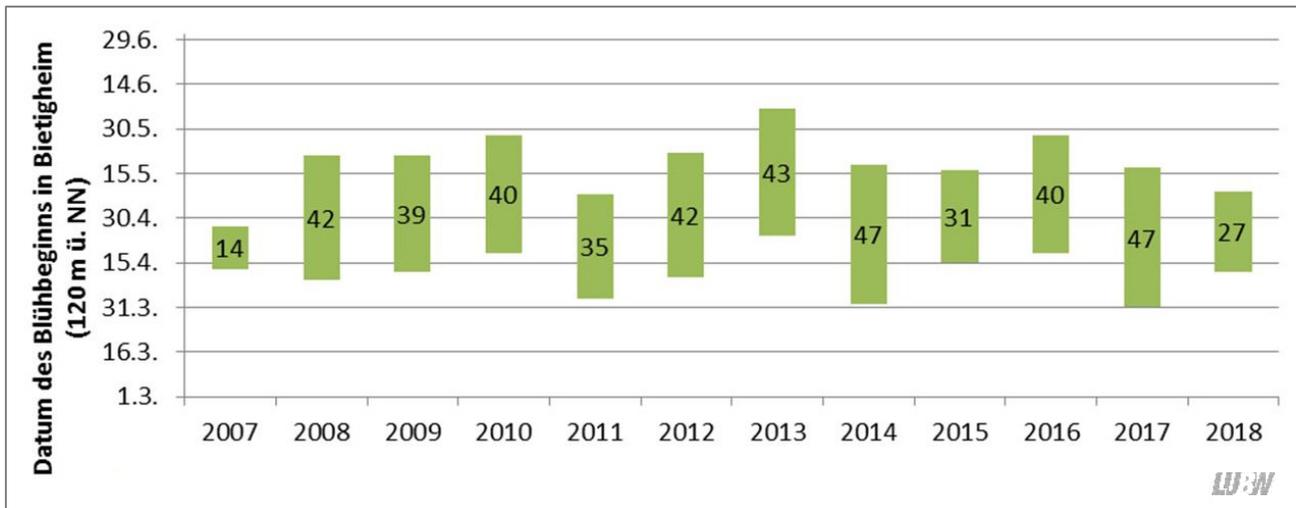


Abb. 5: Zeitunterschiede in Tagen und Geschwindigkeit (m/Tag) zwischen dem Blühbeginn in Bietigheim (120 m ü. NN) und dem Schliiffkopf (1043 m ü. NN). In den Jahren 2013 und 2017 wies der höchstgelegene Apfelbaum keine Blüten auf, die Erhebungen endeten daher auf 915 m ü. NN am Ruhestein
 Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Eine schnelle Entwicklung von der ersten Blüte zur Vollblüte binnen zwei bis drei Tage war besonders häufig zu beobachten. Mit 42 Tagen von Blühbeginn in der Oberrheinebene bis zum Blühende in den Höhenlagen des Nordschwarzwaldes, zählt die Apfelblüte 2018 auch zu den drei kürzesten seit Projektbeginn.

2.4 NIEDERSCHLAG

2.4.1 MITTLERER NIEDERSCHLAG

Kurz gesagt:

- 2018 war ein sehr trockenes Jahr: In der Vegetationszeit ist mit etwa 370 mm rund 40 % weniger Niederschlag als im Mittel des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 (603 mm) gefallen
- Frühling, Sommer und Herbst waren überdurchschnittlich trocken, in den Wintermonaten war es hingegen deutlich zu nass

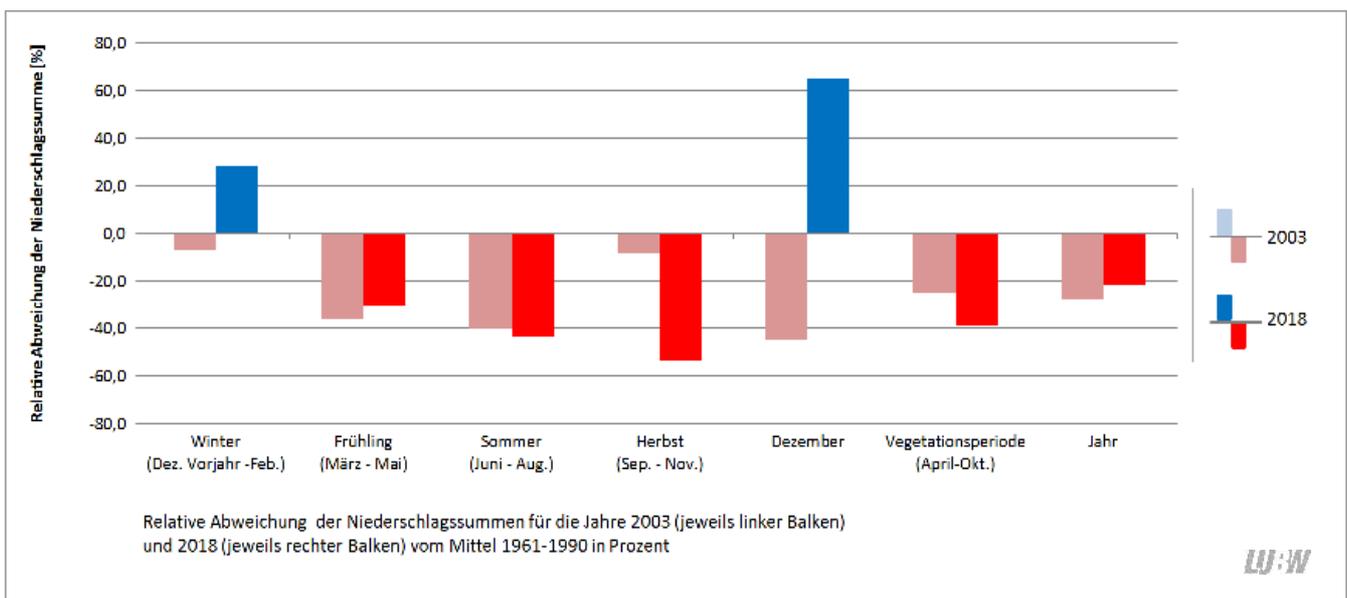


Abb. 6: Relative Abweichung der Niederschlagssummen in unterschiedlichen Abschnitten der Jahre 2003 und 2018 vom Mittel des Vergleichszeitraums 1961-1990 in Prozent
Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2018 gehört zusammen mit 2003 und 2015 zu den trockensten Jahren in Baden-Württemberg. Dies wird jedoch beim Vergleich der Jahressummen nicht ganz deutlich. So liegt zwar 2018 mit einer Jahresniederschlagssumme von 765 mm 22 % unter dem Mittelwert des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 (980 mm), allerdings findet sich 2018 erst an 15. Stelle der trockensten Jahre in Baden-Württemberg. Die Jahre 2015 mit 732 mm (10. trockenstes Jahr) und 2003 mit 707 mm Jahresniederschlag (5. trockenstes Jahr) waren beispielsweise trockener.

Ein anderes Bild ergibt sich jedoch beim Vergleich der Niederschlagssummen für die Monate April bis Oktober, der Vegetationszeit bzw. dem Zeitraum, in dem sich hierzulande der Großteil der Pflanzen bildet, wächst und ausreift. Die Menge des Niederschlags in der Vegetationszeit hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die Erträge in der Landwirtschaft.

Vergleicht man die Niederschlagssummen in der Vegetationszeit so gab es in 2018 mit nur 370 mm nach 1947 mit 354 mm die zweittrockenste Vegetationsperiode. In der Vegetationszeit im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990 waren es gut 600 mm. Selbst im Jahr 2003 gab es knapp 100 mm mehr Niederschlag in der Vegetationszeit als in 2018 und in 2015 waren es rund 50 mm mehr.

Das Jahr 2018 ist darüber hinaus durch sehr trockene Sommer- und Herbstmonate gekennzeichnet. Der Herbst 2018, in dem nur 102 mm Niederschlag gefallen sind und der damit rund 55 % trockener war als im Zeitraum 1961-1990 (vgl. Abb. 6), ist sogar der trockenste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881 in Baden-Württemberg.

Aufgrund der langen Trockenphase, insbesondere in der Vegetationszeit, wurden 2018 in der Landwirtschaft zum Teil große Ernteausfälle oder Ertragseinbußen verzeichnet. Die Obsternte und Weinlese fiel hingegen überdurchschnittlich gut aus.¹



Abb. 7: Vertrocknetes Maisfeld im Raum Karlsruhe. Quelle: S. Plegnière/LUBW

In den Wintermonaten war es im Gegensatz zum restlichen Jahr, besonders im Januar und Dezember 2018, viel zu nass. Im Januar 2018 gab es beispielsweise mehr als doppelt so viel Niederschlag als im Mittel im Januar 1961-1990. Dies ist auch der Grund, warum das Jahr 2018 nicht insgesamt das trockenste Jahr in Baden-Württemberg war.

¹ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg Pressemitteilung 236/2018
<https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2018236>

2.4.2 STARKNIEDERSCHLÄGE

Kurz gesagt:

- Im Sommer 2018 wurden in Baden-Württemberg Starkregenereignisse beobachtet

Als „Starkniederschlag“ oder „Starkregen“ werden im Allgemeinen Niederschläge mit ungewöhnlich hoher Intensität bezeichnet, d.h. mit großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. So warnt zum Beispiel der Deutsche Wetterdienst (DWD) vor Unwettern mit Starkregen, wenn Niederschlagsmengen von mehr als 25 mm in einer Stunde oder 35 mm in sechs Stunden zu erwarten sind. Neben der Betrachtung eines Schwellenwertes sind auch Definitionen auf Grundlage von Wiederkehrintervallen gebräuchlich, da die Ausprägungen von Starkregenereignissen regional stark variieren können.

Insbesondere von Ende Mai bis Mitte Juni sowie Mitte Juli führten feucht-warme Luftmassen zu heftigen Gewittern mit Starkregen, Sturmböen und Hagel. Zum Beispiel am 31. Mai in Lenzkirch-Ruhbühl (Kr. Breisgau-Hochschwarzwald), wo 91,0 mm, am 6. Juni am Feldberg, wo 105 mm oder am 15. Juli in Kilsheim (Main-Tauber-Kreis), wo 97,7 mm Niederschlag fielen². Nach KOSTRA-DWD 2010R³ entsprechen diese Tagesniederschläge einem 50-jährlichen (Lenzkirch-Ruhbühl), einem 10-jährlichen (Feldberg) bzw. einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis (Kilsheim).

2.4.3 KLIMATISCHE WASSERBILANZ

Kurz gesagt:

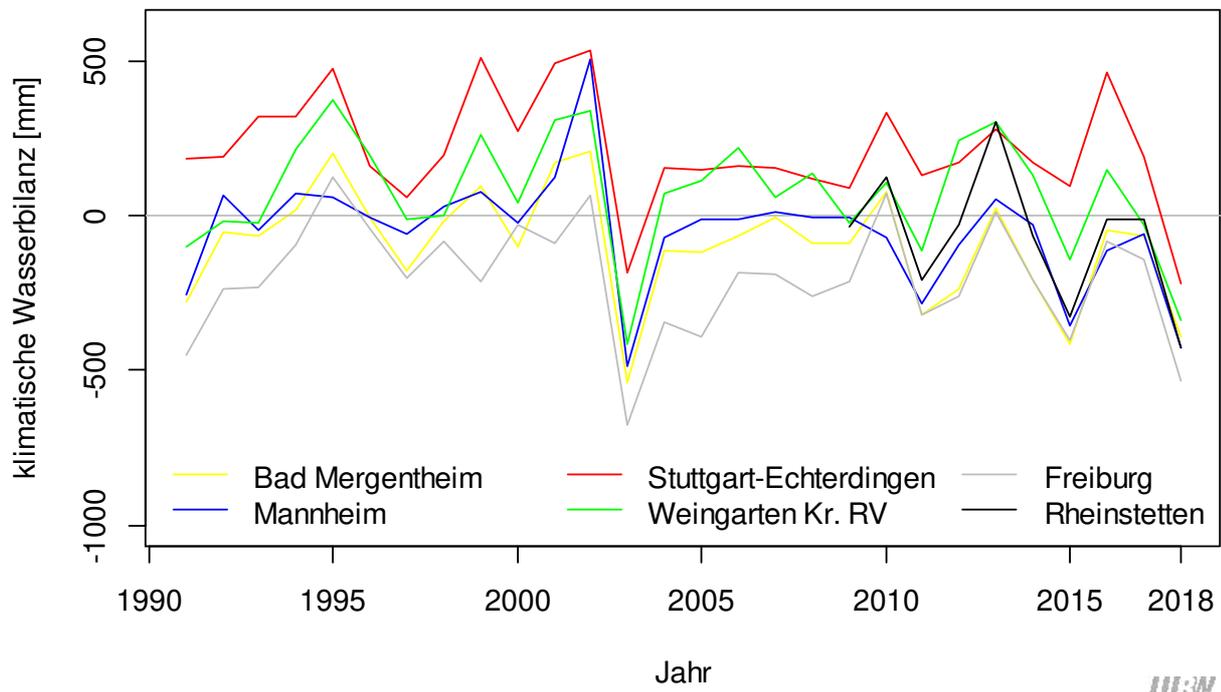
- Das Jahr 2018 zehrte deutlich an den Wasserreserven

Die klimatische Wasserbilanz eines Jahres gibt an, wieviel Wasser übrig bleibt, wenn vom Jahresniederschlag die Menge abgezogen wird, die in diesem Zeitraum potentiell verdunsten kann. Ist die Bilanz negativ, dann werden die Wasserspeicher (z. B. Grundwasser, Bodenwasser) aufgebraucht, positive Bilanzen sind ein Indiz für mehr Abfluss und für eine Auffüllung der Wasserspeicher.

An sechs ausgewählten Stationen, die die unterschiedlichen topographischen Regionen Baden-Württemberg widerspiegeln, war das Jahr 2018 nach 2003 das zweitstärkste Zehrjahr seit 1991 (s. Abb. 8). Die deutlich negative Bilanz im Jahr 2018 bestätigt den Trend zu speicherzehrenden Jahren seit 2003.

² Deutscher Wetterdienst, 2018: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/DE/derdwd/bibliothek/fachpublikationen/selbstverlag/selbstverlag_node.html.

³ DWD Climate Data Center (CDC), Raster der Wiederkehrintervalle für Starkregen (Bemessungsniederschläge) in Deutschland (KOSTRA-DWD), Version 2010R.



LUBW

Abb. 8: Klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991-2018 für sechs Klimastationen des DWD. Für Rheinstetten liegen Daten nur für den Zeitraum 2009-2018 vor
 Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2.5 NIEDRIGWASSER

2.5.1 FLIEßGEWÄSSER

Kurz gesagt:

- Sowohl in seiner zeitlichen als auch in seiner räumlichen Ausdehnung war 2018 ein außerordentliches Niedrigwasserjahr und vergleichbar mit den Niedrigwasserjahren 2003 und 2015
- Bis zu 80 % aller Kennwertpegel waren zeitgleich von Niedrigwasser betroffen
- Der Rheinpegel Maxau führte an 27 % der Tage Niedrigwasser und erreichte den niedrigsten Wasserstand seit dem Jahr 1972
- Gemeingebrauch und Schifffahrt mussten eingeschränkt werden
- Es entstand ein hoher wirtschaftlicher Schaden

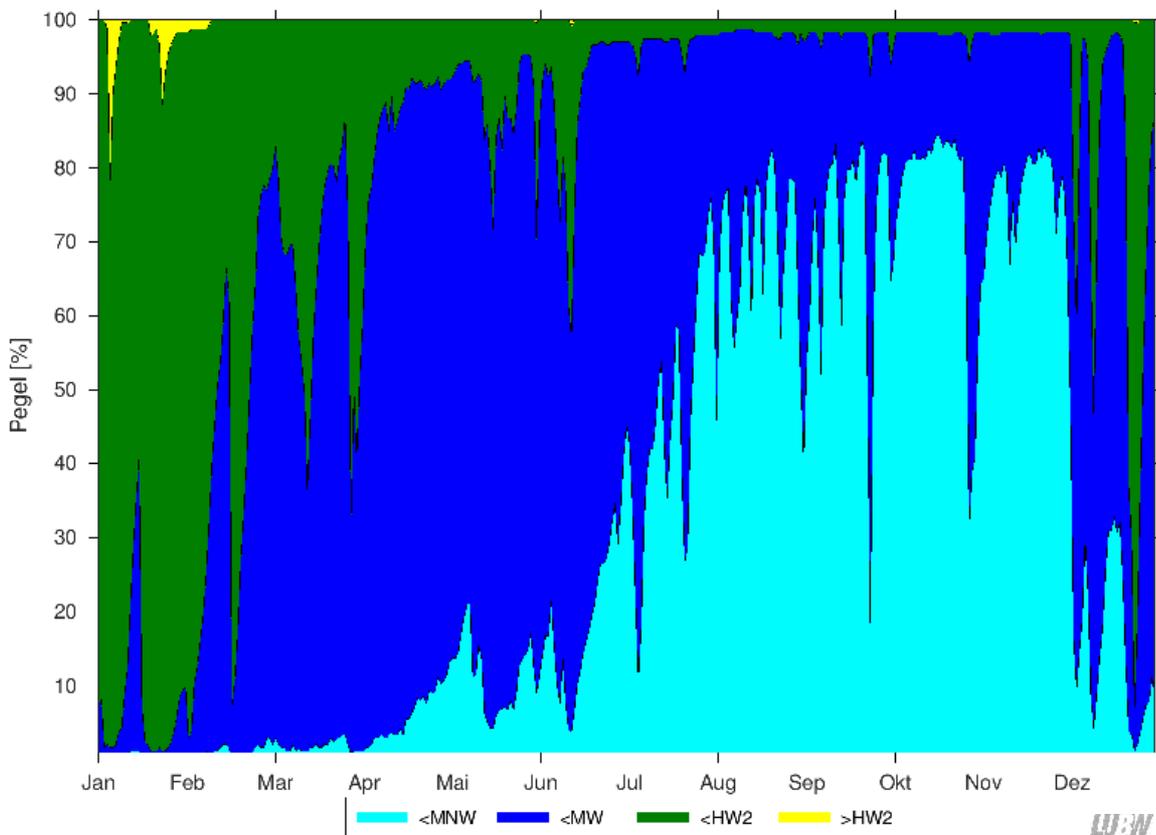


Abb. 9: Anteil der Kennwertpegel in Baden-Württemberg, die im Wasserstand (W, Tagesmittelwert) über das Jahr 2018 einen bestimmten Schwellenwert (MNW: mittleres Niedrigwasser, MW: Mittelwasser, HW2: 2-jährliches Hochwasser) über- bzw. unterschreiten. Grafik basiert auf ungeprüften Rohdaten
Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Abbildung 9 zeigt die hydrologische Gesamtsituation der Oberflächengewässer in Baden-Württemberg im Jahr 2018. Dargestellt ist der prozentuale Anteil an Kennwertpegeln, die einen bestimmten Schwellenwert im Wasserstand über- bzw. unterschreiten. Von April bis Juni liegen nur an vereinzelt Kennwertpegeln die Wasserstände unterhalb des niedrigsten Wasserstandes in einem durchschnittlichen Jahr, d. h. unter dem Niedrigwasserkennwert "Mittleres Niedrigwasser" (MNW; hellblaue Flächenanteile). Ab Mitte Juni nimmt die Zahl dieser Pegel stetig zu und umfasst Mitte Juli bzw. Anfang August rund 80 % aller Kennwertpegel. Während im August und September noch mehrere kurzfristige niederschlagsbedingte Entspannungen zu verzeichnen sind, hält sich die Niedrigwasserlage zumeist auf diesem hohen Niveau, bevor es Anfang Dezember zu einer generellen Entspannung kommt. Während der Niedrigwassersituation musste der Gemeingebrauch an zahlreichen Gewässern eingeschränkt werden. Dies betraf insbesondere die Entnahme von Wasser.

Aufgrund der sommerlichen Schneeschmelze im alpinen Einzugsgebiet treten die niedrigsten Wasserstände im Hoch- und Oberrhein in der Regel im Herbst oder Winter auf. Am Pegel Maxau wurden diese beispielsweise im Oktober und November 2018 erreicht. Insgesamt führte der Pegel Maxau an 27 % der Tage Niedrigwasser. Am 26. November lag der Wasserstand im Tagesmittel bei 311 cm und damit unterhalb der niedrigsten Wasserstände in der Zeitspanne 1981-2018 (316 cm am 15. Februar 2006).

Der Rheinwasserstand am Pegel Maxau befand sich damit an diesem Tag auf dem niedrigsten Niveau seit dem Jahr 1972. Noch niedrigere Tagesmittelwerte des Wasserstandes am Pegel Maxau traten zuletzt am 22. Oktober 1972 (298 cm), am 07. November 1971 (296 cm), am 04. März 1963 (289 cm), am 10. Dezember 1962 (287 cm) und am 04. November 1947 (255 cm) auf.



Abb. 10: Niedrigwasser Anfang August 2018 am Rhein bei Karlsruhe (Pegel Maxau). Quelle: S. Plegnière/LUBW

Die Niedrigwassersituation schränkte die Schifffahrt auf dem Rhein stark ein. Aufgrund des niedrigen Wasserstands konnten z. B. Transportschiffe nur noch einen Teil der üblichen Ladung aufnehmen. Hierdurch wurde u. a. die erdölverarbeitende Industrie beeinträchtigt. Die nationalen Erdölreserven wurden freigegeben.

Am Bodensee lagen die Wasserstände im Jahresverlauf 2018 insbesondere in den Monaten Juli bis Oktober teilweise deutlich unterhalb des mittleren Jahresganges für den Seewasserstand. Aufgrund des alpin geprägten Einzugsgebietes erreicht der Jahresgang des Bodenseewasserstandes seinen niedrigsten Wert jedoch zu meist in den Monaten Februar oder März, so dass während der Niedrigwasserphase keine für das Gesamtjahr extremen Niedrigwasserstände erreicht wurden.

Im schiffbaren Neckar zwischen Plochingen und Mannheim sind die Wasserstände durch Stauhaltungen geregelt, so dass diese hier nicht weiter absinken konnten. Die wasserrechtlich relevanten Tagesmittelwerte der Abflüsse an den Pegeln Plochingen und Lauffen wurden zeitweise unterschritten und wasserrechtlich festgelegte Vorgaben hinsichtlich der maximal zulässigen Kühlturmverdunstung bestimmter Kraftwerke traten in Kraft, so dass deren Kühlwasserentnahme gedrosselt werden musste. In der baden-württembergischen Donau lagen die Wasserstände überwiegend leicht oberhalb des mittleren Niedrigwassers.

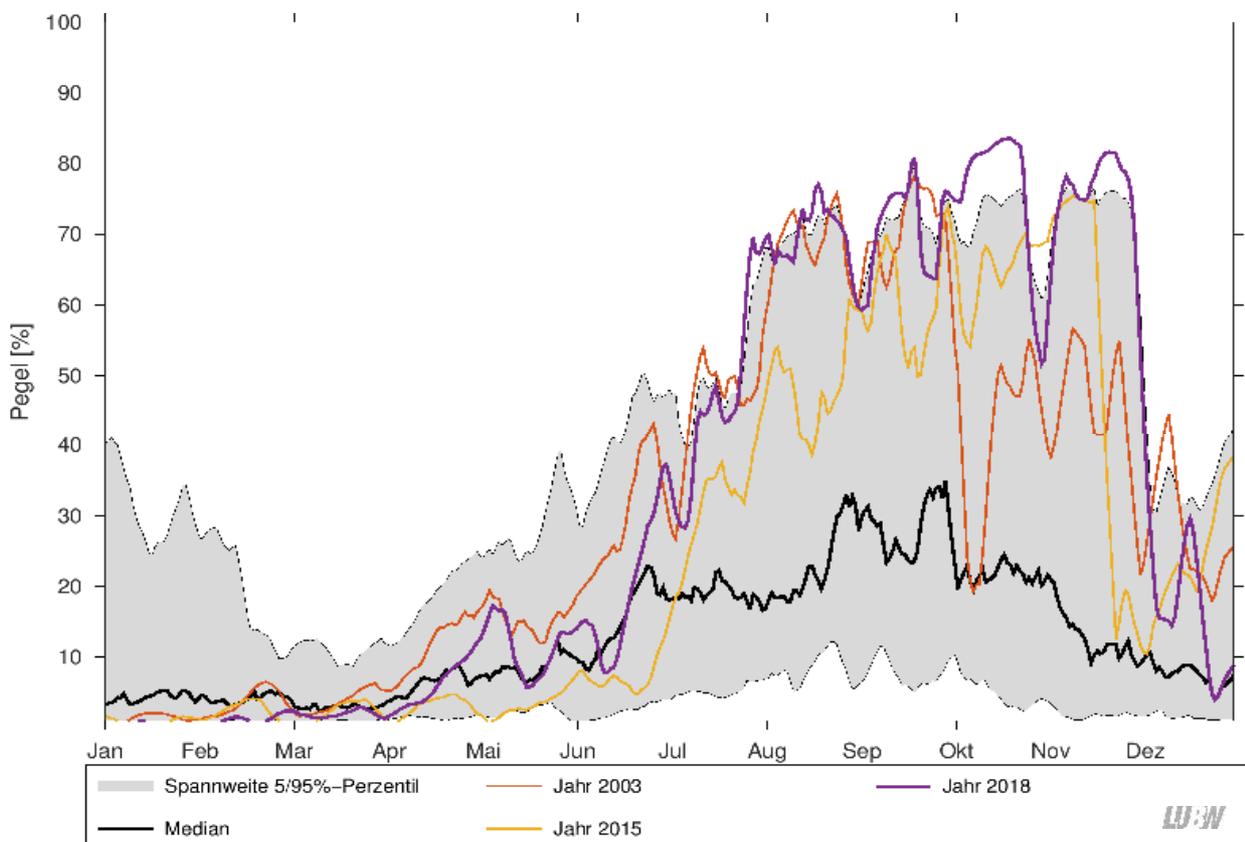


Abb. 11: Anteil der Kennwertpegel in Baden-Württemberg, die im Wasserstand (W, Tagesmittelwert, 7-Tage gleitendes Mittel) über das Jahr 2003/2015/2018 den Schwellenwert mittleres Niedrigwasser (MNW) unterschreiten sowie Perzentile des Zeitraums 2000-2018. Grafik basiert auf ungeprüften Rohdaten. Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

In Abbildung 11 erfolgt die Einordnung des Niedrigwasserjahres 2018 in den Zeitraum 2000-2018. Dargestellt ist für die Jahre 2003, 2015 und 2018 der Anteil an Kennwertpegeln in Baden-Württemberg, die im Wasserstand (7-Tage gleitendes Mittel) den Schwellenwert „mittleres Niedrigwasser“ (MNW) unterschreiten (farbige Linien). Zusätzlich sind die Perzentile der Schwellenwertunterschreitung MNW im Jahresverlauf berechnet über den Zeitraum 2000-2018 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass insbesondere in der ersten Jahreshälfte das Jahr 2018 dem durchschnittlichen Anteil an von Niedrigwasser betroffenen Kennwertpegeln folgt. Ab Mitte Juni entwickelt sich das Jahr 2018 zu einer außergewöhnlichen Niedrigwassersituation (lila Linie im Bereich des 95 %-Perzentils). Vergleichbare Niedrigwasserereignisse traten im Zeitraum 2000-20018 in 2003 und 2015 auf.

Abgesehen von kurzen, durch heftigen Starkregen bedingten Unterbrechungen befand sich die Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW seit dem 25. Juli durchgängig bis zum 3. Dezember 2018 im Niedrigwasserbetrieb und veröffentlichte regelmäßig Niedrigwasservorhersagen für über 100 Pegel sowie Niedrigwasserberichte auf der HVZ-Internetseite.

2.5.2 GRUNDWASSER

Kurz gesagt:

- Die Grundwasserstände und Quellschüttungen bewegten sich zum Jahresende 2018 überwiegend auf sehr niedrigem Niveau
- Seit 2003 sorgen grundwasserneubildungsarme Jahre für rückläufige Grundwasserstände
- Die bereits in 2017 geringen Grundwasservorräte sind in 2018 weiter zurückgegangen
- Insbesondere Grundwasserleiter mit geringen Mächtigkeiten und Flurabständen sind betroffen

Das Kalenderjahr 2018 zählt zu den Zeiträumen mit den niedrigsten Grundwasserständen und Quellschüttungen seit Bestehen des amtlichen Grundwasserstandsmessnetzes im Jahr 1913. Grundwasser hat ein langes Gedächtnis und insbesondere langanhaltende Phasen geringer Grundwasserneubildung wirken sich auf die Grundwasserstände aus. Die vorangegangenen überwiegend trockenen Jahre seit 2003 haben für insgesamt rückläufige Verhältnisse gesorgt. In den letzten Jahren waren dadurch immer wieder Niedrigwassersituation zu verzeichnen, zuletzt zum Jahreswechsel 2016/2017. Im gesamten Jahresverlauf 2017 haben landesweit Grundwasserstände und Quellschüttungen auf außergewöhnlich niedrigem Niveau bereits für Schlagzeilen gesorgt. Dieses ausgeprägte Niedrigwasser hat Spuren hinterlassen. Die Grundwasservorräte konnten sich bis Ende 2018 von diesen außergewöhnlich niedrigen Verhältnissen nicht erholen und die Situation hat sich in den meisten Landesteilen sogar verschärft.

Zwischen November 2017 und Januar 2018 lösten zunächst überdurchschnittliche Niederschläge erhebliche Versickerungen aus, welche die bis dahin niedrigen Grundwasserstände und Quellschüttungen innerhalb kurzer Zeit auf ein überdurchschnittliches Niveau brachten. Anschließend führte ein deutliches Niederschlagsdefizit von Februar bis April 2018 bereits zum Ende des hydrologischen Winterhalbjahres zur Entleerung des Bodenwasserspeichers und unterband somit den Neubildungsprozess sehr frühzeitig. Im Sommerhalbjahr von Mai bis Oktober setzte sich das Niederschlagsdefizit nahtlos und ununterbrochen fort. Vergleichbar mit dem Niedrigwasserjahr 2003, waren anhaltend rückläufige Quellschüttungen und Grundwasserstände die Folge. Auch der erste Monat des beginnenden hydrologischen Winterhalbjahres wies ein eklatantes Defizit auf, im November 2018 fielen weniger als 30 % der normalen Niederschlagsmenge. Die überdurchschnittlichen Dezemberniederschläge haben für eine Zunahme der Bodenfeuchte gesorgt. Sie waren jedoch noch nicht ausreichend, um den Versickerungsprozess so in Gang zu setzen, dass es zu nennenswerten Wiederanstiegen der Grundwasserstände kam. Die mit dem Beginn des hydrologischen Winterhalbjahres im November erwarteten Wiederanstiege haben also nicht stattgefunden und die Grundwasservorräte bewegten sich zum Jahresende 2018 auf landesweit unterdurchschnittlichem Niveau.

Aus grundwasserhydrologischer Hinsicht ist das Jahr 2018 durch den fortwährenden Rückgang der Grundwasservorräte im Zeitraum März bis Dezember gekennzeichnet. Die überdurchschnittliche Ausgangssituation zum Jahresbeginn hat jedoch eine Absenkung der Grundwasserstände auf die langjährigen Extremwerte, die überwiegend in den Jahren 1976-77, 1990-91 und 2003-04 aufgezeichnet wurden, im Regelfall verhindert. Das Iller-Riß-Gebiet und insbesondere der Rhein-Neckar-Raum bilden Ausnahmen im allgemeinen Grundwassergeschehen mit zwar fallenden, aber anhaltend mittleren Grundwasserverhältnissen.

Die Niedrigwassersituation ist an gewässernahen Grundwasserstandsmessstellen in Bereichen mit geringen Flurabständen deutlich ausgeprägt, weil eine verstärkte Drainage des Grundwassers durch die auslaufenden oberirdischen Gewässer im Sommer stattfindet. Die Rückgänge sind allerdings an den Quellen, die besonders rasch auf Niederschläge reagieren, am deutlichsten. Die Quellschüttungen sind dabei auf extrem niedrige Werte zurückgegangen, oft unterhalb der bisherigen historischen Mindestabflüsse. Die Quellen haben somit im Sommer 2018 nur bedingt zur Stützung der Abflüsse in den oberirdischen Gewässern beigetragen.

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA durchgeführte Auswertungen zeigen, dass seit dem Jahr 2003 keine wirklich nassen Jahre mehr zu verzeichnen waren. In Verbindung mit höheren Lufttemperaturen und daraus resultierender höherer Verdunstung ergaben sich daraus überwiegend unterdurchschnittliche Grundwasserneubildungsraten. Sollte sich diese Entwicklung auch in Zukunft fortsetzen, sind länger anhaltende und häufiger auftretende Niedrigwassersituationen zu erwarten mit einem weiteren Absinken der Grundwasservorräte unter die bisherigen Minimum/Minimalwerte. Wasserknappheit ist dann insbesondere in Gebieten, wie den Höhenlagen des Schwarzwalds, die vorwiegend mit Quellwasser versorgt werden, nicht auszuschließen.

2.5.3 BODENSEE

Kurz gesagt:

- Die Wassertemperatur im Bodensee war 2018 außergewöhnlich hoch
- Durch den niedrigen Wasserstand fielen Flachwasserzonen trocken und Sedimentstrukturen an der Rheinmündung wurden sichtbar
- Das Niedrigwasser und die Temperaturverhältnisse begünstigten das Wachstum von Wasserpflanzen, lokaler Algentepiche und wärmeliebender Süßwasserquallen

Der trockene und warme Sommer 2018 hat den Bodensee geprägt: Anfang August wurde in der Seemitte des Obersees bei den regelmäßigen Messungen des Instituts für Seenforschung der LUBW eine rekordverdächtige Temperatur von 25,6°C in 0,5 m Wassertiefe gemessen. Seit Beginn der Routinemessungen im Jahr 1963 war der See Anfang August noch nie wärmer. Der bisherige Sommer-Rekord indes wurde nicht ganz überschritten: im Juli 2015 wurden sogar 26,6°C in der Seemitte des Bodensee-Obersees erreicht. Insgesamt war die Seeoberfläche in diesem Sommer etwa 4°C wärmer als im langjährigen Mittel zwischen 1963 und 2017.

Neben den ungewöhnlich hohen Temperaturen blieben auch die fehlenden Niederschläge nicht ohne Wirkung für den See: in den Flachwasserzonen fielen weite Teile wegen der unterdurchschnittlichen Niederschläge von Februar bis Juli 2018 trocken. Im Einzugsgebiet des Bodensees betrug die Niederschlagsmenge

weniger als 2/3 des langjährigen Mittels für diesen Zeitraum. Besonders deutlich war dies am Untersee zu bemerken, wo im August über viele Tage hinweg neue Rekord-Niedrigwasserstände für die jeweiligen Tage gemessen wurden.

Am Obersee lag der Wasserstand zwischen Juli und September 2018 ca. 55-85 cm unter dem langjährigen Mittelwert für die Jahreszeit, aber stets über dem bisher niedrigsten beobachteten Tagesmittel für den jeweiligen Tag. Die Wasserstände am Obersee waren damit im Spätsommer stark unterdurchschnittlich, aber nicht historisch niedrig.

Niedrigwasserereignisse zählen zu den natürlichen Schwankungen, mit denen die Lebensgemeinschaften im See immer wieder konfrontiert werden. Die im Sommer 2018 trocken gefallenene Bereiche der Uferzone sind üblicherweise auch im Winter trocken und werden erst mit steigendem Wasserstand besiedelt. Die dort lebenden Tier- und Pflanzenarten sind deshalb im nicht regulierten Bodensee an Schwankungen der Pegelstände angepasst. Dennoch haben die hohen Temperaturen und niedrigen Wasserstände im Sommer 2018 neue Entwicklungen am See aufgezeigt.

In den Flachwasserbereichen wurden außerordentlich viele Wasserpflanzenfelder beobachtet. Das lang anhaltende sonnige und trockene Wetter bot für das Wachstum höherer Wasserpflanzen (Makrophyten) ein ideales Lichtklima. Der sinkende Wasserstand hat dazu geführt, dass die Wasserpflanzen sehr schnell bis an die Oberfläche wachsen konnten und daher auch sehr gut wahrnehmbar waren. Derartige Entwicklungen werden „regelmäßig“ in Niedrigwasserjahren beobachtet und zeigen, dass vor allem in den Ufer- und Flachwasserzonen genügend Nährstoffe für intensives Pflanzenwachstum im See vorhanden sind. Im Zuge des Klimawandels werden derartige Ereignisse häufiger erwartet.

Die hohen Temperaturen haben zudem dazu geführt, dass sich Wärme liebende Arten im See wohl fühlen. So wurde im vergangenen Sommer die Süßwasserqualle *Craspedacusta sowerbii* stellenweise in größeren Ansammlungen beobachtet. Diese Qualle taucht erst auf, wenn die Wassertemperaturen über einen längeren Zeitraum über 22-24°C liegen.

Eine weitere, unerwartete Folge des niedrigen Wasserstandes zeigte sich an der Alpenrheinmündung. Vor der Mündung tauchte eine neue Sandinsel aus dem See auf. Durch den niedrigen Wasserstand werden die ansonsten unter Wasser liegenden, kurzlebigen Strukturen sichtbar. Diese Barriere in der Rheinmündung leitet das zuströmende Wasser nach Osten und Westen in Richtung Bregenzer Aach und Fussacher Bucht. Beispielhaft zeigt sich hier, wie ein natürliches System durch Veränderungen bei den Abflüssen und Wasserständen eine hohe Dynamik entwickeln und schließlich ein weit gefächertes Delta entstehen kann. Am Alpenrhein ist zu erwarten, dass diese Barriere bei ansteigenden Abflüssen und Wasserstand auch wieder abgetragen wird. Langfristig dürfte sich die Mündung ohne Eingriff durch den Menschen in Richtung eines naturnahen Deltas entwickeln. Ob dann die verfügbaren Abflussquerschnitte die Hochwassersicherheit gewährleisten können, muss frühzeitig geprüft werden.

Eine besondere Entwicklung ist nicht nur am Hauptzufluss zum Obersee, sondern auch am Abfluss des Obersees in den Untersee und aus dem Untersee in den Hochrhein zu beobachten. Hier wachsen seit einigen Jahren üppige Wasserpflanzenbestände, vor allem das Schweizer Laichkraut (*Potamogeton helveticus*) und sorgen für Behinderung des Abflusses. Ohne diesen natürlichen Staufaktor wäre der ohnehin schon niedrige Wasserspiegel des Obersees noch weiter abgesunken.

Als Folge der hohen Temperaturen in den Flachwasserzonen, wie im Bereich der nährstoffreichen Schussenmündung, bildeten sich zudem lokal ausgedehnte Algenteppiche, die vorwiegend aus dem sogenannten Wassernetz (Hydrodictyon) einer Grünalge, bestanden.

Im Zuge des Klimawandels sind solche Entwicklungen künftig häufiger zu erwarten. Daher beobachten die Gewässerschützer dies mit großer Aufmerksamkeit – schließlich wird unter anderem nach dem Absterben der Algen zum Abbau der Biomasse viel Sauerstoff benötigt. Umso wichtiger ist es, den Gehalt des Nährstoffes Phosphor weiterhin auf dem derzeitigen Stand zu halten.



Abb. 12: Sandinseln an der Alpenrheinmündung im Bodensee während des Niedrigwassers 2018. Quelle: LUBW

Kurz gesagt:

- Die Wassertemperaturen in Rhein und Neckar waren 2018 über einen langen Zeitraum hoch
- Die Muschelbestände in Abschnitten von Rhein und Neckar wurden geschwächt

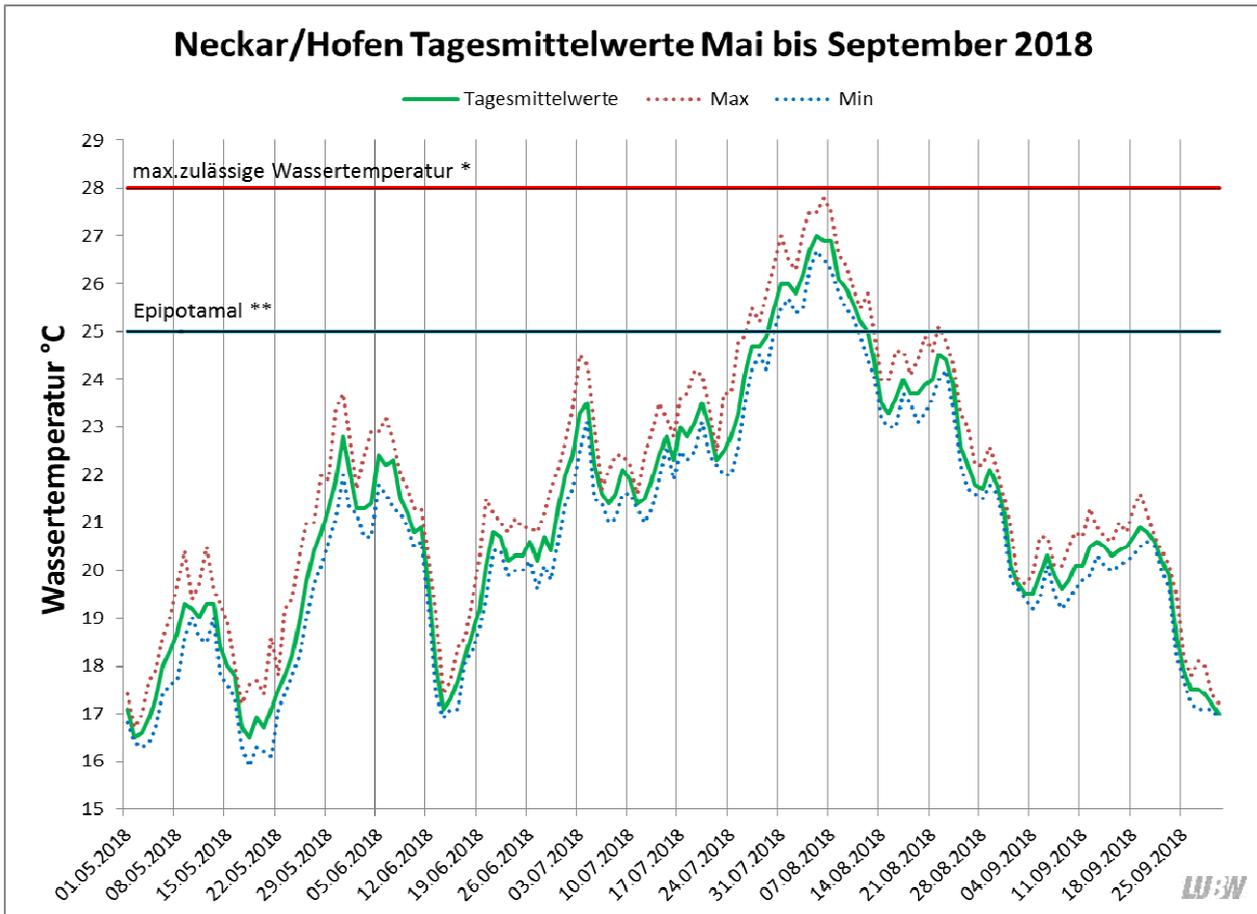


Abb. 13: Tagesmittel-, Minimal- und Maximalwerte der Wassertemperatur des Neckars an der Messstation Hofen.
 * Wassertemperatur, die auch durch Kühlwassereinleitungen ohne Ausnahmegenehmigung nicht überschritten werden darf
 ** Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potenzial der Fischgemeinschaften
 Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Der sehr niederschlagsarme und heiße Sommer 2018 hat zu langanhaltend hohen Wassertemperaturen in den Fließgewässern Baden-Württembergs geführt (Abb. 13 und 14). Die LUBW hat im Rhein bei Philippsburg und Mannheim sowie im Neckar zwischen Stuttgart-Münster und Zwingenberg Sonderuntersuchungen an einzelnen Wärmeeinleitungen durchgeführt. Ziel war es, die akuten Auswirkungen auf die wirbellosen Kleinlebewesen (Makrozoobenthos) festzustellen. Diese exemplarischen Untersuchungen lassen jedoch keine umfassenden Schlüsse von Auswirkungen auf die gesamte Biozönose und in anderen Bereichen zu.

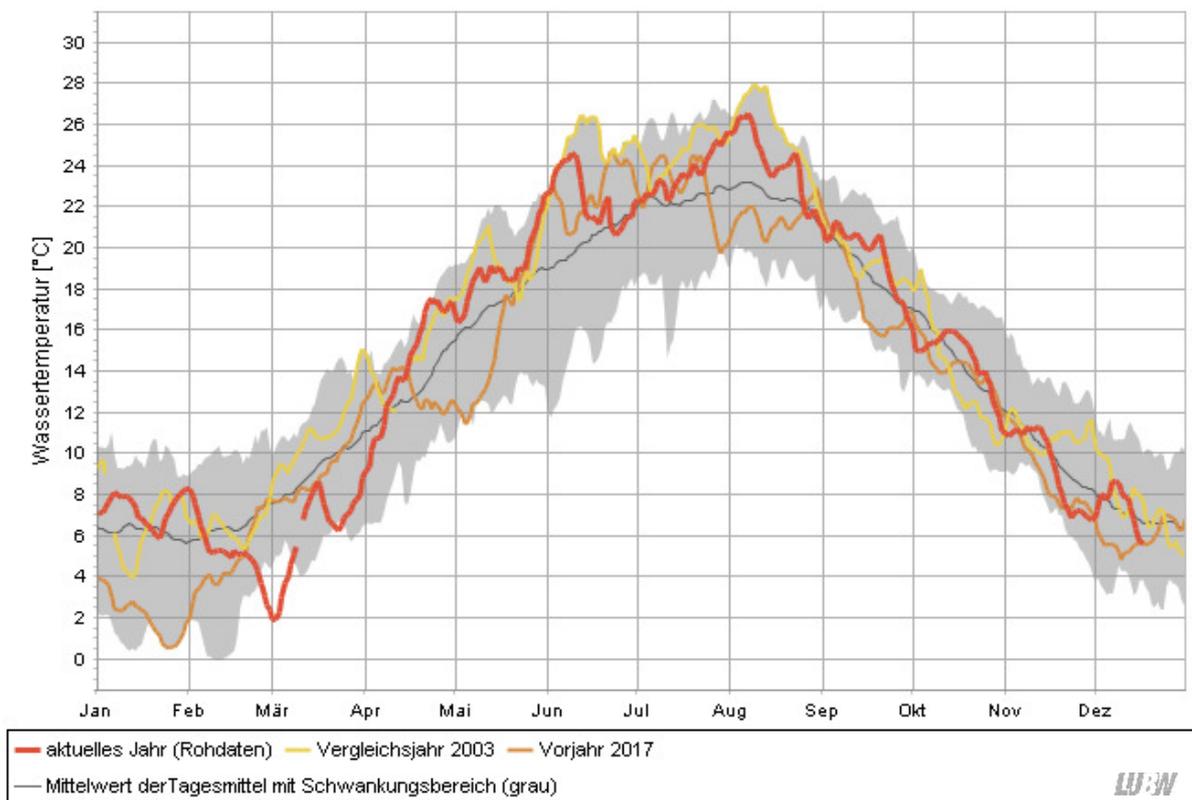


Abb. 14: Jahresgang der Tagesmittelwerte der Wassertemperatur des Neckars an der Messstation Mannheim im Vergleich zum lang-jährigen Tagesmittel (1988-2017). Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Innerhalb der Lebensgemeinschaft der wirbellosen Kleinlebewesen stellte sich die Situation der Muschelbestände, insbesondere im Neckar zwischen Heilbronn und Stuttgart und teilweise im Rhein bei Mannheim, zeitweise als labil dar: Partiiell traten Muschelsterben in geringerem Umfang auf; große Muschelsterben blieben allerdings aus. Ausfälle bei den anderen Makrozoobenthosarten waren nicht zu beobachten. Dabei ist zu beachten, dass die Makrozoobenthos-Lebensgemeinschaft des schiffbaren Neckars, ebenso wie die des Rheins, von wärmetoleranten Neozoen dominiert ist.

Die Befunde für den Oberstrom und Unterstrom hinsichtlich der Wärmeeinleitungen waren in der Regel vergleichbar, relevante Auswirkungen waren daher nicht festzustellen.

Wie schnell sich die geschwächten Bestände wieder erholen, kann derzeit nicht eingeschätzt werden. Während der Untersuchungen wurden keine Fischsterben in Rhein und Neckar beobachtet.

Aus Sicht der LUBW hat der Sommer 2018 gezeigt, dass langanhaltend hohe Wassertemperaturen in Rhein und Neckar kritisch sind, selbst wenn Extremtemperaturen über 28°C nicht oder nur sehr kurzzeitig überschritten werden.

2.6 OZON

Kurz gesagt:

- Rückgang der Belastung durch Ozon seit Anfang der 1990er-Jahre
- Aber: erhöhte Ozonkonzentrationen in Jahren mit heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommern, wie 2003, 2015 und nun 2018

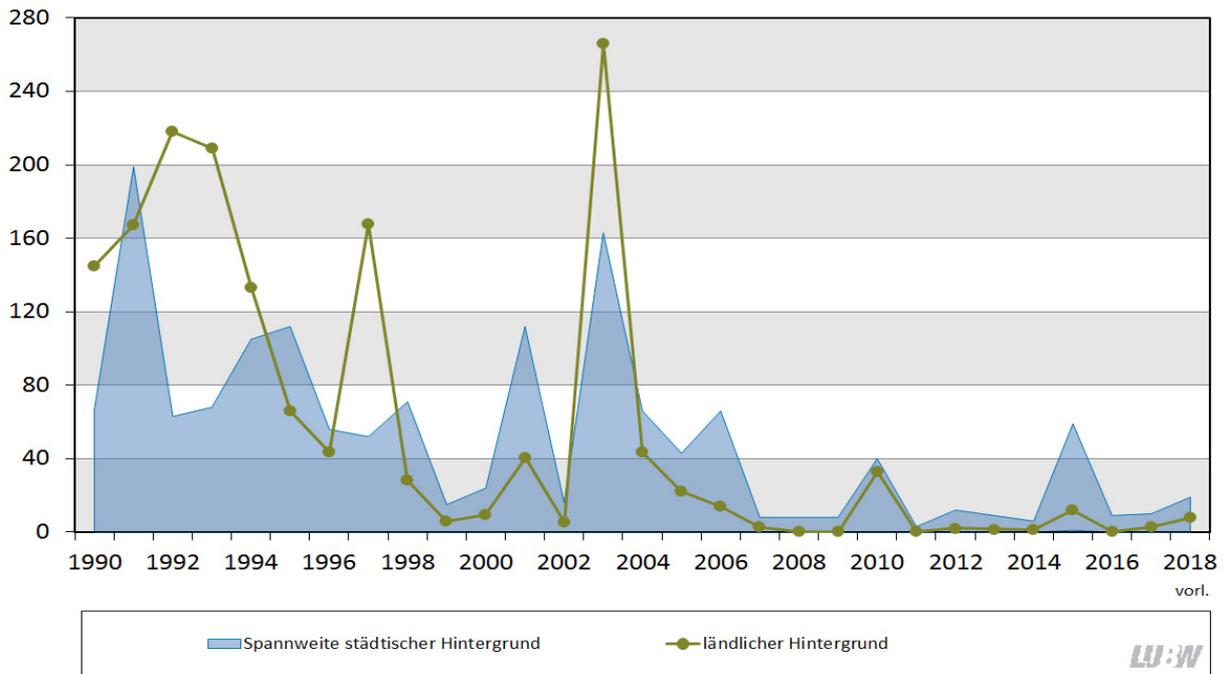


Abb. 15: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Ozon, hier Anzahl der Stunden mit Überschreitung des 1-Stundenmittelwertes von 180 µg/m³ (Informationsschwelle) in Baden-Württemberg. Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

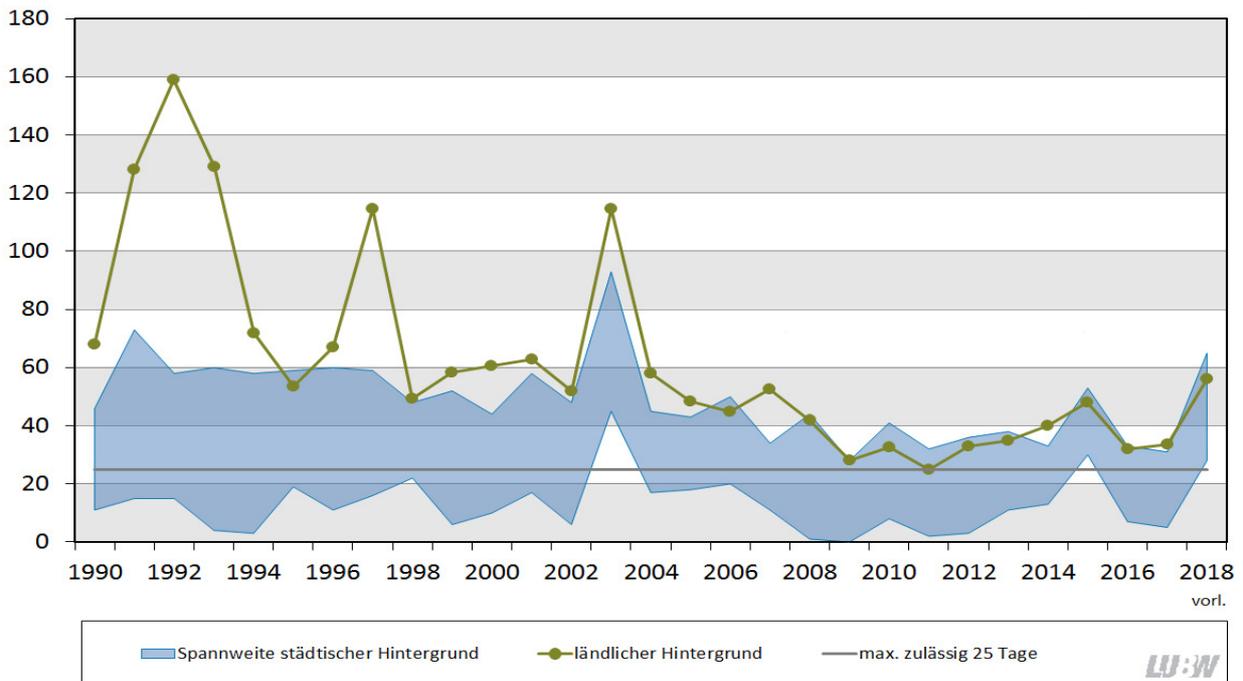


Abb. 16: Entwicklung der Immissionsbelastung durch Ozon, hier Anzahl der Tage mit Überschreitung des 8-Stundenmittelwertes von 120 µg/m³ in Baden-Württemberg. Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Seit Anfang der 1990er-Jahre ist sowohl bei den Messstationen im städtischen als auch im ländlichen Hintergrund ein Rückgang der Immissionsbelastung durch Ozon festzustellen, insbesondere bei den Ozonspitzenkonzentrationen (Abb. 15 und 16). Darin spiegelt sich der national rückläufige Trend der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffdioxid, flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (*Non Methane Volatile Organic Compounds* = NMVOC), Methan und Kohlenmonoxid wider, welcher von Jahr zu Jahr durch meteorologische Schwankungen überlagert wird.

Die heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommer der Jahre 2003, 2015 und nun 2018 zeigen jedoch, dass weiterhin Potential für erhöhte Ozonkonzentrationen vorhanden ist. Bei stabilen Hochdruckwetterlagen wird die Ozonbildung bei gleichzeitiger Anreicherung der Vorläufersubstanzen in den bodennahen Luftschichten begünstigt, so dass dies, wie im Sommer 2018, zu erhöhten Ozonwerten führt. Neben zahlreichen Überschreitungen des Informationsschwellenwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stundenmittelwert) an 17 Tagen, führt dies auch zu flächendeckenden Überschreitungen des Zielwertes zum Schutz der Gesundheit von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages). Um eine Beurteilung zur Einhaltung dieses Zielwertes zu treffen, wird immer ein 3-Jahreszeitraum betrachtet, bei dem im Mittel an nur 25 Tagen der Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-Stundenmittel überschritten werden darf. Besonders in den letzten vier Mittelungszeiträumen wird deutlich, dass an der Mehrheit der Messstationen in Baden-Württemberg der Zielwert überschritten wird (Abb. 17). Damit ist die Einhaltung dieses langfristigen Zielwertes bis 2020 nicht zu erwarten.

Auch die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen im ländlichen Raum steigen seit einigen Jahren wieder (hier nicht gezeigt). Hier spielt auch die zentrale Lage Deutschlands und der grenzüberschreitende Transport von Luftschadstoffen und damit von Ozonvorläufergasen eine Rolle.

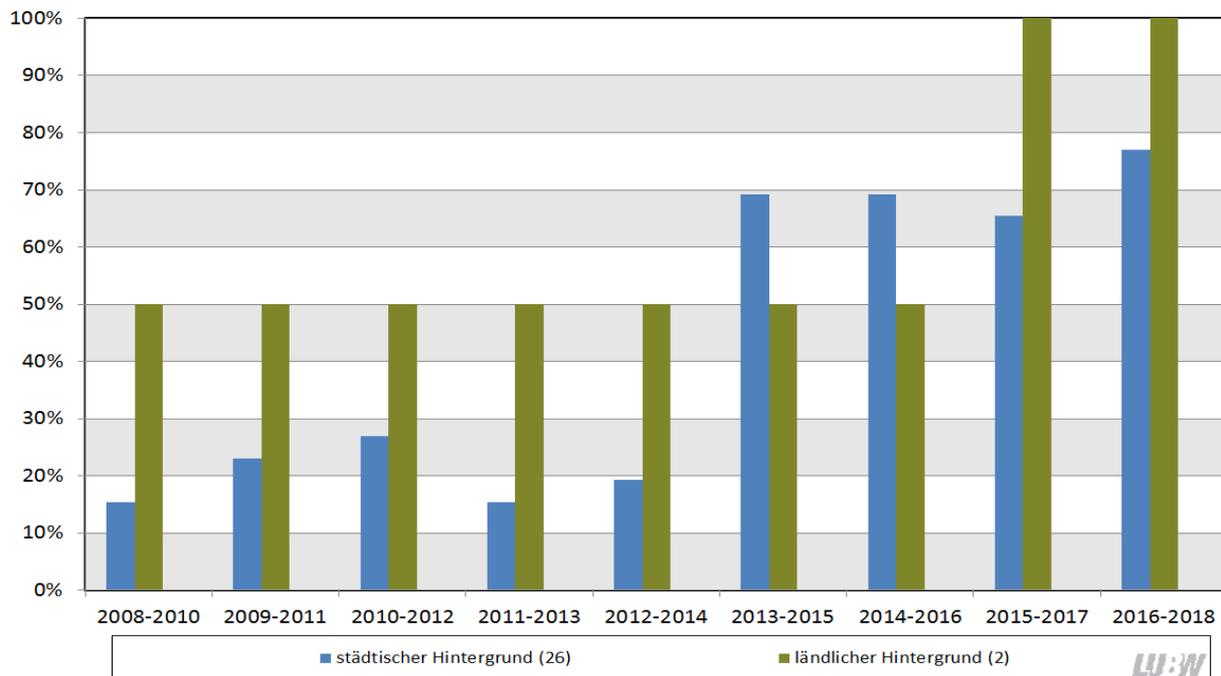


Abb. 17: Prozentualer Anteil der Messstationen in Baden-Württemberg mit Überschreitung des Zielwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon im 8-Stundenmittel (1-jährig gleitender 3-Jahreszeitraum). Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Unter der Annahme, dass der Klimawandel in Baden-Württemberg zu einem vermehrten Auftreten von Hitzeperioden und länger anhaltenden Hochdruckwetterlagen im Sommerhalbjahr führt, ist, bei gleichbleibender Verfügbarkeit der Vorläufersubstanzen, mit einer verstärkten Bildung von Ozon in den bodennahen Luftschichten und einem Anstieg der Ozonkonzentrationen im Mittel zu rechnen.

