

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE

70. Kommissionstagung 2024

Aktueller Bericht über den limnologischen Zustand des Bodensees im Jahr 2023

Bodensee - Obersee

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

2023

- war ein sehr warmes und überdurchschnittlich sonnenreiches Jahr
- wurde die bisher höchste Jahresdurchschnittstemperatur in 250 m Wassertiefe beobachtet
- waren die sommerlichen Wasserstände erneut außergewöhnlich niedrig
- wurde mit den höchsten Wasserständen, die je in einem Dezember gemessen wurden, beendet
- war ein Jahr mit schlechter Zirkulation und
- war gekennzeichnet durch eine weitere Ausbreitung der Quagga-Muschel.

Die Konzentration des Gesamtphosphors im volumengewichteten Jahresmittel 2023 betrug 5,4 µg/L. Der Vorjahreswert lag bei 6,2 µg/L. Der minimale Sauerstoffgehalt im tiefen Hypolimnion des Obersees zeigte mit 6,8 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe.

Das Jahr 2023 zeigte **Wasserstände**, die sich von Januar bis April im Bereich der langjährigen Mittelwerte (1850 – 2021) bewegten (Abb. 1). Im Mai wurden dann gegenüber den langjährigen Mittelwerten deutlich erhöhte Wasserstände registriert. In den Sommermonaten Juni, Juli und August lagen die Wasserstände dann aufgrund der sehr warmen und niederschlagsarmen Witterung zum Teil weit unterhalb der Mittelwerte und näherten sich speziell im Juli den langjährigen Minima an, ohne diese zu erreichen. Ende August kam es dann im Lauf einer stark niederschlagsreichen Periode zwischen dem 24. und 31.08.2023 zu einem raschen Anstieg des Wasserstandes um 83 cm. Im September und Oktober wurden dann wieder Wasserstände registriert, die nahe den langjährigen Mittelwerten lagen. In den folgenden niederschlagsreichen Monaten November und Dezember kam es dann noch einmal zu einem starken Anstieg der Wasserstände. Im Dezember wurden dann sogar langjährige Maxima erreicht und an insgesamt 19 Tagen überschritten. Mit 420 cm wurde am Pegel Konstanz am 15.12.2023 der bisherige maximale Dezemberwasserstand von 410 cm vom 01.12.1944 um 10 cm übertroffen.

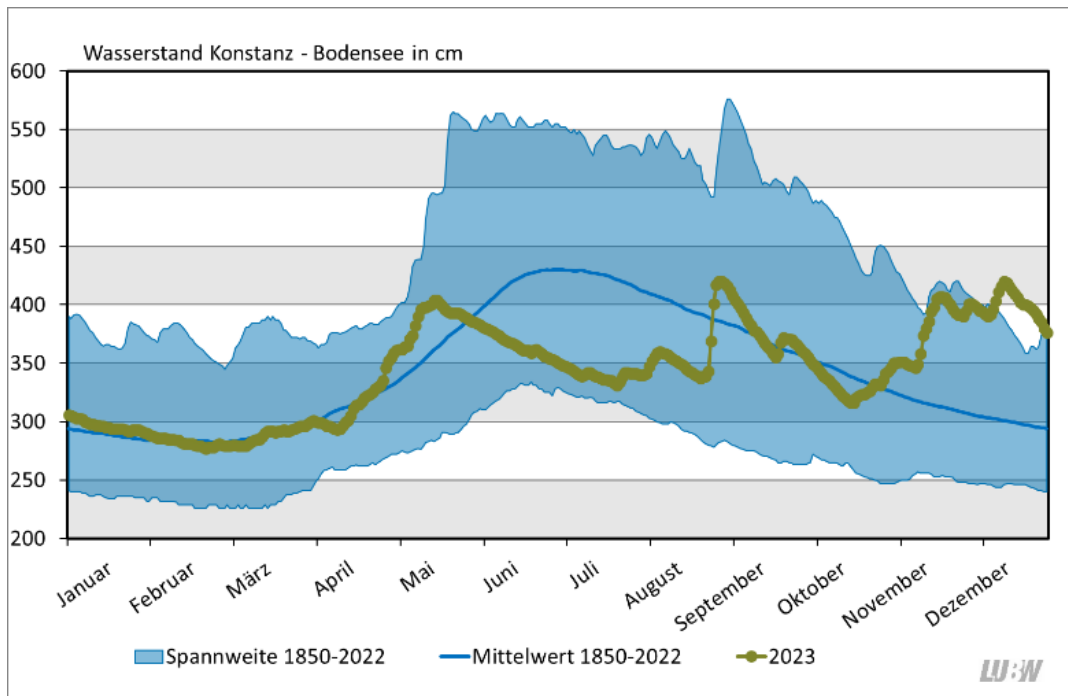


Abb. 1: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2023 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle: RP Freiburg.

Meteorologisch war das Jahr 2023 ein wiederum sehr warmes und sonnenreiches Jahr, das hinsichtlich der Jahresmitteltemperaturen für Deutschland den Rekord von 2018 und 2022 übertraf (DWD, Klimastatusbericht 2023). Dabei ist die sehr hohe Jahresmitteltemperatur vor allem auf sehr milde Wintermonate und überdurchschnittlich warme Herbstmonate zurückzuführen, während die Sommermonate eher mittlere Werte und keine besonderen Hitzewellen zeigten. Die Niederschläge wiesen keine außergewöhnlichen Abweichungen von den Mittelwerten auf.

Das deutschlandweite Gebietsmittel der Temperatur lag dabei mit $10,6\text{ °C}$ um $2,3\text{ K}$ über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode (IRP, 1961 – 1990), was 2023 vor den Jahren 2018 und 2022 zum wärmsten Jahr seit 1881 macht. Dabei traten im deutschlandweiten Gebietsmittelwert in allen Monaten positive Temperaturanomalien gegenüber der Referenzperiode auf.

Das zeigte sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von $10,7\text{ °C}$ eine positive Abweichung von $+2,6\text{ K}$ gegenüber dem Wert der internationalen Referenzperiode registriert wurde.

Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu nennen - Januar von $2,8\text{ °C}$ mit einer positiven Temperaturanomalie von $+3,5\text{ K}$, Juni mit einer Monatsmitteltemperatur von $19,0\text{ °C}$ ($+4,0\text{ K}$), und September mit $17,3\text{ °C}$ und einer positiven Temperaturanomalie von $+4,0\text{ K}$.

Mit $1846,4$ Sonnenstunden war das Jahr 2023 ein überdurchschnittlich sonnenscheinreiches Jahr, das jedoch weit hinter den neuen Rekordwerten des Jahres 2022 zurückbleibt.

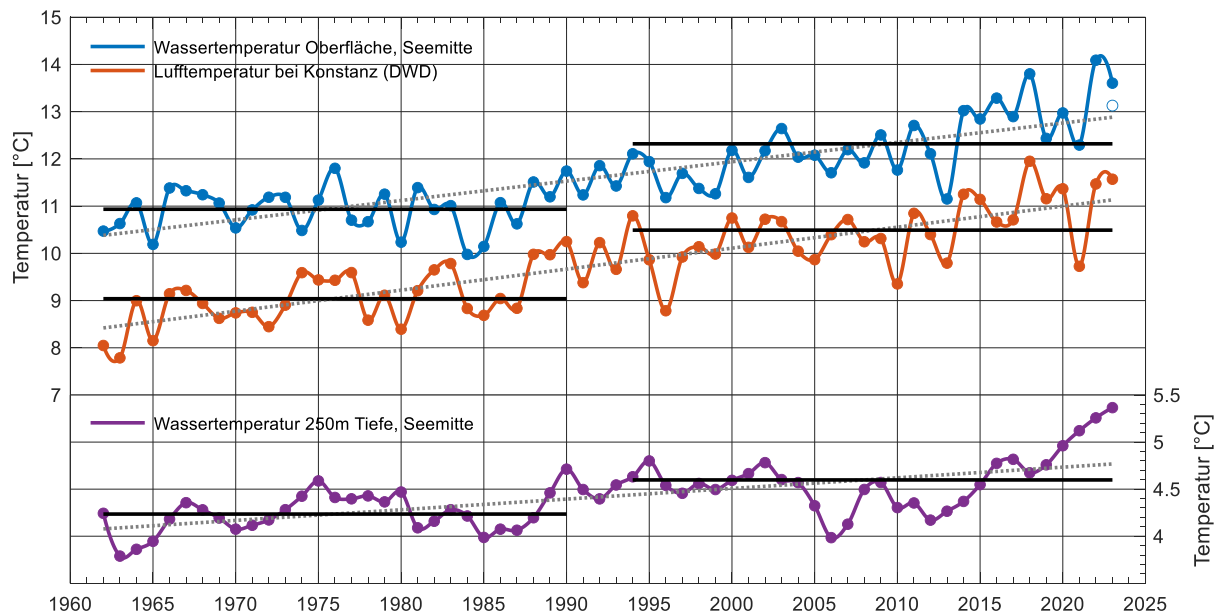


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 m Wassertiefe (lila). Der ungefüllte blaue Kreis im Jahr 2023 gibt den Jahresmittelwert der Oberflächenwassertemperatur mit Berücksichtigung eines kurzzeitig aufgetretenen kälteren Tiefenwassers (Upwelling) an, das in den Messungen erfasst wurde aber nur sehr kurzfristig die oberflächlichen Wassertemperaturen beeinflusste (siehe Text).

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 2023 war die Tiefenwassertemperatur in 250 m Wassertiefe auf außergewöhnlich hohe Werte von 5,3 °C – Ende des Jahres sogar auf 5,4 °C - angestiegen.

Die oberflächlichen Wassertemperaturen Anfang des Jahres 2023 waren wie in den vorhergehenden Jahren durch den erneut sehr milden Winter 2022/2023 geprägt (Abb. 3). An der Station Fischbach-Uttwil lagen die Oberflächentemperaturen am 10.01.2023 und 06.02.2023 mit 7,1 °C und 5,8 °C im Bereich des Vorjahres zu dieser Zeit. Die durchmischte Wasserschicht wies bis in etwa 30 m Wassertiefe am 10.01.2023 eine einheitliche Temperatur von 7,1 °C auf, in 50 m Wassertiefe dann eine Temperatur von 6 °C. Die Wassertemperatur in 250 m erreichte in diesem Winter zu dieser Zeit mit 5,3 °C einen außergewöhnlich hohen Wert, der noch einmal 0,1 K höher als im Vorjahr zu dieser Zeit war.

Im Verlauf des Februars 2023 kam es zu einer weiteren Durchmischung und Abkühlung des Wasserkörpers. Am 6.03.2023 wurde eine Wassertemperatur von durchgehend 5,5 °C im Tiefenbereich von 5 m bis in 100 m gemessen. An diesem Termin wurde der geringste vertikale Temperaturgradient in 2023 gemessen mit einer Wassertemperatur an der Oberfläche von 5,7 °C und in 250 m Wassertiefe 5,3 °C.

Bereits am 03.04.2023 konnte wieder die beginnende Temperaturschichtung des Wasserkörpers beobachtet werden, als oberflächlich in 0,5 m Wassertiefe eine Wassertemperatur von 6,4 °C und am 02.05.2023 eine Temperatur von 11,0 °C gemessen wurde. Die Wassertemperatur in 250 m Wassertiefe betrug zu dieser Zeit 5,4 °C.

Am 03.07.2023 wurde an der Station Fischbach-Uttwil mit 21,5 °C die höchste Wassertemperatur im Jahr 2023 gemessen. Am 04.09.2023 wurde eine Oberflächenwassertemperatur von 20,6 °C registriert, am 09.10.2023 immer noch eine Temperatur von 18,2 °C.

Eine Besonderheit war in den Messungen der Wassertemperaturen insbesondere im Bodensee Obersee am 07.08.2023 zu beobachten. Zu dieser Zeit wurde durch ein Starkwindereignis ein sogenanntes „Upwelling-Ereignis“ initiiert, bei dem kurzzeitig das warme Oberflächenwasser durch kaltes Wasser aus tieferen Wasserschichten verdrängt wurde und am Messpunkt Fischbach-Uttwil eine Temperatur von nur 13,4 °C an der Oberfläche gemessen wurde. Simulationen mit dem BodenseeOnline-Modellsystem zeigen den sehr kurzzeitigen, vorübergehenden Charakter dieses Ereignisses, das sich nur über etwas mehr als einen Tag zeigte.

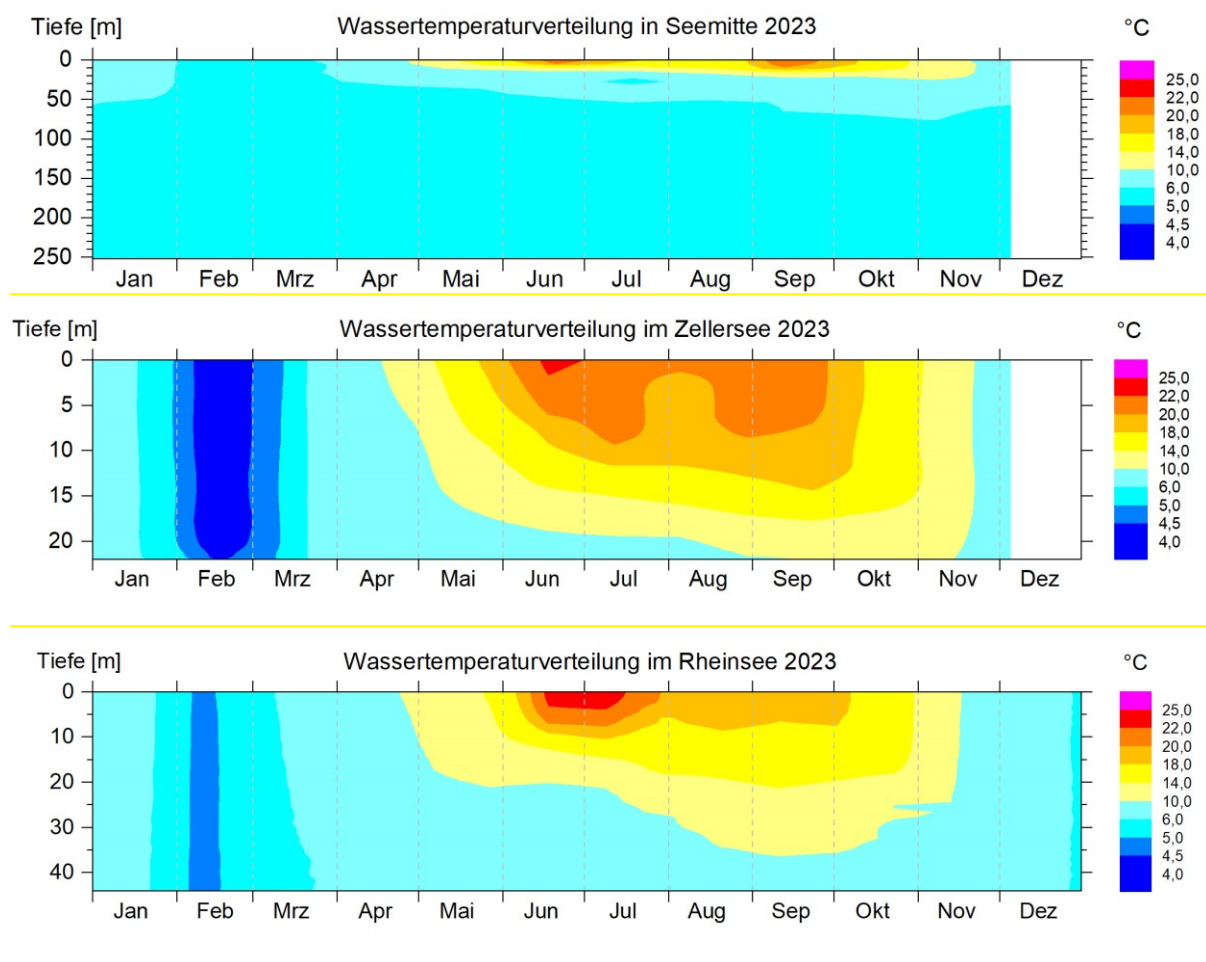


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2023 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil (oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten)).

Während der Abkühlungsphase im Herbst/Winter sanken die oberflächlichen Temperaturen dann bis auf 7,6 °C am 05.12.2023 ab. An diesem Termin wurde in 250 m Wassertiefe eine für diesen Tiefenbereich hohe Temperatur von 5,4 °C gemessen.

Die Auswertung entsprechender Stoff- und Temperaturgradienten und der daraus abgeleitete Durchmischungsindex (Abb. 4, Mitte) zeigt, dass es im Jahr 2023 schon im fünften Jahr in Folge keine gute vertikale stoffliche Durchmischung der Wassersäule gab.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** betrug 2023 im volumengewichteten Jahresmittel 5,4 µg/L und lag damit nahe den Vorjahreswerten (2022: 6,2 µg/L, 2021: 6,0 µg/L) (Abb. 4). Insgesamt liegen die mittleren Konzentrationen an Gesamtphosphor weiterhin in einem für große tiefe Alpenseen typischen Bereich. Während der Zirkulationsphase im Februar bis April 2023 wurden 5,6 µg/L festgestellt (2022: 6,5 µg/L, 2021: 6,3 µg/L).

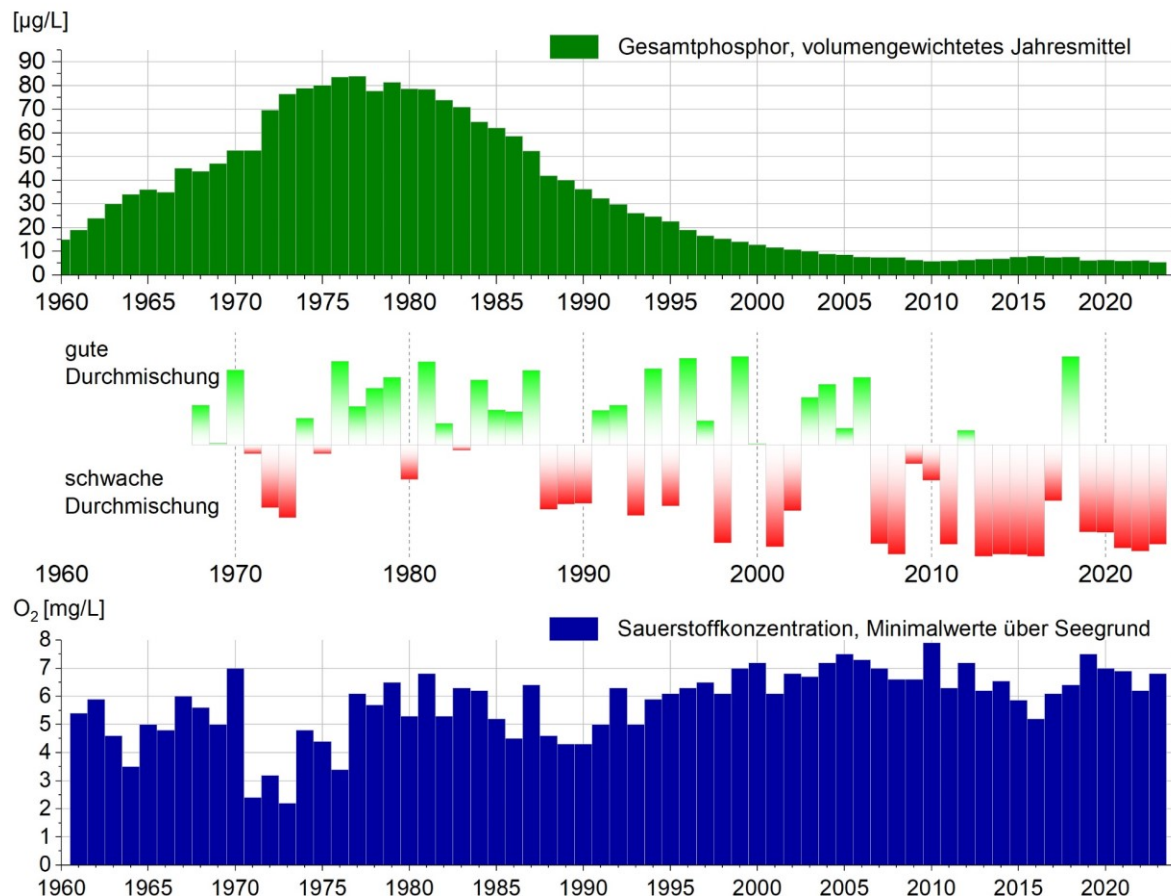


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

2023 war wie bereits die vier 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). Die Beobachtung deckt sich auch mit den gemessenen Sauerstoffwerten über Grund. Der minimale **Sauerstoffgehalt** im tiefen Hypolimnion des Obersees 2023 zeigte mit 6,8 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe (Abb.6).

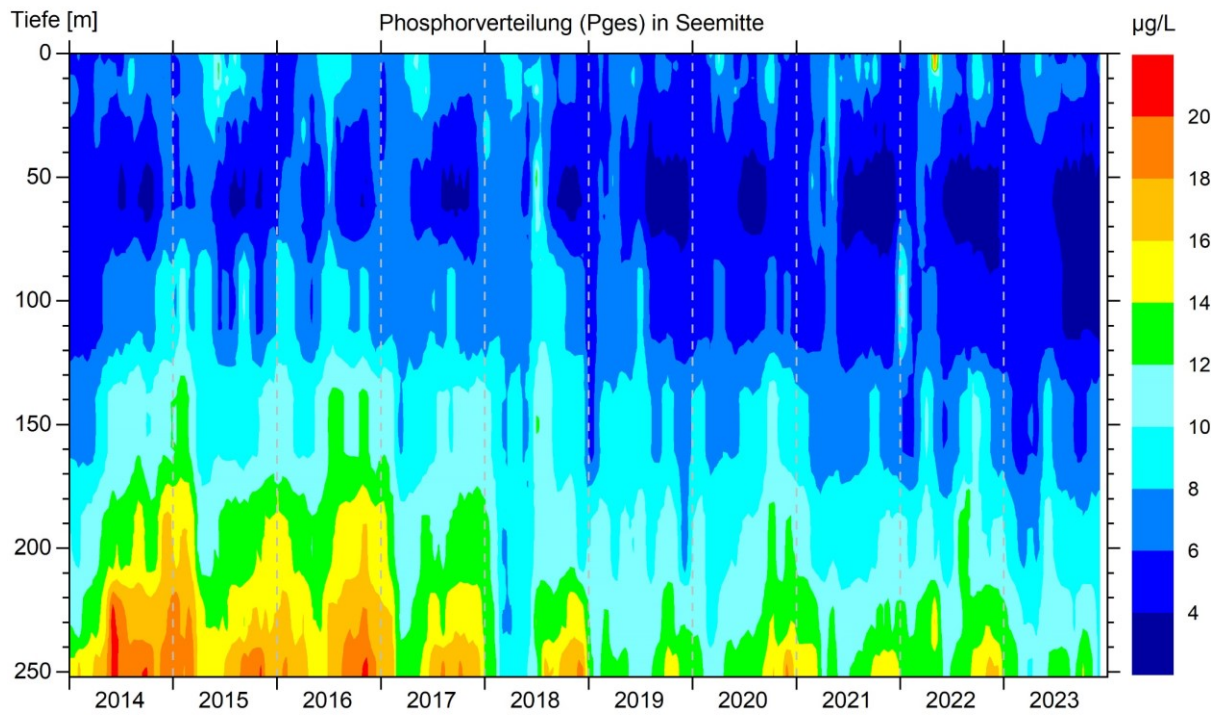


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2014 bis 2023.

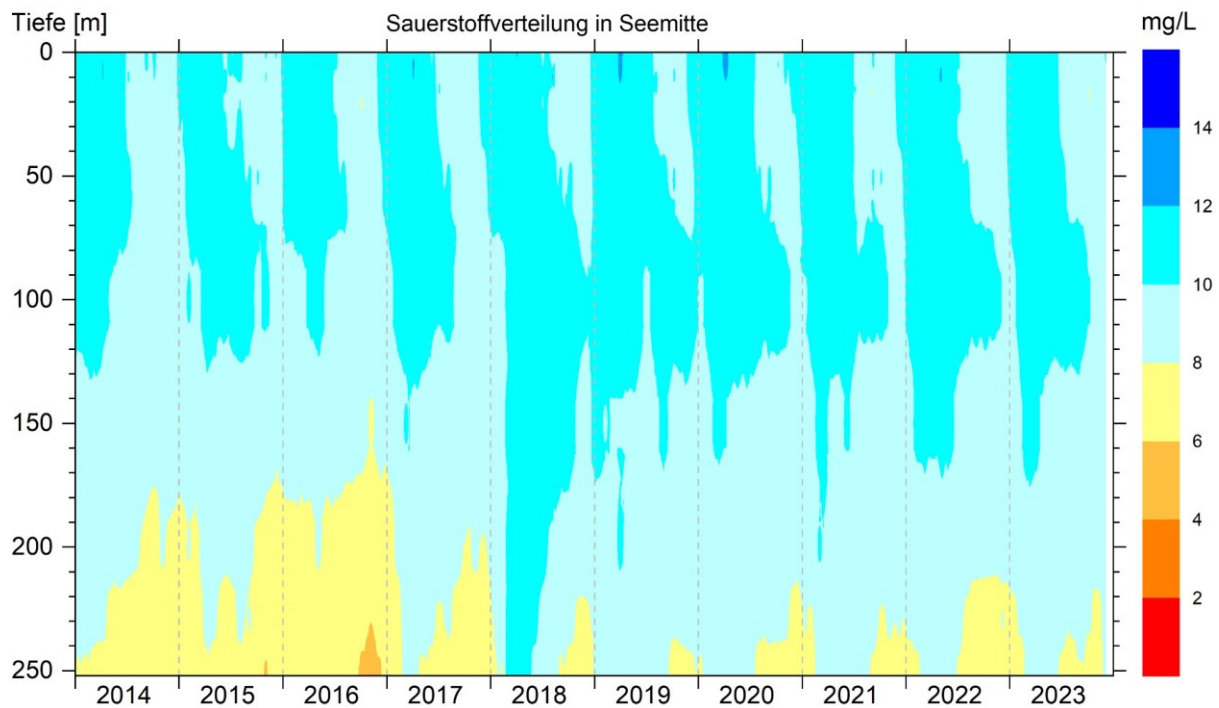


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2014 bis 2023.

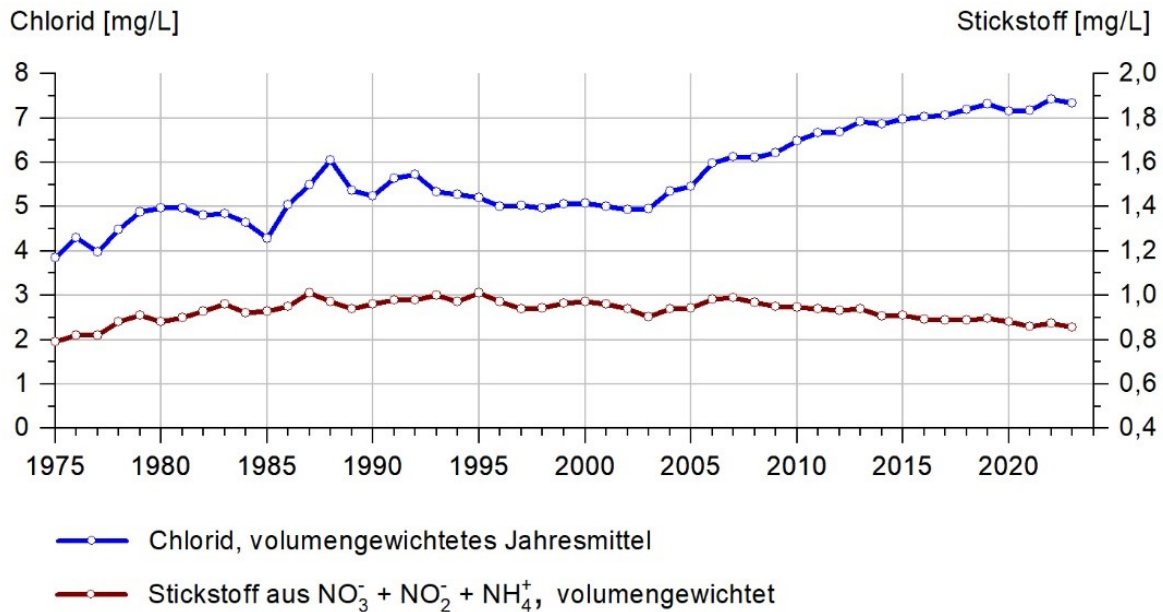


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2023 bei 0,86 mg/L (2022: 0,87 mg/L). Insgesamt ist ein leicht abnehmender Trend 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 2023 bei 7,3 mg/L. 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 Umweltrisikomanagement (INERIS) hat 2019 für Chlorid einen Grenzwert von 30 mg/L zum Schutz von aquatischen Organismen vorgeschlagen. Der Konzentration im Bodensee liegt mit 7,3 mg/L deutlich darunter.

Phytoplankton und Pigmente

Die Phytoplanktonentwicklung an der Station Fischbach-Uttwil verlief 2023 typisch für einen oligotrophen Alpensee. Die Chlorophyll a-Konzentrationen (Jahresdurchschnitt 1,7 µg/L) waren insgesamt niedrig (Tab. 1). 2023 war die Phytoplankton-Biomasse mit 0,43 mg/L im Jahresdurchschnitt etwa gleich hoch wie im Vorjahr. 2023 bildeten Kieselalgen (Bacillariophyceen) mit 40,5 % im Vergleich der Algengroßgruppen die meiste Biomasse. Im Vergleich zu 2022 bildeten die Cryptophyceen einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtbiomasse (21,4 % vs 32,9 %). Das lag vor allem an hohen Cryptophyceendichten in den Monaten März und April.

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 Wasseflohart *Daphnia galeata* kam im Obersee im Jahr 2023 kaum noch vor. Die Dominanz des Helmwasserfloh *Daphnia cucullata* manifestierte sich 2023 weiter. Bei den Ruderfußkrebsen dominierten die Calanoiden mit *Eudiaptomus gracilis* die Biomasse. Cyclopoide Ruderfußkrebse, die normalerweise in der wärmeren Jahreszeit dominieren (*Mesocyclops leuckarti* und *Thermocyclops oithonoides*) sind bereits zu Beginn der Untersuchung bildbestimmend wenn auch im Winter vorwiegend durch „aktive, im Pelagial befindliche“ Diapause-Stadien (C5- Copepodide). *Thermocyclops oithonoides* scheint sich im Obersee zu etablieren und übertrifft im Hochsommer die Abundanzen der früher bildbestimmenden Art *Mesocyclops leuckarti*.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz lag im Jahr 2023 etwa gleich hoch wie im Jahr 2022 (Tab. 1). Die Rotatorien waren zahlenmäßig weit häufiger vertreten als das Crustaceenplankton. Bei einer durchschnittlichen Abundanz von 83 % erreichten die Rotatorien aufgrund ihres geringen Individuengewichts allerdings lediglich gut 7 % der Biomasse (Trockenmasse). Die höchste Biomasse wurden Anfang April mit einem Anteil von 37,5 % an der Gesamtbiomasse vorgefunden.

Ciliatenplankton

Die Abundanzen und Biovolumen der Ciliaten wurden im Jahr 2023 erstmalig durch die IGKB erhoben, wodurch ein Vergleich mit früheren Jahren nicht möglich ist. Das Biovolumen im Jahresmittelwert entsprach 0.14 mg/L (Tab. 1), was ca. einem Drittel bis einem Viertel der Biomasse des Phytoplanktons entspricht. Die höchsten Biomassen wurden im Mai vorgefunden, kurz vor dem Biomassepeak des Phytoplanktons.

Monitoring der Quaggamuschel

Auch im Jahr 2023 breitete sich die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) im Bodensee weiter in die Tiefe aus. Die durchschnittliche Dichte der frei im Wasser schwimmenden Larven der Muscheln (Veligerlarven) an der Station Fischbach-Uttwil erreichte im Jahr 2023 ca. 1532 Larven pro m³ Seewasser. Das Maximum wurde Anfang Juni mit 3742 Larven pro m³ Seewasser (bezogen auf eine Wassersäule von 0-100 m) nachgewiesen. Das Maximum lag höher als im Vorjahr aber geringer als in den Jahren 2019-2021 (Abb. 8).

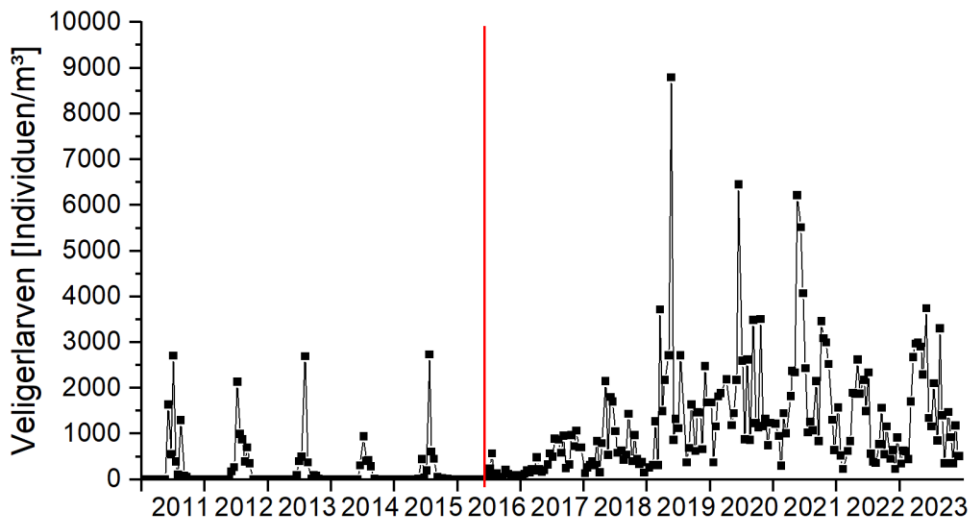


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von Quaggamussheln im Bodensee.

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

| Biologisches Merkmal | Fischbach-Uttwil |
|--|---|
| Ø Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m | 0,43 (2022: 0,46) |
| maximale Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m | 1,27 (Juni) (August 2022: 1,24) |
| dominierende Großgruppen Phytoplankton Jahresverlauf; 0-20 m | Bacillariophyceae (40,5 %) Cryptophyceae (32,9 %) Dinophyceae (13,0 %) Chrysophyceae (8,8 %) |
| Ø Chl a- Konzentration µg/L; 0-20 m | 1,7 (2022: 2,0) |
| maximale Chl a- Konzentration µg/L; 0-20 m | 3,8 (Mai) (August 2022 4,3) |
| Ø Cladocerenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 14,79 (2022: 20,09), |
| Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 23,71 (2022: 22,78) |
| Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 188,87 (2022: 187,38) |
| Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L, bezogen auf 0-20 m) | 70 (2022: 74) |
| Ø Ciliatenbiomasse (mg/L, bezogen auf 0-20 m) | 0,144 |

Bodensee - Untersee

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den milden Winter 2022/2023 sowie durch das wiederum sehr warme Jahr 2023 geprägt (Abb. 3).

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 18.01.2023 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit Wassertemperaturen zwischen 6,4 °C und bodennah 6,2 °C gemessen. Am 07.02.2023 hatte sich die Wassersäule weiter abgekühlt und es wurden oberflächennah 4,7 °C und bodennah 4,5 °C gemessen. Am 15.03.2023 wurde dann wieder eine Erwärmung und erneut einsetzende thermische Schichtung des Wasserkörpers registriert mit einer Wassertemperatur von 6,1 °C an der Oberfläche und 5,9 °C in Bodennähe. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 11.07.2023 mit 24,6 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Aufgrund der warmen Witterung im September wurde dann noch am 25.09.2023 eine Oberflächentemperatur von 20,4 °C gemessen. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von $T_{\min} = 4,6$ °C am 07.02.2023 und $T_{\max} = 9,1$ °C am 23.10.2023.

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde im Januar am 11.01.2023 eine oberflächennah bis zum Boden in 22 m Wassertiefe weitgehend ausgeglichene Wassertemperatur von 6,7 °C bis 6,8 °C registriert. Am 07.03.2023 wurde eine vertikal konstante Temperatur von 4,6 °C in der gesamten Wassersäule gemessen. Am 04.04.2023 wurde eine bereits wieder leicht erwärmte Wassersäule angetroffen, bei der oberflächennah 7,6 °C und 7,5 °C in Bodennähe registriert wurden. Am 03.05.2023 wurde mit einer Temperatur von 13,0 °C bereits eine deutliche Erwärmung des Oberflächenwasserkörpers und beginnende thermische Schichtung des Gewässer registriert, als bodennah 8,4 °C gemessen wurden.

Im **Gnadensee** (Wassertiefe: 19 m) wurde am 11.01.2023 eine weitgehend ausgeglichene Temperaturverteilung vorgefunden, die eine Temperatur von 6,5 °C an der Oberfläche und 6,4 °C am Boden aufwies. Am 07.03.2023 wurden dann oberflächlich 4,7 °C und am Seeboden 4,4 °C gemessen. Die Messung am 04.04.2023 zeigte dann eine bereits beginnende Schichtung und wieder leicht erwärmte Wassersäule, die mit 8,3 °C an der Oberfläche und 7,8 °C am Seeboden noch geringe Temperaturgradienten aufwies.

Die **oberflächlichen Höchsttemperaturen** wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 04.07.2023 im Gnadensee mit 23,1 °C und im Zellersee mit 22,0 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 7.02.2023 mit $T_{\min} = 3,8$ °C und im Zellersee mit $T_{\min} = 4,6$ °C am 07.03.2023 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 $T_{\max} = 10,9$ °C am 8.08.2023 und im Zellersee mit $T_{\max} = 10,6$ °C am 07.11.2023 gemessen.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** lag 2023 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 5,9 µg/L auf Vorjahresniveau (2022: 6,6 µg/L) und nahe dem Wert im Obersee (2023: 5,4 µg/L). Im Zellersee betrug der Jahresmittelwert 2023 15,2 µg/L und lag damit unter dem Wert von 2022 mit 18,9 µg/L. Im Gnadensee war 2023 der Gesamtphosphorgehalt von 13,4 µg/L nahezu identisch mit dem von 2022 (13,6 µg/L).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag im Rheinsee 2023 mit 0,73 mg/L leicht unterhalb des Vorjahreswertes von 0,73 mg/L, ebenso im Zellersee 2023 mit 0,83 mg/L (2022 0,82 mg/L). Im Gnadensee lag der Wert für anorganischem Stickstoff bei 0,59 mg/L (2022: 0,60 mg/L).

Der minimale **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug 2023 im Rheinsee 1,3 mg/L (2022: 0,1 mg/L). Im Tiefenwasserbereich des Zellersees wurde 2023 ein Sauerstoff-Minimum im September von 0,2 mg/L beobachtet. Im Jahr 2022 lag dieses im Oktober bei 0,2 mg/L. Der Gnadensee zeigte in den Herbstmonaten wie im Vorjahr 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 war im Vergleich zu 2022 im Zellersee kaum verändert und hat in den anderen beiden Seeteilen leicht abgenommen (Tab. 2). Auffällig war, dass die maximal beobachteten Phytoplankton-Werte im Rheinsee mit 0,85 mg/L (2022: 1,5 mg/L) deutlich und im Gnadensee mit 1,06 mg/L (2022: 1,25 mg/L) etwas niedriger waren als im Vorjahr. Die mittleren Chlorophyll-a-Konzentrationen folgten der Entwicklung der Phytoplankton-Biomassen; sie waren im Zellersee mit den Werten aus 2022 vergleichbar und nahmen im Gnaden- und Rheinsee leicht ab. In allen drei Seeteilen waren Kieselalgen und Cryptophyceen die dominierenden Phytoplankton-Gruppen. Auffällig war im Oktober ein hoher Anteil an Cyanobakterien im Gnadensee (v.a. *Planktothrix rubescens*).

Zooplankton

Die mittlere Abundanz der Ruderfußkrebse (Copepoden) nahm im Zellersee und Gnadensee leicht zu (Tab. 2). Die mittlere Abundanz der Wasserflöhe (Cladoceren) erhöhte sich nur im Gnadensee und Rheinsee, im Zellersee lagen sie auf ähnlichem Niveau wie im Vorjahr. Im Zellersee und Rheinsee wurde die Wasserflohbiomasse 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.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz hat im Vergleich zu 2022 im Zellersee und Gnadensee deutlich zugenommen, im Rheinsee hingegen deutlich abgenommen (Tab. 2). Die Rotatorien trugen zahlenmäßig zwischen 78 % und 89 % zur Abundanz bei, machten aber bei Betrachtung der Biomasse lediglich ca. 3 % bis 8 % 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 2023 im Rheinsee mit 31 200 Ind/m³. Wie am Obersee wurde auch in den Unterseebecken im Vergleich zum Vorjahr deutlich höhere Larvenabundanzen beobachtet.

Ciliatenplankton

Die Biomasse der Ciliaten war im Untersee auf einem ähnlichen Niveau wie im Obersee. Die höchste Biomasse im Mittel über alle Proben wurde im Zellersee vorgefunden, knapp weniger im Gnadensee, wobei im Gnadensee die Dezemberprobe nicht erhoben werden konnte. Die Ciliatenbiomasse im Rheinsee war am geringsten (Tab. 2).

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 | 0,66 (2022: 0,65) | 0,66 (2022: 0,72) | 0,35 (2022: 0,49) |
| max. Phytoplankton-Biomasse mg/L | 1,58 (Mai) (2022: Mai 0,91) | 1,06 (Mai) (2022: Mrz 1,25) | 0,85 (Jun) (2022: 1,52 Jun) |
| dominierende Phytoplanktongruppen Jahresverlauf | Bacillariophyceen (38,6 %) Cryptophyceen (36,4 %) Chrysophyceen (13,2 %) | Cryptophyceen (32,9 %) Bacillariophyceen (32,3 %) Chrysophyceen (14,2 %) | Bacillariophyceen (41,1 %) Cryptophyceen (40,6 %) |
| Ø Chl a-Konzentration µg/L | 2,99 (2022: 2,95) | 3,29 (2022: 3,7) | 1,48 (2022: 2,16) |
| maximale Chl a-Konzentration µg/L | 5,6 (Mrz) (2022: Mrz 5,7, Okt 5,4) | 4,7 (Feb) 4,85 (Okt.) (2022: Feb/Mrz 5,2, Okt 5,6) | 2,2 (Okt.) (2022: Okt. 3,7) |
| Ø Cladoceren-abundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 18,34 (2022: 18,73) | 19,99 (2022: 15,25) | 8,03 (2022: 6,9) |
| Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 26,18 (2022: 24,93) | 43,05 (2022: 33,93) | 16,93 (2022: 19,73) |
| Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche) | 215,94 (2022: 139,01) | 218,23 (2022: 140,78) | 195,02 (2022: 280,6) |
| Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L) | 110 (2022: 110) | 186 (2022: 165) | 38 (2022: 41) |
| Ø Ciliatenbiomasse (mg/L) | 0,206 | 0,193 | 0,126 |

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 induziert werden.

Die Phytoplanktonbiomasse 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.