

Wieder außergewöhnlich warm und heiß, mit Nachwirkungen des Trockenjahrs 2018

Eine klimatische Einordnung des Jahres 2019 für Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

BEARBEITUNG

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

Postfach 100163, 76231 Karlsruhe

Koordination: Referat 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel

Abteilung 2 – Nachhaltigkeit und Naturschutz

Referat 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel

Dr. Kai Höpker

Dr. Sabrina Plegnière

Dr. Constanze Buhk

Abteilung 3 – Technischer Umweltschutz

Referat 33 – Luftqualität, Immissionsschutz

Christiane Lutz-Holzauer

Abteilung 4 – Wasser

Referat 41 - Fließgewässerökologie

Renate Semmler-Elpers

Referat 42 - Grundwasser

Thomas Gudera

Jörg Heimler

Michel Wingerling

Referat 43 – Hydrologie, Hochwasservorhersage

Dr. Manfred Bremicker

Dr. Manuela Nied

ISF - Institut für Seenforschung

Dr. Bernd Wahl

STAND

28. Februar 2020

VERÖFFENTLICHUNG

März 2020

1	DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE	4
2	ERGEBNISSE	6
2.1	Temperatur	6
2.1.1	Jahresmitteltemperatur	6
2.1.2	Hitze	7
2.2	Niederschlag	9
2.2.1	Mittlerer Niederschlag	9
2.2.2	Starkniederschläge	10
2.3	Wasserhaushalt	11
2.3.1	Klimatische Wasserbilanz	11
2.3.2	Entwicklung der Bodenfeuchte	12
2.3.3	Fließgewässer	14
2.3.4	Grundwasser	16
2.3.5	Bodensee	18
2.4	Ozon	19
2.5	Auswirkungen auf die Natur	21
2.5.1	Phänologie	21
2.5.2	Veränderung der Bodenfauna durch die Bodentrockenheit	23
2.5.3	Fließgewässerökologie	25

1 Das Wichtigste in Kürze

Das Jahr 2019 war mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,9 °C zusammen mit 2015 und 1994 das drittwärmste Jahr in Baden-Württemberg seit Beginn der Aufzeichnungen 1881. Seit 1881 stieg die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg um 1,5°C an; allein in den letzten 30 Jahren betrug der Anstieg 1°C. Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen traten 16 der 20 wärmsten Jahre in Baden-Württemberg nach dem Jahr 2000 auf.

An 17 Tagen wurden 30°C und mehr erreicht. Damit gab es dreimal so viele Heiße Tage wie im Mittel pro Jahr im Zeitraum 1961-1990 (5 Tage), der als internationaler Klimareferenzzeitraum herangezogen wird. 2019 gehörte somit auch zu den vier heißesten Jahren in Baden-Württemberg.

Der Jahresniederschlag 2019 entsprach etwa dem Durchschnitt in Baden-Württemberg. Februar, April und Juni waren im Vergleich zu den Monatsmittelwerten im Zeitraum 1961-1990 viel trockener; im Januar, Mai und Oktober fiel hingegen mehr Niederschlag als üblich. Die durch das Dürrejahr 2018 stark reduzierten Wasserreserven im Boden haben sich im Gesamtboden in 2019 landesweit nicht vollständig regenerieren können. Die Niederschläge haben aber in einzelnen Monaten im Oberboden bis in eine Tiefe von 25 cm landesweit für normale Feuchteverhältnisse gesorgt.

Im Vergleich zu 2018 war die klimatische Wasserbilanz in 2019 zwar etwas ausgeglichener, jedoch an vier der betrachteten sechs Standorte immer noch negativ. Es gab 2019 weder eine ausgeprägte Niedrigwasserphase noch ein extremes Hochwasserereignis. Die Grundwasserstände und Quellschüttungen bewegten sich noch zum Jahresbeginn 2019 überwiegend auf sehr niedrigem Niveau und waren bis etwa November rückläufig. Die zu Jahresbeginn erhoffte Erholung ist ausgeblieben, weshalb das Jahr 2019 ebenfalls zu den Zeiträumen mit den niedrigsten Grundwasserständen und Quellschüttungen seit Bestehen des amtlichen Grundwasserstandmessnetzes im Jahr 1913 zählt.

Die Wasserstände im Bodensee lagen in 2019 meist über dem durchschnittlichen Jahresverlauf. Die Temperaturen der Wasseroberfläche erreichten überdurchschnittlich hohe Werte, übertrafen jedoch nicht die Rekordtemperaturen des Jahres 2018.

Seit Anfang der 1990er-Jahre sind die Ozonspitzenkonzentrationen zurückgegangen. Die Einhaltung des langfristigen Zielwerts bis 2020 im städtischen und ländlichen Hintergrund ist jedoch nicht zu erwarten. Erhöhte Ozonkonzentrationen treten besonders in Jahren mit heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommern wie 2003, 2015, 2018 oder 2019 auf.

Die Natur reagierte unterschiedlich auf die Witterung 2019 und die Trockenheit 2018 hatte noch Nachwirkungen. Die Entwicklung der Pflanzen war 2019 durch das warme Frühjahr, den besonders kalten Monat Mai und den früh einsetzenden, heißen Sommer geprägt. Die Apfelblüte begann 16 Tage früher als im Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990 und verlief dann jedoch stark verzögert, so dass die Zeit bis zur Fruchtreife besonders lang dauerte. Durch die frühe Entwicklung sind Pflanzen und Tiere bei auftretenden Spätfrösten besonders gefährdet. Die Regenwurmarten, die an der Oberfläche leben oder dort den Großteil ihrer Nahrung aufnehmen, waren als Folge des extrem trockenen Jahres 2018 stark reduziert. Gerade diese oberflächlich lebenden Regenwurmarten spielen eine besonders wichtige Rolle für den Streuabbau, die Nährstoffbereitstellung und das Auflockern des Bodens. Die Wassertemperatur ist ein entscheidender Faktor für aquatische Organismen. Die sommerlichen Temperaturen von Rhein und Neckar lagen 2019 in Höhe und Dauer deut-

lich unter den Werten von 2018; dennoch waren sie relativ hoch. Die Sauerstoffkonzentration im Neckar war unkritisch; es wurden keine Werte unter 4mg/l erreicht.

2 ERGEBNISSE

2.1 TEMPERATUR

2.1.1 JAHRESMITTELTEMPERATUR

Kurz gesagt:

- Mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,9°C war 2019 gemeinsam mit 2015 und 1994 das drittwärmste Jahr in Baden-Württemberg.
- 16 der 20 wärmsten Jahre in Baden-Württemberg traten nach 2000 auf.
- Seit Beginn der Aufzeichnung stieg die Mitteltemperatur um 1,5°C in Baden-Württemberg; seit 1990 sogar um 1°C.

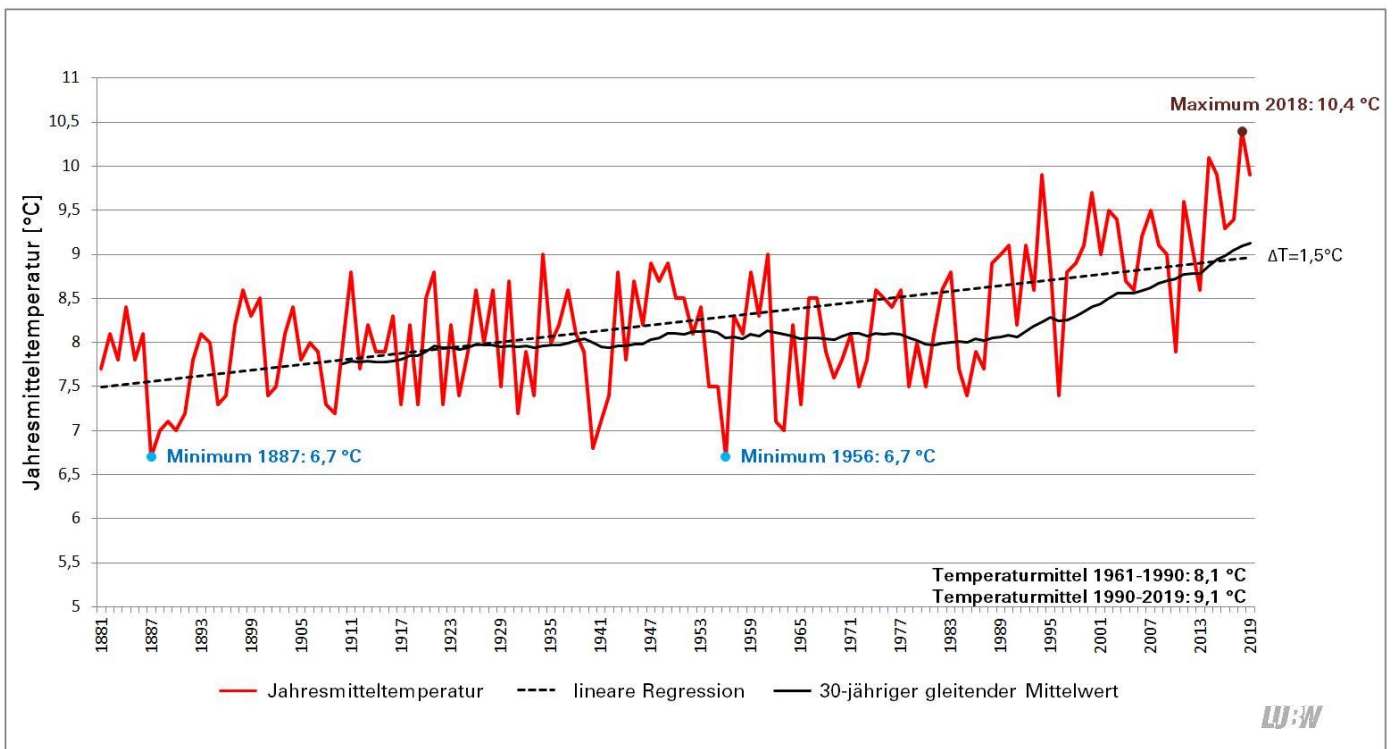


Abb. 1: Jahresmitteltemperatur seit 1881 in Baden-Württemberg.
Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2019 war mit einer Durchschnittstemperatur von 9,9°C gemeinsam mit 2015 und 1994 das drittwärmste Jahr in Baden-Württemberg seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen 1881. 2019 liegt damit knapp unter der 10-Grad-Marke, die bisher nur in 2014 mit 10,1°C und 2018 mit 10,4°C überschritten wurde (Abb. 1). Der Wert des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 mit 8,1°C wurde 2019 damit um 1,8°C überschritten.

Insgesamt betrachtet ist die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg seit rund 140 Jahren angestiegen; bis Ende 2019 um knapp 1,5°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 16 Jahre aus diesem Zeitraum zu den 20 wärmsten Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen.

Betrachtet man den aktuellen Klimazeitraum, d. h. die letzten 30 Jahre (1990-2019), liegt die Mitteltemperatur bereits bei 9,1°C und damit um 1°C höher als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990. Dies ist ein sehr rascher Anstieg in relativ kurzer Zeit.

In den Sommermonaten Juni, Juli und August war es in Baden-Württemberg besonders warm und heiß. Der Juni 2019 war mit einer Monatsmitteltemperatur von 19 °C der zweitwärmste in Baden-Württemberg seit 1881. Noch wärmer war es nur im Juni 2003 mit durchschnittlich 20,9°C. Deutschlandweit war der Juni 2019 der wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen.

2.1.2 HITZE

Kurz gesagt:

- 2019 gehört zu den vier heißesten Jahren in Baden-Württemberg; im Landesdurchschnitt wurden an 17 Tagen 30°C und mehr erreicht.
- Es gab dreimal so viele Heiße Tage wie im Mittel pro Jahr im Zeitraum 1961-1990 (5 Tage); im Jahrhundertssommer 2003 waren es über fünfmal so viele (27 Tage).
- Besonders der Juni und Juli waren sehr heiß: Im Raum Karlsruhe und Mannheim konnten knapp 40°C Ende Juli gemessen werden, der Rekord von 2003 wurde dennoch nicht ganz erreicht.

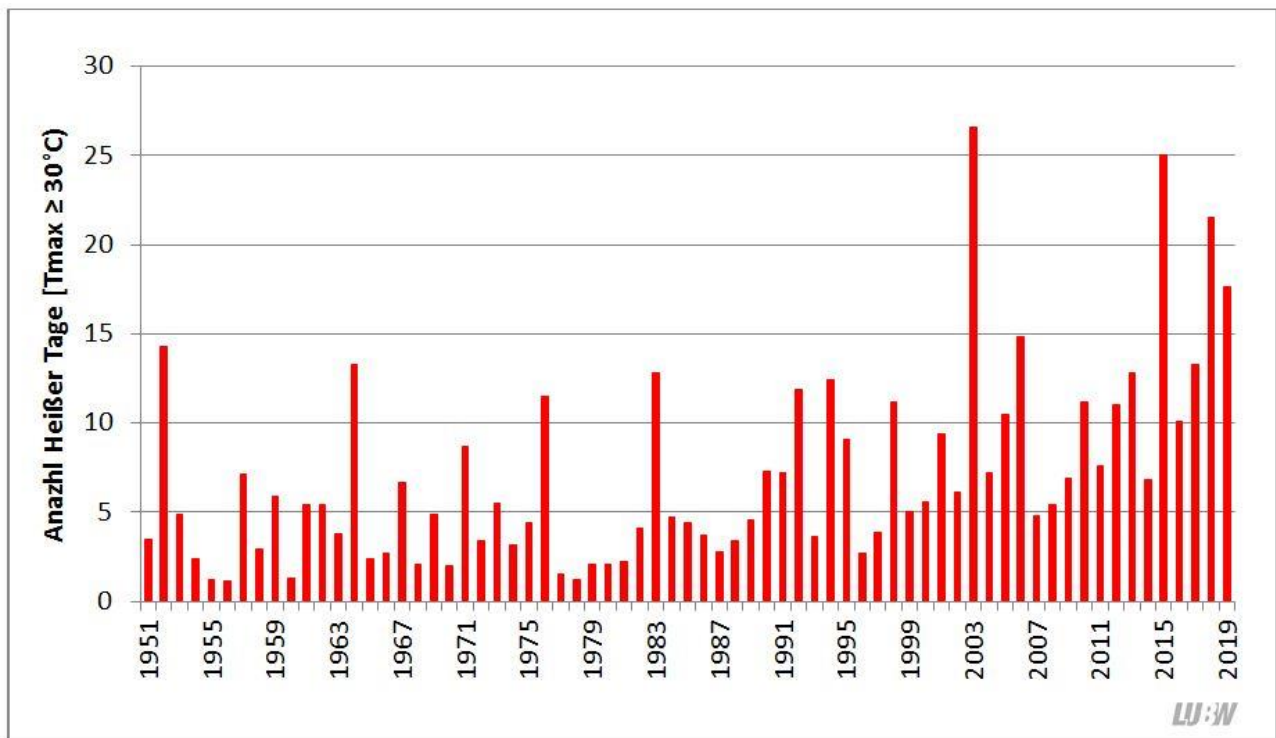


Abb. 2: Anzahl Heiße Tage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951).
Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

2019 war das drittwärmste Jahr in Baden-Württemberg und gehört mit 2003, 2015 und 2018 zu den vier heißesten Jahren. Deutlich wird dies beispielsweise an der Anzahl der Heißen Tage, also an Tagen mit einer maximalen Temperatur von 30°C oder mehr. In 2019 wurden gemittelt über das ganze Land an 17 Tagen 30°C oder mehr erreicht, im Jahrhundertssommer 2003, der bislang auch die meisten Heißen Tage in Baden-Württemberg aufweist, waren es 27 Heiße Tage (Abb. 2).

Besonders der Juni und Juli waren sehr heiß. Im Juli konnte deutschlandweit sogar ein neuer Hitzerekord mit 42,6 °C, gemessen am 25. Juli 2019 an der DWD-Wetterstation Lingen/Ems, aufgestellt werden. Im Raum Karlsruhe und Mannheim war es mit knapp 40°C Ende Juli ebenso sehr heiß, auch wenn der Rekord von 2003 nicht ganz erreicht wurde.

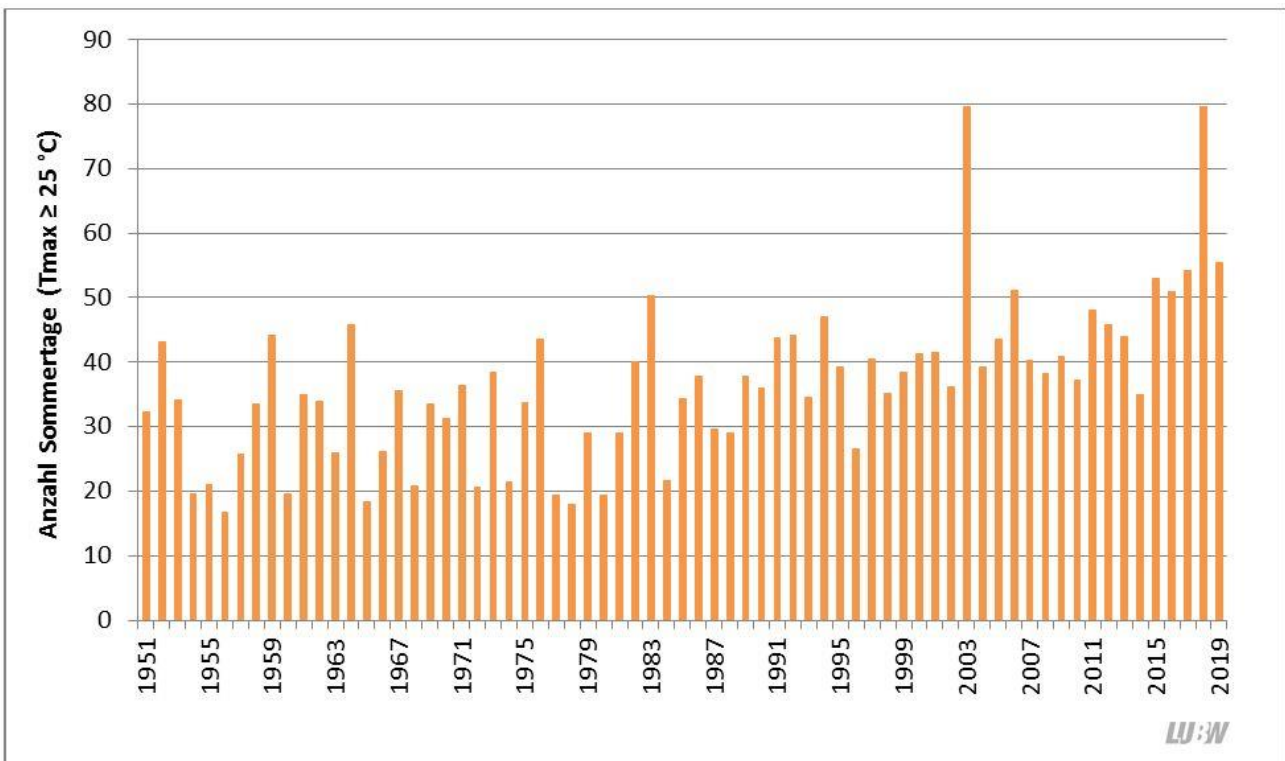


Abb. 3: Anzahl Sommertage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951).
 Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

Die Anzahl der Sommertage war in 2019 mit gut 55 Tagen ähnlich hoch wie in 2017, 2015 und 2006. 2019 liegt damit nach 2003 und 2018, die sich mit 79,7 Tagen den ersten Platz teilen, auf Rang zwei (vgl. Abb. 3).

Ähnlich wie bei der Jahresmitteltemperatur ist auch hinsichtlich der Anzahl Heißer Tage und Sommertage ein deutlicher Anstieg in Baden-Württemberg festzustellen (vgl. Abb. 2 und 3). Die Heißer Tage haben sich in den letzten 30 Jahren (1990-2019) im Vergleich zum internationalen Vergleichszeitraum (1961-1990) von 5 auf 10 Tage durchschnittlich pro Jahr verdoppelt. Auch die Sommertage sind deutlich von 31 auf 45 Tage im Mittel pro Jahr angestiegen.

Besonders spürbar ist die Veränderung im Oberrheingraben, der ohnehin als sehr warme Region bekannt ist. So wurde beispielsweise an der Station Mannheim 2019 an 34 Tagen 30°C und mehr erreicht; Sommertage waren es 77. Zum Vergleich: Im Zeitraum 1961-1990 lag das Mittel in Mannheim bei 11 Heißer Tagen und 50 Sommertagen pro Jahr. Im aktuellen Klimazeitraum 1990-2019 verdoppelte sich auch in Mannheim die durchschnittliche Anzahl Heißer Tage auf gut 20 pro Jahr und die Sommertage stiegen auf 67 an.

2.2 NIEDERSCHLAG

2.2.1 MITTLERER NIEDERSCHLAG

Kurz gesagt:

- 2019 war in Baden-Württemberg ein dem Durchschnitt entsprechendes Niederschlagsjahr.
- Februar, April und Juni waren im Vergleich zu den Monatsmittelwerten im Zeitraum 1961-1990 mehr als 25 % trockener; im Januar, Mai und Oktober fiel hingegen über 25 % mehr Niederschlag als üblich.

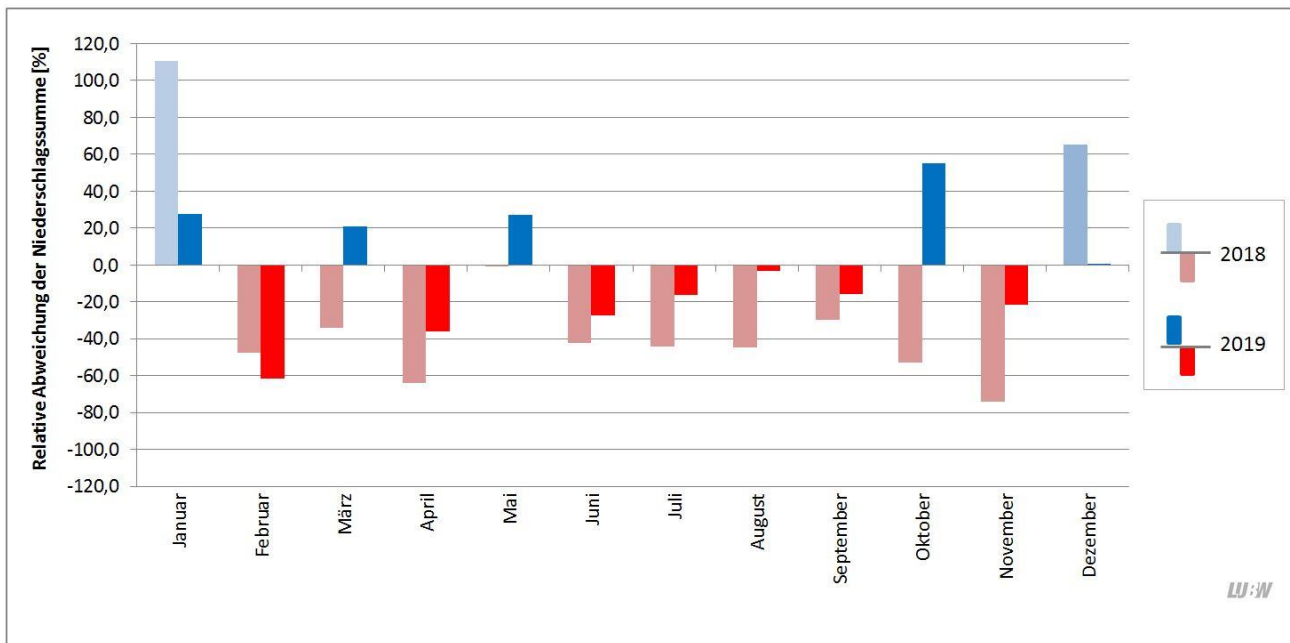


Abb. 4: Relative Abweichung der monatlichen Niederschlagssummen für die Jahre 2018 (jeweils linker Balken) und 2019 (jeweils rechter Balken) vom Mittel 1961-1990 in Prozent.

Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

Mit 933 mm Jahresniederschlag war 2019 ein durchschnittliches Niederschlagsjahr in Baden-Württemberg. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990) regnete es landesweit im Schnitt 47 mm weniger. Dies entspricht einem Defizit von lediglich 5 %.

Vergleichsweise trocken waren Februar (minus 62 %), April (minus 36 %) und Juni (minus 27 %). Relativ viel regnete es hingegen im Oktober. Hier fielen im Landesschnitt 105 mm und damit 55 % mehr Niederschlag als durchschnittlich 1961-1990 im Oktober.

Im Vergleich zum Dürrejahr 2018 fielen in 2019 168 mm bzw. 18 % mehr Niederschlag.

2.2.2 STARKNIEDERSCHLÄGE

Kurz gesagt:

- Auch im Sommer 2019 waren Starkniederschläge in Baden-Württemberg zu verzeichnen. Spitzenreiter in der Niederschlagsmenge war der Starkregen am 28. Juli bei Bad Urach mit rund 100 mm innerhalb von 8 Stunden.

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.

Insbesondere in den Monaten Mai bis August führten feucht-warme Luftmassen wiederholt zu Gewittern mit Starkregen, Sturmböen und Hagel. Zum Beispiel am 22. Juni, wo 81,5 mm in Kusterdingen (Kr. Tübingen) sowie 72,3 mm in Bönningheim (Kr. Ludwigsburg) fielen. Nach KOSTRA-DWD 2010R entsprechen diese Tagesniederschläge jeweils etwa einem Niederschlagsereignis, das alle 50 Jahre auftritt.

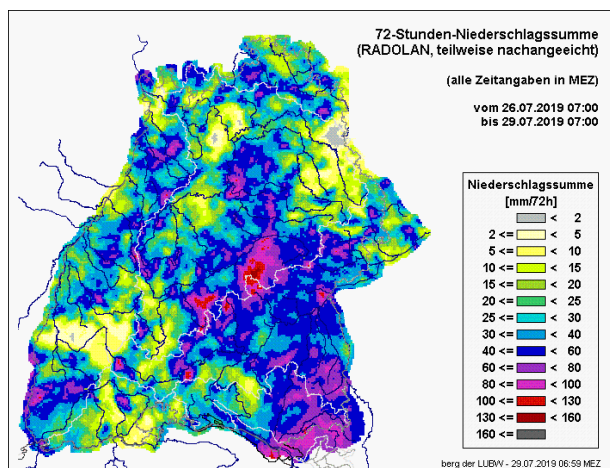


Abb. 5: links: räumliche Verteilung der Starkniederschläge im Zeitraum vom 26.7. bis 29.7.2019. Bild: LUBW

Abb. 5: rechts: Spuren eines kurzen Starkregenereignisses in einem Acker im Kreis Ludwigsburg. Treffen Starkniederschläge direkt auf die Bodenoberfläche auf, verschlammten die Bodenporen, das Wasser dringt nicht in den Boden ein, sondern fließt oberflächlich ab und nimmt wertvollen Feinboden und Humus mit sich. Bild: C. Buhk / LUBW

Der höchste gemessene Tagesniederschlag in Baden-Württemberg im Jahr 2019 fiel am 28. Juli in Bad Urach. Dieses, mit 100,2 mm in etwa 100-jährliche Niederschlagsereignis, hatte dramatische Folgen: In der nahegelegenen Falkensteiner Höhle wurden zwei Personen aufgrund des schnell auf den Starkregen reagierenden Karstwasserspiegels tief in der Höhle eingeschlossen und mussten in einer aufwändigen Aktion unter Beteiligung von rund 90 von Rettungskräften befreit werden. Im flussabwärts der Höhle gelegenen Fluss Erms bildete sich aufgrund des Starkregens ein etwa 20-jährliches Hochwasser. Die Niederschlagsverteilung in Abb. 5 zeigt, dass auch anderen Regionen des Landes von dieser Starkregenlage betroffen waren.

2.3 WASSERHAUSHALT

2.3.1 KLIMATISCHE WASSERBILANZ

Kurz gesagt:

- Im Vergleich zu 2018 war die klimatische Wasserbilanz in 2019 deutlich ausgeglichener, aber an vier der betrachteten sechs für Baden-Württemberg charakteristischen Standorte immer noch negativ.

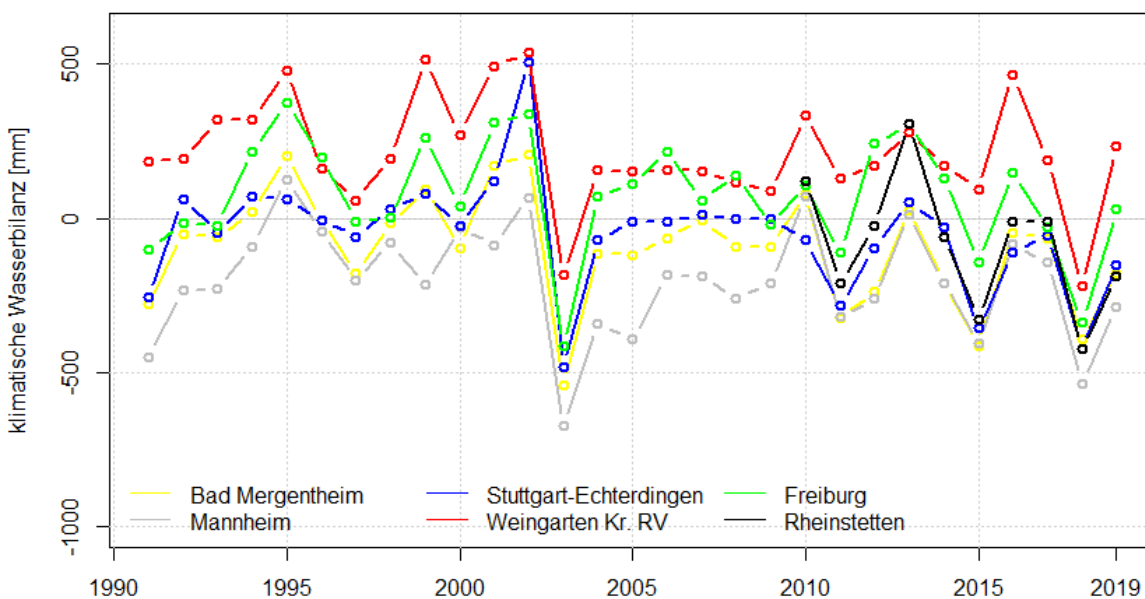


Abb. 6: Klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991-2019 für sechs Klimamessstationen des DWD. Für Rheinstetten liegen die Daten erst ab 2009 vor.

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

Die klimatische Wasserbilanz eines Jahres gibt an, wieviel Wasser übrigbleibt, 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) eher aufgebraucht. Positive Bilanzen sind ein Indiz für mehr Abfluss und für eine Auffüllung der Wasserspeicher.

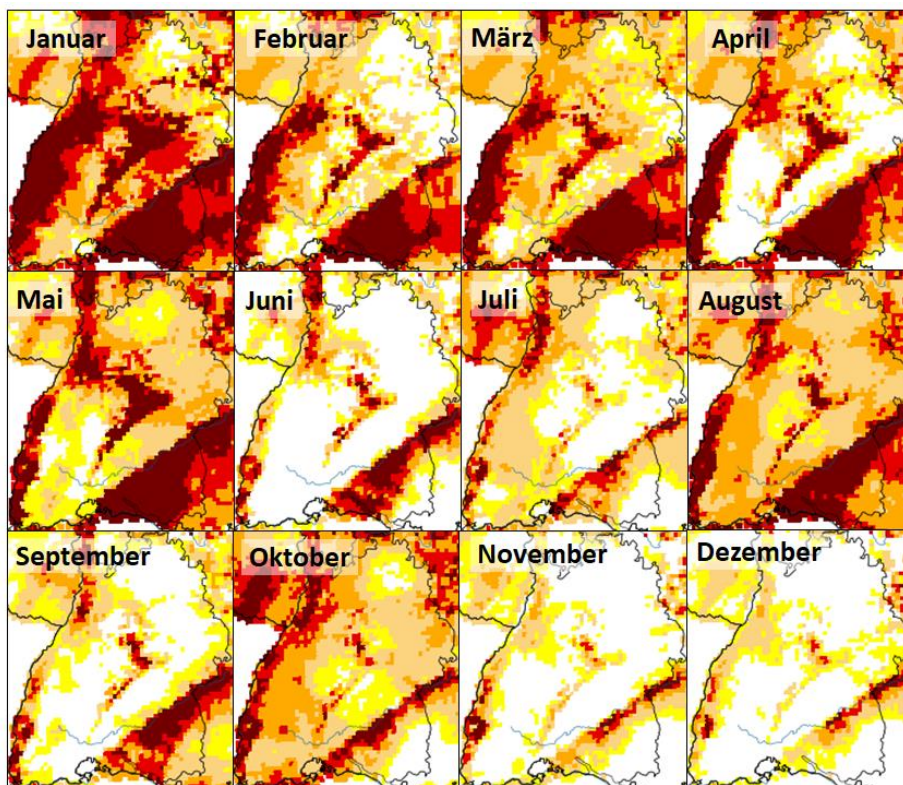
An vier der sechs ausgewählten Stationen, welche die unterschiedlichen topographischen Regionen Baden-Württemberg widerspiegeln, war das Jahr 2019 ein Jahr mit überwiegend negativer Wasserbilanz (s. Abb. 6). Im Vergleich zu 2018 war das Defizit jedoch deutlich geringer.

2.3.2 ENTWICKLUNG DER BODENFEUCHTE

Kurz gesagt:

- Nach dem besonders trockenen Vorjahr haben sich die Wasserreserven im Gesamtboden in 2019 nicht vollständig regenerieren können.
- Die Niederschläge haben in einzelnen Monaten im Oberboden bis in eine Tiefe von 25 cm landesweit für normale Feuchteverhältnisse gesorgt.

Die Bodenfeuchte im Gesamtboden hat sich nach den besonders trockenen Jahren 2015 und 2018 erst sehr spät im Jahr und auch nicht überall in Baden-Württemberg regenerieren können. Dies spiegeln die Modellberechnungen des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung wider. Der kühle und feuchte Monat Mai hatte im Juni für vergleichsweise gute Bodenfeuchtegehalte geführt. In tieferen Bodenschichten herrschte im Vergleich zum Zeitraum 1951 – 2015 in neun der zwölf Monate (Januar bis Mai sowie Juli bis Oktober) in großen Teilen des Landes laut den Modellrechnungen weiterhin Dürre. Das bedeutet, dass in den oben genannten Monaten in der langen Zeitreihe nur in 20 % der Jahre vergleichbar niedrige oder niedrigere Bodenwassergehalte ermittelt wurden.



Legende

- | | |
|------------------------|----------------------|
| außergewöhnliche Dürre | moderate Dürre |
| extreme Dürre | ungewöhnlich trocken |
| schwere Dürre | |

LU:W

UFZ-Dürremonitor/
Helmholtz-Zentrum
für Umweltforschung

Abb. 7: Dürre im Gesamtboden (bis etwa 180 cm Tiefe) in Baden-Württemberg in 2019 nach Modellrechnungen. Dürre ist die deutliche negative Abweichung der Bodenfeuchte vom langjährigen Erwartungswert und wird in einem sogenannten Perzentilansatz geschätzt. Dürre bedeutet, dass in der langen Zeitreihe zwischen 1951-2015 nur in 20 % der Jahre vergleichbar niedrige oder niedrigere Bodenwassergehalte ermittelt wurden. Dabei wird unterschieden in moderate Dürre (< 20%), schwere Dürre (< 10%), extreme Dürre (< 5 %) und außergewöhnliche Dürre (< 2 % der im Referenzzeitraum berechneten Werte). Die als ungewöhnlich trocken bezeichneten Werte zeigen Trockenheit unterhalb 30% der Referenzwerte der Jahre 1951 - 2015.

Datenquelle: LUBW, zusammengestellt nach Daten und Karten des UFZ-Dürremonitor/ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

In Abbildung 8 ist die Entwicklung der Feuchte im Oberboden bis 25 cm Tiefe dargestellt. Es wird deutlich, dass auch der Oberboden regional unterschiedlich und zeitlich begrenzt verhältnismäßig trocken war. So war in den meisten Regionen der Boden im März und August deutlich trockener als üblich. Im Mai war besonders der Osten des Landes betroffen und im Oktober der Westen. In den Monaten Juni und Juli waren die Oberböden fast im ganzen Land nicht trockener als üblich, was als Folge des eher feuchten und kühlen Monats Mai zu sehen ist.

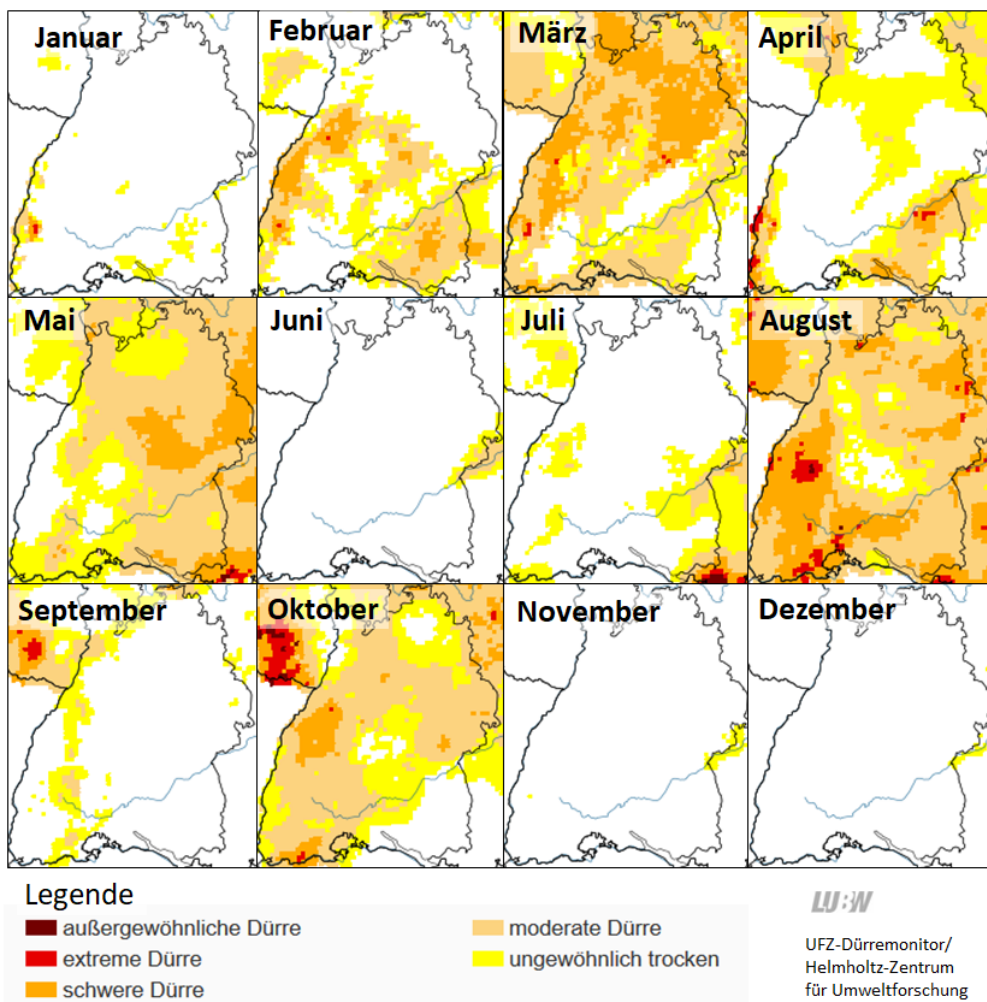


Abb. 8: Dürre im Oberboden (bis 25 cm tief) in Baden-Württemberg in 2019 auf Grundlage von Modellrechnungen. Die Erläuterung der Legende ist Abbildung 10 zu entnehmen.

Datenquelle: LUBW, zusammengestellt nach Daten und Karten des UFZ-Dürremonitor/ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Kurz gesagt:

- 2019 war insgesamt ein ruhiges Jahr: Weder eine ausgeprägte Niedrigwasserphase noch ein extremes Hochwasserereignis waren in Baden-Württemberg zu verzeichnen.

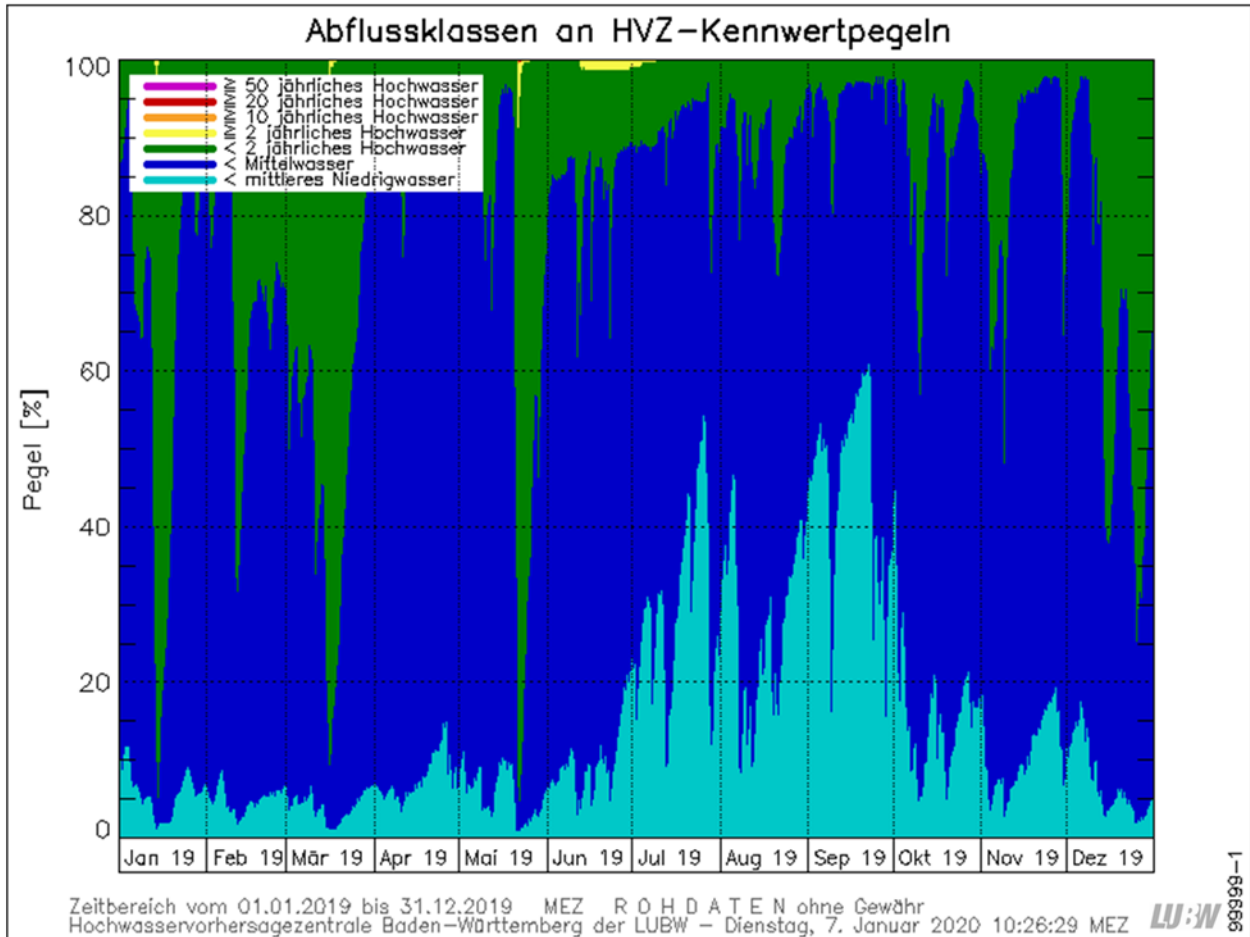


Abb. 9: Anteil der Kennwertpegel in Baden-Württemberg, die im Wasserstand oder im Abfluss einen bestimmten Kennwert über- bzw. unterschreiten. Grafik basiert auf ungeprüften Rohdaten.
 Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) an der LUBW

Abbildung 9 zeigt die hydrologische Gesamtsituation der Oberflächengewässer in Baden-Württemberg im Jahr 2019. Dargestellt ist der prozentuale Anteil an Kennwertpegeln, die einen bestimmten Schwellenwert im Wasserstand oder Abfluss über- bzw. unterschreiten. Fast im gesamten Jahresverlauf liegt der Großteil der Kennwertpegel im durchschnittlichen Bereich (< Mittelwasser und < 2-jährliches Hochwasser; dunkelblaue und grüne Flächenanteile). Im Januar, März und Mai traten jeweils aufgrund ergiebiger Niederschläge kleinere Hochwasserereignisse auf (> 2-jährliches Hochwasser; gelbe Flächenanteile), vereinzelt bildeten sich lokal auch über 10-jährliche Hochwasser. Im Zuge dieser drei Ereignisse wurde die Hochwasservorhersagezentrale der LUBW jeweils eröffnet.

Aufgrund der Schmelze der ergiebigen Schneevorräte verbunden mit Regen, kam es im Juni zu einem länger andauernden kleinen Bodenseehochwasser.

Von Juli bis September war hingegen eine große Anzahl an Kennwertpegeln im Niedrigwasser (< mittleres Niedrigwasser; hellblaue Flächenanteile).

Um zu klären, ob es sich um eine außergewöhnliche Niedrigwassersituation oder eine charakteristische jahreszeitliche Schwankung handelt, erfolgt in Abbildung 10 die Einordnung der Niedrigwasserphase des Jahres 2019 in den Zeitraum 2000-2019. Dargestellt ist für die Jahre 2018 und 2019 der Anteil an Kennwertpegeln in Baden-Württemberg, die im Wasserstand (7-Tage gleitendes Mittel) den Schwellenwert „mittleres Niedrigwasser“ unterschreiten (farbige Linien). Zusätzlich sind die Perzentile der Schwellenwertunterschreitung im Jahresverlauf berechnet über den Zeitraum 2000-2019 dargestellt. Wie der Median verdeutlicht, handelt es sich bei 2019 um ein durchschnittliches Niedrigwasserjahr mit einer charakteristischen jahreszeitlichen Schwankung. Es ist ersichtlich, dass sich die Niedrigwassersituation in 2019 im Vergleich zum Jahr 2018 deutlich entspannte. An nur wenigen Tagen und jeweils nur über kurze Zeiträume trat eine markante Niedrigwassersituation (mehr als 45 % der Kennwertpegel liegen im Bereich des mittleren Niedrigwassers) ein. Die Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) befand sich in 2019 an insgesamt 28 Tagen im Niedrigwasserbetrieb. Zum Vergleich: Im Jahr 2018 waren es 74 Tage.

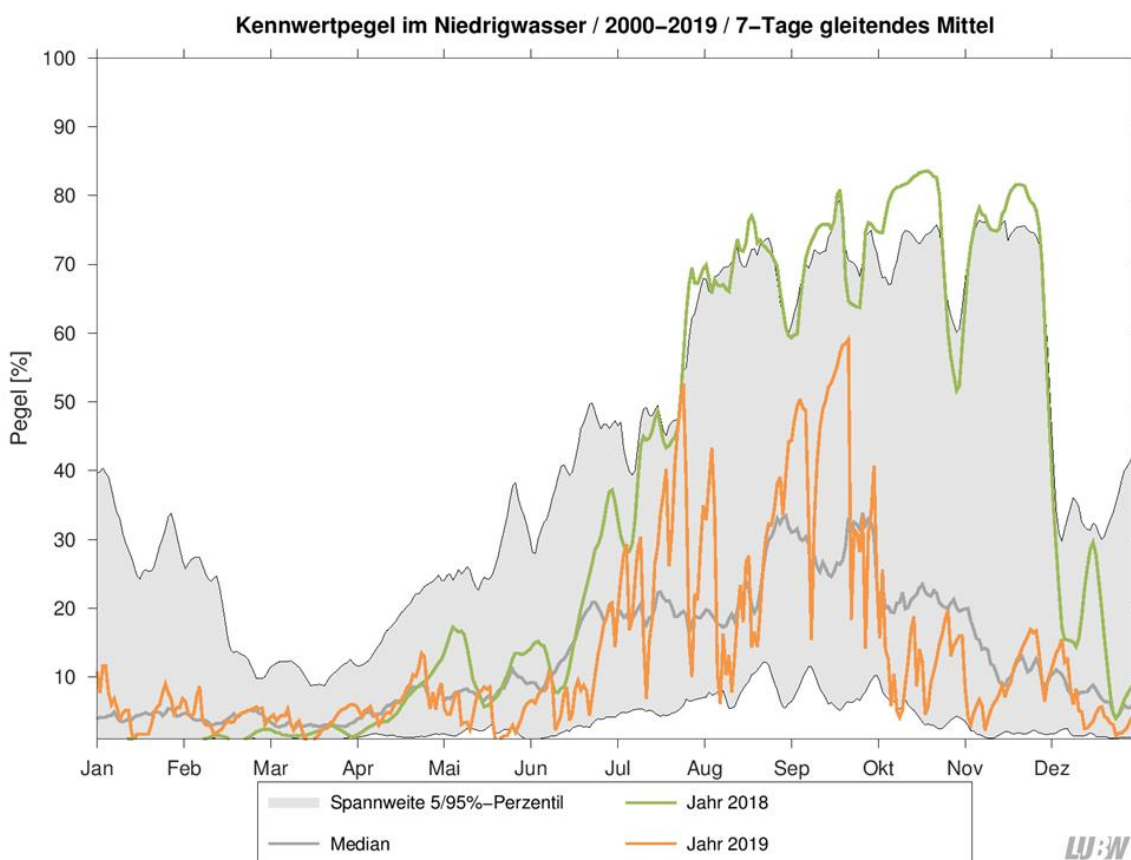


Abb. 10: Anteil der Kennwertpegel in Baden-Württemberg, die im Wasserstand oder Abfluss (7-Tage gleitendes Mittel) den Schwellenwert mittleres Niedrigwasser unterschreiten. Dargestellt sind sowohl die beiden Jahre 2018 und 2019 sowie die Perzentile des Zeitraums 2000-2019. Grafik basiert auf ungeprüften Rohdaten.
 Datenquelle: LUBW

2.3.4 GRUNDWASSER

Kurz gesagt:

- Die Grundwasserstände und Quellschüttungen bewegten sich noch zum Jahresbeginn 2019 überwiegend auf sehr niedrigem Niveau.
- Nach einer kurzzeitigen Erholung in den ersten Monaten waren die Grundwasserstände und Quellschüttungen bis etwa November rückläufig.
- In Teilen des Landes haben die erwarteten Wiederanstiege zum Jahresende stattgefunden.

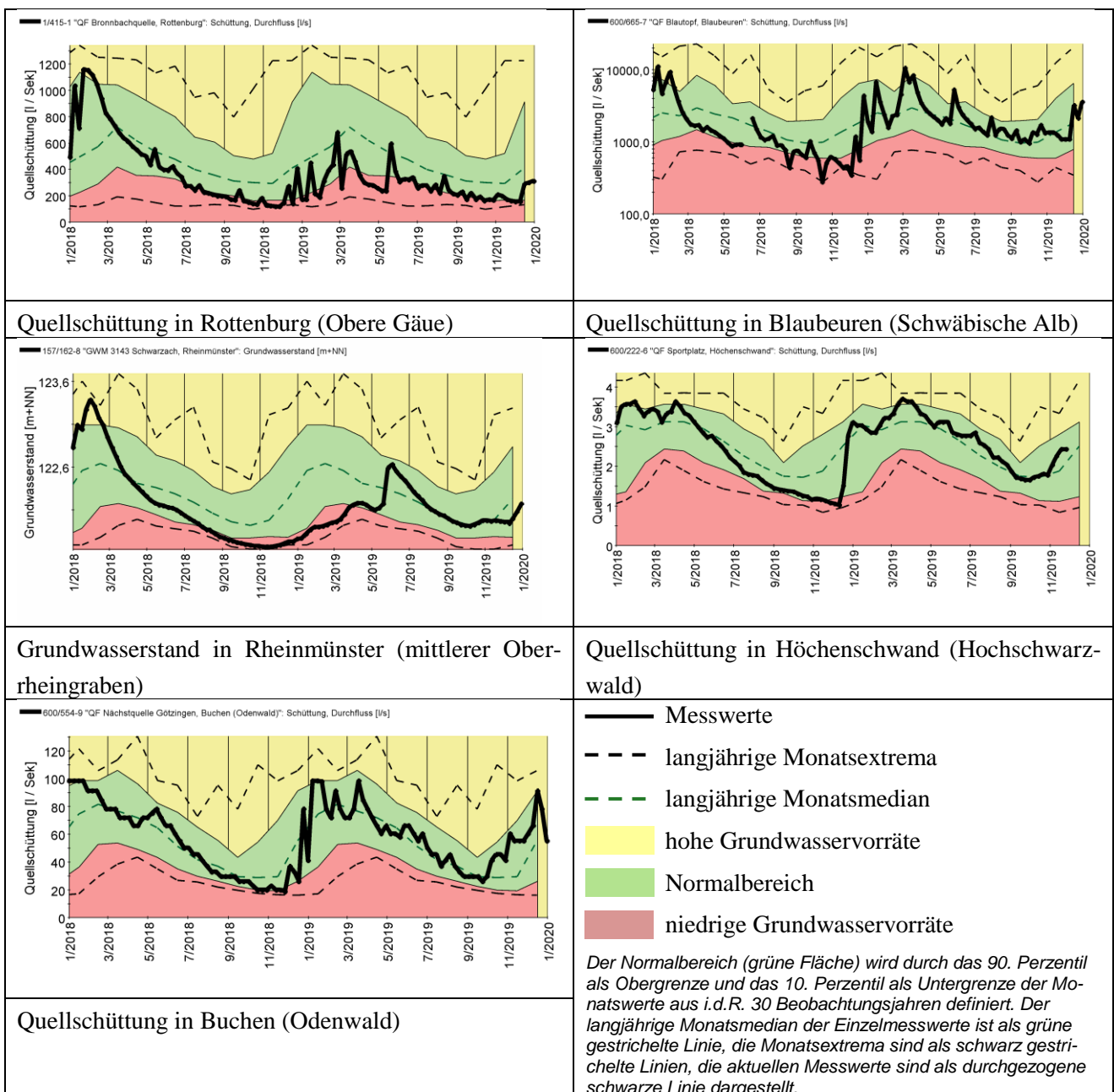


Abb. 11: Jahressgang 2018/2019 vor langjährigem Hintergrund verschiedener Quellschüttungen bzw. Grundwasserstände.
Datenquelle: LUBW

Zuletzt waren die Grundwasserverhältnisse in den Jahren 2016/2017 und vor allem 2018 besonders angespannt. Das Jahr 2019 baut auf der besonders ungünstigen Ausgangssituation des Vorjahres auf. Die zu Jahresbeginn erhoffte anhaltende Erholung ist ausgeblieben, weshalb das Jahr 2019 ebenfalls zu den Zeiträumen mit den niedrigsten Grundwasserständen und Quellschüttungen seit Bestehen des amtlichen Grundwasserstandmessnetzes im Jahr 1913 zählt.

Das Jahr 2019 hat etwa durchschnittliche Niederschlagsverhältnisse gebracht, sowohl hinsichtlich der Jahresniederschlagssumme als auch der innerjährlichen Niederschlagsverteilung. Die meteorologischen Randbedingungen haben dafür gesorgt, dass im Jahresverlauf 2019 keine vergleichbar markanten Rückgänge, wie sie im Jahr 2018 zu beobachten waren, stattgefunden haben.

Noch zum Jahresbeginn 2019 war trotz überdurchschnittlichen Niederschlags im Dezember 2018 eine ausgeprägte Niedrigwassersituation zu verzeichnen. Grundwassermessstellen in Bereichen mit geringen Flurabständen und Quellen, die besonders rasch auf Niederschläge reagieren, waren Ende 2018 auf extrem niedrige Werte zurückgegangen, oft unterhalb der bisherigen historischen Minima. Diese Standorte haben mit raschen Anstiegen sehr kurzfristig auf die überdurchschnittlichen Niederschläge von Dezember 2018 reagiert. Die Quellschüttungen sind insbesondere im Schwarzwald binnen weniger Tage auf mittlere Werte angestiegen. Im Oberrheingraben wurde dagegen kein durchgreifender Anstieg zu Jahresbeginn beobachtet, sondern eher eine allmähliche Entspannung der bis dahin sehr angespannten Verhältnisse.

Im weiteren Jahresverlauf folgte eine relativ unauffällige Entwicklung des Grundwassergeschehens im unteren Normalbereich. Grundwasserstände und Quellschüttungen waren bis etwa November rückläufig und bewegten sich vielerorts auf niedrigem Niveau. In Teilen des Landes haben die mit dem Beginn des hydrologischen Winterhalbjahres erwarteten Wiederanstiege zum Ende des Kalenderjahres stattgefunden.

Aus grundwasserhydrologischer Sicht ist das Jahr 2019 durch eine Entwicklung auf unterdurchschnittlichem Niveau innerhalb des langjährigen Normalbereichs gekennzeichnet. Die Spuren der niedrigen Ausgangssituation zu Jahresbeginn waren jedoch dauerhaft zu spüren, weshalb im Spätsommer bereichsweise niedrige Grundwasserstände und Quellschüttungen gemessen wurden.

Kurz gesagt:

- Die Wasserstände im Bodensee waren im Verlauf des Jahres 2019 meist überdurchschnittlich. Die höchsten Wasserstände wurden im Juni beobachtet und erreichten fast den Hochwassermeldewert.
- Trotz überdurchschnittlich hoher sommerlicher Lufttemperaturen blieben die höchsten Messwerte der Oberflächenwassertemperatur bei der Hauptmessstelle in der Seemitte deutlich unter den Höchstwerten des Jahres 2018.
- Eine übermäßige Entwicklung von Wasserpflanzen wie 2018 wurde nicht beobachtet.

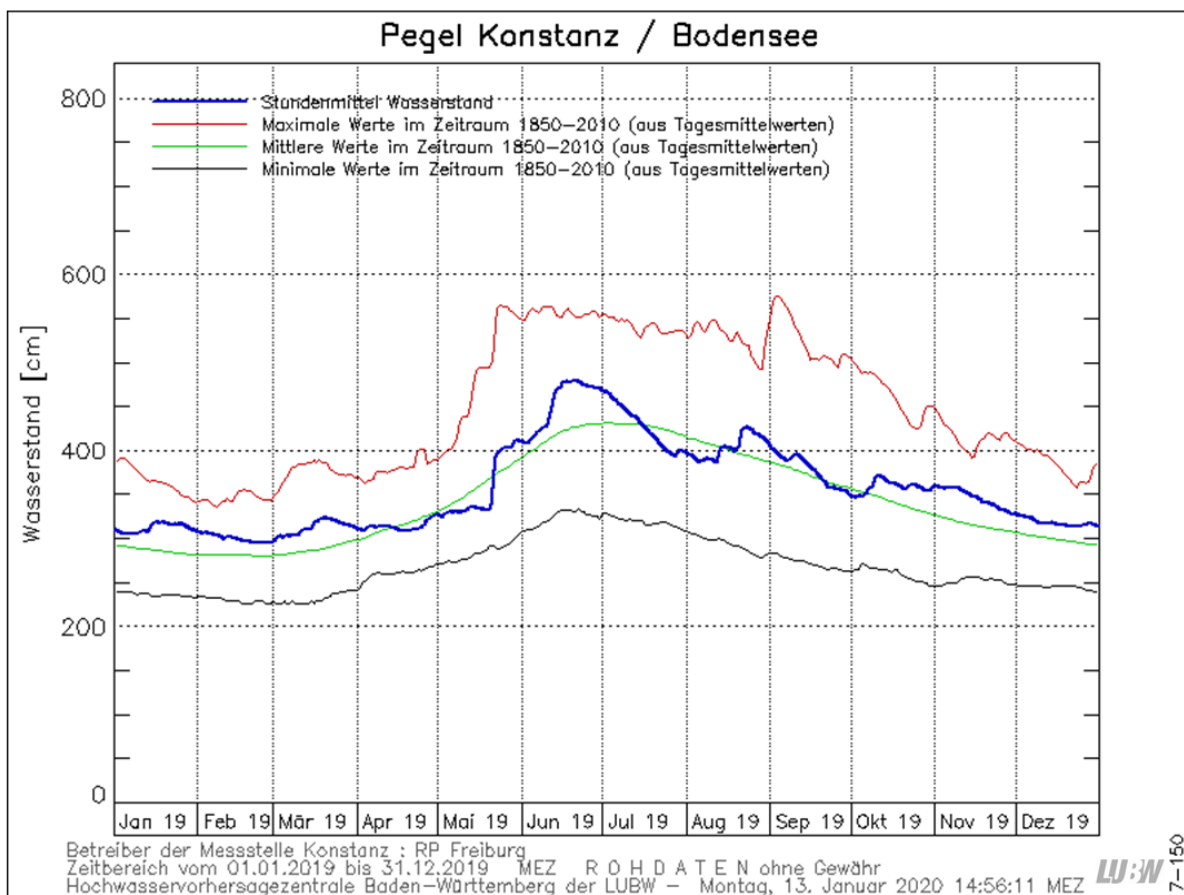


Abb. 12: Jahrgang des Wasserstandes am Bodensee (Pegel Konstanz) im Vergleich zum langjährigen Tagesmittel, minimalen und maximalen Wasserständen im Zeitraum 1850-2010.
 Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) an der LUBW

Im Gegensatz zum Niedrigwasserjahr 2018 war 2019 für den Bodensee ein Jahr mit überwiegend überdurchschnittlich hohen Wasserständen (Abbildung 12). Bereits zu Beginn des Jahres lagen die Pegelwerte über der mittleren Jahrganglinie. Einem anfänglich eher trockenen Frühjahr folgten im Mai kurzzeitig saisonal unterdurchschnittliche Pegelstände. Hohe Niederschlagsmengen und Schmelzwasser aus dem alpinen Einzugsgebiet führten in der zweiten Maihälfte zu einem rapiden Pegelanstieg. Ein weiterer deutlicher Pegelanstieg im Juni ließ die maximalen Tagesmittelwerte auf 479 cm ansteigen und damit nur knapp unter den Hochwassermeldewert von 480 cm. Im Verlauf des trockenen und überdurchschnittlich warmen Julis fielen die Wasserstände jedoch rasch ab und unterschritten in Folge dessen von Mitte Juli bis Mitte August die mittlere Jahrganglinie.

Die im Rahmen des zweiwöchigen Monitorings erfassten Oberflächentemperaturen des Bodensees an der Hauptmessstelle in der Seemitte des Obersees erreichten erst im Juni Werte über 10 °C, nachdem der Mai besonders kühl war. Werte über 20 °C wurden von Juli bis in die erste Septemberhälfte gemessen. Die höchsten Messwerte lagen bei etwa 23 °C. Im Jahr 2018 wurde als Höchstwert 25,6 °C gemessen.

2.4 OZON

Kurz gesagt:

- Die Ozonspitzenkonzentration geht seit Anfang der 1990er-Jahre zurück.
- In Jahren mit heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommern, wie 2003, 2015, 2018 und nun 2019 sind die Ozonkonzentrationen erhöht.
- Der langfristige Zielwert bis 2020 kann im städtischen und ländlichen Hintergrund nicht eingehalten werden.

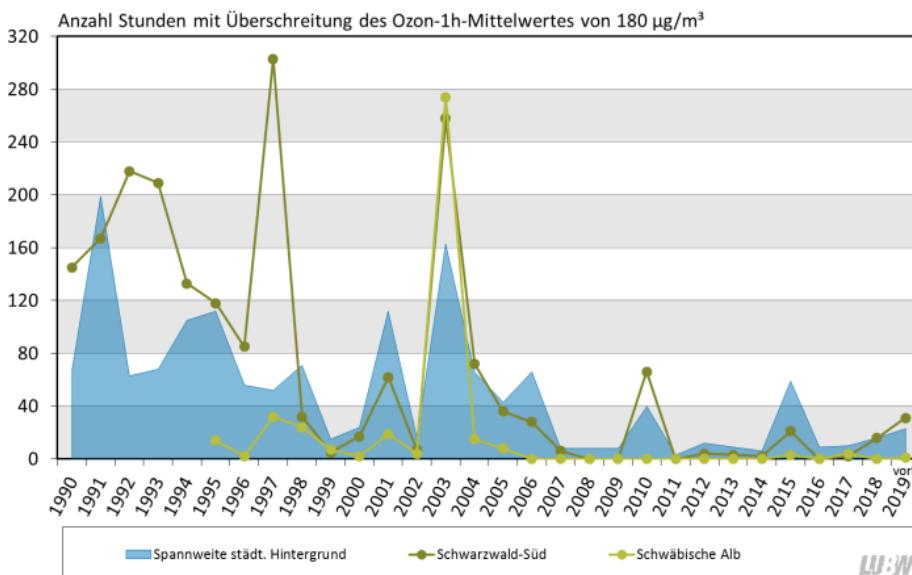


Abbildung 13: Überschreitung des Ozon 1-Stundenmittelwertes von 180 µg/m³ (Informationsschwelle) in Baden-Württemberg. Datenquelle: LUBW

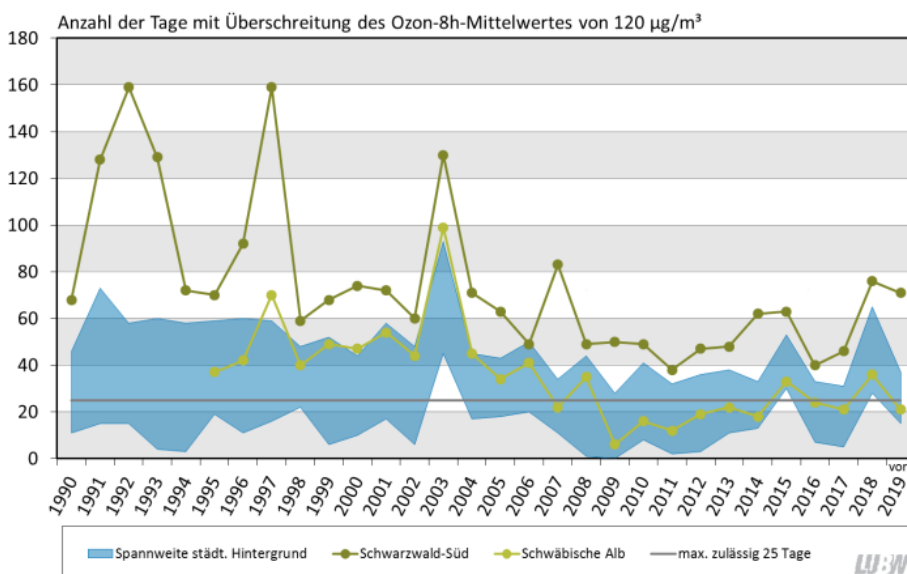


Abbildung 14: Überschreitung des Ozon 8-Stundenmittelwertes von 120 µg/m³ in Baden-Württemberg. Datenquelle: Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

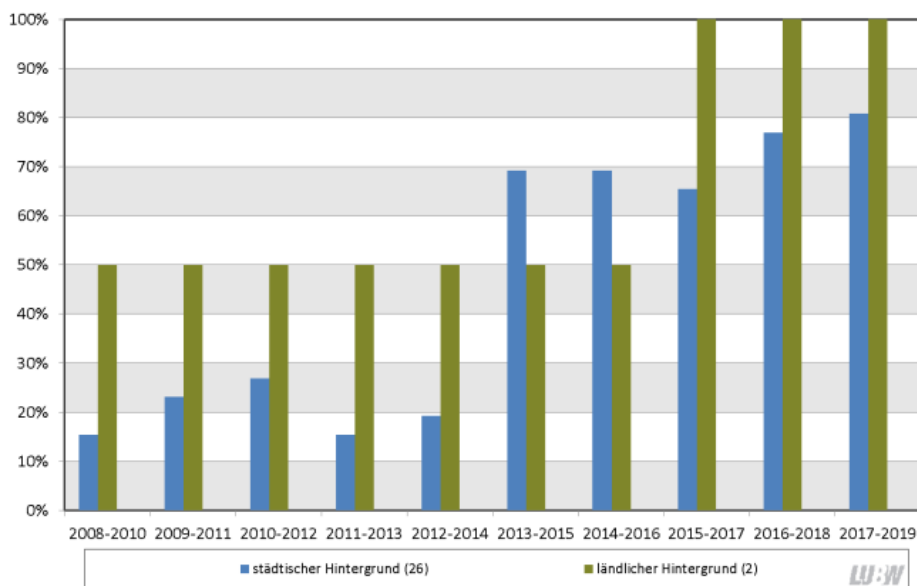


Abbildung 15: Prozentualer Anteil der Messstationen in Baden-Württemberg mit Überschreitung des Zielwertes von 120 µg/m³ Ozon im 8-Stundenmittel (gemittelt über 3 Jahre)
 Datenquelle: LUBW

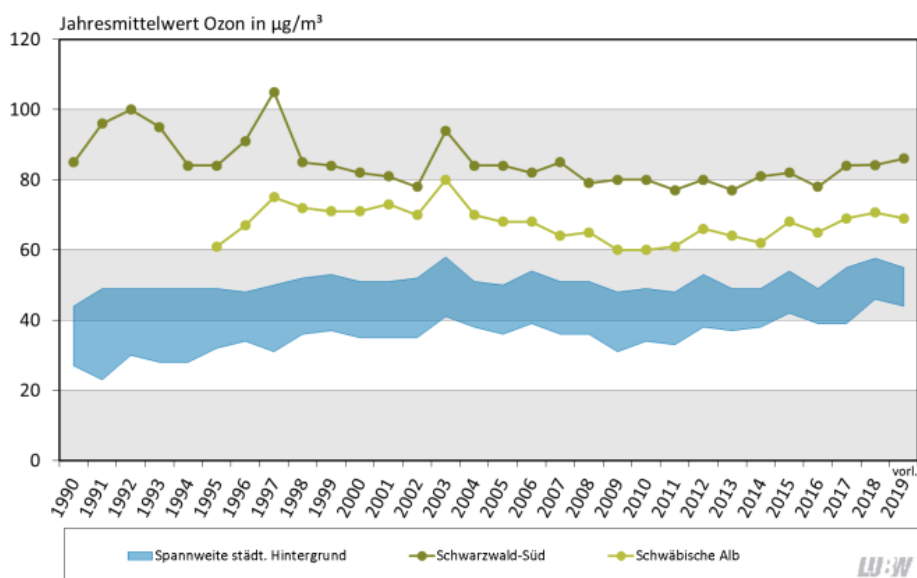


Abbildung 16: Entwicklung der Jahresmittelwerte für Ozon in Baden-Württemberg.
 Datenquelle: LUBW

Seit Anfang der 1990er-Jahre ist ein Rückgang der Immissionsbelastung durch Ozon sowohl bei den Messstationen im städtischen als auch im ländlichen Hintergrund festzustellen, der sich insbesondere bei den Ozonspitzenkonzentrationen zeigt (Abb. 13, 14). Ursache sind die rückläufigen Konzentrationen der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffdioxid, flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (non-methane volatile organic compounds, NMVOC), Methan und Kohlenmonoxid. Potential für erhöhte Ozonkonzentrationen haben jedoch weiterhin heiße, trockene und strahlungsintensive Sommer wie die Sommer der Jahre 2003, 2015, 2018 und 2019. Stabile Hochdruckwetterlagen führen neben den meteorologischen Voraussetzungen zur Bildung von Ozon zusätzlich zu einer Anreicherung der Vorläufersubstanzen. Dazu zählen auch die biogenen Kohlenwasserstoffe, die vor allem von den Nadelbäumen bei hohen Temperaturen emittiert werden.

Im Sommer 2019 führten die sehr warmen Wetterlagen Ende Juni und Juli zu zahlreichen Überschreitungen des Informationsschwellenwertes von 180 µg/m³ (1-Stundenmittelwert). Fast flächendeckend wurde auch der Zielwert zum Schutz der Gesundheit von 120 µg/m³ (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages an mehr als

25 Tagen) überschritten. Die Beurteilung des Zielwertes für einen 3-Jahreszeitraum zeigt, dass in letzten fünf Mittelungszeiträumen an der Mehrheit der Messstationen der Zielwert überschritten wird (Abb. 15). Damit ist die Einhaltung dieses langfristigen Zielwertes bis 2020 nicht zu erwarten.

Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen im ländlichen Raum steigen seit einigen Jahren wieder an (Abb. 16). Hier spielt auch die zentrale Lage Deutschlands und der grenzüberschreitende Transport von Luftschadstoffen und damit von Ozonvorläufer eine Rolle. Hinzu kommt, dass in den Städten verstärkt die Emissionen von Stickstoffoxiden zurückgehen und so im städtischen Hintergrund weniger ozonreduzierende Stickstoffoxide zur Verfügung stehen. Dies führt zu einem Anstieg der Ozonkonzentrationen in den Städten.

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.

2.5 AUSWIRKUNGEN AUF DIE NATUR

2.5.1 PHÄNOLOGIE

Kurz gesagt:

- Die Entwicklung der Pflanzen war 2019 geprägt durch ein warmes Frühjahr, einen sehr kalten Monat Mai und einen früh einsetzenden, heißen Sommer.
- Die Apfelblüte begann 16 Tage früher als im Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990 und war bis Ende April annähernd abgeschlossen. Die weitere Entwicklung verlief stark verzögert, so dass die Zeit bis zur Fruchtreife besonders lang dauerte.
- Durch die frühe Entwicklung waren Pflanzen und Tiere Anfang Mai regional von auftretenden Spätfrösten betroffen.

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. Die Phänologie ist stark von der Temperatur und Sonneneinstrahlung abhängig. Änderungen der Phänologie verdeutlichen somit klimatisch bedingte Veränderungen in der Natur.

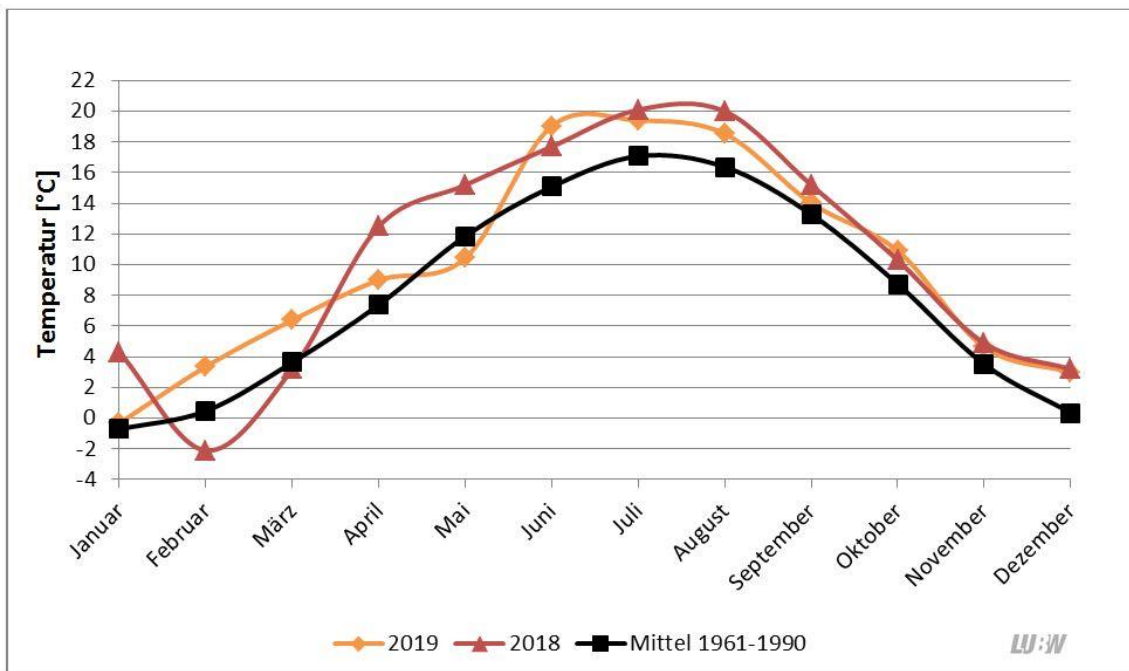


Abb. 17: Mittlere Monatstemperaturen in Baden-Württemberg. Monatsmittel 1961-1990 im Vergleich zum warmen Jahr 2018 und dem aktuellen Jahr 2019.
 Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

Die Apfelblüte 2019 setzte im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990 aufgrund der warmen Bedingungen zwar 16 Tage früher ein und damit ähnlich früh wie in den Vorjahren. Die weitere Entwicklung verlief dann aber durch die kühle Witterung im Mai stark verzögert, so dass die Zeit bis zur Fruchtreife besonders lang dauerte.

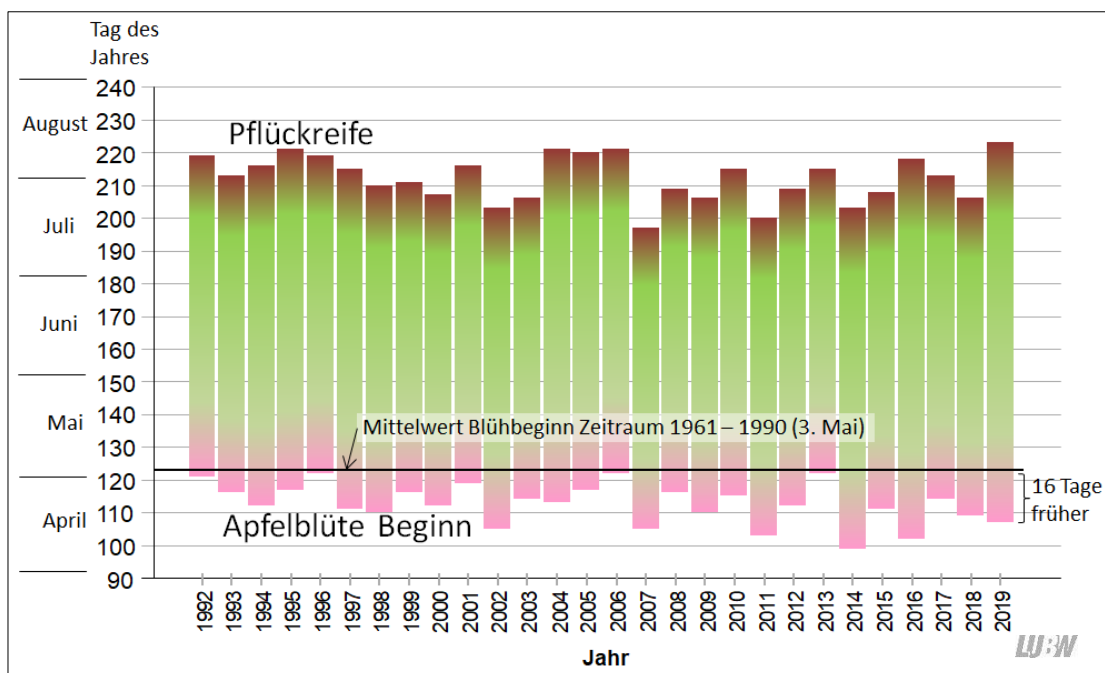


Abb. 18: Mittlerer Beginn der Apfelblüte bis zur Pflückreife vorwiegend frühblühender Apfelbäume in Baden-Württemberg.
 Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes (Stand 05.02.2020)

Der Monat April war der 13. Monat in Folge mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen, der Mai hingegen zeigte sich deutlich zu kalt. Statistisch gesehen rangierte er unter den 20 kältesten Maimonaten seit Be-

ginn der Wetteraufzeichnung 1881. Besonders die Nacht vom 5. auf 6. Mai barg mit frostigen Temperaturen in Bodennähe auf der Schwäbischen Alb lokal bis -9 °C und Lufttemperaturen von $-2,5\text{ °C}$ in Obstbaulagen regional großes Potential für Spätfrostschäden. Weite Gebiete des Landes blieben aber frostfrei, so dass die Schäden über das ganze Land hinweg gesehen weit unter denen des Jahres 2017 lagen. Damals waren Ende April deutlich niedrigere Temperaturen mitten in der Blütezeit aufgetreten und hatten überregional zu großen Ernteauffällen geführt.

Nicht nur bei den Äpfeln zeigte sich ein frühes Aufblühen und eine verspätete Fruchtreife, sondern auch bei den Süßkirschen und verschiedenen Wildpflanzen, wie dem schwarzen Holunder. Die Rotbuche trieb zwar früh aus, begann aber verspätet mit dem Blattfall.



Abb. 19: Apfelblüte im April. Apfelbäume blühen inzwischen im Schnitt etwa zwei Woche früher als zwischen 1961 und 1990.
Bild: C. Buhk / LUBW

2.5.2 VERÄNDERUNG DER BODENFAUNA DURCH DIE BODENTROCKENHEIT

Kurz gesagt:

- In 2019 kam es zu einem Populationseinbruch oberflächlich lebender Regenwurmarten als Folge der Trockenheit in 2018. Diese Regenwurmarten spielen eine wichtige Rolle im Ökosystem.
- Regenwurmarten, die in tieferen Bodenschichten leben und dort auch ihre Nahrung finden, waren nicht betroffen. Die Populationen blieben 2019 stabil.

Seit 2015 werden jährlich im Rahmen des Biologischen Messnetzes der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung der LUBW an 13 im Land verteilten Dauerbeobachtungsflächen im Wald Regenwurmpopulationen untersucht. Die ausgewachsenen Würmer, die an der Bodenoberfläche leben (epigäische Arten) oder dort zumindest ihre Nahrung aufnehmen (epi-anezische Arten), reagieren deutlich auf die Dürrejahre 2015 und 2018. Da die Probenahme immer in den Monaten April bis Juni erfolgt, werden die Effekte erst im darauffolgenden Jahr sichtbar. Die Anzahl der gefundenen Regenwürmer reduziert sich jeweils im Jahr nach der Trockenheit deutlich. Nach der Dürre in 2015 brauchte die Regeneration der Wurmpopulationen zwei Jahre.

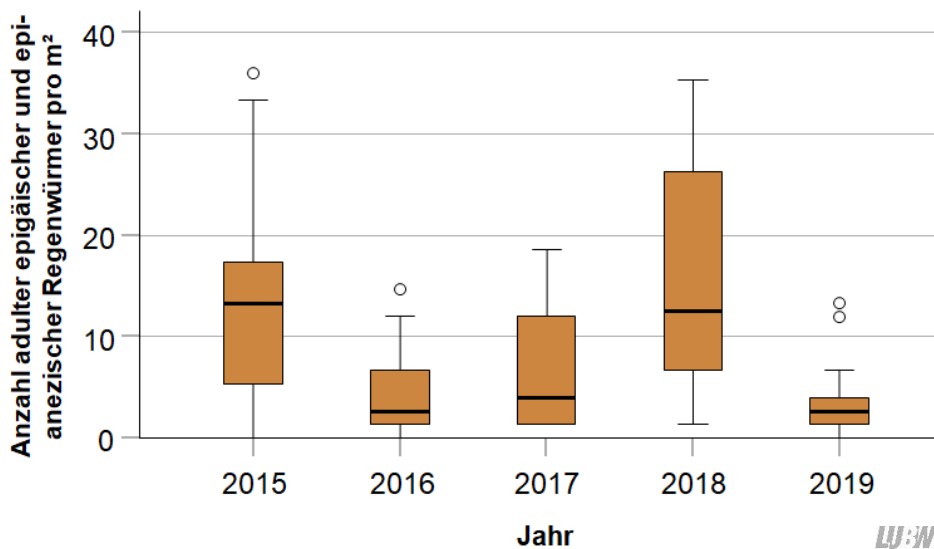


Abb. 21: Boxplot der mittlere Anzahl ausgewachsener Regenwürmer pro m² von Arten, die an der Oberfläche leben (epigäisch) oder dort zumindest ihre Nahrung finden (epi-anezisch). Da die Probenahme in den Monaten April bis Juni erfolgt, sind die Effekte der Sommerdürren in 2015 und 2018 jeweils erst im darauffolgenden Jahr sichtbar.
Datenquelle: Untersuchungen im Auftrag der LUBW durch Dr. Otto Ehrmann

Dürrejahre in kurzer Folge hintereinander sind auf längere Sicht daher möglicherweise ein Problem für diese Arten. Besonders an der Oberfläche lebende Regenwürmer (epigäisch) spielen eine große Rolle beim Streuabbau, transportieren den Humus in tiefere Bodenschichten (epi-anezische Würmer) und sind somit entscheidende Organismen unserer Ökosysteme. Auch als Nahrung für Vögel oder Kleinsäuger spielen sie eine wichtige Rolle. Die primär in tieferen Bodenschichten vorkommenden (endogäische) Arten überdauern ungünstige Perioden in einer Art Kokon und sind dort vor Austrocknung besser geschützt. Bei diesen Arten gibt es keine vergleichbaren Populationseinbrüche.



Abb. 22: Oberflächlich lebende Regenwurmart und solche Arten, die an der Oberfläche Nahrung suchen sind dürrrempfindlich.
Bild: C. Buhk / LUBW

Kurz gesagt:

- Die Wassertemperatur und der Abfluss sind entscheidende Faktoren für die Verbreitung aquatischer Organismen.
- Die sommerlichen Wassertemperaturen von Rhein und Neckar lagen 2019 in Höhe und Dauer deutlich unter den Werten von 2018; dennoch waren sie relativ hoch.
- Die Sauerstoffkonzentration im Neckar war relativ unkritisch; es wurden keine Werte unter 4 mg/l gemessen.

Fließgewässer sind hoch dynamische Lebensräume. Daher müssen Fließgewässerorganismen generell an wechselnde Temperaturverhältnisse und Wasserstände angepasst sein, sodass die verschiedenen Pflanzen- und Tiergruppen durch unterschiedliche Anpassungsstrategien sommerliche Hitze- und Niedrigwasserphasen überstehen können. Jedoch können die Häufigkeit, Dauer und räumliche Ausdehnung von Extremereignissen einen großen Einfluss auf die aquatische Lebensgemeinschaft haben. Wie sich eine Zunahme von sommerlichen Hitze- und Niedrigwasserphasen auswirken wird, ist schwer abschätzbar. Die Gewässer sind dabei individuell sehr unterschiedlich stark betroffen (abhängig u. a. von Größe, Gewässermorphologie, Anbindung von Seitengewässern etc.) und je nach Mobilität und Lebenszyklus auch die einzelnen Organismengruppen.

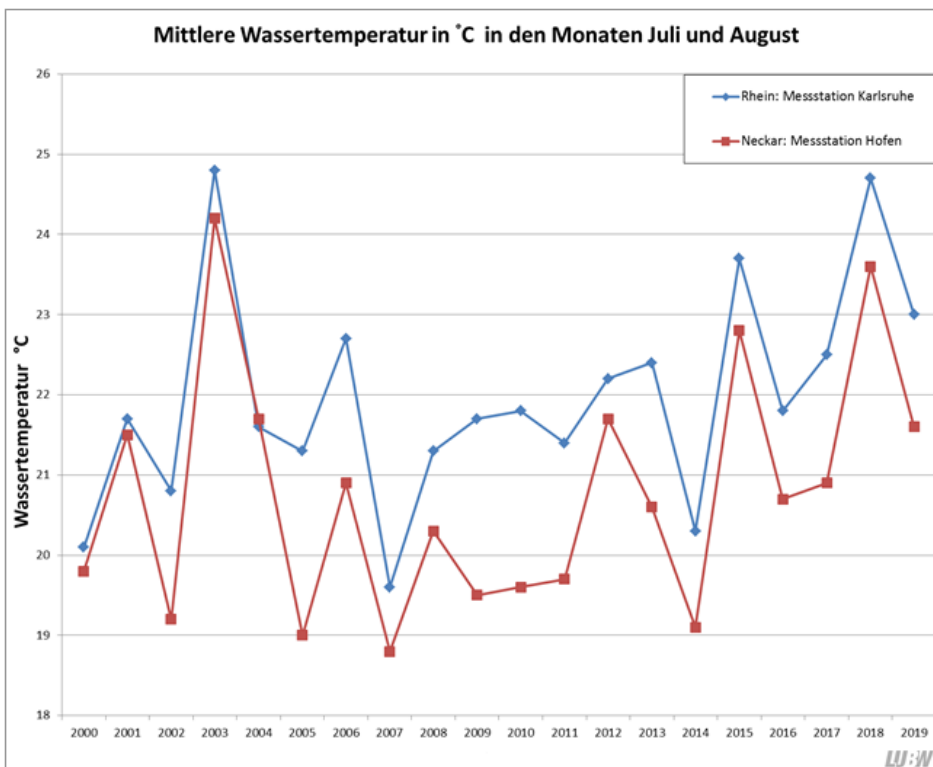


Abb. 23: Mittlere Wassertemperatur berechnet aus den Tagesmittelwerten der Monate Juli und August im Zeitraum 2000 bis 2019 der Messstationen Karlsruhe / Rhein und Stuttgart-Hofen / Neckar. Datenquelle: LUBW

Die sommerlichen mittleren Wassertemperaturen von Rhein und Neckar lagen 2019 deutlich unter denen in 2018, dennoch waren diese über den längeren Zeitraum betrachtet hoch (Abb. 23). Auch die Maximaltemperaturen sind 2019 deutlich niedriger als in 2018. Nur an wenigen Tagen wurden 25°C überschritten, sodass im Gegensatz zu 2018 keine langandauernde Periode dieser hohen Wassertemperaturen auftrat.

Die Sauerstoffkonzentration im Neckar war relativ unkritisch: Sauerstoffwerte von 4 mg/l wurden nicht unterschritten, sodass keine Belüftungsmaßnahmen zur Stützung des Sauerstoffgehaltes durchgeführt werden mussten.

