

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE

71. Kommissionstagung

Aktueller Bericht über den limnologischen Zustand des Bodensees im Jahr 2024

B o d e n s e e - O b e r s e e

Der Bodensee wird im Rahmen des IGKB-Messprogramms seit Jahrzehnten in regelmäßigem Turnus untersucht.

2024

- war ein extrem warmes Jahr mit einem neuen Rekord der mittleren Lufttemperatur in Deutschland
- wurde die bisher höchste Wassertemperatur in 250 m Wassertiefe beobachtet
- wurden in mehreren Monaten extrem hohe Wasserstände registriert und
- war ein Jahr mit schlechter Zirkulation.

Die Konzentration des Gesamtphosphors im volumengewichteten Jahresmittel 2024 betrug 6,1 µg/L. Der Vorjahreswert lag bei 5,4 µg/L. Der minimale Sauerstoffgehalt im tiefen Hypolimnion des Obersees zeigte mit 6,5 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe.

Das Jahr 2024 zeigte im zeitlichen Verlauf der Wasserstände mehrere Besonderheiten. Während in den Monaten August und September Wasserstände registriert wurden, die leicht unter den langjährigen Mittelwerten (Zeitraum von 1850 – 2023) lagen, waren die Wasserstände in allen anderen Monaten zum Teil sehr stark gegenüber diesen Mittelwerten erhöht. Insbesondere im Januar und Februar wurden dabei Werte registriert, die sehr nahe den absoluten Maxima der langjährigen Zeitreihen lagen und diese teilweise egalisierten. Im März, April und Mai näherten sich die Pegelstände wieder kontinuierlich an die Mittelwerte an, während dann ab Ende Mai Anfang Juni wegen sehr schwerer Regenfälle abrupte Wasserstandszunahmen beobachtet wurden, die zu einer Annäherung an die zehnjährigen HQ10-Hochwasserwerte des Bodensees führten. Diese insgesamt sehr hohen Werte nahe bzw. in Egalisierung der HQ10-Werte blieben dann aufgrund langanhaltender Niederschläge für eine außergewöhnlich lange Zeit bis etwa Mitte Juli erhalten (Abb. 1). Danach näherten sich die Wasserstände im Verlauf des Julis wieder den Mittelwerten an und unterschritten diese im Lauf des August leicht, während ab Mitte September und im Oktober dann wieder leicht erhöhte Werte registriert wurden, die sich im November und Dezember den langjährigen Mittelwerten annäherten.

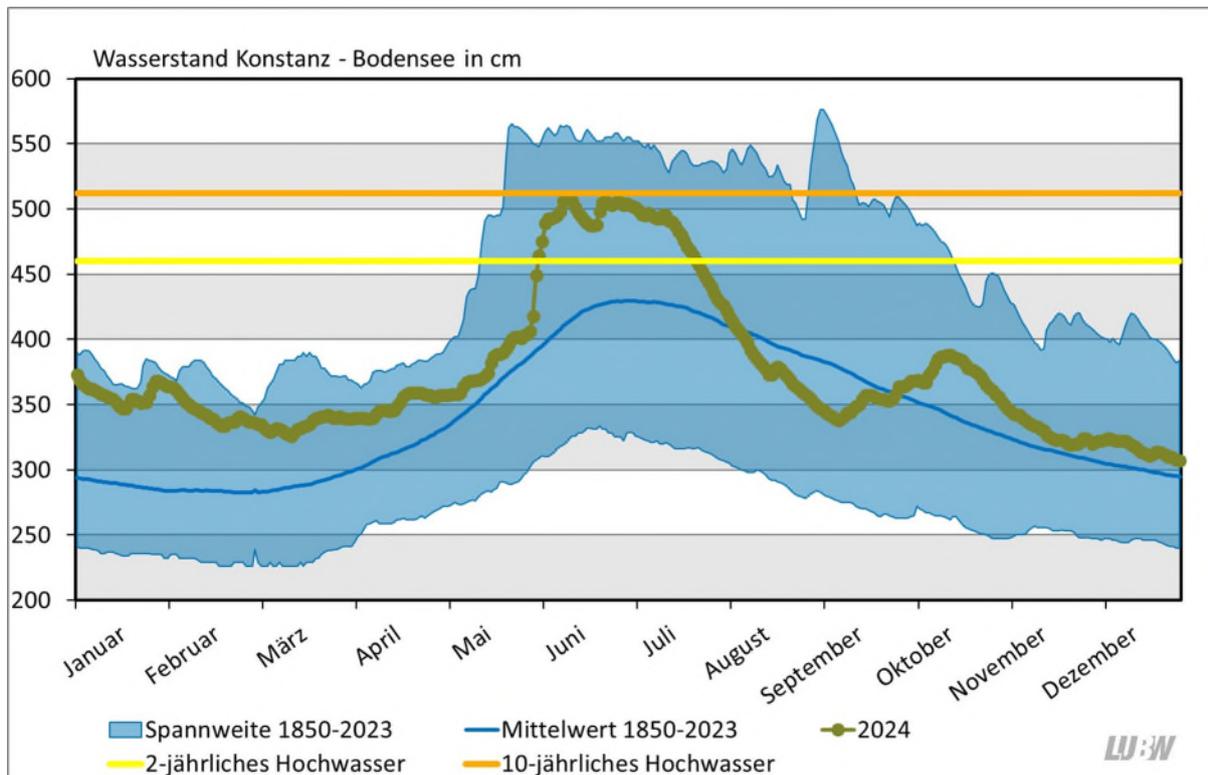


Abb. 1: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2024 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle: RP Freiburg.

Meteorologisch war das Jahr 2024 ein im Mittel wiederum extrem warmes Jahr, das hinsichtlich der Jahresmitteltemperatur für Deutschland mit 10,9 °C sogar den Rekord von 2023 übertraf (DWD, Klimastatusbericht 2024). Dabei ist die sehr hohe Jahresmitteltemperatur vor allem auf sehr milde Wintermonate und ausnahmslos überdurchschnittlich warme Monatsmittelwerte zurückzuführen. Die Niederschläge wiesen im Jahr 2024 in einzelnen Monaten hohe positive Abweichungen von den Mittelwerten auf.

Das deutschlandweite Gebietsmittel der Temperatur lag dabei mit 10,9 °C um 2,7 K über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode (IRP, 1961 – 1990), was 2024 vor den Jahren 2018, 2022 und 2023 zum wärmsten Jahr seit 1881 macht.

Das zeigte sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C eine positive Abweichung von +2,5 K gegenüber dem Wert der internationalen Referenzperiode registriert wurde.

In 2024 lagen dabei ausnahmslos alle Monatsmittelwerte über den Mittelwerten der Klimareferenzperiode. Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturabweichungen der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu nennen: Februar mit 6,5 °C und einer positiven Temperaturabweichung von +6,1 K, März mit einer Monatsmitteltemperatur von 7,4 °C (+3,7 K), und August mit 20,2 °C und einer positiven Temperaturabweichung von +3,8 K.

Die Niederschläge wiesen in 2024 mit 1068,9 mm im Jahresgebietsmittelwert eine leicht positive Abweichung von 9,1 % gegenüber den Mittelwerten der Klimareferenzperiode auf, wobei einzelne Monate deutlich überhöhte Werte aufwiesen, wie z.B. der Monat Mai mit 181,4 mm einen Wert von 189,7 % des Mittelwertes aufweist.

Mit 1654,0 Sonnenstunden war 2024 ein Jahr mit mittlerer Sonnenscheindauer, das 102,9 % des Mittelwertes erreichte.

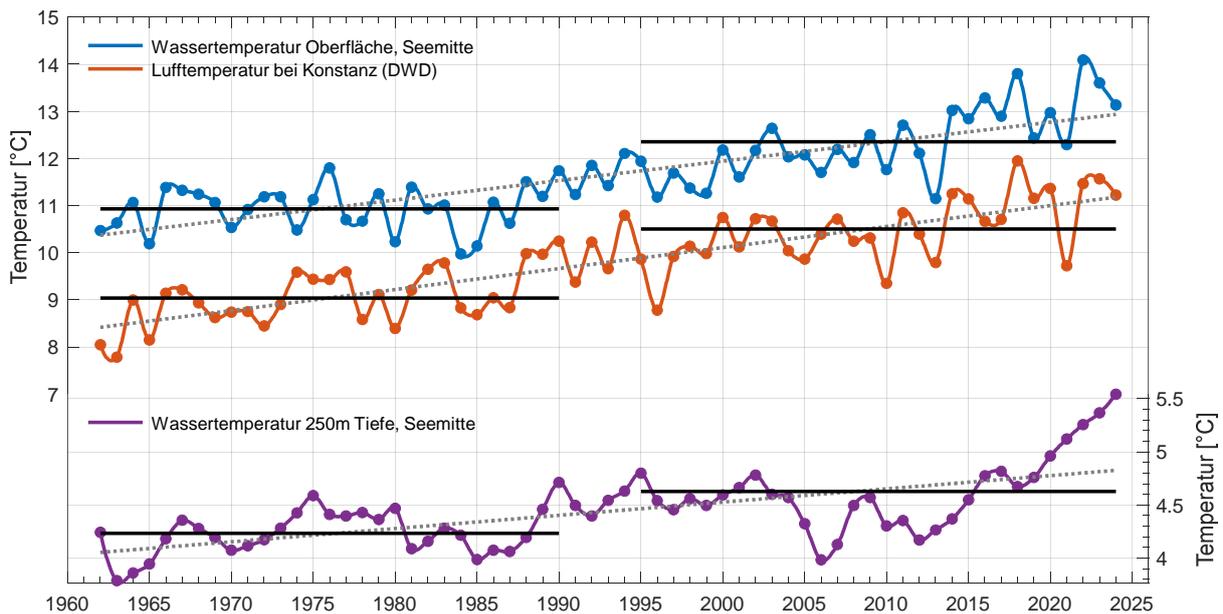


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 m Wassertiefe (lila).

In Abbildung 2 sind die langjährigen Entwicklungen der Jahresmittel der Lufttemperatur, der oberflächlichen Wassertemperatur in 0,5 m Wassertiefe und der Hypolimnionwassertemperatur am Messpunkt Fischbach-Uttwil in 250 m Wassertiefe dargestellt. Zu sehen ist außerdem das „sägezahnartige“ Verhalten der Tiefenwassertemperatur, die nach einem gut durchmischten Jahr meist wieder auf niedrigere Wassertemperaturwerte eingestellt wird und dann über Zeiträume von etwa zwei bis fünf Jahren kontinuierlich ansteigt, bis eine erneute starke Durchmischung eine Rücksetzung auf niedrigere Temperaturen bewirkt. Anfang des Jahres 2024 war die Tiefenwassertemperatur in 250 m Wassertiefe auf außergewöhnlich hohe Werte von 5,5 °C – Ende des Jahres sogar auf 5,6 °C - angestiegen.

Die oberflächlichen Wassertemperaturen Anfang des Jahres 2024 waren wie in den vorhergehenden Jahren durch den erneut sehr milden Winter 2023/2024 geprägt (Abb. 3). An der Station Fischbach-Uttwil lagen die Oberflächentemperaturen am 09.01.2024 und 05.02.2024 mit 6,4 °C und 5,9 °C im Bereich des Vorjahres zu dieser Zeit. Die durchmischte Wasserschicht wies bis in etwa 30 m Wassertiefe am 09.01.2024 eine einheitliche Temperatur von etwa 6,5 °C auf, in 50 m Wassertiefe dann eine Temperatur von 6,4 °C und 100 m von 6,0 °C. Die Wassertemperatur in 250 m erreichte in diesem Winter zu dieser Zeit mit 5,5 °C einen außergewöhnlich hohen Wert, der noch einmal 0,2 K höher als im Vorjahr zu dieser Zeit war.

Im Verlauf des Januar 2024 kam es aufgrund des warmen Winters nur zu einer geringfügigen weiteren Abkühlung des Wasserkörpers, so dass am 5.02.2024 an der Oberfläche 5,9 °C, in 5 m Wassertiefe 6,1 °C und in 250 m Wassertiefe eine Temperatur von 5,5 °C gemessen wurde, womit zu diesem Zeitpunkt auch der geringste vertikale Temperaturgradient mit $dT = 0,4 \text{ K}$ (zwischen 5 m Wassertiefe und 250 m $dT = 0,6 \text{ K}$) des Jahres 2024 registriert wurde. Am 04.03.2024 wurde aufgrund des extrem warmen Monats Februar bereits wieder eine leichte Erwärmung der Wassersäule registriert, als eine Wassertemperatur von oberflächlich 6,6 °C und 6,0 °C in 50 m und weiterhin 5,5 °C in 250 m gemessen wurde.

Danach erfolgte die weitere Erwärmung und beginnende stärkere Temperaturschichtung des Wasserkörpers, als am 02.04.2024 oberflächlich eine Wassertemperatur von 7,4 °C und am 06.05.2024 eine Temperatur von 11,5 °C gemessen wurde. Die Wassertemperatur in 250 m Wassertiefe betrug zu dieser Zeit weiterhin 5,5 °C.

Am 05.08.2024 wurde an der Station Fischbach-Uttwil mit 24,7 °C die höchste Wassertemperatur im Jahr 2024 gemessen. Am 02.09.2024 wurde eine für diesen Termin noch hohe Oberflächenwassertemperatur von 23,2 °C registriert, am 07.10.2024 dann eine Temperatur von 15,2 °C als die herbstliche Abkühlung des Sees einsetzte.

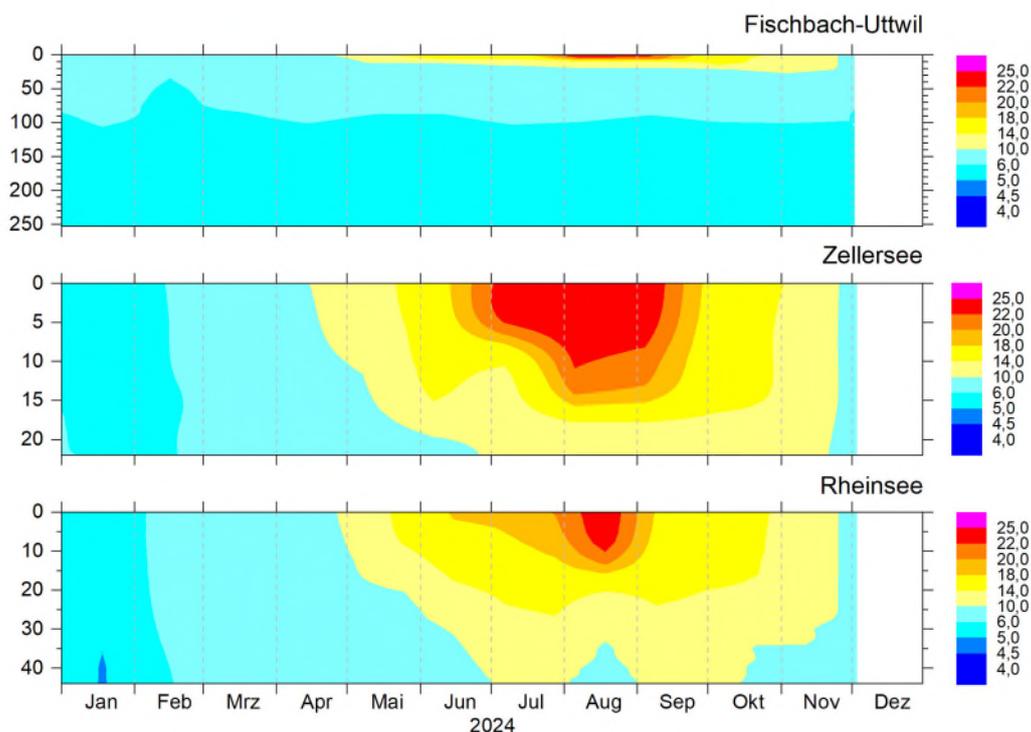


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2024 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil (oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten)).

Während der Abkühlungsphase im Herbst/Winter sanken die oberflächlichen Temperaturen dann bis auf 9,0 °C am 02.12.2024 ab. An diesem Termin wurde in 250 m Wassertiefe eine für diesen Tiefenbereich sehr hohe Temperatur von 5,6 °C gemessen.

Die Auswertung entsprechender Stoff- und Temperaturgradienten und der daraus abgeleitete Durchmischungsindex (Abb. 4, Mitte) zeigt, dass es im Jahr 2024 schon im sechsten Jahr in Folge keine gute vertikale stoffliche Durchmischung der Wassersäule gab.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** betrug 2024 im volumengewichteten Jahresmittel 6,1 µg/L und lag damit im Bereich der der Vorjahreswerte (2023: 5,4 µg/L, 2022: 6,2 µg/L) (Abb. 4). Insgesamt liegen die mittleren Konzentrationen an Gesamtposphor weiterhin in einem für große tiefe Alpenseen typischen Bereich. Während der Zirkulationsphase im Februar bis April 2024 wurde die mittlere Konzentrationen an Gesamtposphor auf 5,9 µg/L bestimmt (2023: 5,6 µg/L, 2022: 6,5 µg/L).

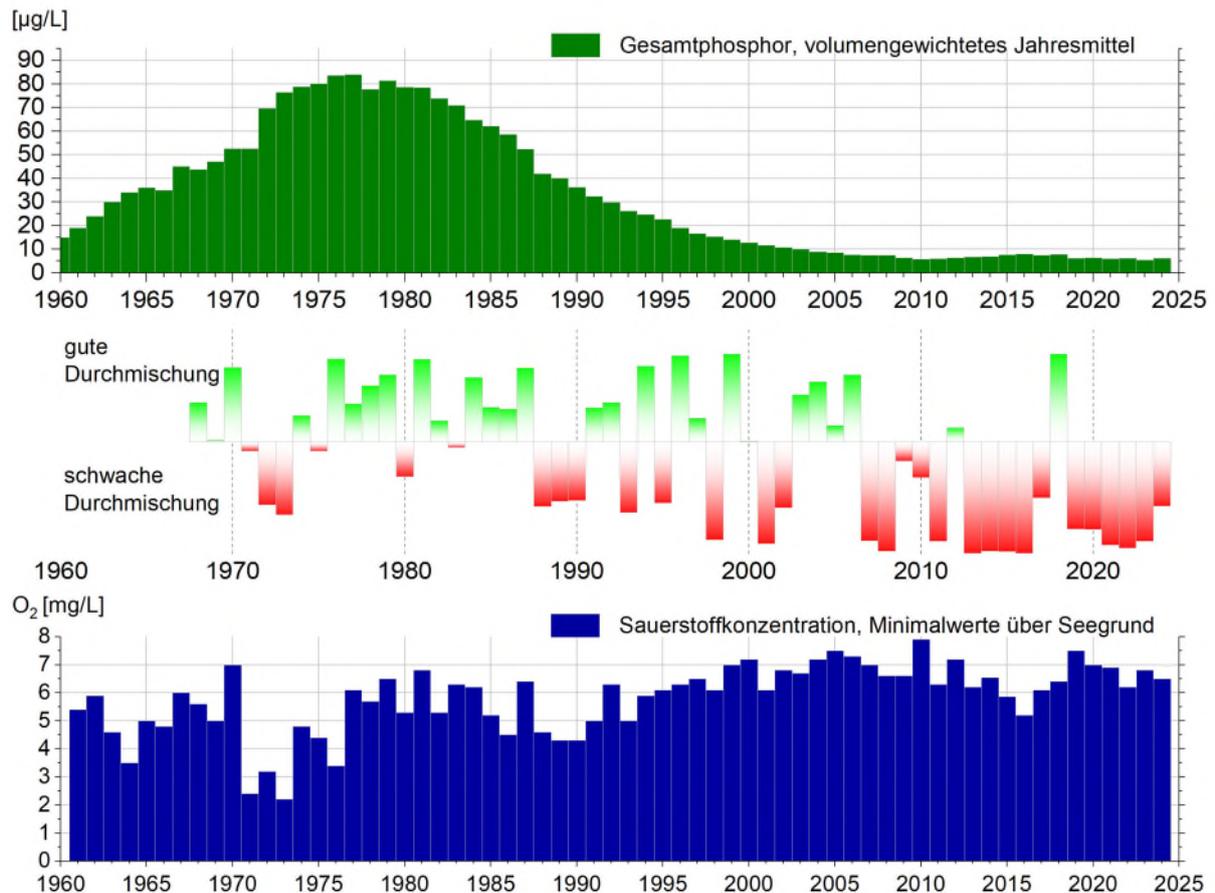


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtposphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

2024 war wie bereits die fünf Vorgängerjahre ein Jahr mit schlechter Zirkulation. Eine gute Zirkulation zeigte sich zuletzt 2018 nach fünf aufeinanderfolgenden Jahren mit schlechter Durchmischung. Im Gegensatz zu den Jahren 2013 bis 2017 kam es allerdings seit 2018 nicht zu einer beträchtlichen Anreicherung von Phosphor in der Tiefe (Abb. 5).

Der minimale **Sauerstoffgehalt** im tiefen Hypolimnion des Obersees 2024 zeigte mit 6,5 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe (Abb.6). Stabile Sauerstoffverhältnisse am Seegrund sind essentiell für die biologische Entwicklung wie beispielsweise von Felcheneiern. Die Phosphorgehalte begrenzen die Phytoplanktonentwicklung und infolgedessen den Verbrauch von Sauerstoff aufgrund des aeroben Abbaus von Biomasse u.a. in der Tiefe des Sees. Gerade in Zeiten immer seltener auftretender Frühjahrszirkulation, und damit schlechterer Versorgung des Tiefenbereichs mit sauerstoffreichen Wasser, sind die derzeit gemessenen Phosphorgehalte die Voraussetzungen für stabile Sauerstoffverhältnisse im Tiefenbereich.

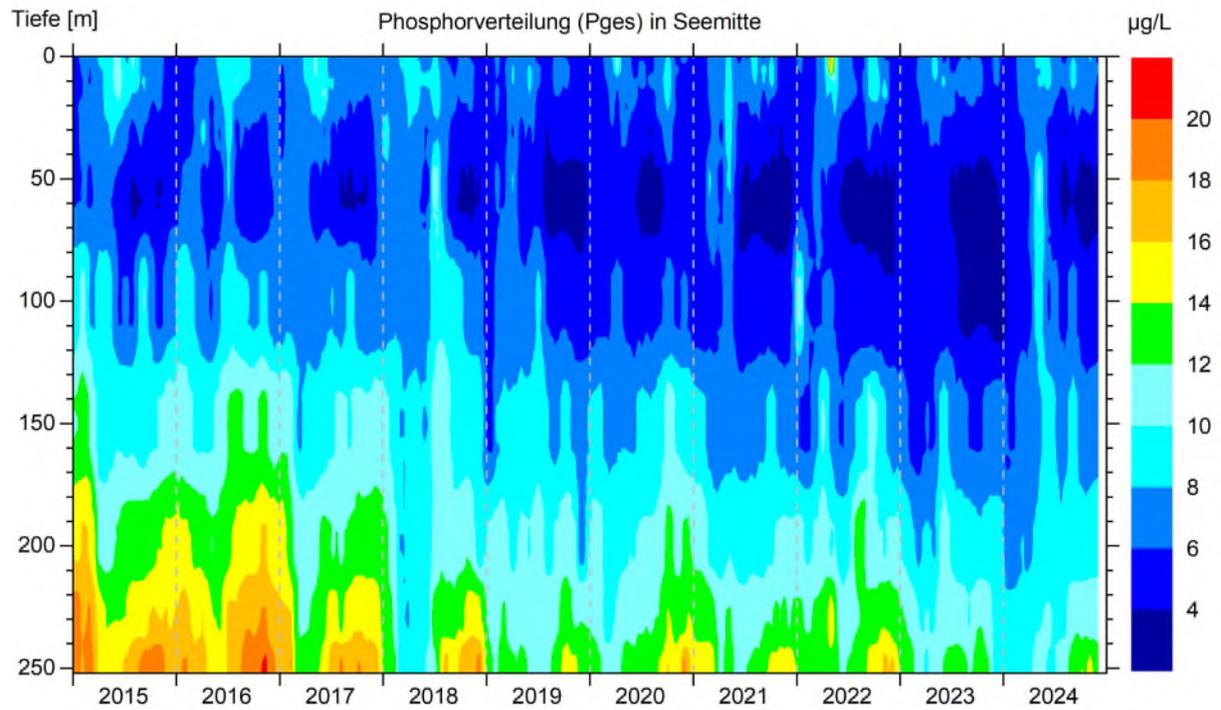


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2015 bis 2024.

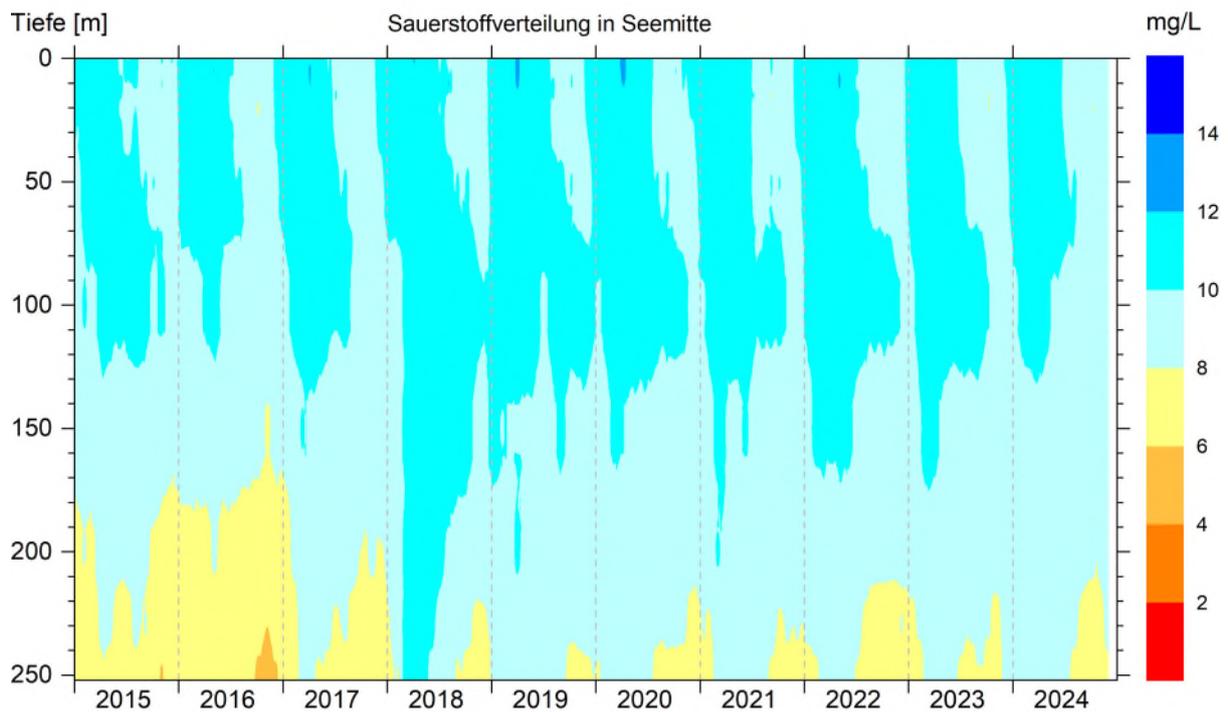


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2015 bis 2024.

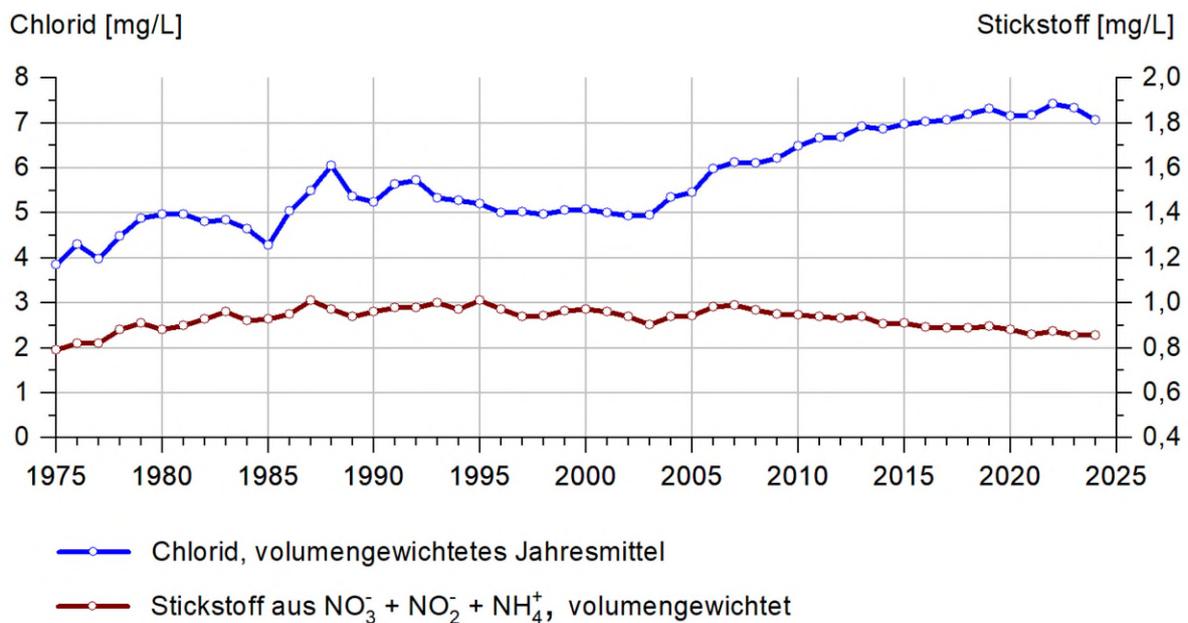


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2024 wie bereits 2023 bei 0,86 mg/L. Insgesamt ist eine sukzessive Abnahme der Konzentrationen seit den 90er Jahren erkennbar (Abb. 7).

Bei **Chlorid** als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich zeichnet sich seit 2004 ein zunehmender Trend ab (Abb. 7). Während es im Jahr 2003 noch 5 mg/L waren, stieg die Konzentration 2022 auf 7,4 mg/L und lag 2024 bei 7,1 mg/L. In den letzten beiden Untersuchungsjahren zeigte sich nun kein weiterer Anstieg. Ob sich die Chloridkonzentration auf diesem Konzentrationsniveau stabilisiert, wird sich die kommenden Jahre zeigen. Laut dem deutschen Umweltbundesamt können Gewässerorganismen bereits ab einer Chloridkonzentration von 200 mg/l geschädigt werden (UBA 2013). In Deutschland gibt es keinen geregelten Grenzwert für Seen. Für Fließgewässer ist gemäß der Oberflächengewässerverordnung ((OGewV) 2016, Anlage 7) unter den allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (ACP) für Chlorid ein Orientierungswert von 200 mg/l festgesetzt. Neuere Untersuchungen an Seen in Kanada und Europa zeigen, dass Zooplanktonorganismen auch bei niedrigeren Konzentrationen beeinträchtigt werden können (Hintz et al, 2022). Das nationale französische Institut für Industrie- und Umwelttrisikomanagement (INERIS) hat 2019 für Chlorid einen Grenzwert von 30 mg/L zum Schutz von aquatischen Organismen vorgeschlagen. Der Konzentration im Bodensee liegt deutlich darunter.

Phytoplankton und Pigmente

Die Phytoplanktonentwicklung an der Station Fischbach-Uttwil verlief im Frühjahr 2024 typisch für einen oligotrophen Alpensee. In der zweiten Jahreshälfte kam es zu ausgeprägten Kieselalgenblüten. Bedingt durch die starken Niederschläge und dem damit verbundenen Nährstoffein-

trag zunächst im Sommer (Juli und August) mit *Tabellaria flocculosa* und erneut im Herbst (Oktober) mit *Fragilaria crotonensis* als bestimmende Art, was zu einem deutlichen Anstieg der Gesamtbio­masse führte. Die mittlere Phytoplankton-Bio­masse stieg 2024 auf 0,6 mg/L und auch die Chlorophyll a-Konzentrationen waren mit durchschnittlich 2,1 µg/L höher als im Vorjahr (Tab. 1). 2024 stellten die Kieselalgen (Bacillariophyceen) mit 58 % die dominierende Algengroß­gruppe an der Station Fischbach-Uttwil dar. Die Cryptophyceen bildeten einen deutlich geringeren Anteil an der Gesamtbio­masse (22 % vs. 33 %) und prägten das Phytoplankton wie 2023 insbesondere im März und April. Cyanobakterien trugen punktuell im Spätsommer zur Gesamtbio­masse bei.

Zooplankton

Die Jahresdurchschnittsbio­masse des Crustaceenplanktons lag auf einem für einen oligotrophen See typischen Niveau (Tab. 1). Die Jahresdurchschnittsbio­masse ist im Vergleich zu den Vorjahren leicht zurückgegangen. Die im Zuge der Eutrophierung eingewanderte Wasserflohart *Daphnia galeata* wurde im Rahmen des Monitorings an der Station Fischbach-Uttwil im Jahr 2024 nicht mehr nachgewiesen. Nach wie vor war der Helmwasserfloh *Daphnia cucullata* die dominante Art, allerdings erreichte sie nur noch ca. 60% der Vorjahresabundanz. Die Bio­masse ging um ca. 1/3 zurück. Demgegenüber nahm im Vergleich zum Vorjahr *Daphnia hyalina* um mehr als Faktor 3 zu und erreichte vor allem im Juni deutlich sichtbare Abundanzen. Zu diesem Zeitpunkt waren auch sehr große Tiere nachweisbar (bis zu 2 mm). Bei den Ruderfußkrebsen dominierten die Calanoiden mit *Eudiaptomus gracilis* die Bio­masse. Cyclopoide Ruderfußkrebse waren in der wärmeren Jahreszeit zahlenmäßig dominant, wobei *Thermocyclops oithonoides* inzwischen nahezu ganzjährig die früher bildbestimmenden Art *Mesocyclops leuckarti* übertrifft.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz lag im Jahr 2024 deutlich höher als im Jahr 2023 (Tab. 1). Dies lag vor allem an einem hohen Peak Ende Mai. Zu diesem Zeitpunkt waren die effektiveren Filtrierer (Daphnien) noch nicht in großen Mengen vorhanden, daher konnten die Rotatorien auch knapp 55 % der Gesamtbio­masse bilden. Die Rotatorien waren zahlenmäßig weit häufiger vertreten als das Crustaceenplankton. Bei einer durchschnittlichen Abundanz von 90 % erreichten die Rotatorien aufgrund ihres geringen Individuengewichts allerdings lediglich knapp 14 % der Bio­masse (Trockenmasse).

Monitoring der Quaggamuschel

Die durchschnittliche Dichte der frei im Wasser schwimmenden Larven der Dreikantmuscheln (Veligerlarven) an der Station Fischbach-Uttwil erreichte im Jahr 2024 ca. 1647 Larven pro m³ Seewasser. Das Maximum wurde Anfang Juni mit 6735 Larven pro m³ Seewasser (bezogen auf eine Wassersäule von 0-100 m) nachgewiesen. Das Maximum lag höher als im Vorjahr und auf einem ähnlichen Niveau wie in den Jahren 2020-2021 (Abb. 8).

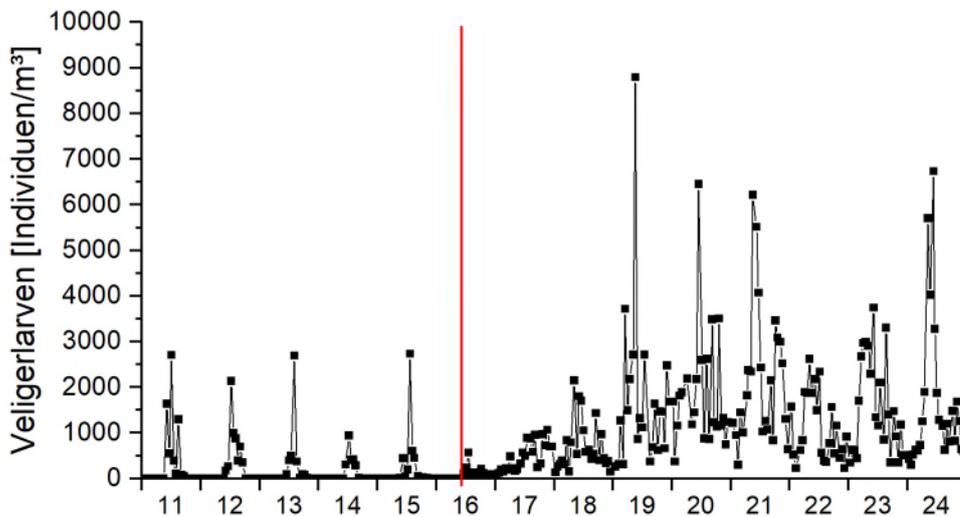


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von QuaggamuscheIn im Bodensee.

Tab. 1: Kennzahlen ausgewählter biologischer Merkmale an der Station Fischbach-Uttwil

Biologisches Merkmal	Fischbach-Uttwil
Ø Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m	0,60 (2023: 0,43)
maximale Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m	1,49 (August) (Juni 2023: 1,27)
dominierende Großgruppen Phytoplankton Jahresverlauf; 0-20 m	Bacillariophyceae (58,0 %) Cryptophyceae (21,5 %) Dinophyceae (7,7 %) Chrysophyceae (7,0 %)
Ø Chl a- Konzentration µg/L; 0-20 m	2,1 (2023: 1,7)
maximale Chl a- Konzentration µg/L; 0-20 m	6,2 (August) (Mai 2023: 3,8)
Ø Cladocerenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	10,12 (2023: 14,79)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	20,31 (2023: 23,71)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	274,11 (2023: 188,87)
Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L, bezogen auf 0-20 m)	64 (2023: 70)

Bodensee - Untersee

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den erneut sehr milden Winter 2023/2024 sowie durch das wiederum sehr warme Jahr 2024 geprägt (Abb. 3).

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 16.01.2024 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit von 5,0 °C an der Wasseroberfläche und 4,9 °C in Bodennähe gemessen. Am 20.02.2024 hatte sich die Wassersäule aufgrund des sehr warmen Februars bereits wieder erwärmt und es wurden oberflächennah 6,6 °C und bodennah 5,8 °C gemessen. Am 19.03.2024 wurde dann die weitere Erwärmung und erneut einsetzende thermische Schichtung des Wasserkörpers registriert mit einer Wassertemperatur von 8,0 °C an der Oberfläche und 6,7 °C in Bodennähe. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 20.08.2024 mit 24,3 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Im September wurde dann am 18.09.2024 eine Oberflächentemperatur von nur noch 17,8 °C gemessen. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahrgang mit einer minimal registrierten Temperatur von $T_{\min} = 4,9$ °C am 16.01.2024 und $T_{\max} = 9,5$ °C am 22.10.2024.

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde am 06.02.2024 eine oberflächennah bis zum Boden in 22 m Wassertiefe weitgehend ausgeglichene Wassertemperatur von 5,1 °C registriert. Am 05.03.2024 wurde bereits wieder eine leichte Erwärmung der Wassersäule gemessen mit 7,4 °C an der Oberfläche und 6,5 °C am Boden. Am 03.04.2024 war diese Erwärmung bereits konsolidiert und oberflächennah wurden 9,1 °C und in Bodennähe 8,6 °C registriert. Am 07.05.2024 wurde mit einer Temperatur von 11,8 °C bereits eine deutliche Erwärmung des Oberflächenwasserkörpers und eine weitere thermische Schichtung des Gewässers registriert, als bodennah 8,0 °C gemessen wurden.

Im **Gnadensee** (Wassertiefe: 19 m) wurde am 06.02.2024 eine vertikal konstante Temperatur von 4,9 °C vorgefunden. Am 05.03.2024 wurden dann oberflächlich bereits 7,1 °C und am Seeboden 6,2 °C gemessen. Die Messung am 03.04.2024 zeigte dann eine bereits deutliche Erwärmung der Wassersäule, die mit 9,8 °C an der Oberfläche und 9,3 °C am Seeboden noch geringe Temperaturgradienten aufwies.

Die **oberflächlichen Höchsttemperaturen** wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 06.08.2024 im Gnadensee mit 25,6 °C und im Zellersee mit 24,5 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 06.02.2024 mit $T_{\min} = 4,9$ °C und im Zellersee mit $T_{\min} = 5,1$ °C gemessen. Aufgrund der flacheren Morphometrien wurden im Vergleich zum Rheinsee leicht höhere maximale **Tiefenwassertemperaturen** an den tiefsten Stellen dieser beiden Teilbecken registriert. Die maximale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit $T_{\max} = 11,3$ °C und im Zellersee mit $T_{\max} = 12,4$ °C am 05.11.2024 gemessen.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** lag 2024 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 7,4 µg/L höher als im Vorjahr (2023: 5,9 µg/L) und über dem Wert im Obersee (2024: 6,1 µg/L). Im Zellersee betrug der Jahresmittelwert 2024 13,1 µg/L und lag damit unter dem Wert von 2023 mit 15,2 µg/L. Im Gnadensee wurde 2024 ein Gesamtphosphorgehalt von 11,3 µg/L bestimmt (2023: 13,4 µg/L).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag im Rheinsee 2024 mit 0,68 mg/L unterhalb des Vorjahreswertes von

0,73 mg/L, im Zellersee 2024 mit 0,88 mg/L etwas oberhalb des Wertes von 2023 (0,83 mg/L). Im Gnadensee lag der Wert für anorganischem Stickstoff bei 0,61 mg/L (2023: 0,59 mg/L).

Der minimale **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug 2024 im Rheinsee 0,8 mg/L (2023: 1,3 mg/L). Im Tiefenwasserbereich des Zellersees wurde 2024 ebenfalls ein Sauerstoffminimum von 0,8 mg/L beobachtet. Im Jahr 2023 lag dieses bei 0,2 mg/L. Der Gnadensee zeigte in den Herbstmonaten sauerstofffreie Verhältnisse über Grund. Ende des Jahres konnten sich die Sauerstoffwerte in allen Seeteilen des Untersees wieder erholen.

Phytoplankton und Pigmente

Die mittlere Phytoplankton-Biomasse lag 2024 im Gnadensee mit 0,64 mg/L auf ähnlichem Niveau wie im Vorjahr. Sie war damit höher als im Zellersee, dessen Biomasse mit 0,54 mg/L im Vergleich zu 2023 abgenommen hat. Im Gegensatz dazu stieg die mittlere Phytoplankton-Biomasse im Rheinsee deutlich auf 0,49 mg/L, was maßgeblich auf eine Kieselalgenblüte im September (1,7 mg/L) zurückzuführen war. Die mittleren Chlorophyll-a-Konzentrationen folgten der Entwicklung der Phytoplankton-Biomassen. In allen drei Seeteilen dominierten 2024 die Cryptophyceen und Kieselalgen das Phytoplankton, wobei im Gnadensee und Zellersee die Cryptophyceen einen höheren Anteil am Phytoplankton bildeten. Im Rheinsee waren beide Gruppen nahezu gleich stark vertreten (Tab. 2). Die übrigen Gruppen spielten eine untergeordnete Rolle.

Zooplankton

Die größten Änderungen beim Zooplankton wurden im Gnadensee beobachtet. Hier nahmen die mittleren Abundanzen der Wasserflöhe (Cladoceren) und Ruderfußkrebse (Copepoden) deutlich ab, wohingegen im Rheinsee eher eine Zunahme zu beobachten war. Im Zellersee blieben die mittleren Abundanzen auf vergleichbarem Niveau, was sich auch in der kaum veränderten Jahresdurchschnittsbiomasse zeigte (Tab.2). Im Zellersee und Rheinsee wurde die Wasserflohbiomasse wie am Obersee durch *Daphnia cucullata* bestimmt, beim Gnadensee war nach wie vor die größere Art *Daphnia galeata* im Jahresdurchschnitt am häufigsten, *Daphnia cucullata* spielte hier nur eine untergeordnete Rolle. Im Rheinsee dominierten über die Sommermonate (Juli bis September) die cyclopoiden Ruderfußkrebse und hier vor allem *Thermocyclops oithonoides*, der deutlicher als im Obersee die Biomasse der früheren Sommerart *Mesocyclops leuckartii* übertraf. In allen drei Unterseebecken ließ sich in den Sommermonaten ein Peak von *Thermocyclops oithonoides* feststellen.

Die Rotatorienabundanz schwankt aufgrund der kurzen Generationszeiten üblicherweise von Jahr zu Jahr. Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz hat im Vergleich zu 2023 lediglich im Gnadensee leicht zugenommen, im Zellersee und Rheinsee war sie niedriger als im Vorjahr (Tab. 2). Die Rotatorien trugen zahlenmäßig im Jahresdurchschnitt zwischen 78 % (Gnadensee) und 85 % (Rheinsee) zur Abundanz bei, machten aber bei Betrachtung der Biomasse lediglich ca. 3 % bis 9 % aus.

Die durchschnittlichen Biomassen des Zooplanktons wiesen wie im Vorjahr für den Zeller- und Gnadensee auf schwach mesotrophe Bedingungen, für den Rheinsee auf deutlich oligotrophe Bedingungen hin (Tab. 2). Auch für die Bodensee-Untersee-Stationen werden seit Jahren im Rahmen des Zooplankton-Monitorings die Veligerlarven erfasst. Die höchsten Abundanzen erreichten die Veligerlarven im Jahr 2024 erneut im Rheinsee mit knapp 56 700 Ind/m³ (2023: 31 200 Ind/m³). Wie am Obersee wurde auch in den Unterseebecken im Vergleich zum Vorjahr höhere Larvenabundanzen beobachtet.

Tab. 2: Kennzahlen ausgewählter biologischer Merkmale an den Unterseestationen Zellersee, Gnadensee, Rheinsee.

	Zellersee (0-20 m)	Gnadensee (0-18 m)	Rheinsee (0-30 m)
Ø Phytoplankton-Biomasse mg/L	0,54 (2023: 0,66)	0,64 (2023: 0,66)	0,49 (2023: 0,35)
max. Phytoplankton-Biomasse mg/L	0,88 (Jun) (2023: 1,58 Mai)	1,01 (Sep) (2023: 1,06 Mai)	1,71 (Sep) (2023: 0,85 Jun)
dominierende Phytoplanktongruppen Jahresverlauf	Cryptophyceen (41,2 %) Bacillariophyceen (36,2 %) Dinophyceen (11,7 %)	Cryptophyceen (37,7 %) Bacillariophyceen (29,9 %) Dinophyceen (10,8 %) Chrysophyceen (10,1 %)	Bacillariophyceen (43,9 %) Cryptophyceen (40,1 %)
Ø Chl a-Konzentration µg/L	2,25 (2023: 2,99)	3,09 (2023: 3,29)	1,55 (2023: 1,48)
maximale Chl a-Konzentration µg/L	3,28 (Jun) (2023: 5,6 Mrz)	4,95 (Okt) (2023: 4,85 Okt)	2,42 (Jul) (2023: 2,2 Okt)
Ø Cladocerenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	19,34 (2023: 18,34)	11,27 (2023: 19,99)	8,77 (2023: 8,03)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	24,01 (2023: 26,18)	32,79 (2023: 43,05)	22,77 (2023: 16,93)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	174,85 (2023: 215,94)	228,15 (2023: 218,23)	180,47 (2023: 195,02)
Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L)	111 (2023: 110)	134 (2023: 186)	44 (2023: 38)

Fazit und Handlungsbedarf

Die Wasserqualität des Bodensees befindet sich weiterhin in einem einwandfreien Zustand.

Der Gesamtphosphorgehalt im Obersee liegt in einem Bereich, der für einen großen und tiefen oligotrophen Alpensee typisch ist. Auf diesem Niveau finden Schwankungen statt, die u.a. durch interne Prozesse und das Witterungsgeschehen induziert werden.

Die Phytoplankton-Biomasse des Obersees wird – wie für oligotrophe Alpenseen typisch - von Kieselalgen dominiert. Die zeitweise Dominanz der calanoiden Ruderfußkrebse u.a. auch während der warmen Jahreszeit bestätigt den niedrigen „trophischen Zustand“ des Bodensees. Zeiger erhöhter Trophie fehlen weitgehend. Im Vergleich zu den 1990er Jahren ist beim Zooplankton eine Veränderung im Artenspektrum festzustellen: deutliche Präsenz von *Thermocyclops oithonoides* in den Unterseebecken und dessen Aufkommen im Obersee sowie eine starke Präsenz von *Eudiaptomus graciloides* in den Untersee-Becken (im Obersee bisher nur einmaliger Nachweis im Rahmen von Seewandel-Untersuchungen).

Im Untersee wird die trophische Entwicklung neben den P-Einträgen über die Zuflüsse auch von der variierenden Freisetzung aus den Sedimenten beeinflusst.

Durch das regelmäßige IGKB-Monitoring können besondere Phänomene erkannt und beschrieben werden. Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen bestätigen eindrücklich den positiven Effekt der Gewässerschutzmaßnahmen aller Länder und Kantone im Einzugsgebiet des Bodensees. Der starke Nutzungsdruck auf den See, die Einflüsse des Klimawandels und die Einwanderung von Neobiota rechtfertigen nach wie vor die hohen Anforderungen der IGKB an den Gewässerschutz.