




# Wieder ein Rekordjahr – So sonnig und warm wie noch nie

 Eine klimatische Einordnung des Jahres 2022 für Baden-Württemberg



Baden-Württemberg



# Wieder ein Rekordjahr – So sonnig und warm wie noch nie

 Eine klimatische Einordnung des Jahres 2022 für Baden-Württemberg

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, <a href="http://www.lubw.de">www.lubw.de</a>
<b>BEARBEITUNG</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe Koordination: Referat 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Kompetenzzentrum Klimawandel  Abteilung 2 – Nachhaltigkeit und Naturschutz Referat 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Kompetenzzentrum Klimawandel Dr. Kai Höpker, Dr. Sabrina Plegnière, Dr. Michael Stölzle Referat 25 – Artenschutz, Landschaftsplanung Dr. Florian Theves  Abteilung 3 – Technischer Umweltschutz Referat 33 – Luftqualität, Immissionsschutz Doreen Schneider  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
<b>BEZUG</b>	<a href="https://pd.lubw.de/10485">https://pd.lubw.de/10485</a>
<b>STAND</b>	Januar 2023
<b>VERÖFFENTLICHUNG</b>	Februar 2023
<b>TITELBILD</b>	Das Titelbild zeigt fädige Algen, die im Bodensee im Sommer 2022 begünstigt durch die niedrigen Wasserstände insbesondere in den ausgedehnten Flachwasserzonen vor den Zuflüssen Schussen und Rotach zum Teil große Algenmatten ausbildeten. Bild: Dr. Bernd Wahl/LUBW
<b>ABBILDUNGSNACHWEIS</b>	siehe Abbildungsverzeichnis

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>1</b>	<b>DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>8</b>
2.1	Temperatur	8
2.1.1	Jahresmitteltemperatur	8
2.1.2	Sonnenscheindauer	9
2.1.3	Heiße Tage und Sommertage	10
2.2	Niederschlag	12
2.3	Wasserhaushalt	12
2.3.1	Fließgewässer	12
2.3.2	Bodensee	15
2.3.3	Grundwasser	16
2.4	Ozon	18
2.5	Auswirkungen auf die Natur	20
2.5.1	Phänologie	20
2.5.2	Arealveränderung bei Insekten	22
2.5.3	Fließgewässerökologie	23
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>25</b>

# 1 Das Wichtigste in Kürze

Das Jahr 2022 hat in vielerlei Hinsicht klimatische Rekorde gebrochen: Mit durchschnittlich 10,6 °C war 2022 so warm wie kein anderes Jahr in Baden-Württemberg seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881. Damit wurde die Temperatur des internationalen Referenzzeitraums von 1961-1990 um 2,5 °C überschritten.

Auch die Sonne hat mit gut 2176 Stunden im Landesmittel so oft geschienen wie noch nie seit Messbeginn 1951. Dazu beigetragen haben vor allem der März und die Sommermonate Juni, Juli und August, die bislang die sonnenscheinreichsten in Baden-Württemberg waren. Alleine im März kamen fast 240 Sonnenscheinstunden und im Sommer noch einmal rund 895 Stunden zusammen.

Hitzerekordverdächtig war ebenso der Sommer 2022, blieb aber mit 21,7 Heißen Tagen gerechnet für das Flächenmittel Baden-Württembergs pro Jahr auf Platz drei hinter 2003 mit 26,6 und 2015 mit 25 Heißen Tage zurück. In 2022 gab es damit mehr als viermal so viele Tage über 30 °C wie im Zeitraum 1961-1990 (durchschnittlich 5 Heiße Tage pro Jahr) und doppelt so viele wie im jüngsten Klimavergleichszeitraum 1993-2022 (durchschnittlich 11 Heiße Tage pro Jahr), der bereits durch den Klimawandel geprägt ist. Fast den ganzen Sommer 2022 über lagen die Temperaturen über 25 °C, insgesamt wurden 72,6 Sommertage erreicht. Das sind mehr als doppelt so viele wie im Zeitraum 1961-1990 (durchschnittlich 31 Sommertage pro Jahr) und fast 30 Tage mehr als im Mittel in 1993-2022 (durchschnittlich 45 Sommertage pro Jahr).

Mit durchschnittlich 840 Millimeter Jahresniederschlag für Baden-Württemberg reiht sich 2022 im oberen Drittel der trockenen Jahre ein und ist dort auf Platz 33 von über 140 Jahren zu finden. Der Durchschnittwert von 1961-1990 mit 980 Millimeter wurde damit um 140 mm unterschritten. Zudem war die Verteilung der Niederschläge innerhalb des Jahres und der Monate sehr ungleichmäßig.

Fast alle Monate zeigen ein Defizit beim Niederschlag gegenüber den Mittelwerten der gleichen Monate im Zeitraum 1961-1990 auf. Ausgenommen davon sind der April, Oktober und September 2022, die eher zu nass waren. Besonders trocken waren der März, Mai und Juli 2022 mit 50

bis fast 70 Prozent weniger Niederschlag als im internationalen Vergleichszeitraum. Auch im Sommer (Juni, Juli, August) 2022 hat es sehr wenig geregnet. Er erreicht Platz 13 der trockensten Sommer seit 1881. Auf den trockenen Sommer folgte ein eher ungewöhnlich nass-kühler September, der mit 106 mm über 50 Prozent mehr Niederschlag brachte als im Durchschnitt der Zeiträume 1961-1990 und 1993-2022 (beide ca. 70 mm).

Aufgrund des geringen Niederschlags war 2022 erneut ein Jahr mit einer außergewöhnlichen Niedrigwassersituation. Zeitweise befanden sich mehr als 80 Prozent aller Kennwertpegel gleichzeitig im Niedrigwasser. Der Rheinpegel Maxau führte an 15 Prozent der Tage Niedrigwasser. Der Gemeingebrauch von Oberflächengewässern und die Schifffahrt mussten zeitweise eingeschränkt werden. Im Gegensatz dazu war 2022 hinsichtlich der Hochwasser ein ruhiges Jahr. Es war kein extremes Hochwasserereignis in Baden-Württemberg zu verzeichnen.

Im Bodensee führten außergewöhnlich niedrige sommerliche Wasserstände dazu, dass Flachwasserbereiche nur wenig Wasser hatten oder auch trockenfielen. Der Wasserstand des Bodensees lag im August zeitweise um fast einen Meter unter dem mittleren jahreszeitlichen Wert des Seespiegels. Niedrige Wasserstände sowie der heiße und sonnenreiche Sommer 2022 begünstigten eine stärkere Erwärmung der Flachwasserzone. Auffällig war die Bildung und Ablagerung großer Mengen an fädigen Algen in einigen größeren Flachwasserbereichen.

Nach den mittleren Grundwasserverhältnissen im Jahr 2021 zählt auch das Jahr 2022 insgesamt zu den eher durchschnittlichen Jahren seit Bestehen des amtlichen Grundwasserstandmessnetzes im Jahr 1913. Mit schwankenden Grundwasserständen im oberen Normalbereich in der ersten Jahreshälfte gefolgt von markanten Rückgängen mit Beginn des heißen Sommers bis auf ein niedriges Niveau im Herbst und Grundwasseranstiegen zum Jahresende wies der innerjährliche Verlauf der Grundwasserverhältnisse eine große Bandbreite auf.

Die Entwicklung der Pflanzen war 2022 geprägt durch einen milden Winter, einen kühl-nassen April und einen

trocken-heißen Mai sowie Sommer. Die Apfelblüte begann 17 Tage früher als im Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990; die Pflückreife zog sich jedoch bis Anfang August 2022. Der frühe Blühbeginn erhöht das Spätfrostisiko. Auch 2022 gab es wie bereits in den Vorjahren vor allem durch kurze, aber starke Frostphasen im April Schäden und in der Folge Ertragseinbußen. Bei den Pfirsichen und Aprikosen mussten in 2022 sogar Totalausfälle hingenommen werden. Damit sind bereits in fünf der vergangenen sechs Jahre Frostschäden zu beklagen.

Der Klimawandel wirkt sich auf Schmetterlinge und andere Insekten sehr unterschiedlich aus. Wärmeliebende Arten profitieren und können ihr Verbreitungsareal erweitern, während Arten kühl-feuchter Lebensräume nur noch in Hochlagen und weiter im Norden überleben können. Die Zusammensetzung der Insektengesellschaften befindet sich dadurch in einem stetigen Wandel. Deutlichen Einfluss auf die gesamte Insektenfauna zeigen insbesondere auch Extremereignisse, wie langanhaltende Hitzewellen in Kombination mit Dürren. Durch diese vertrocknen die Nahrungspflanzen, von denen viele Arten abhängig sind, was zu einem erheblichen Populationsrückgang führen

kann. Ein Beispiel dafür ist der Sommer 2022, in dem die Tagfalterbestände mit dem Einsetzen einer ausgeprägten Sommerdürre einen deutlichen Einbruch erlitten. Solche Ereignisse können im Extremfall zum Aussterben ohnehin schon gefährdeter Restvorkommen führen.

Seit Anfang der 1990er-Jahre sind die Ozonspitzenkonzentrationen zurückgegangen. In Jahren mit heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommern, wie 2003, 2015, 2018 bis 2020 und zuletzt 2022 wurden jedoch erhöhte Ozonkonzentrationen festgestellt. Im Vergleich zum Vorjahr 2021, in dem aufgrund des vor allem relativ kühlen und nassen Sommers die Belastung durch Ozon eher gering war, lagen die Ozonkonzentrationen im Jahr 2022 auf einem deutlich höheren Niveau.

Die Wassertemperatur und der Abfluss haben entscheidenden Einfluss auf die Lebensgemeinschaften in Fließgewässern. 2022 waren die mittleren sommerlichen Wassertemperaturen im Rhein bei Karlsruhe die dritthöchsten der letzten drei Jahrzehnte. Die Sauerstoffkonzentration im Neckar war unkritisch; der Wert von 4 mg/l wurde nicht unterschritten.

## 2 Ergebnisse

### 2.1 Temperatur

#### 2.1.1 Jahresmitteltemperatur

##### Kurz gesagt:

- Mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C für Baden-Württemberg war 2022 ein Rekordjahr und liegt 2,5 °C über dem Wert des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990.
- Bis auf den April und September waren alle Monate des Jahres 2022 deutlich zu warm. Der Februar, Mai, Juni, Juli, August, Oktober und November zählen sogar zu den Top Ten der wärmsten Monate. Der Oktober war überdies der wärmste seit 1881.

Mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C gemittelt über die Fläche Baden-Württembergs wurde für das Jahr 2022 erneut ein Rekord aufgestellt (vgl. Abbildung 2.1). Die bisherige Rekordmarke von 10,4 °C des Jahres 2018 wurde damit um weitere 0,2 °C gerissen. 2022 liegt damit 2,5 °C über dem Wert des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 mit 8,1 °C und 1,4 °C über dem Durchschnittswert von 1993-2022 mit 9,2 °C.

Endsprechend dieser extremen Jahresdurchschnittstemperatur ist es nicht verwunderlich, dass fast alle Monate deutlich zu warm waren. Lediglich der April und Septem-

ber 2022 waren nur durchschnittlich warm und liegen mit 7,9 °C bzw. 13,3 °C im Bereich des Mittelwertes für den Zeitraums 1961-1990 (7,4 °C bzw. 13,3 °C). Der Februar, Mai, Juni, Juli, August, Oktober und November zählen hingegen zu den Top Ten der wärmsten Monate. Besonders warm waren der Sommer 2022 (Monate Juni, Juli, August) und Herbst 2022 (Monate September, Oktober, November), die beide im Vergleich des Gesamtzeitraums Platz zwei seit Messbeginn belegen. Dazu beigetragen haben vor allem der Juni und August mit 18,8 °C bzw. 20,2 °C. Der Juni 2022 war damit 3,7 °C und der August 2022 3,9 °C wärmer als im Durchschnitt im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990. Der Oktober 2022 war mit einer Monatsmitteltemperatur von 12,9 °C sogar der wärmste seit 1881 und liegt damit 4,2 °C über dem Durchschnittswert von 1961-1990.

Sehr unausgeglichen waren hingegen die Temperaturen im Dezember 2022. Bis etwa Mitte Dezember war es sehr frostreich und es wurden Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt erreicht. So fiel das Thermometer an der Station Leutkirch-Herlazhofen im Südosten Baden-Württembergs am 12. Dezember 2022 auf ein Minimum von -18,7 °C. Ab Mitte und vor allem zum Ende des Dezembers war es hingegen außergewöhnlich warm. Am Silvestertag konn-

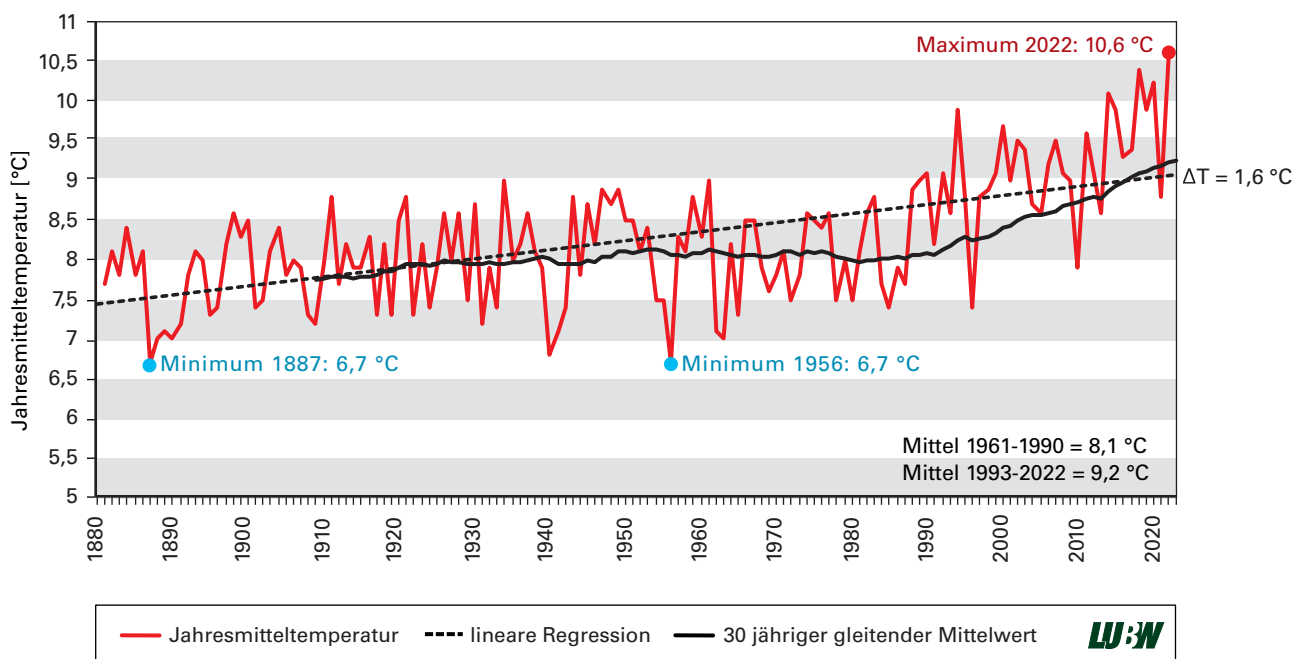


Abbildung 2.1: Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1881). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes.



te sogar eine Rekordwärme aufgestellt werden. So wurde in Freiburg beispielsweise eine Maximumtemperatur von 20,5 °C gemessen; also fast ein Sommertag. Ähnlich wurden auch in Müllheim und Ohlsbach im Rheintal 20,3 °C registriert. Im nördlichen Oberrheingraben konnte die Marke von 20 Grad Celsius zwar nicht geknackt werden, dennoch war es außergewöhnlich warm. So beispielsweise in Mannheim mit 18,6 °C. Sogar in der Höhe, auf dem Feldberg im Schwarzwald, waren es milde 10,8 °C. An der Klimastation Leutkirch-Herlazhofen, die in der ersten Dezemberhälfte die tiefsten Temperaturen aufwies, wurden am Silvestertag maximal 14,8 °C gemessen. Die Differenz von 33,5 °C zwischen der Minimumtemperatur von -18,7 °C am 12. und der Maximumtemperatur von 14,8 °C am 31. Dezember an dieser Station zeigt beispielhaft wie gegensätzlich die Temperaturen im Dezember waren. Für das Wohlbefinden von sensiblen Bevölkerungsgruppen, aber auch für die Natur, kann eine solch hohe Temperaturdifferenz innerhalb von nur gut zwei Wochen durchaus problematisch sein.

Seit mehr als 140 Jahren unterliegt die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg trotz jährlicher Schwankungen einer kontinuierlichen und seit den 1990er-Jahren verstärkten Zunahme. Bis Ende 2022 ist sie über diesen langen Zeitraum betrachtet bereits um 1,6 °C angestiegen. Aufgrund des Rekordwert von 2022 erhöht sich der lineare Anstieg damit um weitere 0,1 °C im Vergleich zur letzten Betrachtung des Zeitraums bis 2021. Seit der Jahrtausendwende ist das Temperaturniveau besonders hoch. Dies zeigt sich beispielsweise dadurch, dass fast in jedem Jahr ab 2000 die Temperaturrekorde in Folge gebrochen wurden. So zählen 17 Jahre aus diesem Zeitraum zu den 20 wärmsten Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen, die alle eine Jahresmitteltemperatur von über 9 °C aufweisen. Die Rekordjahre 2014, 2020, 2018 und 2022 erreichten sogar durchschnittliche Temperaturen von über 10 °C.

Im Vergleich zum aktuellen Klimazeitraum 1993-2022 liegt die Mitteltemperatur um 1,1 °C höher als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990 mit 8,1 °C. Dies ist ein rapider Anstieg in klimatisch gesehen sehr kurzer Zeit.

## 2.1.2 Sonnenscheindauer

### Kurz gesagt:

- Mit über 2176 Stunden im Landesmittel hat die Sonne im Jahr 2022 in Baden-Württemberg so oft geschienen wie noch nie seit dem Messbeginn 1951.
- Besonders sonnig war es im Frühling und Sommer 2022: Das Frühjahr war mit gut 697 Sonnenstunden das drittsonnigste, der Sommer mit knapp 895 Stunden sogar der sonnigste seit Beginn der Messung.
- Die vermeintlich dunkle Jahreszeit wurde ihrem Namen nicht gerecht: Der Winter 2022 erreichte mit über 228 Sonnenscheinstunden Platz sieben der sonnigsten Winter.

Die Sonne schien in Baden-Württemberg 2022 mit über 2176 Stunden so oft wie noch nie seit Beginn der Messung 1951. Es wurden fast 560 Sonnenscheinstunden mehr erreicht als im internationalen Vergleichszeitraum 1961-1990, in dem es durchschnittlich im Land 1607 Sonnenscheinstunden pro Jahr gab. 2022 schlägt damit das bisherige Rekordjahr 2003 mit durchschnittlich 2108 Sonnenstunden deutlich (vgl. Abbildung 2.2). Ungeachtet der jährlich starken Schwankungen ist die Sonnenscheindauer in Baden-Württemberg seit Beginn der Messungen 1951 durch den Deutschen Wetterdienst bis 2022 kontinuierlich um über 190 Stunden angestiegen. Das entspricht einem Plus von über elf Prozent.

Positive Auswirkungen hat dies auf die Stromgewinnung durch Photovoltaikanlagen, die entsprechend mehr Ertrag erzielen können als in der Vergangenheit.

Besonders sonnig war es im Frühling und Sommer 2022. So wurden im Frühjahr gut 697 Sonnenstunden erreicht. Es war damit im Vergleich der drittsonnigste Frühling. Von den drei Frühlingsmonaten März, April und Mai hebt sich vor allem der März ab, der mit knapp 240 Sonnenscheinstunden und damit fast doppelt so vielen Stunden wie im Zeitraum 1961-1990 (122 Sonnenscheinstunden) einen neuen Rekord aufstellte. Im Sommer 2022 ging es ebenso sonnig weiter. Der Durchschnitt der Sommermonate Juni, Juli und August 2022 war mit knapp 895 Stunden sogar der höchste seit 1951. Mit gut 258 Stunden mehr schien die Sonne über 40 Prozent häufiger als im internationalen Vergleichszeitraum (258 Stunden). Für diesen Rekordsommer sorgten insbesondere die sehr sonnigen Monate Juli und

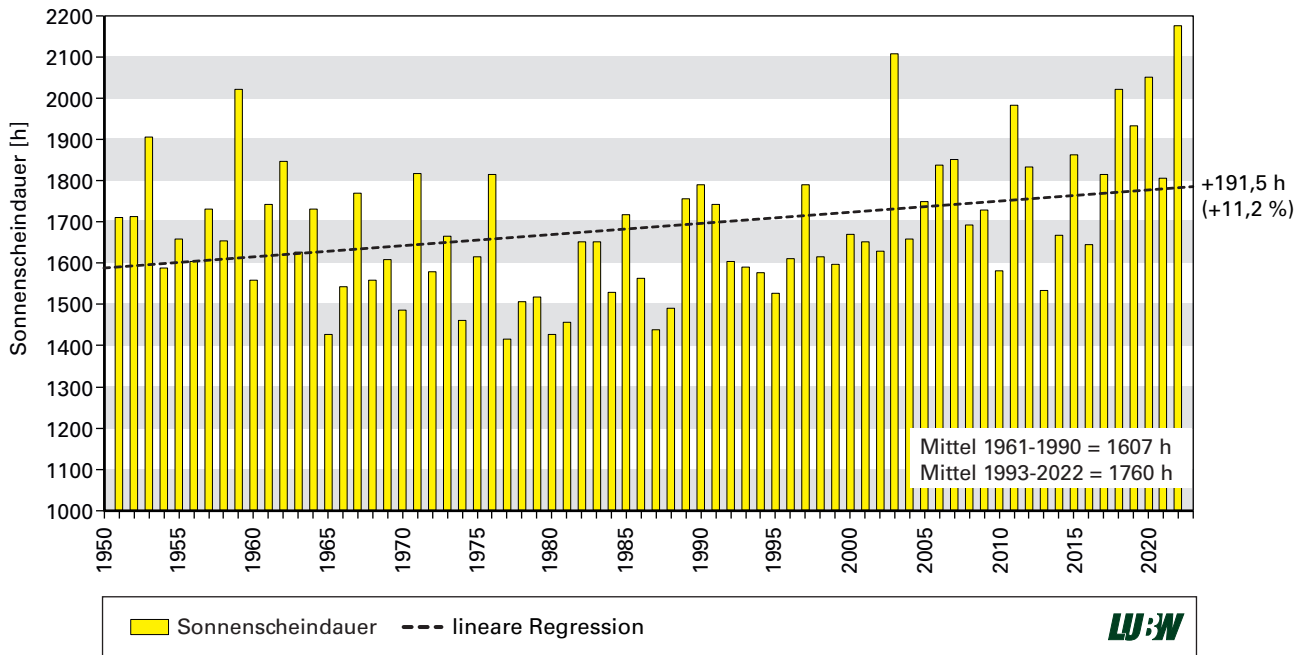


Abbildung 2.2: Sonnenscheinstunden in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes.

August, die beide mit 324 bzw. 292 Sonnenscheinstunden Platz zwei in der Rangliste erreichen.

Die Herbstmonate September, Oktober und November brachten mit durchschnittlich 356 Stunden zwar knapp zwölf Sonnenscheinstunden mehr ein als im Zeitraum 1961-1990, reihten sich aber nur auf Platz 29 der sonnigsten Herbstmonate ein.

Die vermeintlich dunkle Jahreszeit wurde ihrem Namen nicht gerecht, denn der Winter 2022 erreichte mit über 228 Sonnenscheinstunden Platz sieben der sonnigsten Winter. In den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar 2022 wurden damit fast 60 Stunden bzw. über 30 Prozent mehr Sonne erzielt als im Mittel 1961-1990 (169 Stunden).

### 2.1.3 Heiße Tage und Sommertage

#### Kurz gesagt:

- 2022 war wieder ein sehr heißes Jahr. Gemittelt über das Land wurden an knapp 22 Tagen 30 °C oder mehr erreicht. Das Jahr liegt damit auf Platz drei der heißesten Jahre nach 2015 (25 Heiße Tage) und 2003 (27 Heiße Tage).
- Hitzewellen mit unterschiedlicher Ausprägung konnten mehrfach im Juni, Juli und August registriert werden. Bereits im Mai 2022 kletterte das Thermometer vereinzelt über 30 °C.

- Mit fast 73 Sommertagen liegt 2022 auf Platz zwei der Jahre mit den meisten Sommertagen pro Jahr hinter 2003 und 2018, die sich mit knapp 80 Sommertagen den ersten Platz teilen.

2022 war nicht nur ein Jahr mit Rekordwärme, es reiht sich auch hinsichtlich der Hitze ganz weit oben ein. Mit fast 22 Heißen Tagen gemittelt für Baden-Württemberg ist es das drittheiße Jahr seit 1951 nach 2003 mit 27 und 2015 mit 25 Heißen Tagen (vgl. Abbildung 2.3). Damit waren in 2022 doppelt so viele Heiße Tage zu verzeichnen wie im jüngsten Klimazeitraum 1993-2022, in dem die Temperatur an durchschnittlich 11 Tagen pro Jahr 30 °C oder mehr erreichte. Im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990, in dem durchschnittlich 5 Heiße Tage pro Jahr erreicht wurden, war dies sogar mehr als das Vierfache.

Regional gab es deutliche Unterschiede in der Ausprägung und Anzahl der Heißen Tage. An der Station Waghäusel-Kirrlach (Landkreis Karlsruhe) wurden 50 Heiße Tage in 2022 verzeichnet, in Freiburg 39 Tage, in Mannheim 38 Tage und in Konstanz am Bodensee 19 Heiße Tage. Höher gelegene Stationen wie Villingen-Schwenningen oder Freudenstadt verzeichneten mit 15 bzw. 9 Heißen Tagen deutlich weniger.

Hitzerekorde wurden im Jahr 2022 zwar nicht gebrochen, dennoch wurden an einigen Messstationen deutlich mehr

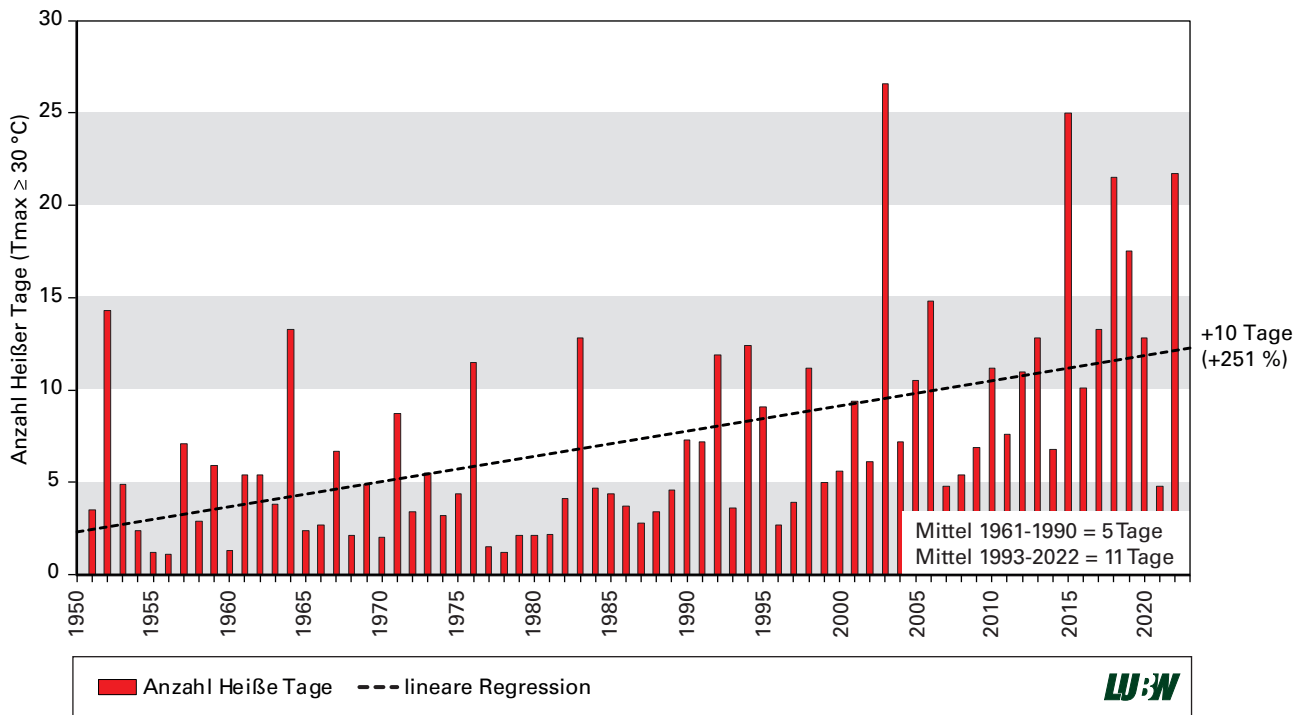


Abbildung 2.3: Anzahl Heiße Tage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes.

als 30 °C erreicht. So beispielsweise an der Station Waghäusel-Kirrlach, an der laut DWD am 4. August 2022 eine Maximaltemperatur von 39.1 °C erreicht wurde.

In 2022 wurden zudem einige zusammenhängende bzw. aufeinander folgende Heiße Tage registriert. Bereits am 19. und 20. Mai verzeichneten zahlreiche DWD-Stationen im Land Tagesmaximumtemperaturen über 30 °C. Im Juni baute sich eine Hitzeperiode zwischen dem 16. und 19. Juni auf, im Juli zwischen dem 18. und 20. Juli und im August insbesondere zwischen dem 3. und 5. August. Auch am 5. und 6. September zeigten einige der Stationen noch über 30 °C an, danach folgte kein Heißer Tag mehr.

Länger andauernde Hitzeperioden gab es beispielsweise an der DWD-Station Müllheim im Markgräflerland. Dort fielen die Tagesmaximumtemperaturen zwischen dem 17. und 25. Juli für 9 Tage nicht unter 30 °C. In Ohlsbach im Ortenaukreis zeigte sich eine vergleichbare Hitzeperiode mit einer Dauer von 8 Tagen zwischen dem 7. und 14. August 2022. Auch schon im Juni konnten siebentägige durchgehende Perioden Heißer Tage in Freiburg und Müllheim registriert werden.

Hitzewellen und Heiße Tage im Frühjahr oder zu Beginn des Sommers, also im Mai und Anfang Juni, können aus gesundheitsphysiologischer Sicht extreme Belastungen für

empfindliche Bevölkerungsgruppen, wie ältere, kranke Personen oder Kleinkinder, mit sich bringen. Der menschliche Organismus ist dann häufig kurzfristig hohen Temperaturen ausgesetzt, hat sich aber noch nicht an sommerliche Temperaturen akklimatisiert. Am 19. Juni warnte der DWD daher z.B. im Landkreis Lörrach und im Ortenaukreis „vor extremer Wärmebelastung mit gefühlten Temperaturen über 38 °C“.

Die Anzahl der Sommertage ist mit rund 73 im Jahr 2022 ebenfalls sehr hoch. 2022 erzielt damit Platz zwei und weit mehr als doppelt so viele Sommertage als im Mittel des internationalen Vergleichszeitraums 1961-1990 (31 Sommertage pro Jahr). Im Vergleich zum jüngsten Klimazeitraum 1993-2022, in dem das Thermometer durchschnittlich an 46 Tagen pro Jahr 25 °C oder mehr erreichte, hat 2022 etwa 27 Sommertage mehr aufzuweisen. Die meisten Sommertage in Baden-Württemberg gab es bisher in den Jahren 2003 und 2018, die sich mit knapp 80 Sommertagen den ersten Platz teilen (vgl. Abbildung 2.4).

Mit Blick auf die langfristige, klimatische Entwicklung zeigt sich ähnlich wie bei der Jahresmitteltemperatur auch hinsichtlich der Anzahl Heißer Tage und Sommertage ein deutlicher Anstieg in Baden-Württemberg (vgl. Abbildung 2.3 und 2.4). Die Heißen Tage haben sich in den letzten 30 Jahren (1993-2022) im Vergleich zum internationalen Vergleichszeitraum (1961-1990) von durchschnittlich knapp 5 auf über 11 Tage pro

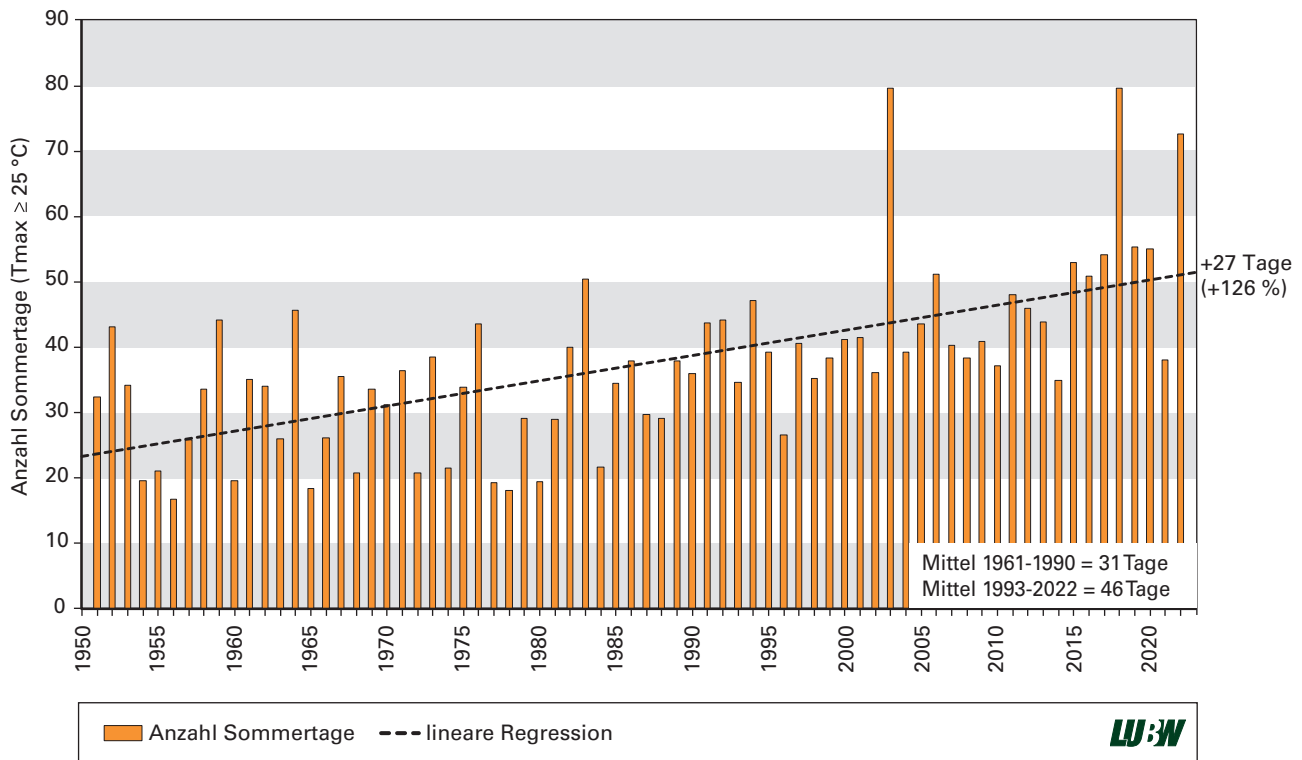


Abbildung 2.4: Anzahl Sommertage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes.

Jahr mehr als verdoppelt. Auch die Sommertage sind deutlich von 31 auf über 46 Tage im Mittel pro Jahr angestiegen.

## 2.2 Niederschlag

### Kurz gesagt:

- 2022 war ein sehr trockenes Jahr: Bis auf den April, September und Oktober waren alle Monate trockener als im Mittel im Zeitraum 1961-1990.
- Im Sommer (Juni, Juli, August) 2022 hat es besonders wenig geregnet (13. trockenster seit 1881). Im Juli lag das Defizit gegenüber der Niederschlagssumme 1961-1990 bei knapp -67 %. Er ist damit der 5. trockenste Juli seit Beginn der Messung.

Mit durchschnittlich 840 Millimeter Jahresniederschlag für Baden-Württemberg ist 2022 erneut ein trockenes Jahr. Damit kamen 2022 in der Summe 140 Millimeter bzw. über 14 Prozent weniger Niederschlag zusammen als im Durchschnitt 1961-1990 (980 mm).

Das Jahr startete bereits im Januar mit über 18 Prozent weniger Niederschlag als im Zeitraum 1961-1990 und blieb bis April erst einmal überdurchschnittlich trocken (vgl. Abbildung 2.5). Der April sorgte nur kurz für etwas nassere Verhältnisse. Der Mai war sowohl außergewöhnlich warm und sonnig als auch überaus trocken. Mit nur knapp 50

Millimeter Niederschlag schlug er mit einem Defizit von fast 50 Prozent im Vergleich zu 1961-1990 zu Buche und erreicht damit Platz 15 der trockensten Maimonate seit 1881.

Die Trockenheit reichte bis zum September und war im Juli mit einem Minus von fast 67 Prozent gegenüber dem internationalen Vergleichszeitraum besonders hoch. Der Juli 2022 war mit lediglich 30 Millimeter Niederschlag damit der fünftrockenste seit Beginn der Messungen. Auch insgesamt war der Sommer 2022 (Monate Juni, Juli und August) rekordverdächtig trocken. Mit gerade einmal gut 200 Millimeter Niederschlag und einem Minus von über 30 Prozent bzw. 90 Millimetern im Vergleich zu 1961-1990 landete er auf Platz 13 der trockensten Sommer.

Erst durch den regenreichen September und Oktober wurde die lange Dürreperiode unterbrochen. Im November und Dezember regnete es hingegen wieder weniger als im Durchschnitt 1961-1990.

## 2.3 Wasserhaushalt

### 2.3.1 Fließgewässer

#### Kurz gesagt:

- 2022 war erneut ein Jahr mit einer außergewöhnlichen Niedrigwassersituation. Zeitweise befanden sich mehr als 80 % aller Kennwertpegel gleichzeitig im Niedrig-

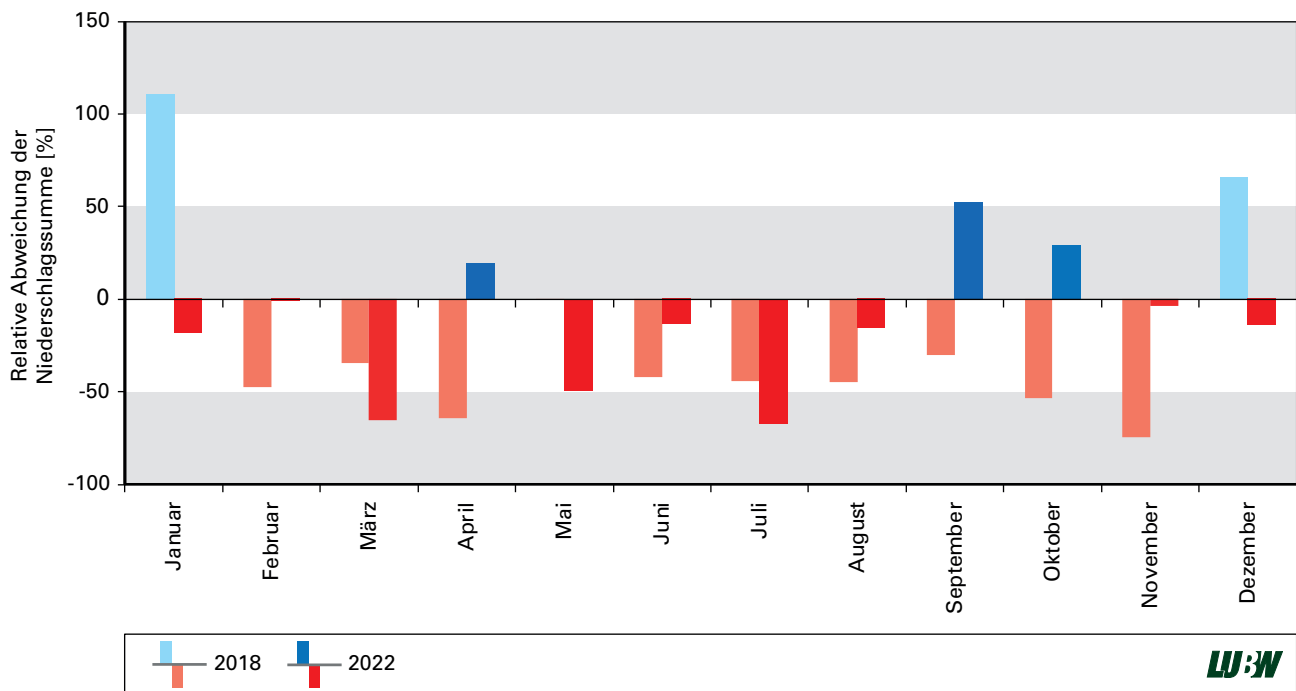


Abbildung 2.5: Relative Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme für die Jahre 2018 (jeweils linker Balken) und 2022 (jeweils rechter Balken) vom Mittel 1961-1990 in Prozent. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

wasser. Der Rheinpegel Maxau führte an 15 % der Tage Niedrigwasser.

- Der Gemeindegebrauch von Oberflächengewässern und die Schifffahrt mussten zeitweise eingeschränkt werden.
- In Bezug auf Hochwasser war 2022 ein ruhiges Jahr. Es war kein extremes Hochwasserereignis in Baden-Württemberg zu verzeichnen.

Die Fließgewässer in Baden-Württemberg waren im Jahr 2022 insgesamt geprägt von unterdurchschnittlichen Wassermengen (Abflüssen). Im Sommer waren die Fließge-

wässer nahezu landesweit von Niedrigwasser betroffen. Ursache war die niederschlagsarme Witterung im Frühling und Sommer in Kombination mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen (siehe Kapitel 1.1.1 und 1.2). Am Rhein hat die unterdurchschnittliche winterliche Schneerücklage im alpinen Einzugsgebiet zusätzlich zum Niedrigwasser beigetragen. Diese war im Jahr 2022 besonders früh abgeschmolzen.

Der Abfluss am Pegel Maxau-Rhein war im Jahr 2022 an 317 Tagen niedriger als im Mittel der letzten 42 Jahre am je-

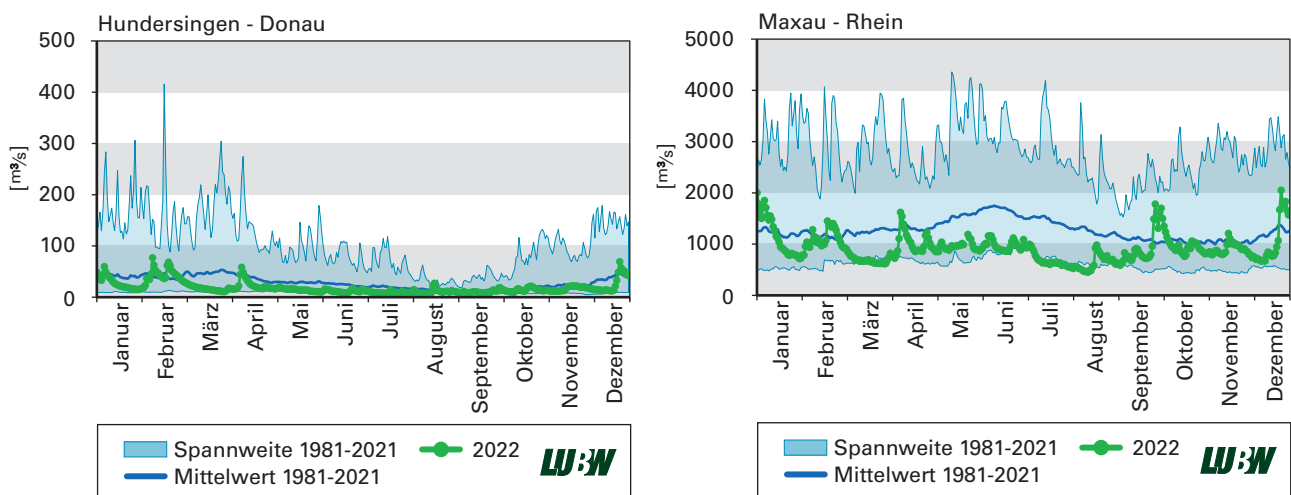


Abbildung 2.6: Tagesmittelwerte des Abflusses für das Jahr 2022 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) an den Pegeln Maxau-Rhein und Hundersingen-Donau. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1981. Die Spannweite gibt den minimalen bzw. maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle Maxau: WSA Oberrhein. Betreiber der Messstelle Hundersingen: RP Tübingen.

weiligen Kalendertag (vgl. Abbildung 2.6). An 65 Tagen im Jahr 2022 wurden sogar neue minimale Rekordabflüsse für den jeweiligen Tag bezogen auf den Zeitraum 1981 bis 2022 erreicht. Große negative Abweichungen vom mittleren jahreszeitlichen Verlauf zeigten sich insbesondere im März und von Anfang Juli bis Mitte August. An 55 Tagen wurde der Niedrigwasserkennwert „Mittleres Niedrigwasser“ unterschritten. Der minimale Abfluss im Jahr 2022 wurde am 15. August mit  $434 \text{ m}^3/\text{s}$  gemessen. Noch niedrigere Abflüsse wurden am Pegel Maxau in den letzten 42 Jahren nur vereinzelt verzeichnet, dann jedoch nicht schon Mitte August, sondern erst im Herbst oder Winter; beispielsweise im September 2003, Februar 2006 sowie im November 2018. Infolge der außerordentlich niedrigen sommerlichen Rheinwasserstände war die Schifffahrt auf dem Rhein erheblich eingeschränkt.

An der baden-württembergischen Donau war die Situation vergleichbar zur Situation am Oberrhein. Der Abfluss am Pegel Hundersingen-Donau lag an 320 Tagen niedriger als im Mittel der letzten 42 Jahre am jeweiligen Kalendertag (vgl. Abbildung 2.6). An 33 Tagen wurde der Niedrigwasserkennwert „Mittleres Niedrigwasser“ unterschritten. Mit zeitweise  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  floss nur noch sehr wenig Wasser in der Donau. Zum Vergleich: Der langjährige mittlere Abfluss am Pegel Hundersingen-Donau beträgt  $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$  (Quelle: LUBW, Regionalisierung von Mittel- und Niedrigwasserabflüssen, Stand: 01.03.2016).

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

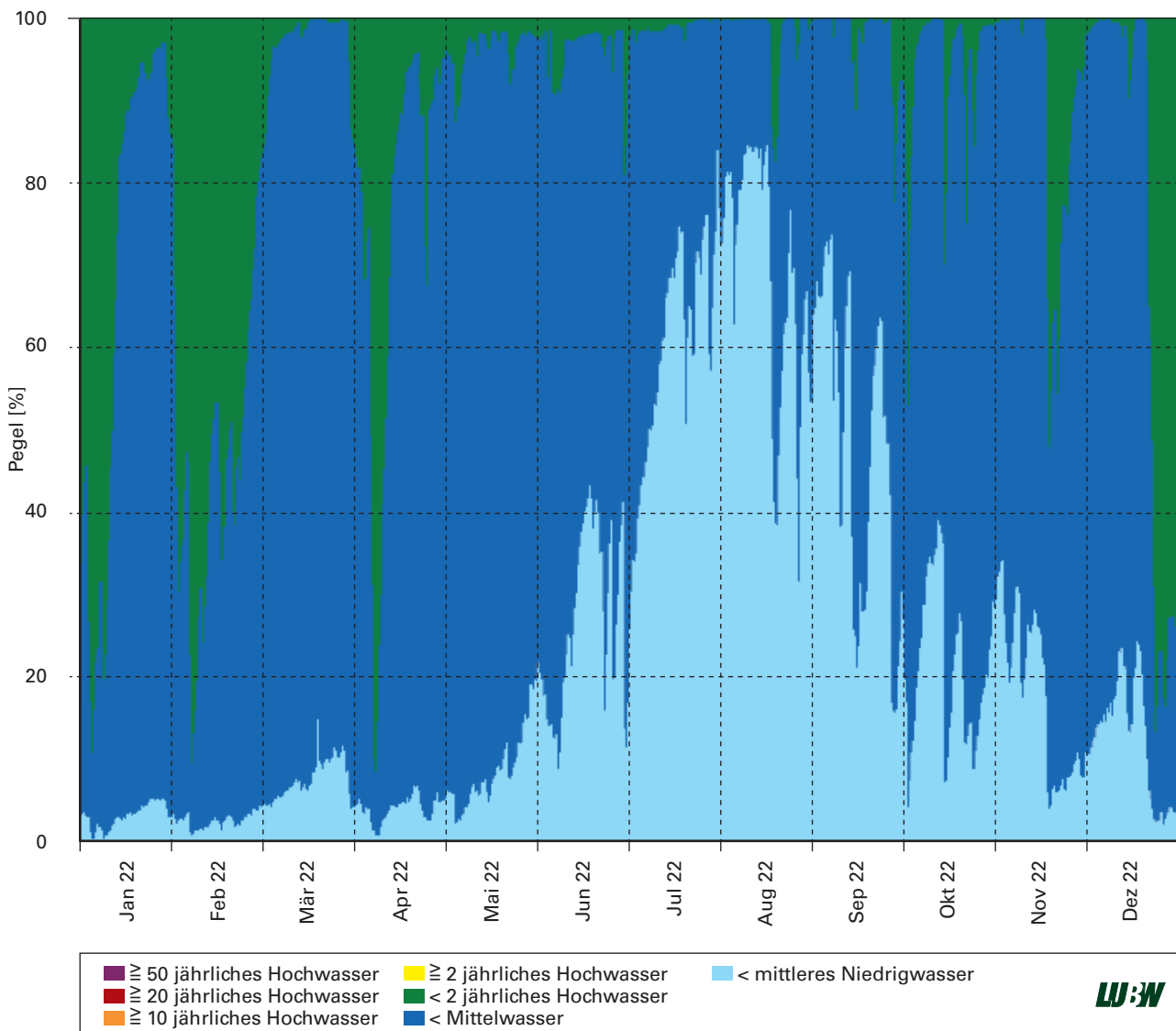


Abbildung 2.7: Anteil der Kennwertpegel in Baden-Württemberg, die im Wasserstand oder im Abfluss einen bestimmten Kennwert über- bzw. unterschreiten. Grafik basiert auf ungeprüften Rohdaten. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW.

an den Pegeln Plochingen und Lauffen wurden zeitweise unterschritten.

Informationen zum Wasserstand des Bodensees sind in Kapitel 1.3.2 zu finden.

Zusammenfassend für Baden-Württemberg zeigt Abbildung 2.7 die hydrologische Gesamtsituation der Oberflächengewässer im Jahr 2022. Dargestellt ist der prozentuale Anteil an Kennwertpegeln, die einen bestimmten Schwellenwert über- bzw. unterschreiten. Von Januar bis Mai liegen nur an vereinzelt Kennwertpegeln die Wasserstände bzw. Abflüsse unterhalb des niedrigsten Wertes in einem durchschnittlichen Jahr, d. h. unter dem Niedrigwasserkennwert „Mittleres Niedrigwasser“ (hellblaue Flächenanteile). Ab Juni, und damit jahreszeitlich betrachtet ungewöhnlich früh, nimmt die Zahl dieser Pegel stetig zu und umfasst Ende Juli bis Anfang August rund 80 % der Kennwertpegel. Im Gegensatz zum Niedrigwasserjahr 2018 entspannte sich die Situation jedoch gegen Ende September 2022, der eher ein nasser Monat war.

In Bezug auf Hochwasser war 2022 ein ruhiges Jahr (gelbe, orange, rote und pinke Flächenanteile in Abbildung 2.7). Es war kein extremes Hochwasserereignis in Baden-Württemberg zu verzeichnen. Vielmehr herrschten über lange Zeiträume und große Landesteile hinweg unterdurchschnittliche Abflussverhältnisse (dunkelblaue Flächenanteile).

Während der Niedrigwasserlage musste der Gemeindegebrauch, d.h. die Entnahme von Wasser, an zahlreichen Gewässern eingeschränkt werden. Die Hochwasservorhersagezentrale Baden- Württemberg befand sich 2022 an insgesamt 76 Tagen im Niedrigwasserbetrieb und veröffentlichte regelmäßig Niedrigwasservorhersagen für über 100 Pegel sowie Niedrigwasserberichte unter [www.hvz.baden-wuerttemberg.de](http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de).

Zusammen mit dem Jahr 2022 waren damit in drei der vergangenen fünf Jahre außergewöhnliche Niedrigwassersituationen zu verzeichnen (2018, 2020 und 2022). Eine solche Häufung von Niedrigwasserjahren ist bemerkenswert. Aufgrund der Klimaänderung ist zukünftig damit zu rechnen, dass sich landesweit bedeutende Niedrigwasser häufiger als bisher entwickeln und damit auch Niedrigwasserlagen, wie sie in 2022 aufgetreten sind.

### 2.3.2 Bodensee

- Im Bodensee führten außergewöhnlich niedrige sommerlichen Wasserstände dazu, dass Flachwasserbereiche nur wenig Wasser hatten oder auch trockenfielen.
- Der Wasserstand des Bodensees lag im August zeitweise um fast einen Meter unter dem mittleren jahreszeitlichen Wert des Seespiegels.
- Niedrige Wasserstände sowie der heiße und sonnenreiche Sommer begünstigten eine stärkere Erwärmung der Flachwasserzone. Auffällig war die Bildung und Ablagerung großer Mengen an fädigen Algen in einigen größeren Flachwasserbereichen.

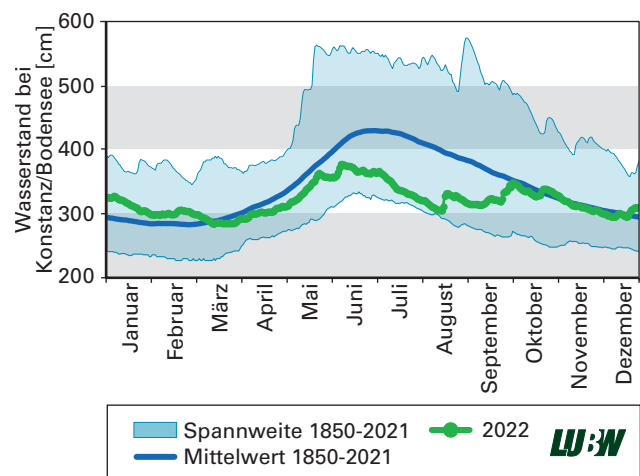


Abbildung 2.8: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2022 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/ maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle: RP Freiburg.

Der Wasserstand des Bodensees war im Jahr 2022 bis etwa Ende Mai relativ unauffällig: Er begann im Januar noch leicht über dem langjährigen Durchschnitt (1850 bis 2021) und lag ab Mitte März geringfügig darunter. Ab Juni bildete sich jedoch ein deutlich unterdurchschnittlicher Wasserstand aus, der sich bis Mitte August weiter ausprägte und dann nur noch knapp über dem langjährigen saisonalen Minimum lag. Am 14. August lag der Wasserstand des Bodensees um 96 Zentimeter unter dem mittleren Wert des Seespiegels für diese Jahreszeit (Bezugszeitraum 1850 bis 2021). Von Mitte August bis Anfang Oktober kam es wieder zur Annäherung an den mittleren Verlauf. Ursachen für den bereits im Juni beendeten Anstieg des Wasserstandes und den nachfolgenden Rückgang waren insbesondere das ungewöhnlich niederschlagsarme sowie warme Frühjahr und die damit verbundene jahreszeitlich sehr früh-



Abbildung 2.9: In den ausgedehnten Flachwasserzonen vor den Zuflüssen Schussen und Rotach bildeten sich im Sommer 2022 fädige Algen, die sich über große Bereiche ablagerten. Bild: Dr. Bernd Wahl/LUBW

zeitige Schneeschmelze im alpinen Einzugsgebiet. Dies führte dazu, dass der im Sommer übliche Nachschub von Schmelzwasser in den Bodensee fehlte.

Die extrem niedrigen Wasserstände im Sommer führten dazu, dass Flachwasserzonen gegenüber gewöhnlichen Jahren nur wenig mit Wasser bedeckt waren oder ganz trockenfielen. Zusammen mit überdurchschnittlich hohen sommerlichen Lufttemperaturen und viel Sonnenschein führte dies besonders in den Flachwasserbereichen zu ausgesprochen hohen Wassertemperaturen. Für die Schifffahrt waren die niedrigen Wasserstände teilweise problematisch und verwehrten mitunter die Zufahrt zu Landstellen. In den ausgedehnten Flachwasserzonen vor den Zuflüssen Schussen und Rotach bildeten sich in dieser Zeit fädige Algen und lagerten sich über große Bereiche ab. Die Zersetzung dieser Algen führte zur Geruchsbelästigung für die Anwohner und Anwohnerinnen sowie Besucher und Besucherinnen.

### 2.3.3 Grundwasser

#### Kurz gesagt:

- Nach den mittleren Grundwasserverhältnissen im Jahr 2021 zählt auch das Jahr 2022 insgesamt zu den eher durchschnittlichen Jahren seit Bestehen des amtlichen Grundwasserstandmessnetzes im Jahr 1913.

- Mit schwankenden Grundwasserständen im oberen Normalbereich in der ersten Jahreshälfte gefolgt von markanten Rückgängen mit Beginn des heißen Sommers bis auf ein niedriges Niveau im Herbst wies der innerjährliche Verlauf der Grundwasserverhältnisse eine große Bandbreite auf.
- Der nasse September hat für eine frühzeitige Erholung der Bodenfeuchte gesorgt, eine gute Ausgangssituation für das Neubildungsgeschehen geschaffen und damit die landesweit flächigen Grundwasseranstiege auf überwiegend mittleres Niveau mit steigender Tendenz zum Jahresende ermöglicht.

Das Jahr 2022 war insgesamt trocken, wobei die eher nassen Monate April und September die Niederschlagsdefizite im März, Mai und Juli teilweise ausgleichen konnten (vgl. Kapitel 1.2).

Nach einem sehr trockenen Start in das hydrologische Winterhalbjahr (Monate November bis April) 2021/22 haben die Niederschläge von Dezember 2021 zum Jahreswechsel 2021/22 eine signifikante Erholung des Bodenwasserspeichers und zeitverzögerte Sickerungen zum Jahresbeginn 2022 bewirkt. Der Neubildungsprozess wurde trotz der hohen Bodenfeuchte durch einen sehr trockenen März vorübergehend unterbrochen, bevor der überdurchschnittliche



Aprilniederschlag nochmals kurzzeitig zu einer Sickerwasserbildung geführt hat. Diese wechselhaften Verhältnisse haben sich bei den Grundwasserständen in Festgesteinsbereichen und in Gewässernähe durchgepaust. An den wetterfühligem Quellschüttungen hat sich dies deutlich anhand starker Monatsschwankungen gezeigt. In mächtigen Lockergesteinsbereichen, insbesondere im südlichen Oberrheingraben, aber auch im Hochrheingebiet und in Teilen des Bodenseeraums, kamen diese Effekte der Witterung auf das Grundwasser – wenn überhaupt – nur sehr gedämpft zum Ausdruck.

Die Grundwasserneubildung ist im anschließenden heißen und trockenen Sommer abgeklungen und die Grundwasserhältnisse waren bis zum Frühherbst landesweit stark rückläufig. Bereichsweise fielen sie bis in den unteren Normalbereich und darunter. Der sehr nasse September 2022 hat zunächst wieder außergewöhnliche Anstiege der Bodenfeuchte verursacht: So wurde am Lysimeterstandort Büchig das Maximum seit Beginn der Aufzeichnung im Jahr 1993 registriert und dadurch eine vielversprechende Ausgangssituation für die Grundwasserneubildung im letzten Quartal von 2022 geschaffen. Die Grundwasserstände

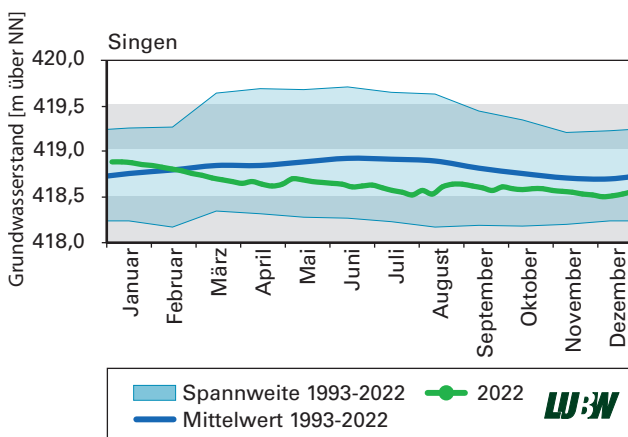
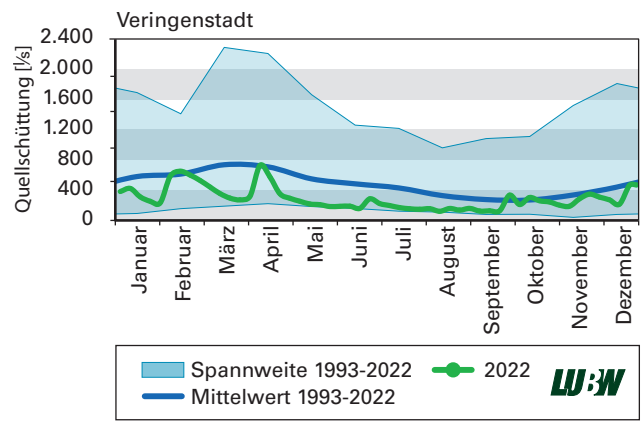
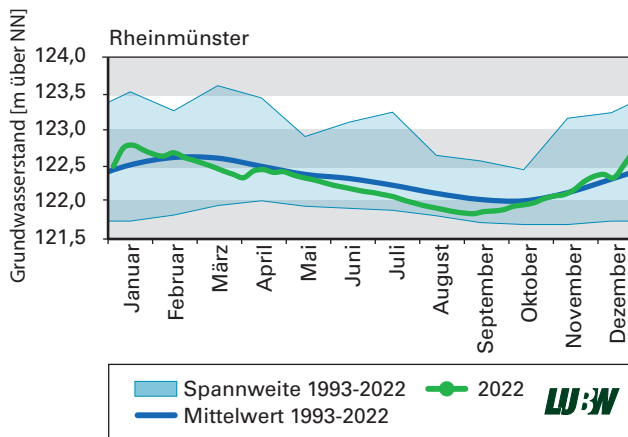
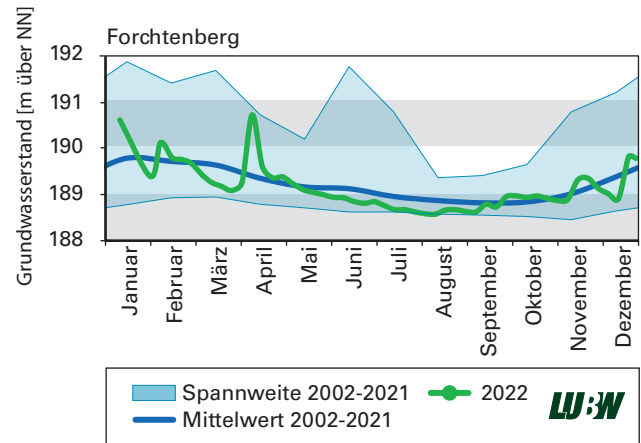
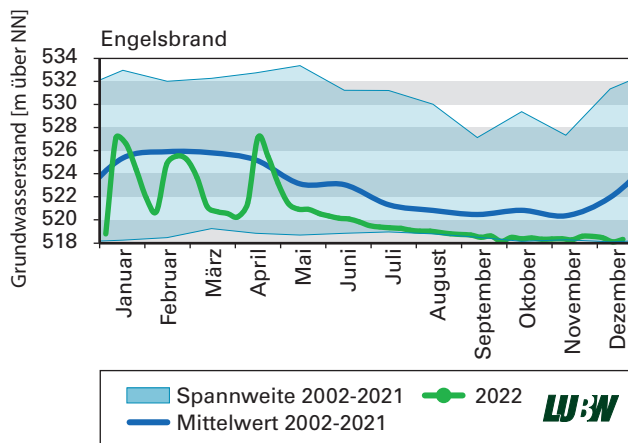


Abbildung 2.10: Jahresgang 2022 der Grundwasserstände in Metern über Normalnull (grüne Linie) vor langjährigem Hintergrund (hellblaue Fläche) für die Standorte Engelsbrand (Nordschwarzwald), Forchtenberg (Hohenlohe), Rheinmünster (Oberrheingraben) und Singen (Bodensee) sowie Jahresgang 2022 der Quellschüttung in Litern pro Sekunde (grüne Linie) vor langjährigem Hintergrund (hellblaue Fläche) für den Standort Veringenstadt (Schwäbische Alb). Die blaue Linie zeigt jeweils den Mittelwert im jeweiligen Analysezeitraum. Die Spannweite gibt den minimalen bzw. maximalen Messwert im Analysezeitraum an. Datenquelle: LUBW.

und Quellschüttungen haben sich dank einsetzender Neubildung infolge durchschnittlicher Niederschläge stabilisiert und bewegten sich zum Jahresende in den meisten Landesteilen auf etwa mittlerem Niveau mit steigender Tendenz.

## 2.4 Ozon

### Kurz gesagt:

- Die Ozonspitzenkonzentrationen gehen seit Anfang der 1990er-Jahre zurück.
- In Jahren mit heißen, trockenen und strahlungsintensiven Sommern, wie 2003, 2015, 2018 bis 2020 und nun zuletzt auch 2022 sind die Ozonkonzentrationen jedoch erhöht.
- Im Jahr 2022 lagen die Ozonkonzentrationen auf einem deutlich höheren Niveau als im Jahr 2021, in dem aufgrund des vor allem relativ kühlen und nassen Sommers die Belastung durch Ozon vergleichsweise gering war.
- Die sehr warmen und zum Teil heißen und trockenen Sommermonate führten zu einer fast flächendeckenden Überschreitung des langfristigen Zielwertes.

Seit Anfang der 1990er-Jahre ist ein Rückgang der Immissionsbelastung durch Ozon sowohl bei den Messstationen im städtischen als auch im ländlichen Hintergrund festzustellen.

len, der sich insbesondere bei den Ozonspitzenkonzentrationen zeigt (vgl. Abbildung 2.11 und 2.12). Ursache sind die rückläufigen Konzentrationen der Ozonvorläufersubstanzen Stickstoffdioxid, flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (non-methane volatile organic compounds, NM-VOC), Methan und Kohlenmonoxid. Potential für erhöhte Ozonkonzentrationen haben jedoch weiterhin heiße, trockene und strahlungsintensive Sommer wie die Sommer der Jahre 2003, 2015, 2018 bis 2020 und nun zuletzt 2022. 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 2022 gab es vor allem im Juli und August lange Hitzeperioden (vgl. Kapitel 1.1.3). Gleichzeitig fiel wenig Niederschlag, besonders im Juli war unterdurchschnittlich wenig Niederschlag zu verzeichnen (siehe Kapitel 1.2). Dies schlug sich unmittelbar auf die Ozonkonzentrationen nieder. Die für Ozonspitzenkonzentrationen begünstigenden Wetterlagen führten erneut zu einigen Überschreitungen des Informationsschwellenwertes von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-Stundenmittelwert). Während im Jahr 2021 erstmals im städtischen

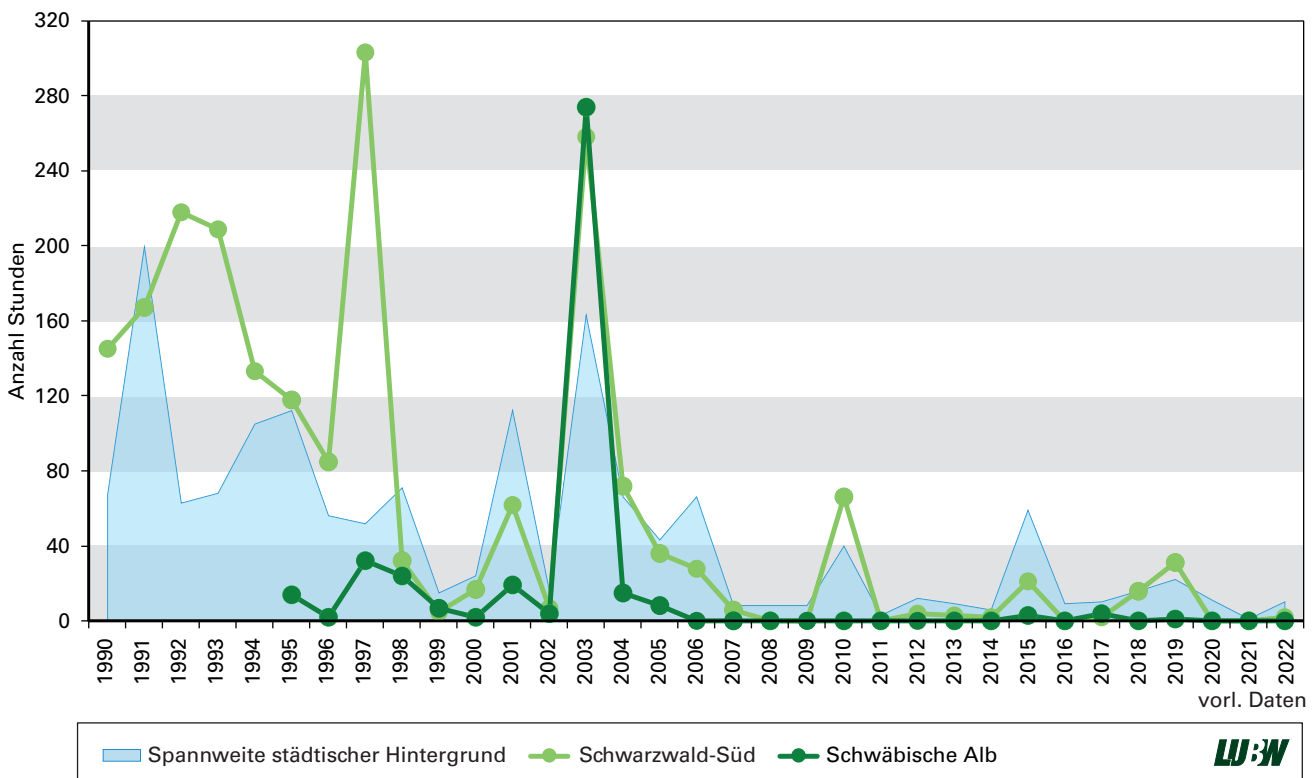


Abbildung 2.11: Anzahl der Stunden mit Überschreitung des Ozon 1-Stundenmittelwertes von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Informationsschwelle) in Baden-Württemberg (vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW.

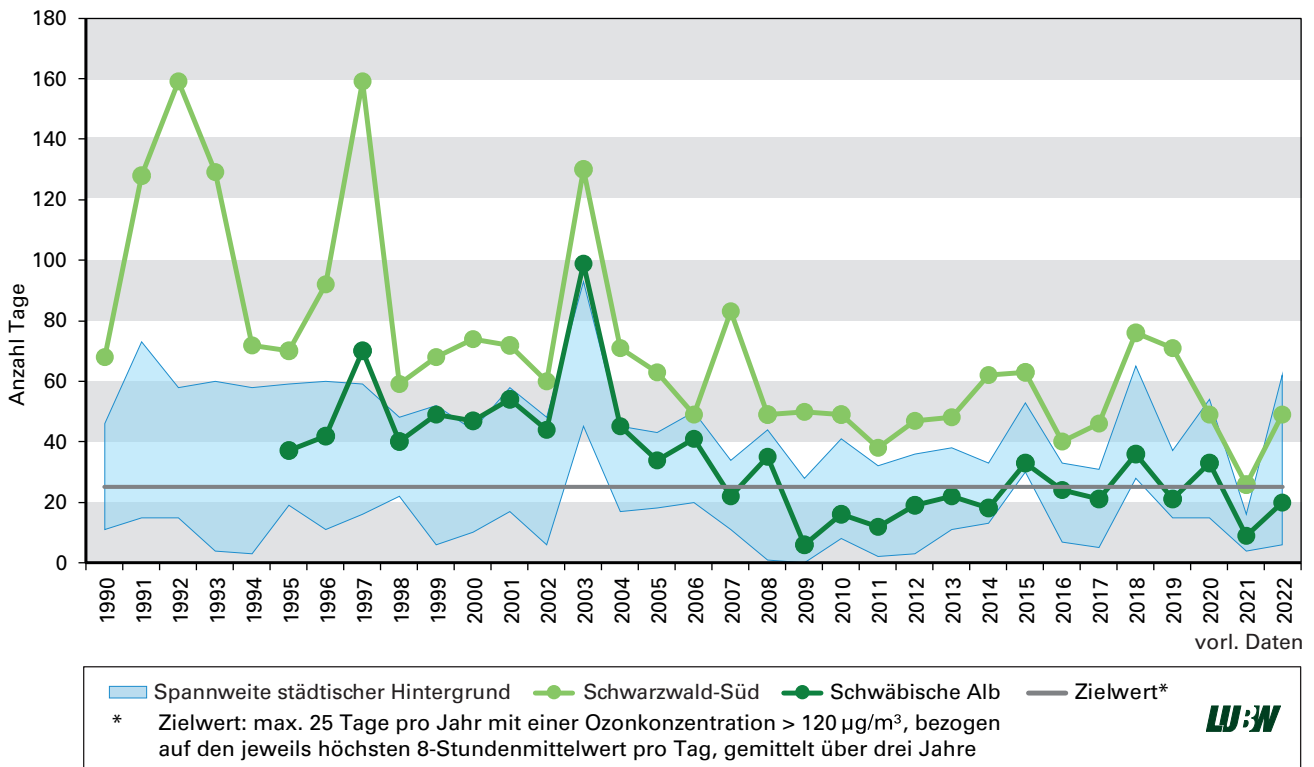


Abbildung 2.12: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Ozon 8-Stundenmittelwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> in Baden-Württemberg. Datenquelle: LUBW (vorläufige Daten).

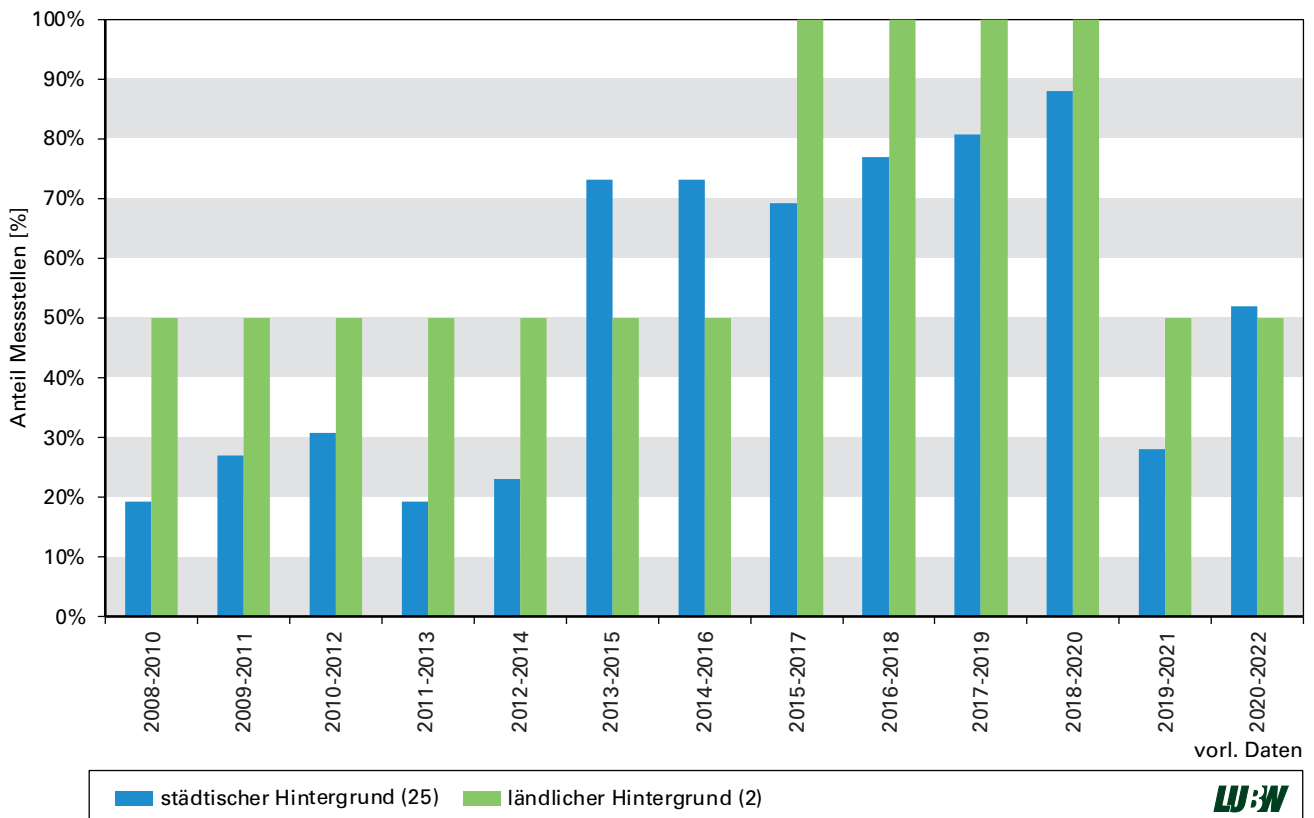


Abbildung 2.13: Prozentualer Anteil der Messstellen in Baden-Württemberg mit Überschreitung des Zielwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> Ozon im 8-Stundenmittel (gemittelt über 3 Jahre, vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW.

Hintergrund an allen Messstationen der Zielwert zum Schutz der Gesundheit von 120 µg/m<sup>3</sup> (höchster 8-Stundenmittelwert eines Tages an mehr als 25 Tagen) eingehalten wurde, wurde dieser nun im Jahr 2022 wieder wie im Jahr

2020 fast flächendeckend überschritten. Auch bei der Beurteilung des Zielwertes für einen 3-Jahreszeitraum ist nach der für den letzten Mittelungszeitraum 2019 bis 2021 fallenden Tendenz nun wieder wie in den sechs Mittelungszeit-

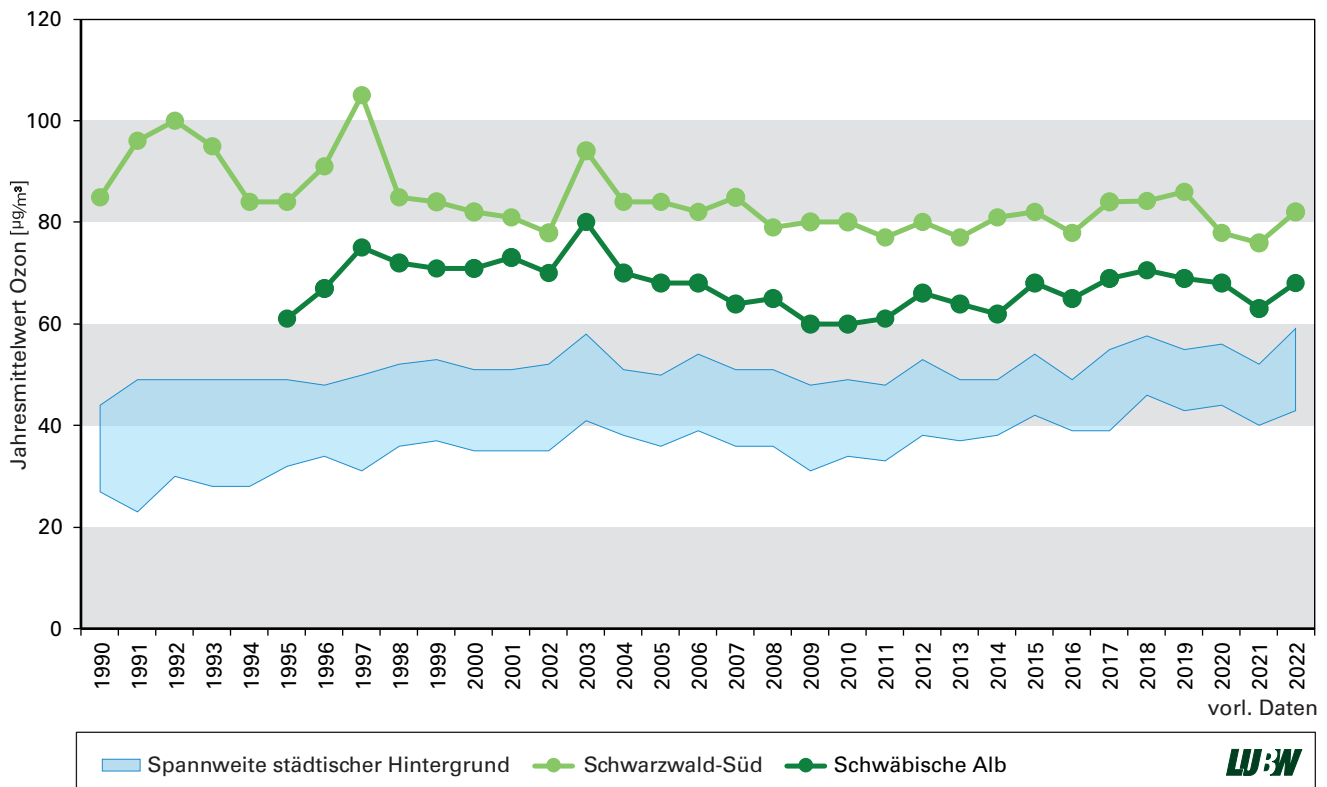


Abbildung 2.14: Entwicklung der Jahresmittelwerte für Ozon in Baden-Württemberg (vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW.

räumen davor ein Anstieg zu verzeichnen (vgl. Abbildung 2.13). Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen zeigten aufgrund des kühlen und nassen Sommers zuletzt für das Jahr 2021 einen Rückgang. Für das Jahr 2022 sind die Ozonkonzentration im Jahresmittel nun aber wieder mindestens auf das Niveau von 2020 angestiegen (vgl. Abbildung 2.14).

## 2.5 Auswirkungen auf die Natur

### 2.5.1 Phänologie

#### Kurz gesagt:

- Die Entwicklung der Pflanzen war 2022 geprägt durch einen milden Winter, einen eher kühl-nassen April sowie einen heiß-trockenen Mai und Sommer.
- Die Apfelblüte begann 17 Tage früher als im Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990; die Pflückreife zog sich bis in den August.

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. Langanhaltende Änderungen der Phänologie verdeutlichen somit klimatisch bedingte Veränderungen in der Natur.

Die Apfelblüte setzte 2022 im landesweiten Mittel am 16. April ein und damit um 17 Tage früher als im Vergleichszeitraum 1961-1990 (vgl. Abbildung 2.16). Gründe für die frühe Entwicklung sind ein sehr milder Winter und die hohen Temperaturen im Februar und März (vgl. Abbildung 2.15). Die anfangs schnelle Entwicklung wurde durch einen eher kühlen bzw. im Vergleich zum Mittel 1961-1990 durchschnittlich warmen und überdurchschnittlich nassen April etwas abgebremst, konnte jedoch im darauffolgenden sehr sonnig-warmen Mai und Sommer wieder weiter Fahrt aufnehmen. Die Pflückreife fiel letztlich im Durchschnitt für Baden-Württemberg auf den 1. August 2022, was fast dem Mittel des Zeitraums 1961-1990, der auf den 31. Juli datiert ist, entspricht.

Nicht nur bei den Äpfeln zeigte sich ein frühes Aufblühen, sondern auch bei den Süßkirschen und verschiedenen Wildpflanzen, wie dem schwarzen Holunder. Der frühe Blühbeginn birgt jedoch vermehrt das Risiko, dass Spätfröste die empfindlichen Blüten schädigen können und somit zu Ernteeinbußen führen. Auch 2022 gab es wie bereits in den Vorjahren Spätfrostschäden. Tagesminimumtemperaturen unter 0 °C wurden am 4. April in Baden-Baden (-4.8 °C), Lahr, Öhringen oder Rheinfelden und am 11. April in Freiburg, Konstanz und Mannheim gemessen. In Sigmaringen zeigte das Thermometer am 29. April leichten Frost bei -1 °C an.



Abbildung 2.15: Mittlere Monatstemperaturen in Baden-Württemberg. Monatsmittel 1961-1990 und 1993-2022 im Vergleich zum aktuellen Jahr 2022. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

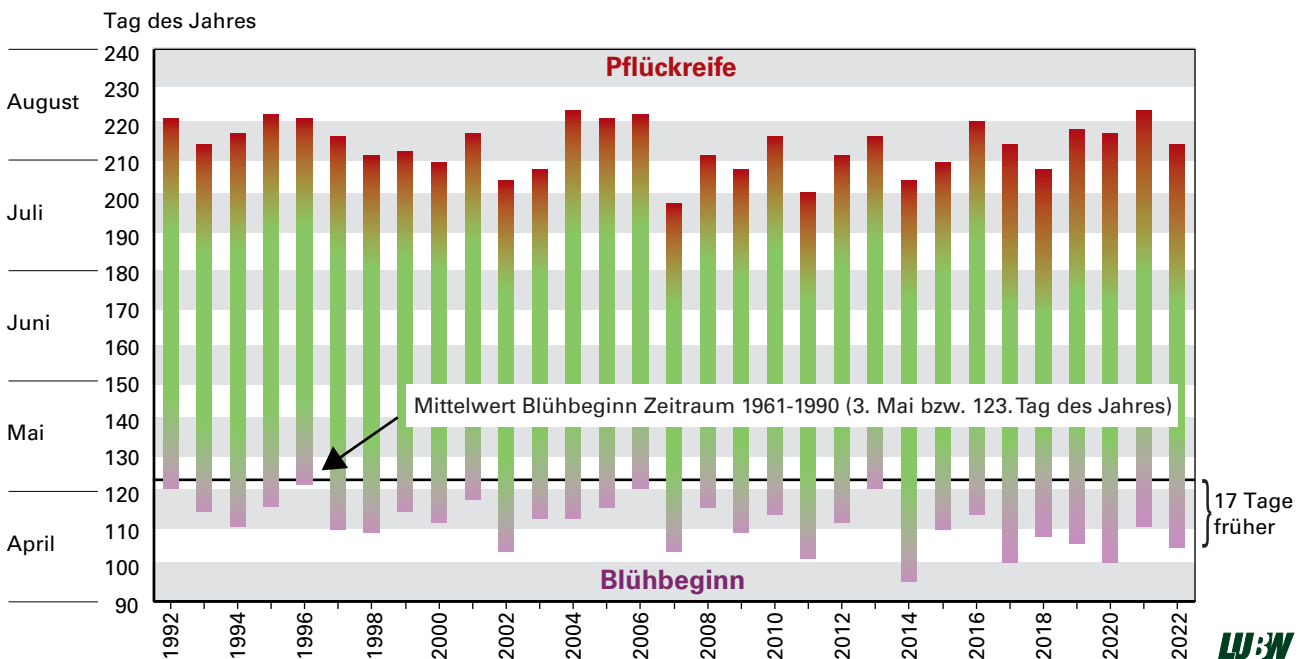


Abbildung 2.16: Mittlerer Beginn der Apfelblüte bis zur Pflückreife vorwiegend frühblühender Apfelbäume in Baden-Württemberg. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes (Stand 13.01.2022).

Besonders im Obstanbau führten Frostnächte Anfang April 2022 zu Ernteeinbußen; bei den Pfirsichen und Aprikosen mitunter sogar zum Totalschaden (vgl. Pressemitteilung SWR Aktuell vom 04.04.2022: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/frost-beschaedigt-obstbluete-100.html>). Selbst geringe Temperaturen unter 0 °C können dann, wenn die Entwicklung bereits weit fortgeschritten ist,

zu Schäden an Blüten oder gar kleinen Früchten am Baum führen. Lokal wurde daher wiederholt mit Lagerfeuern in den Plantagen oder auch Frostschutzberegnung versucht Schäden zu minimieren. In den letzten Jahren traten immer wieder Spätfröste in Baden-Württemberg auf. So beispielsweise am 6. April 2018, am 6. und 7. Mai 2019, am 15. April 2020 und am 8. Mai 2021. Der Frosteinbruch zwischen dem



Abbildung 2.17: Bei Frostschutzberechnungen wird durch das Gefrieren des verteilten Wassers auf den Pflanzen Kristallisationsenthalpie freigesetzt, die zur Temperaturerhöhung führt. Dies sorgt dafür, dass Blätter, Blüten oder kleine Früchte vor Frostschäden bewahrt werden. Bild: Werner/stock.adobe.com



Abbildung 2.18: Das Aufstellen von Feuertöpfen in Obstplantagen verhindert durch die abgegebene Wärme, dass die Pflanzen oder ihre Knospen erfrieren. Ein enormer Aufwand, da dabei die ganze Nacht über bis zum Morgengrauen dafür gesorgt werden muss, dass die Feuer nicht ausgehen.. Bild: Reiner/stock.adobe.com

19. bis 21. April 2017 hatte beim Wein- und Obstbau in Baden-Württemberg sogar zu katastrophalen Schäden geführt.

Ebenfalls zu Problemen in der Land-, aber auch der Forstwirtschaft, führte die Trockenheit in Kombination mit den hohen Temperaturen ab Mai 2022. Besonders die später im Jahr angepflanzten und geernteten Kulturen wie Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln und Soja litten massiv unter dem Wassermangel und Hitzestress, was zu Ernteaussfällen führte (vgl. bwagrار: <https://www.bwagrار.de/aktuelles/grosse-ertragsspannen-in-den-regionen,QUIEPTcyMTQ0MTAmTUePTUxNjQ0.html>).

Besorgniserregend ist weiterhin die Situation in den Wäldern Baden-Württembergs. Nach einer bereits sehr langen Phase mit den trocken-heißen Jahren 2018 bis 2020 und einer nur sehr kurzen Verschnaufpause im Jahr 2021, sorgte das Jahr 2022 erneut für längere Stresssituation bei den Bäumen. So zeigt beispielsweise der Waldzustandsbericht 2022 auf, dass der Nadel- und Blattverlust, ein wichtiger Anzeiger für den Gesundheitszustand der Waldbäume, im Jahr 2022 weiter gestiegen ist. Mit einem Prozentanteil von 28,4 Pro-

zent befindet er sich auf einem Rekordnegativniveau seit der Erhebung 1985. Besonders erschreckend ist zudem, dass der Anteil der ungeschädigten Waldfläche nur noch bei etwa 17 Prozent liegt (vgl. Waldzustandsbericht 2022: <https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/wzb/wzb2022.pdf>).

## 2.5.2 Arealveränderung bei Insekten

### Kurz gesagt:

- Nach drei schlechten Jahren für Tagfalter erholten sich die Bestände bezogen auf den Beobachtungszeitraum des Monitorings im Jahr 2022 kurzfristig. Insgesamt wurden 15.162 Individuen aus 98 Arten erfasst.
- Die gute Entwicklung wurde durch die lange Dürreperiode im Sommer 2022 gebremst. Hierdurch vertrockneten viele Nahrungspflanzen von Raupen und Faltern. Dies wird wahrscheinlich die nächste Faltergeneration beeinträchtigen.
- Der Klimawandel trägt zu Veränderungen von Schmetterlingsgesellschaften bei, indem er die Ausbreitung wärmebedürftiger Arten begünstigt und zum Verschwinden kälteliebender Arten führt. So wurde der wärmeliebende Kurzschwänzige Bläuling (*Cupido argades*) 2022 im Monitoring auffallend häufig gefunden.

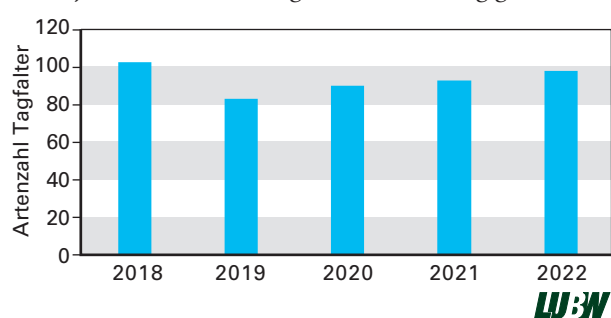
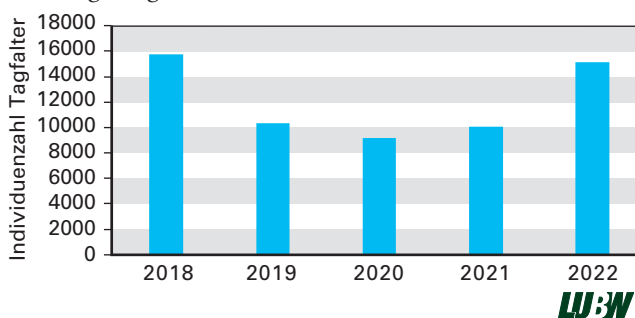


Abbildung 2.19: Gesamtzahl der Tagfalter: Links die Anzahl der Individuen je Monitoringjahr; rechts die Anzahl der Arten je Monitoringjahr. Datenquelle: LUBW.



Abbildung 2.20: Die Bestände des einst weit verbreiteten Braunen Bären (*Arctia caja*) sind im Land durch Dürreperioden und intensive Grünlandnutzung stark zurückgegangen. Die Art findet sich heute vor allem noch in extensiv bewirtschafteten Feuchtgebieten. Bild: Dr. Florian Theves

Im Rahmen des Insektenmonitorings werden jährlich auf 50 Stichprobenflächen im gesamten Land Tagfalter und Widderchen erfasst. Alle vier Jahre wiederholen sich die Untersuchungen auf denselben Flächen.

Mit 15.162 gezählten Individuen, die sich auf 98 Arten verteilten, erwies sich 2022 mit Blick auf die Witterung als vergleichsweise gutes Tagfalterjahr, bezogen auf den Zeitraum des Monitorings seit 2018 (vgl. Abbildung 2.19). Eine Einordnung dieser Zahlen auf die Bestände der früheren Jahrzehnte ist leider nicht möglich, da das Insektenmonitoring erst seit fünf Jahren durchgeführt wird. Nach den für Schmetterlinge ungünstigen heißen und dünnen Jahren 2019 und 2020 brachte auch das Jahr 2021 mit seinen Spätfrösten und dem regenreichen Sommer keine Besserung für diese Insektenordnung. Erst das klimatisch ausgeglichene Frühjahr 2022 bot den Faltern wieder gute Lebensbedingungen, was sich in den Zählungen des Monitorings widerspiegelt. Gebremst wurde diese Entwicklung durch die lange Dürreperiode im Sommer. Durch diese vertrocknete in vielen Bereichen die Vegetation und damit die Nahrungspflanzen von Raupen und Faltern, was sich beeinträchtigend auf die nächste Faltergeneration auswirken dürfte. Da Schmetterlinge in der Kulturlandschaft immer weniger Lebensraum finden, reichen einzelne Phasen mit günstiger Witterung, wie im Jahr 2022, nicht aus, um die grundsätzlichen Bestandsrückgänge, zu denen auch Witterungsextreme beitragen, auszugleichen.



Abbildung 2.21: Der Weiße Waldportier (*Brinthesia circe*) gehört zu den wenigen Tagfaltern, die von sehr warmen Jahren profitieren und sich in diesen wieder ausbreiten konnten. Bild: Dr. Florian Theves

### 2.5.3 Fließgewässerökologie

#### Kurz gesagt:

- Die Wassertemperatur und der Abfluss haben entscheidenden Einfluss auf die Lebensgemeinschaften in Fließgewässern.
- 2022 waren die mittleren sommerlichen Wassertemperaturen im Rhein bei Karlsruhe die dritthöchsten der letzten drei Jahrzehnte.
- Die Sauerstoffkonzentration im Neckar war unkritisch; der Wert von 4 mg/l wurde nicht unterschritten.

Fließgewässer sind hoch dynamische Lebensräume. Daher müssen Fließgewässerorganismen generell u. a. auch an wechselnde Temperaturverhältnisse und Wasserstände angepasst sein. Die verschiedenen Pflanzen- und Tiergruppen können durch unterschiedliche Anpassungsstrategien sowohl sommerliche Hitze- und Niedrigwasserphasen als auch Hochwassersituationen überstehen. Die Häufigkeit, Dauer und räumliche Ausdehnung von Extremereignissen können jedoch einen großen Einfluss auf die aquatische Lebensgemeinschaft haben.

Der sehr niederschlagsarme und heiße Sommer 2022 hat zu lang andauernden, hohen Wassertemperaturen und niedrigen Wasserständen in den Fließgewässern Baden-Württembergs geführt. Die sommerlichen mittleren Wassertemperaturen im Rhein bei Karlsruhe waren 2022 die dritthöchsten in den letzten drei Jahrzehnten. In Abbildung 2.22 ist die Anzahl der Tage pro Jahr mit Überschreitungen der Wassertemperatur im Tagesmittel von größer gleich 20 °C und größer gleich 25 °C im Rhein an der Messstation Karlsruhe der letzten drei Jahrzehnte

dargestellt. Laut Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) sollte für die Fischgemeinschaft der Barbenregion (Oberrhein) eine sommerliche Wassertemperatur von 20 °C nicht überschritten werden, um den sehr guten ökologischen Zustand erreichen zu können. Zwar wurden 2022 die Extremwerte von 2003 und 2018 nicht erreicht, es ist jedoch insgesamt ein steigender Trend erkennbar: Die durchschnittliche Anzahl an Tagen mit Wassertemperaturen von 20 °C und höher ist im Zeitraum von 1990 bis 2022 um etwa 32 Tage gestiegen.

Gleichzeitig war zu den hohen Wassertemperaturen eine ausgeprägte Niedrigwasserphase von Anfang Mai bis Ende September 2022 zu verzeichnen (vgl. Abbildung 2.5). Ein niedriger Wasserstand oder gar ein Trockenfallen von Gewässerabschnitten führt zum Verlust von Lebensraum und einer fehlenden Vernetzung der Gewässer. Mobile Fließgewässerorganismen können in gewissem Umfang durch Flucht der Situation entkommen. Jedoch verhindert eine fehlende Anbindung von Seitengewässern die Möglichkeit von Ausweichwanderungen. Insbesondere wenig mobile Gewässerorganismen, wie Muscheln, können dem zurückgehenden Wasserstand nicht schnell genug folgen und verenden. Auch können die Fließgewässerorganismen mit abnehmender Wassermenge von einer Konzentrationserhöhung der Wasserinhaltsstoffe in unterschiedlicher Weise betroffen sein. Hierbei hat die Wassertemperatur einen entscheidenden Einfluss: Zum Beispiel auf die Entwicklung der Sauerstoffverhältnisse während einer Niedrigwasserphase.

Generell spielen die Temperaturverhältnisse in einem Fließgewässer eine große Rolle für die Gewässerökologie, da viele Lebensprozesse, wie die Ei- und Larvalentwicklung oder der Schlupfzeitpunkt von Wasserinsekten temperaturgesteuert sind. Hohe Wassertemperaturen haben eine geringere Löslichkeit von Sauerstoff im Wasser zur Folge. Gleichzeitig aber steigen die Stoffwechselraten der Gewässerorganismen, was Hitzestress und eine erhöhte Anfälligkeit für Krankheiten bedeutet.

Mit tendenziell steigenden Wassertemperaturen werden sich die Lebensgemeinschaften der Fließgewässer verändern. Mit dem Einwandern von Flussarten in die kühleren Bäche werden die an niedrige Wassertemperaturen angepassten Organismen möglicherweise durch tolerantere Arten verdrängt.

Trotz der hohen Wassertemperaturen und der ausgeprägten Niedrigwasserphase im Verlauf des Sommers 2022 wurden kritische Sauerstoffwerte von 4 mg/l im Neckar nicht unterschritten. Daher waren im Rahmen des „Sauerstoffreglements Neckar“ keine Belüftungsmaßnahmen zur Stützung des Sauerstoffgehaltes notwendig. Über den Sommer hinweg konnte zwar ein Sauerstoffschwund festgestellt werden, der aber die Grenze von 4,5 mg/l, ab der gewarnt wird, nicht unterschritten hat. Die hohe pflanzliche Sauerstoffproduktion in Kombination mit den geringen Niederschlägen sowie der Tatsache, dass es keine Abschwemmungen durch Starkregen oder Spülstöße aus der Kanalisation gab, konnten die Sauerstoffsituation im Neckar vergleichsweise stabil halten.

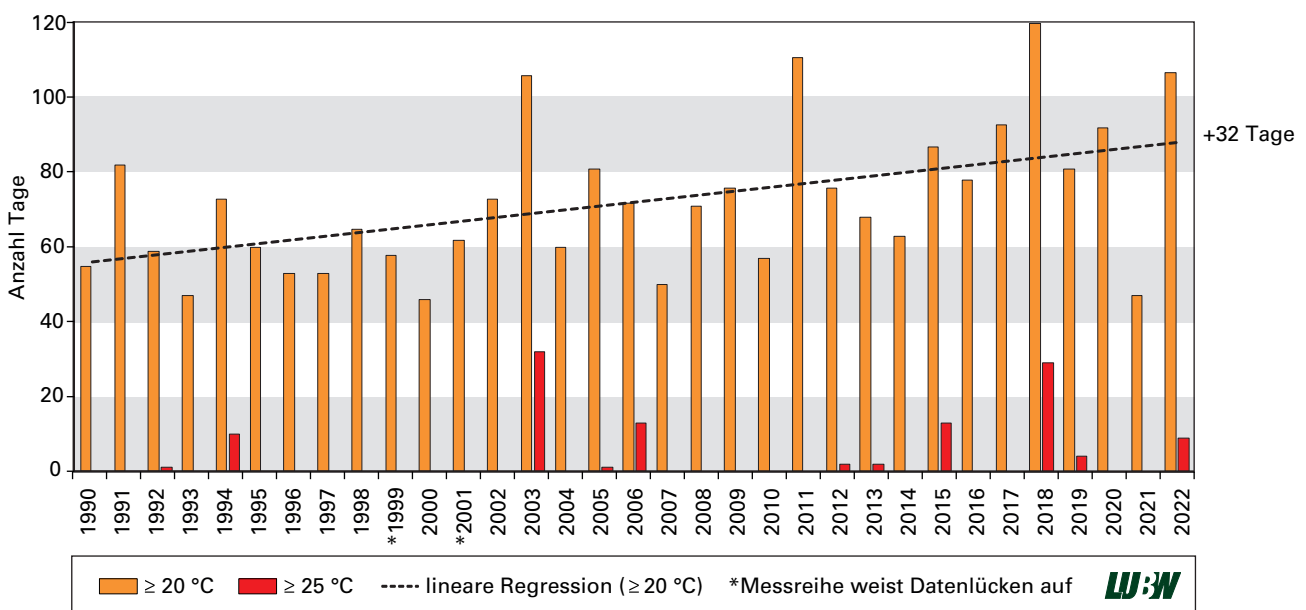


Abbildung 2.22: Anzahl der Tage pro Jahr mit Überschreitungen der Wassertemperatur im Tagesmittel von  $\geq 20$  °C und  $\geq 25$  °C im Rhein an der Messstation Karlsruhe der letzten drei Jahrzehnte. Datenquelle: LUBW.



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1881). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 8
Abbildung 2.2: Sonnenscheinstunden in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 10
Abbildung 2.3: Anzahl Heißer Tage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 11
Abbildung 2.4: Anzahl Sommertage in Baden-Württemberg (Flächenmittel pro Jahr seit 1951). Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 12
Abbildung 2.5: Relative Abweichung der monatlichen Niederschlagssummen für die Jahre 2018 (jeweils linker Balken) und 2022 (jeweils rechter Balken) vom Mittel 1961-1990 in Prozent. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 13
Abbildung 2.6: Tagesmittelwerte des Abflusses für das Jahr 2022 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) an den Pegeln Maxau-Rhein und Hundersingen-Donau. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1981. Die Spannweite gibt den minimalen bzw. maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle Maxau: WSA Oberrhein. Betreiber der Messstelle Hundersingen: RP Tübingen. ....	Seite 13
Abbildung 2.7: 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) der LUBW. ....	Seite 14
Abbildung 2.8: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2022 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepiegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle: RP Freiburg. ....	Seite 15
Abbildung 2.9: In den ausgedehnten Flachwasserzonen vor den Zuflüssen Schussen und Rotach bildeten sich im Sommer 2022 fädige Algen, die sich über große Bereiche ablagerten. Bild: Dr. Bernd Wahl/LUBW. ....	Seite 16
Abbildung 2.10: Jahresgang 2022 der Grundwasserstände in Metern über Normalnull (grüne Linie) vor langjährigem Hintergrund (hellblaue Fläche) für die Standorte Engelsbrand (Nordschwarzwald), Forchtenberg (Hohenlohe), Rheinmünster (Oberrheingraben) und Singen (Bodensee) sowie Jahresgang 2022 der Quellschüttung in Litern pro Sekunde (grüne Linie) vor langjährigem Hintergrund (hellblaue Fläche) für den Standort Veringenstadt (Schwäbische Alb). Die blaue Linie zeigt jeweils den Mittelwert im jeweiligen Analysezeitraum. Die Spannweite gibt den minimalen bzw. maximalen Messwert im Analysezeitraum an. Datenquelle: LUBW. ....	Seite 17
Abbildung 2.11: Anzahl der Stunden mit Überschreitung des Ozon 1-Stundenmittelwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Informationsschwelle) in Baden-Württemberg (vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW. ....	Seite 18
Abbildung 2.12: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Ozon 8-Stundenmittelwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Baden-Württemberg. Datenquelle: LUBW (vorläufige Daten). ....	Seite 19
Abbildung 2.13: Prozentualer Anteil der Messstationen in Baden-Württemberg mit Überschreitung des Zielwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon im 8-Stundenmittel (gemittelt über 3 Jahre, vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW. ....	Seite 19
Abbildung 2.14: Entwicklung der Jahresmittelwerte für Ozon in Baden-Württemberg (vorläufige Daten). Datenquelle: LUBW. ....	Seite 20
Abbildung 2.15: Mittlere Monatstemperaturen in Baden-Württemberg. Monatsmittel 1961-1990 und 1993-2022 im Vergleich zum aktuellen Jahr 2022. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes. ....	Seite 21
Abbildung 2.16: Mittlerer Beginn der Apfelblüte bis zur Pflückreife vorwiegend frühblühender Apfelbäume in Baden-Württemberg. Datenquelle: LUBW, berechnet nach Daten des Deutschen Wetterdienstes (Stand 13.01.2022). ....	Seite 21
Abbildung 2.17: Bei Frostschutzberegnungen wird durch das Gefrieren des verteilten Wassers auf den Pflanzen Kristallisationsenthalpie freigesetzt, die zur Temperaturerhöhung führt. Dies sorgt dafür, dass Blätter, Blüten oder kleine Früchte vor Frostschäden bewahrt werden. Bild: Werner/stock.adobe.com. ....	Seite 22
Abbildung 2.18: Das Aufstellen von Feuertöpfen in Obstplantagen verhindert durch die abgegebene Wärme, dass die Pflanzen oder ihre Knospen erfrieren. Ein enormer Aufwand, da dabei die ganze Nacht über bis zum Morgengrauen dafür gesorgt werden muss, dass die Feuer nicht ausgehen. Bild: Reiner/stock.adobe.com. ....	Seite 22
Abbildung 2.19: Gesamtzahl der Tagfalter: Links die Anzahl der Individuen je Monitoringjahr; rechts die Anzahl der Arten je Monitoringjahr. Datenquelle: LUBW. ....	Seite 22
Abbildung 2.20: Die Bestände des einst weit verbreiteten Braunen Bären ( <i>Arctia caja</i> ) sind im Land durch Dürreperioden und intensive Grünlandnutzung stark zurückgegangen. Die Art findet sich heute vor allem noch in extensiv bewirtschafteten Feuchtgebieten. Bild: Dr. Florian Theves. ....	Seite 23
Abbildung 2.21: Der Weiße Waldportier ( <i>Brinthesia circe</i> ) gehört zu den wenigen Tagfaltern, die von sehr warmen Jahren profitieren und sich bislang ausbreiten konnten. Bild: Dr. Florian Theves. ....	Seite 23
Abbildung 2.22: Anzahl der Tage pro Jahr mit Überschreitungen der Wassertemperatur im Tagesmittel von $\geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ im Rhein an der Messstation Karlsruhe der letzten drei Jahrzehnte. Datenquelle: LUBW. ....	Seite 24

