Bericht Nr. 46

igkb
Internationale
Gewässerschutzkommission
für den Bodensee

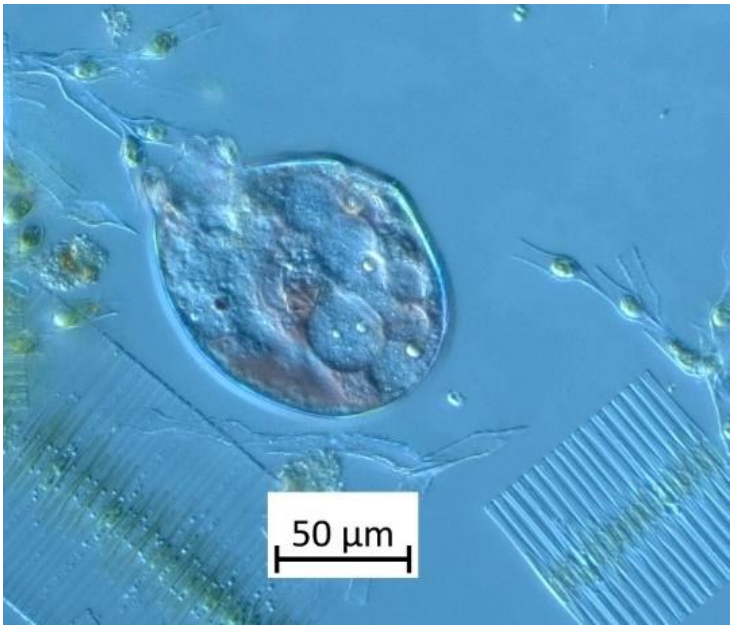
Limnologischer Zustand des Bodensees

A – Aktueller Teil

B – Jahresbericht 2024/2025

Untersuchungsprogramm Freiwasser

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet



Herausgeber: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

Titelbild: Zooplankton *Gastropus stylifer* • Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) • Bildrechte: LUBW.

Bearbeitung: Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) • Argenweg 50/1, 88085 Langenargen.

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der IGKB unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet. Der Bericht ist KI-frei bearbeitet und generiert.

Internet: http://www.igkb.org

© IGKB 2026

ISSN 1011-1271

Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 46 (2024-2025)

Bericht Nr. 46

Limnologischer Zustand des Bodensees

A – Aktueller Teil

B – Jahresbericht 2024/2025

Untersuchungsprogramm Freiwasser

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet

Die „GRÜNEN BERICHTE“ der IGKB

Seit 1976 veröffentlicht die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) alljährlich einen Bericht über den limnologischen Zustand des Bodensees. Diese sogenannten „Grünen Berichte" enthalten die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees ab dem Jahr 1974. Neben den Ergebnissen der Freiwasseruntersuchungen von Obersee und Untersee enthalten einzelne Ausgaben Informationen zu weiteren Themen wie Seebodenuntersuchungen (Nr. 10, 21, 27, 29), die radioaktive Belastung nach dem Unfall von Tschernobyl (Nr. 15), Pestizide (Nr. 19), Zuflussuntersuchungen (Nr. 26), sowie Ergebnisse einer mathematischen Modellierung zur Fernausbreitung des winterlichen Alpenrhein-Einstroms (Nr. 30). Ab Nr. 30 sind die Berichte des Fachbereichs ‚Einzugsgebiet’ Teil der Grünen Berichte. Bis auf zwei Änderungen 1985 (Formatwechsel von A5 auf A4) und 2004 (neues Layout mit zweispaltigem Text) blieb das äußere Erscheinungsbild nahezu unverändert und war durch einen unbebilderten Textteil sowie einen Anhang mit Grafiken und Tabellen charakterisiert.

Anlässlich der Kommissionstagung 2007 wurde von den Sachverständigen der IGKB eine Neugestaltung der Grünen Berichtsreihe vorgeschlagen, mit dem Ziel, die Berichte insgesamt leichter lesbar zu gestalten.

Als Zielgruppe wurden IGKB-Gremien, Behörden, Kommunen, Verwaltungen, Wissenschaftler, Studenten, Schüler sowie die interessierte Öffentlichkeit identifiziert.

In einem ersten Hauptteil werden herausragende, aktuelle Ereignisse im Seejahr vorgestellt, während im darauffolgenden Teil physikalische, chemische und biologische Untersuchungsergebnisse zu finden sind.

Die Ergebnisse der Messstationen Bregenzer Bucht, Fischbach-Uttwil, Überlingersee, Zellersee und Rheinsee werden möglichst auf einer Seite als farbige Isoplethen oder Diagramme mit knappen, erläuternden Bildunterschriften dargestellt. Da die Anzahl der Datensätze von Messjahr zu Messjahr – aufgrund unterschiedlicher Messreihen und Messtiefen – variiert, können die interpolierten Werte und damit auch die Isoplethendarstellungen zum Vorjahresbericht leicht abweichen.

Der aktuelle Bericht des Fachbereichs ‚Einzugsgebiet’ folgt als dritter und letzter Hauptteil des Grünen Berichts vor einem Anhang mit Informationen zum Untersuchungsprogramm und Hinweisen auf weitere Informationsquellen.

Bei der 59. Kommissionstagung im Jahr 2013 wurde beschlossen, künftig die Berichte der Fachbereiche im Zweijahresturnus zu erstellen. Seither wird die Reihe der „Grünen Berichte“ alle zwei Jahre veröffentlicht und enthält im B-Teil die Ergebnisse zu den Untersuchungsprogrammen Freiwasser und Einzugsgebiet aus jeweils zwei Untersuchungsjahren.

Am Bericht mitgearbeitet haben:

B. Sc. Urs Biermann, Langenargen

Dipl. nat. ETH Heinz Ehmann, Frauenfeld

Dr. Karoline Härtl-Brandl, Langenargen

Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen

Dipl.-Ing. Gerhard Hutter, Bregenz

Dipl.-Ing. (FH) Günther Kuhn, Langenargen

Dr. Anna Noffke, Langenargen

Dr. Petra Nowak, Langenargen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Obad, Langenargen

Dr. Thorsten Rennebarth, Langenargen

Dipl.-Biol. Christine Schranz, Kempten

Dr. Dietmar Straile, Konstanz

Dr. Petra Teiber-Sießegger, Langenargen

Dipl.-Ing. Manuel Tille, Frauenfeld

Dr. Thomas Wolf, Langenargen

INHALTSVERZEICHNIS

A – AKTUELLER TEIL 11

Thermische Nutzung Bodenseewasser 12
Ausgangslage 12
Inhalt der Arbeiten 12
Bestehende thermische Nutzungen im Bodensee 13
Künftige thermische Nutzungen im Bodensee 13
Ausgeführte Arbeiten 14
Weiteres Vorgehen 15

Morphodynamik der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensee 16
Dynamischer Lebensraum am Seeufer 16
Drohnenbefliegungen entlang des gesamten Bodenseeufers 17
Zwölf Kategorien zur Beschreibung der Uferstrukturen 17
Methodische Grenzen 18
22 Gebietssteckbriefe als Datengrundlage für zukünftige Vergleiche 19

Makrophyten und Phytobenthos 20
Erhebung der Wasserpflanzen und der Aufwuchskieselalgen in den Jahren 2024 und 2025 20
Bedeutung 20
Tauchkartierung ausgewählter Ufertransekte 21
Kartierergebnisse – Makrophyten Obersee 21
Kartierergebnisse – Makrophyten Untersee 23
Ergebnisse Benthische Diatomeen 24

Das Ciliatenplankton in verschiedenen Seeteilen des Bodensee 25

B – JAHRESBERICHT 29

Einleitung 30

Zustandsbeschreibung 2024 31
Bodensee-Obersee 31
Bodensee-Untersee 41
Fazit und Handlungsbedarf 45

Zustandsbeschreibung 2025 46
Bodensee-Obersee 46
Bodensee-Untersee 57
Fazit und Handlungsbedarf 61

Untersuchungsprogramm Freiwasser 62
Meteorologie 64
Hydrologie 67
Windverteilung 69
Wassertemperaturen an der Oberfläche und über Grund 71
Wärmeinhalt 72
Wassertemperatur 74
Langzeitentwicklung von Sauerstoff, Gesamtphosphor, Ammonium und Nitrat 79
Sauerstoff 80

Gesamtphosphor 82
Orthophosphat 84
Nitrat 86
Ammonium 87
Silikat 88
Chlorid 89
Mangan 90
Eisen 91
Phytoplankton 92
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) 93
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Zellersee) 94
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Rheinsee) 95
Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2024/2025 im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m 96
Leitpigmente 2024/2025 im Bodensee-Obersee (Bregenzer Bucht) in 0-20 m 98
Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2024/2025 im Bodensee Untersee (Zellersee) in 0-20 m 99
Entwicklung Phytoplankton in 2024/2025 im Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m 101
Hauptarten Phytoplankton in 2024/2025 Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m 102
Hauptarten Phytoplankton in 2024/2025 Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m 104
Hauptarten Phytoplankton in 2024/2025 Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m 105
Pigmente 106
Langzeitentwicklung Chlorophyll a 106
Zooplankton 108
Langzeitentwicklung Crustaceen 109
Saisonale Entwicklung des Zooplanktons 111
Bakterien 118

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet 119
Bericht der Sachverständigen zum Fachbereich Einzugsgebiet 120
1. Abwasserbeseitigung 2023/2024 120
2. Übersichtskarten 2024 124
3. Spezielle Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet 124
4. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee 125
5. Organische Spurenstoffe Bodensee und Zuflüsse 127
6. Abwasserbeseitigung 2024/2025 129
7. Übersichtskarten 2025 130
8. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee 131
9. Weitere Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet 131
Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet 133
Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet 134
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2021-2024 135
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2024 136
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2022-2025 137
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2025 138
Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2024 139
Karte hydrometrische Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2024 140
Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2025 141
Karte der hydrometrischen Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2025 142

AUSKÜNFTE 143

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

A – AKTUELLER TEIL

ABB. 1: BESTEHENDE ANLAGEN ZUR THERMISCHEN NUTZUNG VON BODENSEEWASSER, BODENSEE-WASSER-INFORMATIONSSYSTEM (BOWIS). 13

ABB. 2: FOTO LINKS: SCHRÄGLUFTBILD LINDAU-REUTIN; FOTO RECHTS: TOTHOLZANSAMMLUNG LINDAU-REUTIN. 17

ABB. 3: STECKBRIEF FÜR DEN MONITORING-STANDORT LINDAU-REUTIN. 19

ABB. 4: RECHTS: CHARACEENRASEN, LINKS: POTAMOGETON PERFOLIATUS, DIE ZWEITHÄUFIGSTE ART IM OBERSEE; FOTOS LFU, AUTOR BECK. 21

ABB. 5: DAS SCHWEIZER LAICHKRAUT MIT BEGINNENDER BESIEDELUNG DURCH QUAGGA-MUSCHELN; FOTOS LFU, AUTOR BECK. 22

ABB. 6: ARTENREICHE UNTERWASSERVEGETATION IM UNTERSEE; FOTOS LFU, AUTOR BECK. 23

ABB. 7: BIOMASSE DER VERSCHIEDENEN CILIATENGRUPPEN. 27

ABB. 8: ZUSAMMENHANG VON CILIATENBIOMASSE UND CHLOROPHYLL A-KONZENTRATION IN DEN FÜNF SEETEILEN. 28

Zustandsbeschreibung 2024

ABB. 1: TAGESMITTELWERTE DES WASSERSTANDS FÜR DAS JAHR 2024. 32

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). 33

ABB. 3: TEMPERATURISOPLETHEN IM JAHRESVERLAUF 2024 AN DEN STATIONEN IM OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL, OBEN), ZELLERSEE (MITTE) UND RHEINSEE (UNTEN). 35

ABB. 4: LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER GESAMTPHOSPHORKONZENTRATIONEN (OBEN), DER ZIRKULATION (MITTE) UND DER MINIMALEN SAUERSTOFFKONZENTRATIONEN ÜBER GRUND (UNTEN) IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL). 36

ABB. 5: GESAMTPHOSPHORVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2015 BIS 2024. 37

ABB. 6: SAUERSTOFFVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2015 BIS 2024. 37

ABB. 7: LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER STICKSTOFF- UND CHLORIDKONZENTRATIONEN IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL). 38

ABB. 8: VELIGERLARVEN IM ZOOPLANKTONFANG AN DER MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL (0-100 M). 40

Zustandsbeschreibung 2025

ABB. 1: TAGESMITTELWERTE DES WASSERSTANDS FÜR DAS JAHR 2025. 47

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). 48

ABB. 3: TEMPERATURISOPLETHEN IM JAHRESVERLAUF 2025 AN DEN STATIONEN IM OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL, OBEN), ZELLERSEE (MITTE) UND RHEINSEE (UNTEN). 50

ABB. 4: LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER GESAMTPHOSPHORKONZENTRATIONEN (OBEN), DER ZIRKULATION (MITTE) UND DER MINIMALEN SAUERSTOFFKONZENTRATIONEN ÜBER GRUND (UNTEN) IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL). 51

ABB. 5: GESAMTPHOSPHORVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2016 BIS 2025. 52

ABB. 6: SAUERSTOFFVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2016 BIS 2025. 52

ABB. 7: LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER STICKSTOFF- UND CHLORIDKONZENTRATIONEN IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL). 53

ABB. 8: VELIGERLARVEN IM ZOOPLANKTONFANG AN DER MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL (0-100 M). 56

Untersuchungsprogramm Freiwasser

ABB. 1: ÜBERSICHTSKARTE DER IGKB-MESSSTELLEN IM BODENSEE (2024-2025). 63

ABB. 2: METEOROLOGISCHE GRÖßEN MIT BEREICHEN ZWISCHEN MAXIMA UND MINIMA LANGJÄHRIGER TAGESMITTEL. 64

ABB. 3: HYDROLOGISCHE GRÖßEN; WASSERSTAND PEGEL KONSTANZ UND ABFLUSS ALPENRHEIN PEGEL LUSTENAU. 67

ABB. 4: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DES WINDES FÜR DIE JAHRE 2024 UND 2025 (OBERE ABBILDUNGEN) BZW. DIE LETZTEN 30 JAHRE (UNTERE ABBILDUNG). 70

ABB. 5: LANGZEITLICHE WASSERTEMPERATURENTWICKLUNG AN DER OBERFLÄCHE UND ÜBER GRUND FÜR DIE SEETEILE OBERSEE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), ZELLERSEE UND RHEINSEE. 71

ABB. 6: WÄRMEINHALT IN DEN SEETEILEN OBERSEE (0-250 M), ZELLERSEE (0-22 M) UND RHEINSEE (0-45 M). 72

ABB. 7: WASSERTEMPERATURVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT (OBERSEE), IN SEEMITTE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE (UNTERSEE) UND RHEINSEE (UNTERSEE). 74

ABB. 8: WASSERTEMPERATURVERTEILUNG IN DEN JAHREN 2024/2025 IN DER BREGENZER BUCHT (OBERSEE), IN SEEMITTE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE (UNTERSEE) UND RHEINSEE (UNTERSEE). 75

ABB. 9: ÜBERSICHT ÜBER DIE LANGZEITENTWICKLUNG DER SAUERSTOFFMINIMA ÜBER GRUND, SOWIE DER GESAMTPHOSPHOR-, AMMONIUM-N- UND NITRAT-N-JAHRESMITTELWERTE IN SEEMITTE OBERSEE (FU), ZELLERSEE UND RHEINSEE. 79

ABB. 10: SAUERSTOFFVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 80

ABB. 11: GESAMTPHOSPHORVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 82

ABB. 12: ORTHOPHOSPHATVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 84

ABB. 13: NITRAT-N-VERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 86

ABB. 14: AMMONIUM-N-VERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 87

ABB. 15: SILIKATVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ZELLERSEE UND IM RHEINSEE. 88

ABB. 16: CHLORIDVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE. 89

ABB. 17: MANGANVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE UND IM ZELLERSEE. 90

ABB. 18: EISENVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE UND IM ZELLERSEE. 91

ABB. 19: *CERATIUM HIRUNDINELLA.* 92

ABB. 20: *STEPHANODISCUS NEOASTRAEA.* 92

ABB. 21: *TABELLARIA FLOCCULOSA.* 92

ABB. 22: *CYCLOTELLA COSTEI.* 92

ABB. 23: *UROGLENA.* 92

ABB. 24: *FRAGILARIA CROTONENSIS.* 92

ABB. 25: *PLAGIOSELMIS LACUSTRIS.* 92

ABB. 26: *RHODOMONAS LENS.* 92

ABB. 27: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL, 1961-2025). TIEFENBEREICH 1965-1975: 0-50 M; AB 1976 0-20 M. 93

ABB. 28: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE (ZELLERSEE, 1976-2025). 94

ABB. 29: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE (RHEINSEE, 1976-2025). 95

ABB. 30: ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE 2024/2025 (FISCHBACH-UTTWIL). 96

ABB. 31: ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-OBERSEE 2024/2025 IN 0-20 M (FISCHBACH-UTTWIL). 96

ABB. 32: ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-OBERSEE 2024/2025 (BREGENZER BUCHT). 98

ABB. 33: ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE 2024/2025 (ZELLERSEE). 99

ABB. 34: ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-UNTERSEE 2024/2025 (ZELLERSEE). 99

ABB. 35: ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE 2024/2025 (RHEINSEE). 101

ABB. 36: BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL). 102

ABB. 37: BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-UNTERSEE (ZELLERSEE). 104

ABB. 38: BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-UNTERSEE (RHEINSEE). 105

ABB. 39: LANGFRISTIGE CHLOROPHYLL A ENTWICKLUNG IN 0-20 M. 106

ABB. 40: *GASTROPUS STYLIFER.* 108

ABB. 41: *ASPLANCHNA PRIODONTA.* 108

ABB. 42: *CYCLOPS ABYSSORUM* WEIBLICH. 108

ABB. 43: *COLLOTHECA.* 108

ABB. 44: *CYCLOPS ABYSSORUM* MÄNNLICH. 108

ABB. 45: *DAPHNIA HYALINA ADULT* WEIBLICH. 108

ABB. 46: LANGZEITENTWICKLUNG DER CRUSTACEEN IN SEEMITTE IN 0-100 M (FISCHBACH-UTTWIL). 109

ABB. 47: LANGJÄHRIGE ZUSAMMENSETZUNG DER DAPHNIENABUNDANZ AN DER MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL (FU). 109

ABB. 48: SAISONALE ENTWICKLUNG DES ZOOPLANKTONS 2024/2025. FISCHBACH-UTTWIL 0-100 M (OBEN), ZELLERSEE 0-20 M (MITTE), RHEINSEE 0-30 M (UNTEN). INDIVIDUEN/M² BERECHNET ZUR BEPROBTEN NETZÖFFNUNG. 111

ABB. 49: BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL (2024/2025) BEZOGEN AUF 20 M WASSERSÄULE. OBEN: ABSOLUTE BIOMASSEN, UNTEN: PROZENTANTEILE DER TAXONOMISCHEN GROßGRUPPEN. 114

ABB. 50: BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION ZELLERSEE (2024/2025) IM UNTERSEE BEZOGEN AUF 20 M WASSERSÄULE. 116

ABB. 51: BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION RHEINSEE IN DEN JAHREN 2024 UND 2025 BEZOGEN AUF 30 M WASSERSÄULE. 117

ABB. 52: ZELLDICHTEN DES BAKTERIENPLANKTONS, ENTWICKLUNG IN SEEMITTE (STATION FISCHBACH-UTTWIL). 118

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet

ABB. 1: VERTEILUNG DER GRÖSSENKLASSEN UND DES MENGENANTEILS DER BEHANDELTEN ABWASSERMENGE ALLER ARA IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES IN PROZENT. 121

ABB. 2: ÜBERSICHT ÜBER DIE VERFAHRENSTECHNIK ALLER ARA IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES BEZOGEN AUF DIE ANZAHL DER ANLAGEN (LINKS) UND BEZOGEN AUF DIE BEHANDELTE ABWASSERMENGE (RECHTS). 122

ABB. 3: ENTWICKLUNG DER ABWASSERMENGEN, DER SCHMUTZSTOFF- (CSB) UND DER NÄHRSTOFFRESTFRACHTEN IM ABLAUF ALLER ARA IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES (SEIT 2010 INKL. ANTEILE APPENZELL AUSSERRHODEN IM EINZUGSGEBIET). 123

ABB. 4: PROZENTUALER VERLAUF DER ABWASSERMENGEN, DER SCHMUTZSTOFF- (CSB) UND DER NÄHRSTOFFRESTFRACHTEN ALLER ARA IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES BEZOGEN AUF DAS JAHR 2001 BZW. FÜR STICKSTOFF AUF DAS JAHR 2002. 123

ABB. 5: ENTWICKLUNG DER $P_{FILTRIERT}$-FRACHTEN IN DEN BODENSEE VON ALPENRHEIN, BREGENZERACH, SCHUSSEN UND ARGEN VON 1995 BIS 2024. 126

ABB. 6: VERGLEICH VON ABFLUSSMENGEN UND PO_4-P-FRACHTEN DES ALPENRHEINS IM JAHR 1999 BEI DER NADUF-MESSSTELLE DIEPOLDSAU. 126

ABB. 7: KLÄRANLAGENKARTE: STAND DER REINHALTUNGSMASSNAHMEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2024. 133

ABB. 8: KLÄRANLAGENKARTE: STAND DER REINHALTUNGSMASSNAHMEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2025. 134

ABB. 9: KARTE MIT DEN WICHTIGEN FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2021-2024. 135

ABB. 10: KARTE DER FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES, UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN IM JAHR 2024. 136

ABB.11: KARTE MIT DEN WICHTIGEN FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2022-2025. 137

ABB. 12: KARTE DER FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES, UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN IM JAHR 2025. 138

ABB. 13: ÜBERSICHTSKARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES IM JAHR 2024. 139

ABB. 14: KARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES. UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN MIT ANGABEN VON ZEITINTERVALLEN IM JAHR 2024. 140

ABB. 15: ÜBERSICHTSKARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES IM JAHR 2025. 141

ABB. 16: KARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES. UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN MIT ANGABEN VON ZEITINTERVALLEN IM JAHR 2025. 142

Tabellenverzeichnis

B – JAHRESBERICHT

Zustandsbeschreibung 2024

TAB. 1: KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL. 40

TAB. 2: KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DEN UNTERSEESTATIONEN ZELLERSEE, GNADENSEE, RHEINSEE. 44

Zustandsbeschreibung 2025

TAB. 1: KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL. 55

TAB. 2: KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DEN UNTERSEESTATIONEN ZELLERSEE, GNADENSEE, RHEINSEE. 60

A – Aktueller Teil

Thermische Nutzung Bodenseewasser

Ausgangslage

Der Bodensee ist ein hoch komplexes und empfindliches Ökosystem, das auch über ein großes energetisches Potential verfügt. Unter dem Aspekt einer nachhaltigen Energienutzung wurde an der 60. Kommissionstagung der IGKB im Jahr 2014 die Neufassung des Kapitels 5 „Thermische Nutzung von Bodenseewasser“ beschlossen und es wurden Rahmenbedingungen definiert, unter welchen Voraussetzungen eine thermische Nutzung des Bodensees möglich ist. In den folgenden Jahren war das Interesse an Neuanlagen eher gering. Erst durch den Ukrainekrieg anfangs 2022, welcher die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern eindrucksvoll verdeutlichte, und den bereits sichtbaren Auswirkungen des Klimawandels ist das Interesse an der thermischen Nutzung des Bodensees wieder massiv angestiegen. Im Zentrum stehen große Anlagen zur Wärmeentnahme mit Leistungen im Bereich von 10 bis 15 MW. Anfangs 2024 hat die IGKB beschlossen, die Arbeitsgruppe „Thermische Nutzung von Bodenseewasser“ wieder zu aktivieren, mit dem Auftrag Kapitel 5 der Bodenseerichtlinie zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Die Arbeitsgruppe setzt sich zusammen aus Vertretern der Wasserversorgung, der Fischerei, der Gremien der IGKB / Forschung sowie der Bewilligungsbehörden.

Inhalt der Arbeiten

Die Arbeitsgruppe hat in den Jahren 2024 und 2025 einen Leitfaden mit dem Ziel entwickelt, eine umweltverträgliche thermische Nutzung des Bodenseewassers zu ermöglichen, den natürlichen Zustand des Sees zu bewahren und – soweit möglich – die Anforderungen der unterschiedlichen Interessengruppen am Bodensee in Einklang zu bringen. Der Leitfaden dient als Grundlage, Kapitel 5 der Bodenseerichtlinie zu überarbeiten. Der Leitfaden wird ergänzt durch eine Planungshilfe „Thermische Nutzung Bodenseewasser“, in der einerseits die notwendigen Unterlagen und Nachweise für eine Antragsstellung definiert sind und in der andererseits die Vorgaben für die thermische Nutzung fachlich erläutert werden. Die Planungshilfe „Thermische Nutzung Bodenseewasser“ dient länderübergreifend sowohl Genehmigungsbehörden als auch Planungsbüros und Betreibern von technischen Anlagen, die Bodenseewasser für thermische Zwecke nutzen. Sie soll als Unterstützung den Genehmigungsprozess vereinheitlichen und Standards für die Planung vorgeben.

Bestehende thermische Nutzungen im Bodensee

Der Bodensee wird bereits heute durch 27 Anlagen thermisch genutzt (Stand 2025). Im Zentrum steht allerdings die Nutzung des Seewassers zu Kühlzwecken. Während die Wärmenutzung rund 31 GWh/a beträgt, ist die Kältenutzung mit rund 64 GWh/a mehr als doppelt so hoch. Um diese Energiemengen zu entnehmen bzw. einzuleiten, werden dem Bodensee pro Jahr rund 17 Mio. m^3 Wasser entnommen und wieder zurückgeleitet.

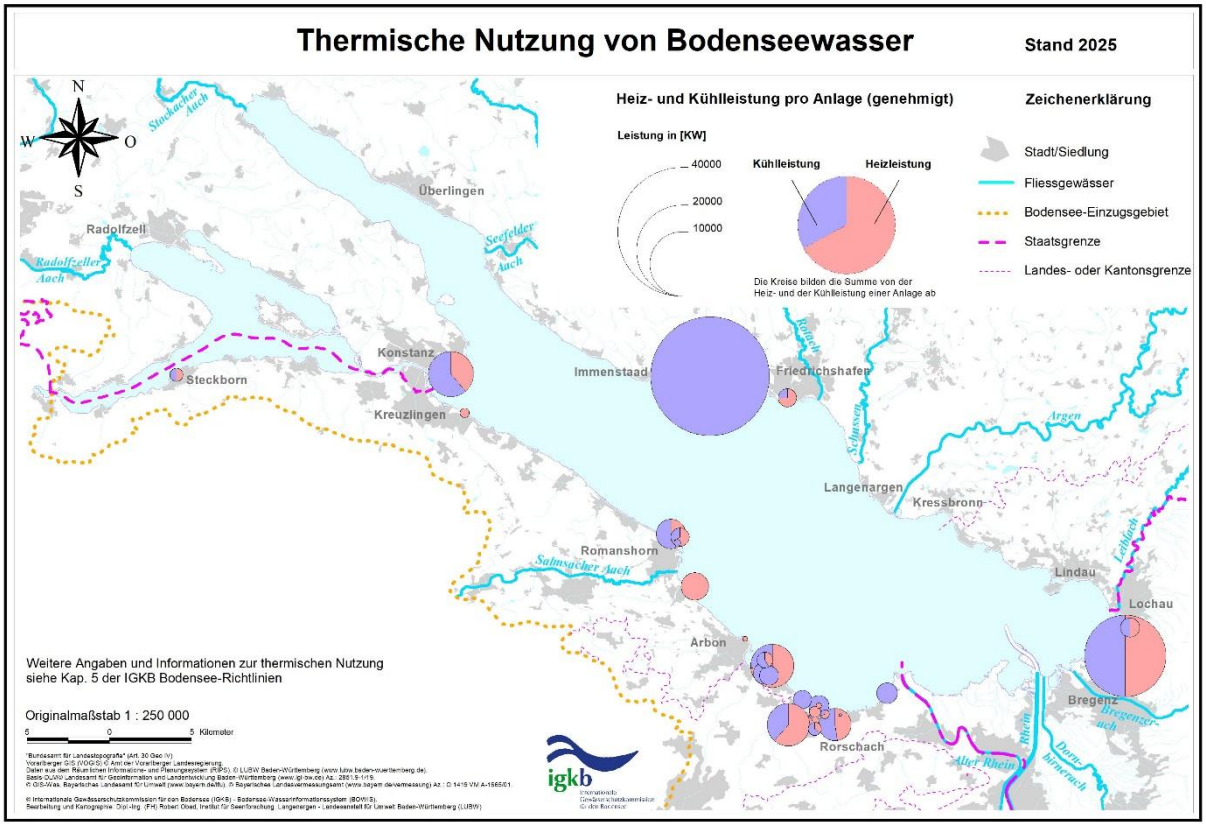


Abb. 1: Bestehende Anlagen zur Thermischen Nutzung von Bodenseewasser, Bodensee-Wasser-Informationsystem (BOWIS).

Künftige thermische Nutzungen im Bodensee

Um die künftigen Auswirkungen der Thermischen Nutzung von Bodenseewasser abschätzen zu können, wurden neben den bestehenden Anlagen auch 27 weitere Anlagen berücksichtigt, welche sich in Planung befinden oder für die auch erst Machbarkeitsstudien durchgeführt werden. Für die kommenden Jahre ist mit einem maximal abgeschätzten Bedarf von 387 GWh/a zur Wärmenutzung und von 92 GWh/a zur Kältenutzung auszugehen. Durch die erhöhte Wärmenutzung dürfte die Wasserentnahme

und Rückgabe zukünftig auf 124 Mio. m³/a ansteigen. Dieser für die zukünftige thermische Nutzung notwendige Wasserumsatz entspricht der Größenordnung der Entnahme durch die Trinkwassergewinnung oder der Verdunstung über die Seeoberfläche.

Ausgeführte Arbeiten

Eine wichtige Grundlage für den Schutz des ökologischen Zustands des Bodensees sind das Stratifikations- und Durchmischungsverhalten. Die Klimaerwärmung wird das Schichtungs- und Mischungsverhalten deutlich ändern. Aus diesem Grund muss gewährleistet sein, dass sich durch die thermische Nutzung diese Prozesse nicht zusätzlich negativ auswirken. In einer Studie mit dem Seemodell BodenseeOnline wurden daher alle bestehenden Nutzungen berücksichtigt und in einem Dreijahreszeitraum die Auswirkungen auf den Bodensee untersucht. Es zeigte sich, dass die derzeitige thermische Nutzung keinen Einfluss auf das Schichtungsverhalten hat. Das thermisch genutzte Wasser breitet sich nur lokal aus. Auch bei einer erweiterten zukünftigen Nutzung kommt es, wie entsprechende Modellierungen mit BodenseeOnline zeigen, zu keiner Veränderung der Schichtungssituation und die Ausbreitungen des thermisch genutzten Wassers bleiben lokal. Auch unter klimatisch veränderten Verhältnissen sind keine Veränderungen zu erwarten.

Ergänzend zu den seeweiten Modellierungen wurden mit BodenseeOnline weitere anlagenspezifische Modellierungen erstellt. Diese betrafen die Anforderungen an die Entnahmestelle zum Fischschutz (Schlitzgröße beim Seiher), verschiedene Geometrien beim Rückgabebauwerk (eine oder zwei Rückgabeleitungen, Einsatz eines Diffusors / Trompete) oder das Einschichtverhalten von Anlagen im Bereich von 10 bis 20 MW Leistung. Diese Modellierungen dienten vor allem der Überprüfung und Anpassung von Kapitel 5 der Bodenseerichtlinien.

Vor allem mit der künftigen deutlichen Zunahme der Wärmenutzung dürfte die Wasserentnahme und -rückgabe von 17 Mio. m³/a auf 124 Mio. m³/a ansteigen. Mit der Entnahme von Seewasser werden auch Phytoplankton und Zooplankton aus dem See entnommen und damit in das Nahrungsnetz des Bodensees eingegriffen. In einer von der AG in Auftrag gegebenen wissenschaftlichen Studie wurde ermittelt, dass die Entnahme von Zooplankton unwesentlich ist.

Die durch die derzeitige thermische Nutzung entnommene Menge an Zooplankton wurde tiefendifferenziert erfasst und entspricht maximal 0,003 Promille der Gesamtbiomasse des Zooplanktons im gesamten See. Dieser maximale Relativwert wird im

Dezember auf Grund der Wärmegewinnung erreicht. Im Sommer liegt die entnommene Menge an Zooplankton bezogen auf die dann vorhandene Biomasse im Gesamtsee bei unter 0,001 Promille. Basis dieser Studie waren tiefendifferenzierte Zooplanktondaten über 5 Jahre mit 14-tägigen Proben in Seemitte und tagesdifferenzierte Entnahmedaten der bestehenden thermischen Nutzungen. Das Ergebnis der Studie zeigt, dass die aktuelle Nutzung eine marginale Auswirkung auf die Biozönose hat. Diese Einschätzung ändert sich auch nicht für eine maximale zukünftige Nutzung mit deutlich höherem Bedarf. Auf Grund der zukünftig angenommenen deutlich größeren Wärmenutzung wird die maximale prozentuale Entnahme von Zooplankton im Winter 0,04 Promille betragen.

Ein Vergleich der Erkenntnisse des erarbeiteten Leitfadens mit den bestehenden Vorgaben in Kapitel 5 "Thermische Nutzung von Bodenseewasser" der Bodenseerichtlinien zeigt, dass diese im Grundsatz immer noch Ihre Gültigkeit haben und nur punktuell anzupassen sind.

Weiteres Vorgehen

Der erarbeitete Leitfaden für eine nachhaltige thermische Nutzung von Bodenseewasser wird im Mai 2026 anlässlich der 72. Tagung der Kommission zur Kenntnis vorgelegt. Im Anschluss werden die Resultate des Leitfadens in die Bodenseerichtlinien Kapitel 5 "Thermische Nutzung von Bodenseewasser" integriert und die Planungshilfe "Thermische Nutzung Bodenseewasser" fertig gestellt.

Morphodynamik der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensee

Die Ufer- und Flachwasserzonen des Bodensees gehören zu den ökologisch wertvollsten Bereichen des Sees. In dieser Übergangszone zwischen Land und Wasser entstehen vielfältige Lebensräume für spezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Gleichzeitig unterliegt dieser Bereich einer hohen Dynamik. Wellen, Wasserstandsschwankungen, Sedimentverlagerungen und menschliche Nutzung verändern die Strukturen der Ufer kontinuierlich. Um diese Prozesse besser zu verstehen und langfristig Veränderungen nachvollziehen zu können, wurde im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) das Büro REVITAL Integrative Naturraumplanung GmbH, Nussdorf, mit der Durchführung eines Basismonitorings der Wasser-Land-Übergangzonen beauftragt.

Ziel des Projekts ist es, den aktuellen morphologischen Zustand der Ufer- und Flachwasserbereiche systematisch zu dokumentieren und eine Datengrundlage für zukünftige Vergleiche zu schaffen. Im Fokus stehen dabei sogenannte Wasser-Land-Strukturelemente, wie Sedimente, Vegetationsstrukturen, natürliche Uferformen sowie anthropogene Eingriffe. Die Ergebnisse ergänzen bestehende Programme zur Uferbewertung und liefern zusätzliche Erkenntnisse über dynamische Prozesse im sensiblen Übergangsbereich zwischen Land und See.

Dynamischer Lebensraum am Seeufer

Die natürlichen Wasserstandsschwankungen am Bodensee führen dazu, dass Uferbereiche periodisch überflutet oder zeitweise trockenfallen. Diese Dynamik prägt die Struktur der Uferzone und schafft vielfältige Lebensräume, wie z. B. Strandrasen, kiesige Flachufer oder feinsedimentdominierte Zonen. Diese stellen wichtige Habitate für spezialisierte Tier- und Pflanzenarten dar, beispielsweise für das Bodensee-Vergissmeinnicht.

Gleichzeitig reagieren diese Bereiche besonders sensibel auf Veränderungen der hydrologischen und klimatischen Bedingungen sowie auf menschliche Eingriffe. Zunehmende Extremereignisse, stärkere Wellenbelastungen, Veränderungen der Pegelverläufe oder bauliche Maßnahmen im Uferbereich können langfristig zu Erosion, Sedimentumlagerung und Verschiebung der Vegetationszonen führen. Ein systematisches Monitoring der Uferstrukturen bildet daher eine wichtige Grundlage für den langfristigen Schutz dieser Lebensräume.

Drohnenbefliegungen entlang des gesamten Bodenseeufers

Für das Monitoring wurden entlang des gesamten Bodenseeufers repräsentative Untersuchungsgebiete ausgewählt. Insgesamt wurden 22 Projektgebiete an Messstellen des Basismonitorings untersucht. Die Standorte verteilen sich über alle Anrainerländer bzw. Kantone und bilden unterschiedliche Ufertypen sowie verschiedene Nutzungs- und Landschaftssituationen ab.

Die Erfassung der Uferstrukturen erfolgte mit hochauflösenden Drohnenbefliegungen. Dabei wurden georeferenzierte Luftbilder aufgenommen. Eine hohe Auflösung ermöglicht eine sehr detaillierte Darstellung der Strukturen in der Ufer- und Flachwasserzone (siehe Abbildung 2).

Abb. 2: Foto links: Schrägluftbild Lindau-Reutin; Foto rechts: Totholzansammlung Lindau-Reutin.

Als Befliegungszeitpunkte wurden der Spätsommer beziehungsweise Herbst 2024 sowie der Winter 2025 ausgewählt. Der saisonale Vergleich erlaubt es, sowohl dauerhaft vorhandene Strukturen als auch jahreszeitliche Veränderungen sichtbar zu machen. Besonders im Flachwasserbereich können Wasserstand, Sedimentoberflächen oder Vegetationsbestände im Jahresverlauf deutlich variieren.

Um eine hohe Bildqualität zu gewährleisten, mussten bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, darunter ruhige Windverhältnisse, möglichst klares Wasser und geeignete Wasserstände. Die ungewöhnlich hohen Wasserstände bei den Aufnahmen im Spätsommer/Herbst 2024 stellten eine große Herausforderung dar. Ergänzend zu den Luftbildern wurden im Gelände Referenzkartierungen durchgeführt. Dabei wurden ausge-

wählte Bereiche begangen, fotografisch dokumentiert und teilweise auch Unterwasseraufnahmen erstellt. Diese Referenzdaten unterstützen die Interpretation der Drohnenbilder und erhöhen die Genauigkeit der Auswertung.

Zwölf Kategorien zur Beschreibung der Uferstrukturen

Die Auswertung der Drohnenaufnahmen erfolgte durch eine flächendeckende digitale Kartierung der Untersuchungsgebiete. Dabei wurden alle erkennbaren Flächen manuell abgegrenzt und einer von zwölf Kategorien zugeordnet.

Zu diesen Kategorien gehören unter anderem Feinsedimente, natürliche Kiesstrukturen sowie größere Steine oder Blockwürfe. Darüber hinaus wurden anthropogene Strukturen wie Gebäude, Mauern oder Stege erfasst. Weitere Kategorien bilden verschieden Vegetationstypen, wie Röhrichtbestände, niederwüchsige Ufervegetation oder Gehölze. Auch Totholzansammlungen sowie Wasserpflanzen wurden berücksichtigt.

Die Digitalisierung erfolge je nach Strukturvielfalt der Gebiete in Maßstäben zwischen 1:100 und 1:500. Auf diese Weise konnten sowohl großflächige Strukturen als auch kleinräumige Unterschiede in der Uferzone abgebildet werden.

Methodische Grenzen

Trotz der hohen Bildauflösung sind die Interpretation von Drohnenorthofotos gewisse Grenzen gesetzt. Grundsätzlich kann auf Luftbildern nur die oberste sichtbare Schicht erfasst werden. Baumkronen können etwa darunterliegende Vegetation oder Sedimente verdecken, während Wasserpflanzen das Substrat im Gewässer überlagern können.

Zudem treten im Flachwasserbereich häufig fließende Übergänge zwischen verschiedenen Sedimenttypen auf. Feinsedimente, Kies und größere Steine können mosaikartig nebeneinander vorkommen, was eine eindeutige Zuordnung erschwert. Auch angeschwemmte Muschelschalen, organisches Material oder dichte Bestände der inzwischen weit verbreiteten Quagga-Muschel können die Interpretation beeinflussen.

Durch die Kombination aus Luftbildern, Geländeaufnahmen und dem Vergleich der beiden Aufnahmezeitpunkte konnten solche Unsicherheiten jedoch weitgehend reduziert werden.

22 Gebietssteckbriefe als Datengrundlage für zukünftige Vergleiche

Die erhobenen Daten liefern eine detaillierte Momentaufnahme des aktuellen morphologischen Zustands der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees. Ihr besonderer Wert liegt in der standardisierten Methodik, die eine Wiederholung der Erhebung in zukünftigen Jahren ermöglicht.

Damit lassen sich langfristige Entwicklungen erkennen. Veränderungen der Vegetationsverteilung, Sedimentumlagerungen, Erosionsprozesse oder Auswirkungen von Extremereignissen lassen sich abbilden. Auch Veränderungen durch menschliche Nutzungen können so systematisch dokumentiert werden.

Neben den digitalen Datensätzen und Orthofotos wurden die Ergebnisse für jedes Untersuchungsgebiet in Form eines Steckbriefes zusammengefasst. Insgesamt wurden 22 Gebietsstreckbriefe erstellt, welche die wichtigsten Strukturen, Flächenanteile und Besonderheiten der jeweiligen Monitoringstandorte übersichtlich darstellen.

In Abbildung 3 ist exemplarisch ein solcher Steckbrief dargestellt. Dieser soll beispielhaft veranschaulichen, wie die Ergebnisse der Drohnenbefliegungen und Kartierungen für die einzelnen Untersuchungsgebiete aufbereitet wurden.

Abb. 3: Steckbrief für den Monitoring-Standort Lindau-Reutin. Links: Schrägluftbild mit Beschreibung des Standorts. Mitte: aus Drohnenbildern errechnete Orthomosaike mit eingezeichneten Wasserstandslinien (oben: Sommersituation, unten: Wintersituation). Rechts: Orthophotos mit flächig digitalisierten Strukturkategorien (oben: Sommersituation, unten: Wintersituation).

Makrophyten und Phytobenthos

Erhebung der Wasserpflanzen und der Aufwuchskieselalgen in den Jahren 2024 und 2025

Die höheren Wasserpflanzen (Makrophyten) bilden ebenso wie die auf den Boden aufwachsenden Kieselalgen (Phytobenthos-Diatomeen) einen wichtigen Bestandteil des Ufer-Ökosystems eines Sees. Beide Organismengruppen sind ortskonstant und müssen sich in ihrer Artzusammensetzung und Ausprägung an die jeweilig vorherrschenden Standortbedingungen anpassen. Nicht erst seit der gesetzlichen Verpflichtung zur Erhebung und Bewertung werden diese Organismen beobachtet und ihre ökologischen Präferenzen erforscht. Die im Folgenden, beschriebenen Erhebungen wurden im Rahmen des langjährigen IGKB-Basismonitorings durchgeführt.

Bedeutung

Makrophyten sind die mit bloßem Auge erkennbaren Pflanzen, die dauerhaft im Wasser wurzeln oder auch untergetaucht leben. Dazu gehören höhere Wasserpflanzen (Blütenpflanzen), Wassermoose, Wasserfarne sowie Armleuchteralgen. In ihrem Vorkommen sind sie u.a. abhängig von den Nährstoffgehalten sowohl im Freiwasser als auch im Sediment, der Lichtverfügbarkeit und damit der Trübung des Wassers sowie der Sichttiefe, von der Substratbeschaffenheit, Wasserstandsschwankungen, der Temperatur und mechanischen Belastungen durch z. B. Wellenschlag und Strömung.

Benthische Diatomeen bilden einen in Alpen- und Voralpenseen erheblichen Anteil der Phytobenthosflora. Die Forschung beschäftigt sich schon seit über 150 Jahren mit der Taxonomie und den ökologischen Präferenzen der Arten. Innerhalb weniger Wochen kann sich eine existierende Biozönose an neue Umweltbedingungen anpassen und somit indizieren. In erster Linie reagiert die Gruppe auf stoffliche Veränderungen ihres Habitats aber auch auf Substratbeschaffenheit oder Sedimentumlagerungen. Kieselalgen kommen in nahezu jedem Ökosystem vor.

Unter anderem durch die räumliche Ausdehnung der Makrophyten, der Verwurzelung und Stabilisierung des Sediments sowie der Photosynthese beeinflussen die pflanzlichen Organismengruppen maßgeblich die Struktur- und Habitatvielfalt, die Sauerstoffversorgung und den pH-Wert des Uferbereichs.

Tauchkartierung ausgewählter Ufertransekte

Um die Vegetation möglichst präzise erfassen zu können, wurden im Obersee 60 und im Untersee 27 Transekte durch Forschungstaucher nach einer standardisierten Methode untersucht. Die Lage der zu untersuchenden Uferstellen wurde vorher festgelegt, an morphologisch und ökologisch repräsentativen Uferbereichen. Dabei wurden alle relevanten Ufersituationen bzgl. Exposition, Naturnähe, Beeinflussung durch Zuflüsse und Umlandnutzung nach der Häufigkeit ihres Vorkommens berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist Bestandteil der erwähnten standardisierten Methode und wurde bereits bei der ersten entsprechenden Kartierung 2006 durchgeführt. Bei der Betauchung wurden alle vorkommenden Makrophytenarten vom Ufersaum bis zu der an dieser Stelle tiefsten Verbreitung der Wasserpflanzen bestimmt und ihre Häufigkeit notiert. Gleichzeitig wurden an allen kartierten Transekten Proben benthischer Diatomeen von Bodensubstrat gewonnen. Diese Untersuchungen fanden im Sommer zur Hauptvegetationszeit statt.

Kartierergebnisse – Makrophyten Obersee

Die Kartierung des Obersees fand im Jahr 2024 statt. Es wurden dabei 34 verschiedene submers (untergetauchte) lebende Pflanzen oder Schwimmblattpflanzen nachgewiesen. Darunter waren sieben verschiedene Arten Armleuchteralgen (Characeen), die für Alpenseen wie den Bodensee zum größten Teil als Indikatoren sehr guter ökologischer Bedingungen gelten. Fünf davon waren unter den acht häufigsten Arten der Kartierung und bildeten die für diesen Seetyp charakteristischen Characeenrasen (Abbildung 4 rechts).

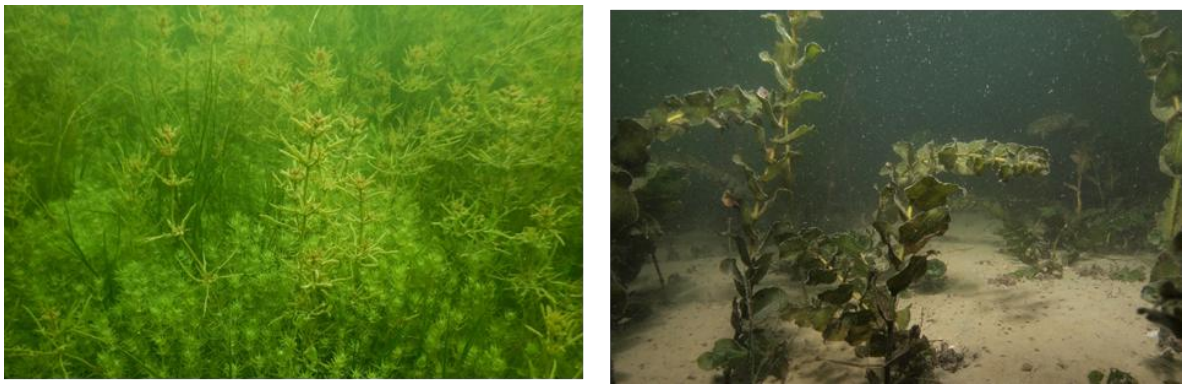


Abb. 4: rechts: Characeenrasen, links: *Potamogeton perfoliatus*, die zweithäufigste Art im Obersee; Fotos LfU, Autor Beck.

Neben den Armleuchteralgen sind im Obersee die Laichkräuter eine Gruppe mit sehr hohen Häufigkeiten. Aus dieser Gattung befinden sich drei Arten unter den acht häufigsten Taxa im Bodensee-Obersee. Darunter sind das stängelumfassende Laichkraut (*Potamogeton perfoliatu*s, Abbildung 4 links) und das Schweizer Laichkraut (*Potamogeton helveticus*, Abbildung 5). Potamogeton helveticus war bei der letzten Kartierung dieser Art im Jahr 2014 im Obersee zwar vorhanden, jedoch an keinem der festgelegten Transekte. Es befindet sich stark in Ausbreitung, 2024 war es in 41 der 60 Transekte des Obersees vorhanden, z.T. mit sehr großen Häufigkeiten. Bei dieser Art war die Besiedelung durch die Quagga-Muschel besonders auffällig. Durch das Gewicht der Muscheln wurden die Bestände teilweise zu Boden gedrückt.

Abb. 5: Das Schweizer Laichkraut mit beginnender Besiedelung durch Quagga-Muscheln; Fotos LfU, Autor Beck.

Auffällig auch im Vergleich zu vorhergehenden Erhebungen war bei der Betauchung die relativ geringe Tiefe, in der die Makrophytenbesiedelung endete. Der Grund dafür ist mit hoher Wahrscheinlichkeit in dem Hochwasser im Frühjahr 2024 zu finden. Durch die Starkniederschläge im Einzugsgebiet wurden über die Zuflüsse, aber auch oberflächlich große Mengen an Trübstoffen in den See eingetragen. Die dadurch bedingte geringere Lichteindringtiefe kann zu solch einer verminderten Makrophytenverbreitungsgrenze beitragen. Ebenso wie die erhöhte Sedimentation der Trübstoffe und damit die Abdeckung junger Sprosse in der Tiefe.

Die Anzahl der Arten schwankt stark zwischen 16 und 3 pro Transekt, im Mittel wurden ca. 10 submerse Arten an einer Probestelle gefunden.

Kartierergebnisse – Makrophyten Untersee

Die Kartierung des Untersees fand im Jahr 2025 statt. Mit den dabei gefundenen 23 verschiedenen submers (untergetauchte) lebenden Pflanzen oder Schwimmblattpflanzen herrscht auch in diesem Seebecken eine artenreiche und diverse Vegetation vor (Abbildung 6). Darunter waren sechs verschiedene Arten Armleuchteralgen (Characeen), auch für den Seetyp des Untersees sind diese Anzeiger einer sehr guten Gewässerökologie. Die fünf häufigsten Arten im See gehören zu dieser Artengruppe. Insgesamt machten die Anzeiger sehr guter Bedingungen 62 % der Makrophytenvegetation im Untersee aus, nur 8,8 % wurde von sogenannten Störzeigern gebildet. Anzeiger mittlerer anthropogener Belastung waren zu 26,3 % vorhanden, die verbleibenden 2,9 % sind nicht eingestuft.

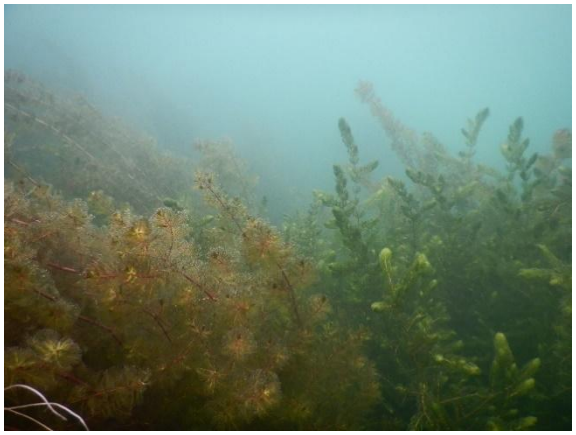


Abb. 6: Artenreiche Unterwasservegetation im Untersee; Fotos LfU, Autor Beck.

Die Verwandtschaftsbeziehung der beiden Laichkräuter *Potamogeton helveticus* und *Potamogeton pectinatus* (Kammlaichkraut) sind noch nicht abschließend geklärt. Jedoch lassen sie sich anhand des Habitus und des ökologischen Verhaltens gut unterscheiden. Sie bilden im Untersee die häufigsten Vorkommen unter den Laichkräutern. Das Schweizer Laichkraut wurde an 14 Transekten gefunden, die vorhergehende Kartierung brachte an diesen 27 untersuchten Stellen nur zwei Beobachtungen.

Die Anzahl der Arten schwankt stark zwischen 17 und 8 pro Transekt, im Mittel wurden ca. 11 submerse Arten an einer Probestelle gefunden.

Ergebnisse Benthische Diatomeen

Die Diatomeenflora des Bodensees ist sehr artenreich. Bei den Untersuchungen der benthischen Kieselalgen im Jahr 2024 wurden 350 verschiedene Taxa gefunden, pro Probestelle durchschnittlich ca. 70 Taxa. Im Untersee waren es im Folgejahr 268 Taxa, durchschnittlich etwa 66 pro Probestelle.

Auch bei den mikroskopisch kleinen Organismengruppen werden zunehmend Neobiota gefunden, selbst wenn es bei diesen schwieriger ist, neue Arten und deren bisherige und aktuelle Verbreitung zu erkennen und zu beschreiben. Unter ihnen sind Taxa, die im Verdacht stehen, sich invasiv zu verhalten. Auch im Bodensee sind solche Arten eingewandert.

Bei diesen neuen Arten handelt es sich oft um Taxa, die hauptsächlich in Fließgewässern gefunden werden. Dort kommen sie teilweise in sehr großen Anteilen der Diatomeengesellschaften vor. Während diese Neobiota im Untersee nur mit wenigen Exemplaren, d.h. mit weniger als 2 % in den Proben vorkamen, wurden sie 2024 im Obersee in größeren Häufigkeiten bestimmt. Zwei Stellen weisen in Summe je zwischen 30 und 40 % von neobiotischen Kieselalgen auf, die im Verdacht stehen, zu den invasiven Arten zu zählen. Das erhärtet die Vermutung, dass das im Kartierjahr 2024 stattgefundene Hochwasserereignis Fließgewässerarten in den See eingeschwemmt und die ursprüngliche See-Biozönose maßgeblich beeinflusst hat. Ob sich diese Arten im See etablieren oder ausbreiten können, kann erst mit zukünftigen Untersuchungen festgestellt werden. Im Moment ist es auch noch nicht möglich, deren mögliche Auswirkung auf das Ökosystem zu beschreiben. Die am häufigsten vorkommende einzelne Art, die in der Literatur als invasiv beschrieben wird, ist *Achnanthidium druartii*, Sie macht an einem Transekt gut 13 % der Biozönose aus.

Das Ciliatenplankton in verschiedenen Seeteilen des Bodensee

Ciliaten sind eine wichtige Komponente des Planktons als Konsumenten von Bakterien und Phytoplankton (Weisse et al. 2016). Modellabschätzungen für den Bodensee haben ergeben, dass die Ciliaten bis zur Hälfte der Primärproduktion im Bodensee konsumieren können (Gaedke et al. 2002). Bislang lagen zu den Ciliaten nur Zeitreihen der Universität Konstanz aus dem Überlingersee vor. 2023 wurde diese wichtige Komponente des Planktons nun erstmalig auch an den Messstellen der IGKB erhoben, was einen ersten Einblick erlaubt, in wieweit die Überlingersee Ciliaten-Daten representativ für den gesamten Obersee sind, und in wieweit sich die Ciliatengemeinschaften des Untersees von denen des Obersees unterscheiden. Im folgenden ersten Bericht werden die Ciliatenzeitreihen der Jahre 2023 – 2025 an fünf Messstellen des Bodensees (Wallhausen, Fischbach-Uttwil, Rheinsee, Zellersee und Gnadensee) verglichen.

Der Biomasseverlauf der Ciliaten war an allen Stellen recht ähnlich, mit dem wichtigsten Unterschied von höheren Biomassen im Winter im Gnadensee und Zellersee (Abb. 7). Dies entspricht den höheren Chlorophyll a-Konzentrationen und damit der höheren Winterprimärproduktivität aufgrund der geringeren Wassertiefe in diesen beiden Seeteilen. Die Ciliatenbiomasse und Chlorophyll a-Konzentration waren dementsprechend hoch miteinander korreliert (Abb. 8), ohne dass ein Unterschied in der Beziehung zwischen den Seeteilen gefunden wurde.

Insgesamt konnten an den fünf Probestellen 36 Ciliatentaxa unterschieden werden, davon wurden fünf Arten fast in allen Proben in allen 5 Seeteilen gefunden (*Rimostrombidium sp., Pelagostrobilidium sp., Histiobalantium bodamicum, Cyclidium sp., Balanion planktonicum und Urotricha furcata*). Dagegen waren 6 Taxa selten in allen Seeteilen. Die restlichen 25 Taxa wurden zumindest in einem der Seeteile in mehr als 10 % der Proben gefunden.

Die dominaten Ciliatengruppen in allen Seeteilen gehörten zu den Unterklassen der Choreotrichia (*Rimostrombidium spp. und Membranicola tamari*), Oligotrichia (*Pelagostrombidium spp., Pelagohalteria viridis*), und der Scuticociliatia (*Histiobalantium bodamicum und Cyclidium sp.*) sowie zur Ordnung Prostomatida (*Balanion planktonicum, Urotricha spp. und Coleps hirtus*) (Abb. 7).

In der relativen Artenzusammensetzung überlappten sich Obersee und Überlingersee in hohem Maße und unterschieden sich insbesondere vom Gnadensee und Zellersee, wogegen der Rheinsee eine mittlere Stellung in der Artengemeinschaft aufwies. Diese

Unterschiede waren vor allem im Sommer ersichtlich. So kann *Mesodinium sp*. (Gymnostomatea) als charakteristische Sommerart für den Obersee angesehen werden, wogegen verschiedene Arten (*Coleps hirtus, Paradileptus elephantinus, Codonella sp*. und *Stentor sp*.) im Gnadensee und Zellersee höhere Biomassen als im Obersee aufwiesen. Teilweise bestätigt dies die Einschätzung von Lauterborn vor einem Jahrhundert (1925), der *Stentor niger* als charakteristische Art für den Gnadensee aufführte:

„Stentor ist namentlich während der wärmeren Jahreszeit hier im freien Wasser so zahlreich, daß er jede Planktonprobe in Gestalt von dunklen Pünktchen durchsetzt und so auch bereits makroskopisch leicht festzustellen ist. Im Obersee fand ich das Infusor bisher nur als Uferform, besonders in einer Bucht bei der Insel Mainau im August 1909.“.

Es ist nicht bekannt ob dies auch während der Eutrophierung zutraf, oder ob *Stentor* erst wieder mit der Reoligotrophierung im Gnadensee und Zellersee zunahm. Der Rheinsee nimmt auch in der relativen Probenfrequenz einzelner Taxa eine gewisse Mittelstellung zwischen Obersee auf der einer Seite und Gnadensee/Zellersee auf der anderen Seite ein. So finden sich *Medosinium sp., Paradileptus elephantinus* und *Stentor sp.* in ähnlicher Frequenz in den Rheinseeproben wie in den Proben vom Gnadensee und Zellersee, wogegen sich *Coleps hirtus* und *Vorticella sp*. mit ähnlicher Frequenz in den Rheinseeproben befindet wie in den beiden Obersee-Probestellen. Insgesamt findet sich bei den Ciliaten in den verschiedenen Seeteilen eine recht hohe Übereinstimmung, bei den während der gesamten Saison auftretenden dominanten Arten, wogegen sich vor allem im Artenspektrum während des Sommers Unterschiede zwischen Obersee und Untersee finden.

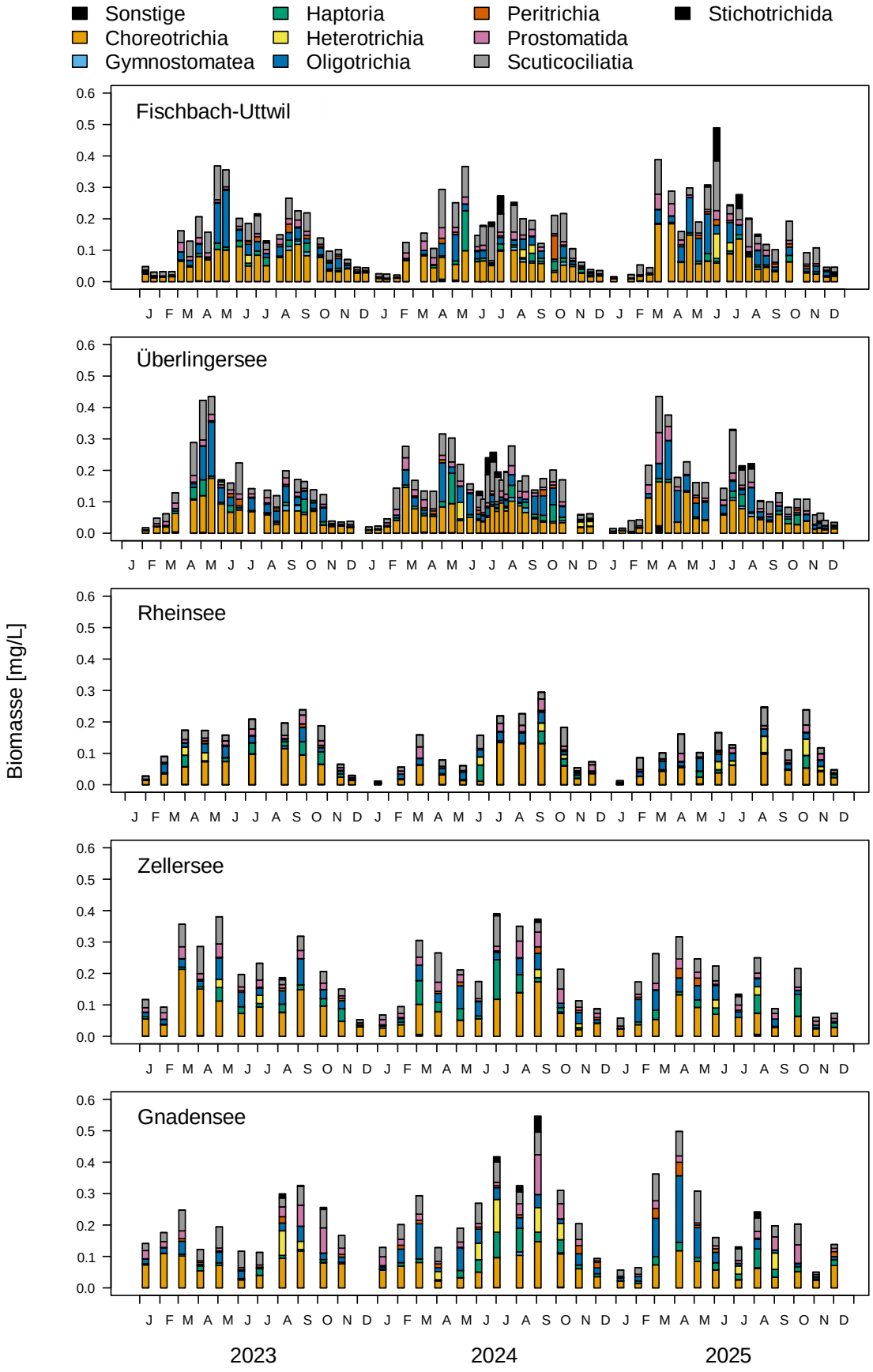


Abb. 7: Biomasse der verschiedenen Ciliatengruppen.

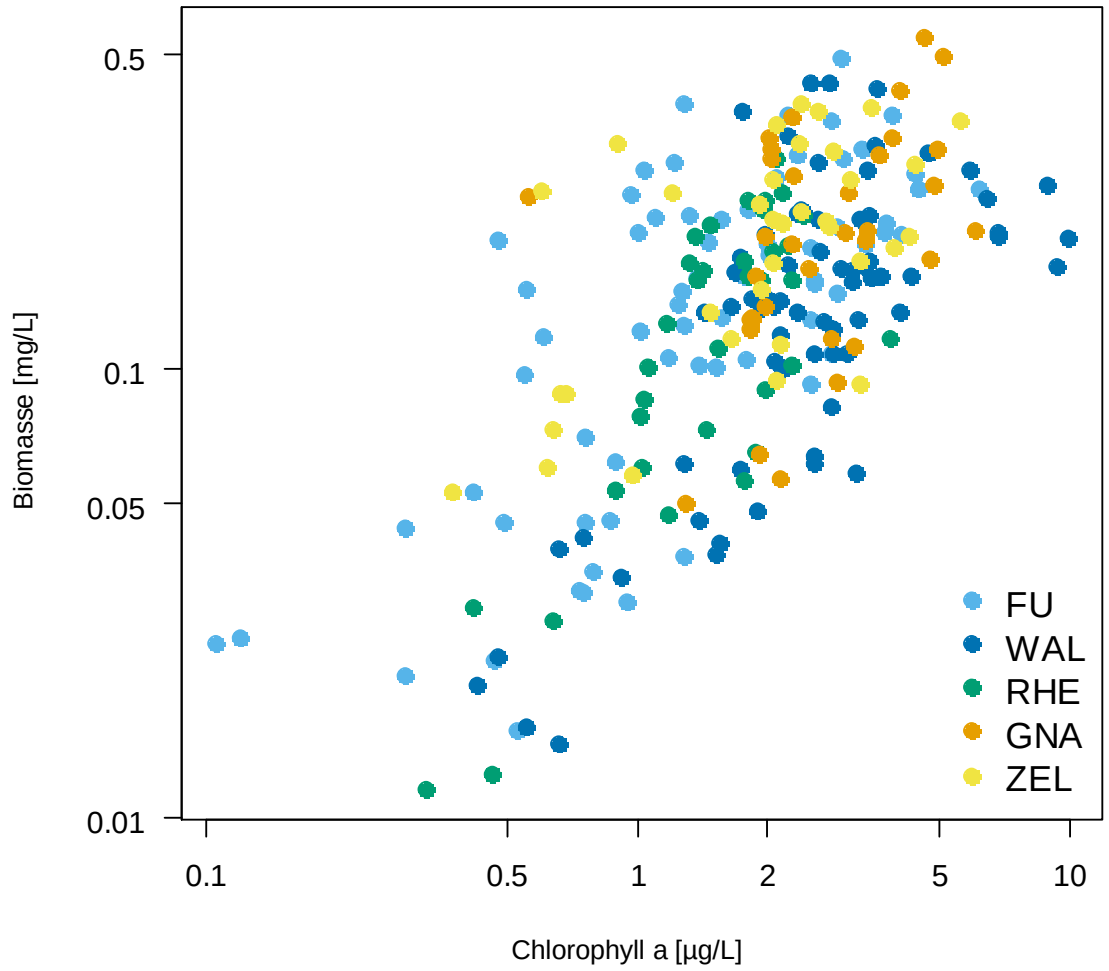


Abb. 8: Zusammenhang von Ciliatenbiomasse und Chlorophyll a-Konzentration in den fünf Seeteilen.

Gaedke, U., S. Hochstädter, and D. Straile. 2002. Interplay between energy limitation and nutritional deficiency: Empirical data and food web models. Ecol. Monogr. 72: 251–270.

Lauterborn, R. 1925. Zur Kenntnis des Planktons des Bodensees und der benachbarten Kleinseen. Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz 22: 421–430.

Weisse, T., R. Anderson, H. Arndt, A. Calbet, P. J. Hansen, and D. J. S. Montagnes. 2016. Functional ecology of aquatic phagotrophic protists – Concepts, limitations, and perspectives. Eur. J. Protistol. 55: 50–74. doi:10.1016/j.ejop.2016.03.003.

B – Jahresbericht

Einleitung

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees.

Allgemeine Grundlagen und limnologische Zusammenhänge finden sich in der IGKB Bilanz 2004 „Der Bodensee: Zustand-Fakten-Perspektiven“, die unter www.igkb.org verfügbar ist.

Die Grundlage für den Bericht bildet das Langzeit-Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die folgenden Institutionen mitgewirkt haben:

- Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg in Bregenz: Untersuchungen des Chemismus in der Bregenzer Bucht.
- Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld: Terminfahrten, Messungen und Untersuchungen des Chemismus und des Phytoplanktons im Untersee-Rheinsee.
- Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Langenargen: Terminfahrten, Messungen und Untersuchungen des Chemismus, des Phyto- und Zooplanktons im Obersee und Untersee, bakteriologische Untersuchungen, physikalische und sedimentologische Untersuchungen, Datenverarbeitung und Berichterstattung.

Physikalisch-chemische Untersuchungen des Überlingersees an der Probenahmestelle zwischen Überlingen und Wallhausen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) und vom Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, durchgeführt. Die Ergebnisse werden jeweils in den AWBR-Jahresberichten veröffentlicht und sind daher hier nur teilweise enthalten.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD), Offenbach, stellte Daten der Wetterstation Konstanz für die Analyse der meteorologischen Situation des Obersees zur Verfügung.

Zustandsbeschreibung 2024

Bodensee-Obersee

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 Wasserstandzunahmen 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 Augustes 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.

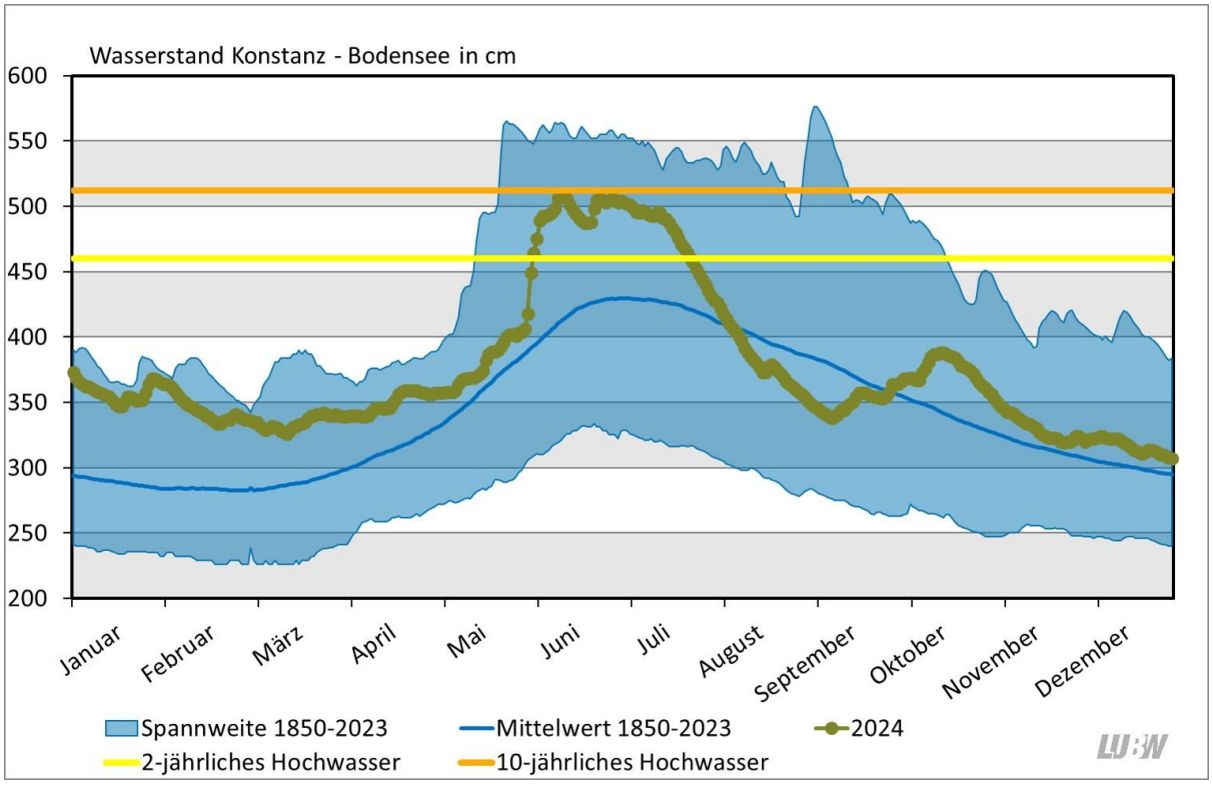


Abb. 1: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2024 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum 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 Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu

nennen: Februar mit 6,5 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +6,1 K, März mit einer Monatsmitteltemperatur von 7,4 °C (+3,7 K), und August mit 20,2 °C und einer positiven Temperaturanomalie 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.

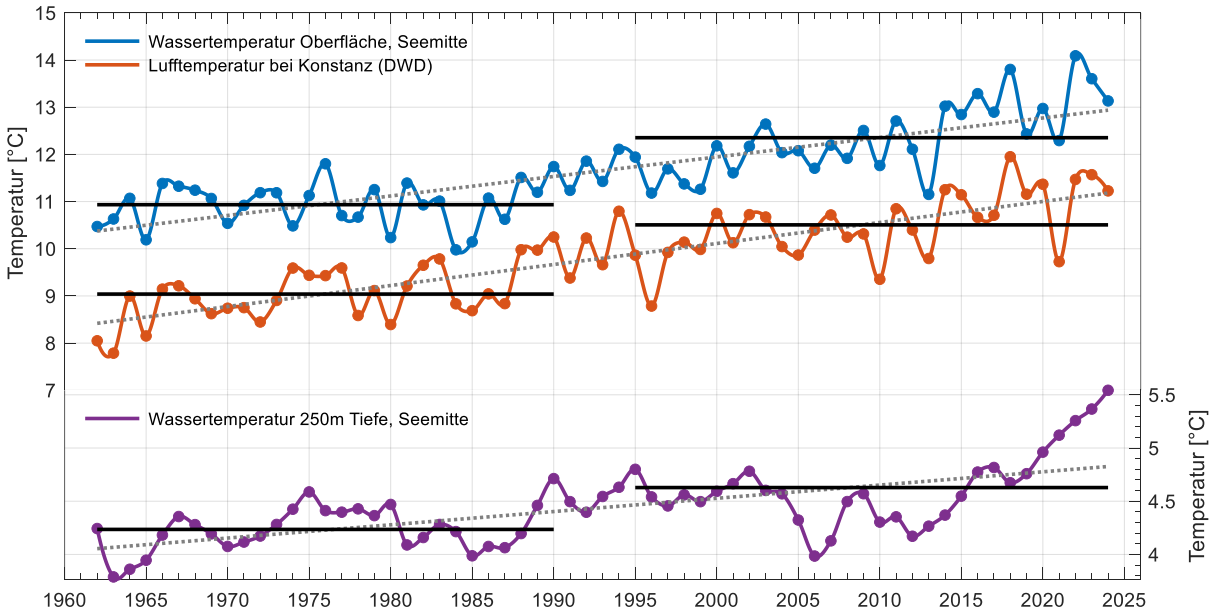


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 m Wassertiefe (lila).

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 05.02.2024 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 K (zwischen 5 m Wassertiefe und 250 m dT = 0,6 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.

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.

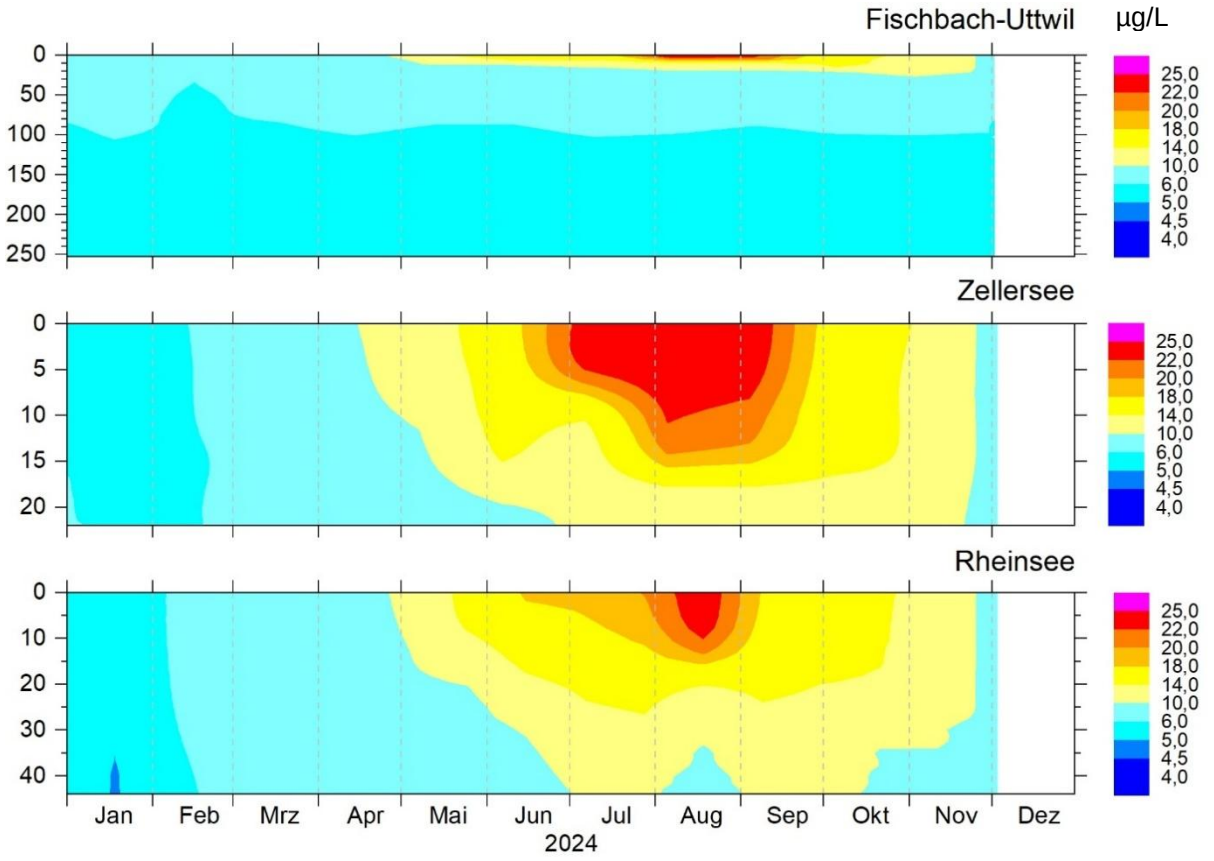


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2024 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil, oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten).

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 Gesamtphosphor weiterhin in einem für große tiefe Alpenseen typischen Bereich. Während der Zirkulationsphase im Februar bis April 2024 wurde die mittlere Konzentration an Gesamtphosphor auf 5,9 µg/L bestimmt (2023: 5,6 µg/L, 2022: 6,5 µg/L).

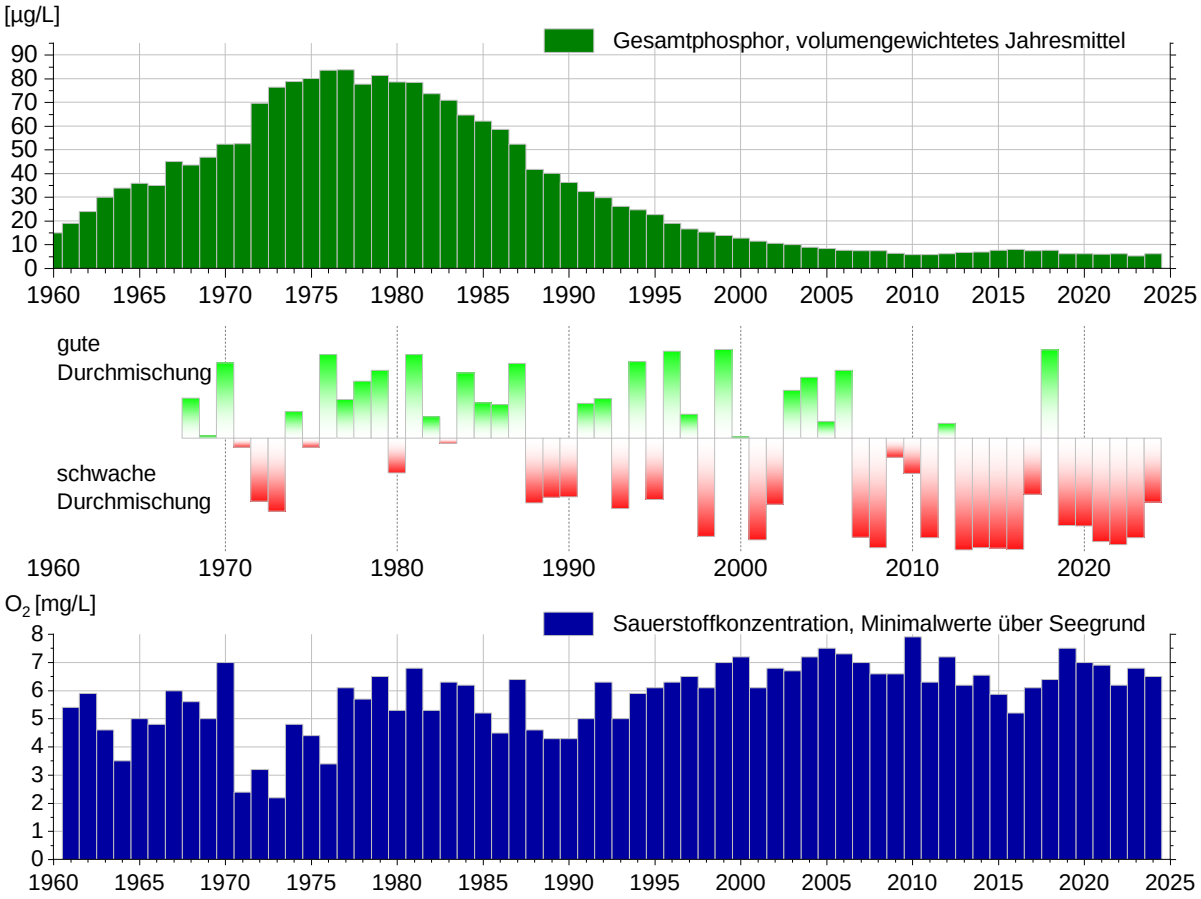


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

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 essenziell 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 sauerstoffreichem Wasser, sind die derzeitig gemessenen Phosphorgehalte die Voraussetzung für stabile Sauerstoffverhältnisse im Tiefenbereich.

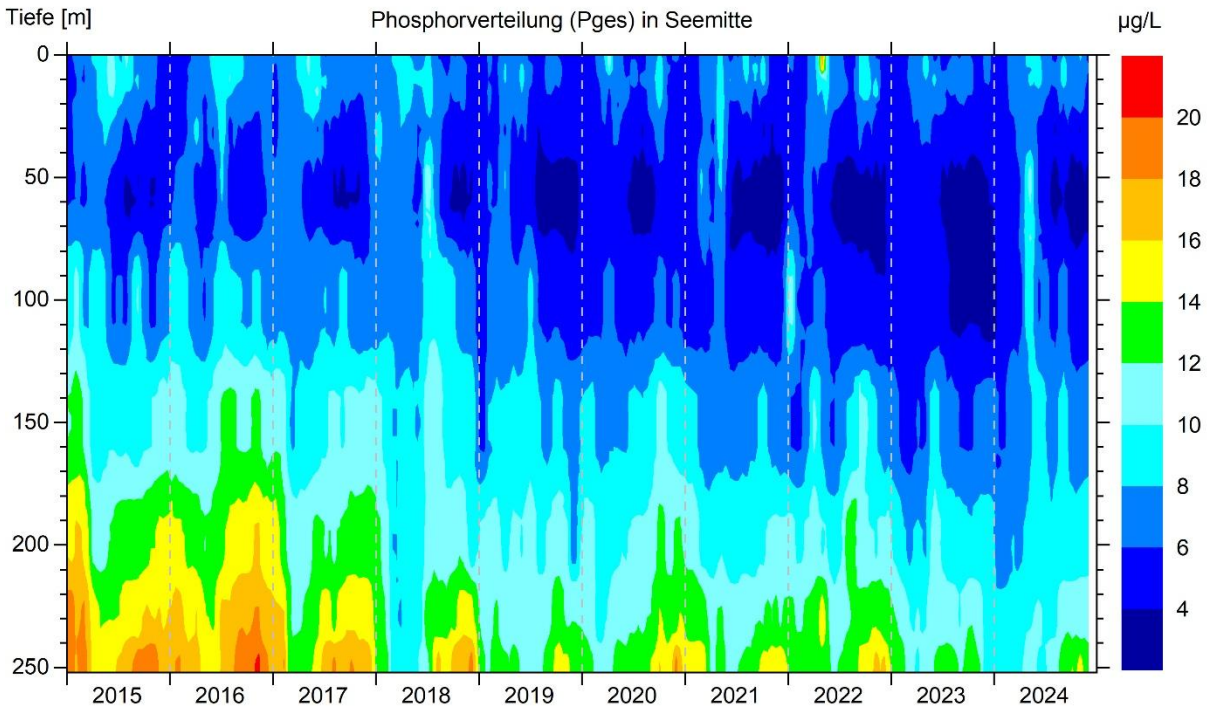


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2015 bis 2024.

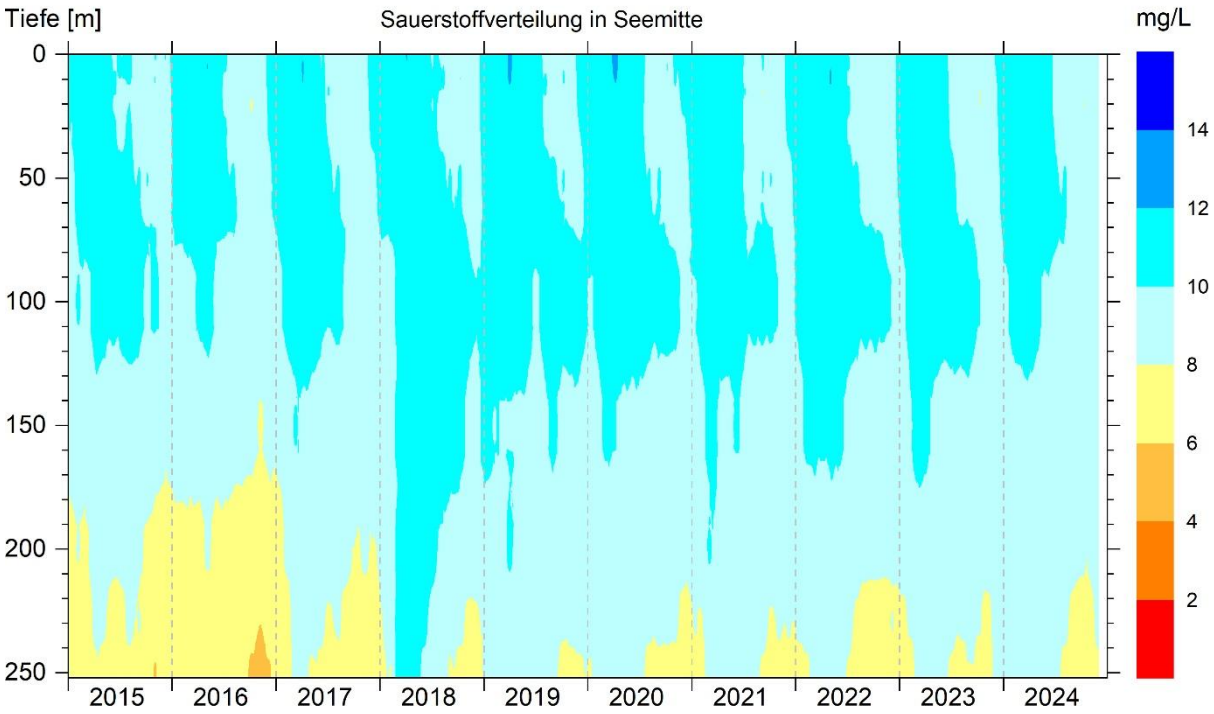


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2015 bis 2024.

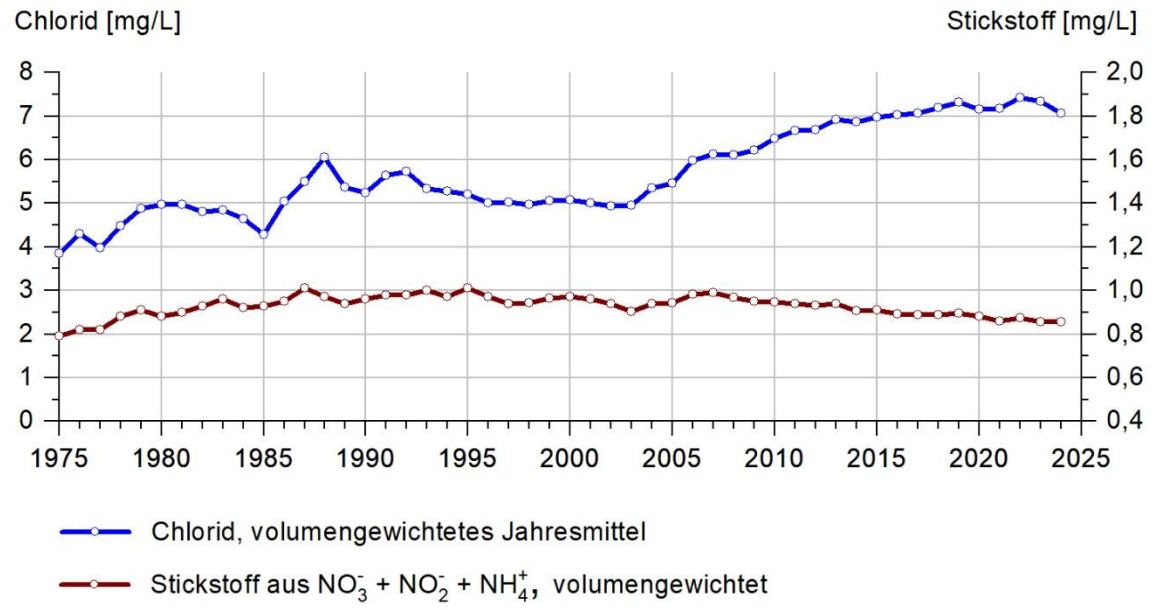


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

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 Umweltrisikomanagement (INERIS) hat 2019 für Chlorid einen Grenzwert von 30 mg/L zum Schutz von aquatischen Organismen vorgeschlagen. Die 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 Nährstoffeintrag 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 %) 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).

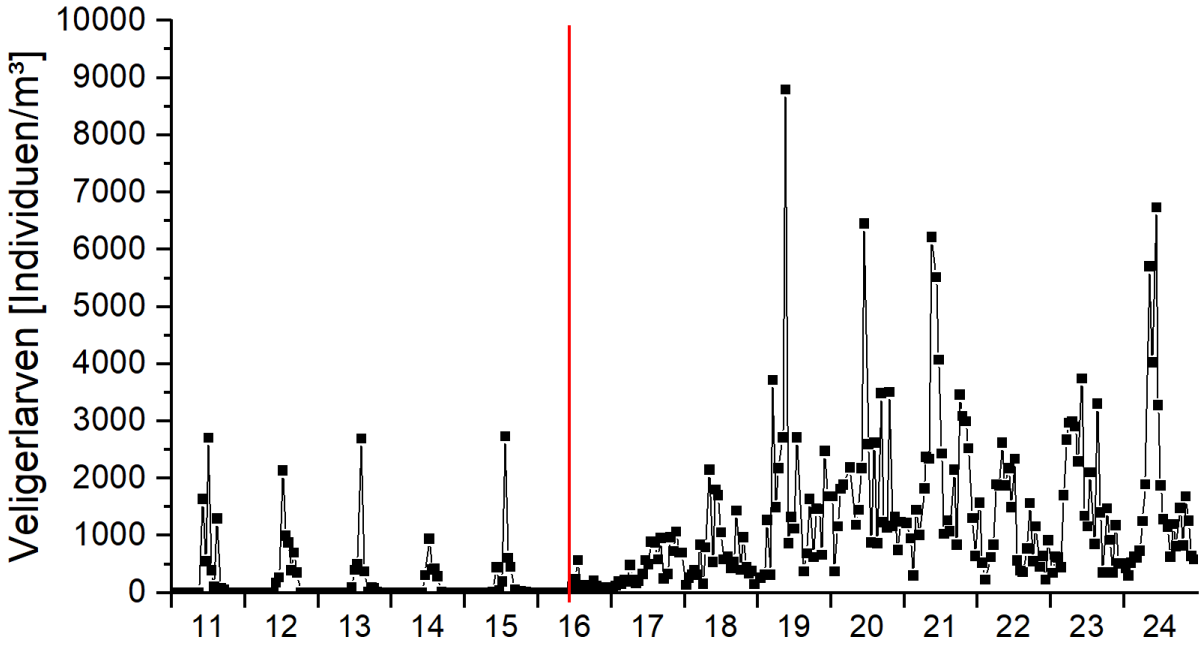


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von Quaggamuscheln im Bodensee.

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

Biologisches Merkmal	Fischbach-Uttwil
Durchschnittliche 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 %)

Durchschnittliche 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)
Durchschnittliche Cladocerenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	10,12 (2023: 14,79)
Durchschnittliche Copodenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	20,31 (2023: 23,71)
Durchschnittliche Rotatorienabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	274,11 (2023: 188,87)
Durchschnittliche 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 Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von Tmin = 4,9 °C am 16.01.2024 und Tmax = 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 Tmin = 4,9 °C und im Zellersee mit Tmin = 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 Tmax = 11,3 °C und im Zellersee mit Tmax = 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 anorganischen 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 Gnaden- 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 leuckarti* 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)**
Durchschnittliche Phytoplankton - Biomasse mg/L	0,54 (2023: 0,66)	0,64 (2023: 0,66)	0,49 (2023: 0,35)
Maximale 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 %)
Durchschnittliche 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)
Durchschnittliche Cladocerenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	19,34 (2023: 18,34)	11,27 (2023: 19,99)	8,77 (2023: 8,03)
Durchschnittliche Copodenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	24,01 (2023: 26,18)	32,79 (2023: 43,05)	22,77 (2023: 16,93)
Durchschnittliche Rotatorienabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	174,85 (2023: 215,94)	228,15 (2023: 218,23)	180,47 (2023: 195,02)
Durchschnittliche 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.

Zustandsbeschreibung 2025

Bodensee-Obersee

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

2025

- 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 2025 betrug 5,3 µg/L. Der Vorjahreswert lag bei 6,1 µg/L. Der minimale Sauerstoffgehalt im tiefen Hypolimnion des Obersees zeigte mit 6,0 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe.

Das Jahr 2025 zeigte im zeitlichen Verlauf der Wasserstände mehrere Besonderheiten. Während in den Monaten Januar und Februar Wasserstände registriert wurden, die leicht über den langjährigen Mittelwerten (Zeitraum von 1850 – 2024) lagen, waren die Wasserstände in den folgenden Monaten zum Teil sehr stark gegenüber diesen Mittelwerten erniedrigt und näherten sich im April, Mai sowie Ende Juni und Anfang Juli den langjährigen Minima an. Ab August bis zum Ende des Jahres näherten sich die Pegelstände dann wieder den Mittelwerten an.

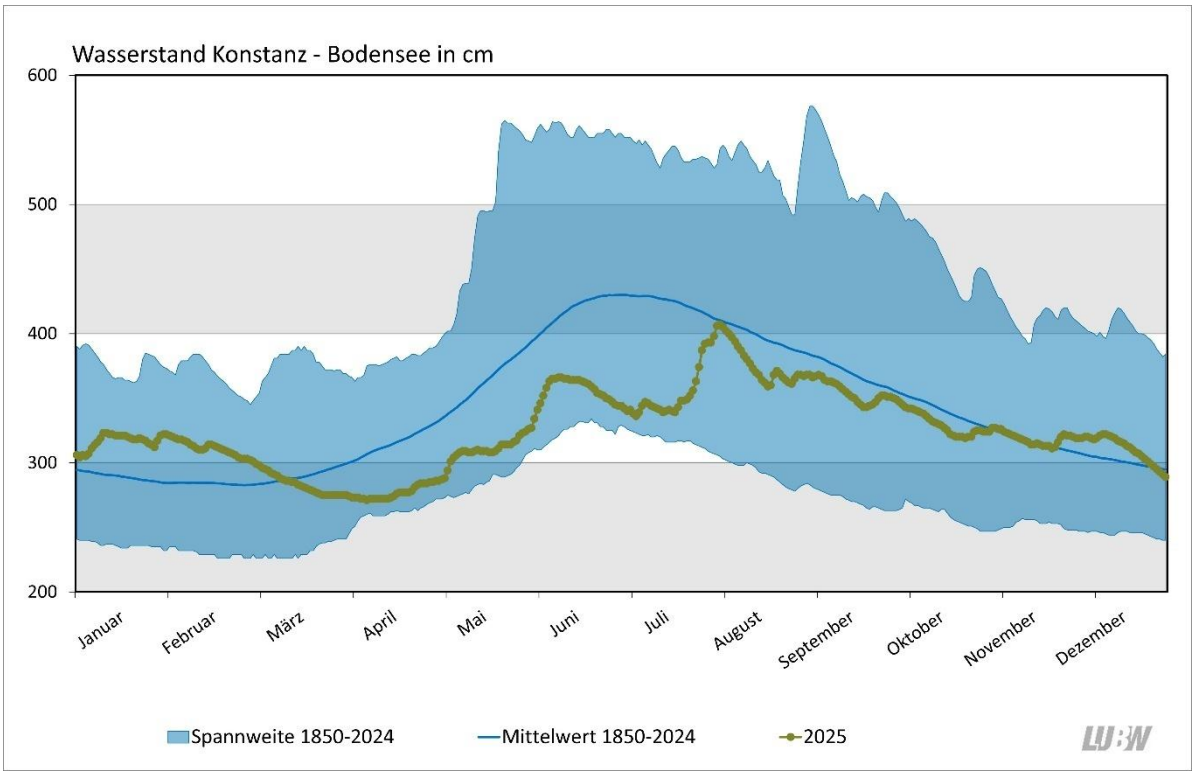


Abb. 1: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2025 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum an. Datenquelle: Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der LUBW. Betreiber der Messstelle: RP Freiburg.

Meteorologisch war das Jahr 2025 ein im Mittel wiederum sehr warmes Jahr, das hinsichtlich der Jahresmitteltemperatur für Deutschland mit 10,0 °C vom Deutschen Wetterdienst (DWD) als das achtwärmste Jahr seit Beginn der Registrierungen eingeordnet wird (DWD, Klimastatusbericht 2025). Die positive Abweichung von dem Mittelwert der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 betrug +1,8 K. Die Niederschläge zeigten eine normale Variabilität und Schwankungsbreite gegenüber den langjährigen Mittelwerten auf, wobei insbesondere zu Beginn des Jahres im Frühjahr und Frühsommer relativ niedrige Werte erreicht wurden.

Die Einordnung als warmes Jahr zeigt sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,9 °C eine positive Abweichung von +1,8 K gegenüber dem Wert der internationalen Referenzperiode registriert wurde. In 2025 lagen dabei ausnahmslos alle Gebietsmonatsmittelwerte über den Mittelwerten der Klimareferenzperiode. Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu nennen: Januar mit 1,7 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +2,5 K, März 6,0 °C (+2,4 K), April 10,2 °C (+2,8 K), Juni 19,4 °C (+4,3 K) und August mit 18,4 °C (+2,0 K).

Die Niederschläge wiesen im Jahr 2025 mit einem Jahresgebietsmittelwert von 864,9 mm (entspricht 88,3 % des Mittelwertes der Klimareferenzperiode) eine leicht unterdurchschnittliche Bilanz gegenüber der Klimareferenzperiode auf, wobei insbesondere im Frühling mit 115,2 mm (47,3 % der Mittelwerte) große negative Abweichungen und wenig Niederschläge registriert wurden, wohingegen im Herbst mit 294,2 mm (134,1 %) saisonal deutlich überhöhte Werte gemessen wurden.

Mit 1952,3 Sonnenstunden war 2025 ein Jahr mit erhöhter Sonnenscheindauer, das 121,5 % des Mittelwertes erreichte.

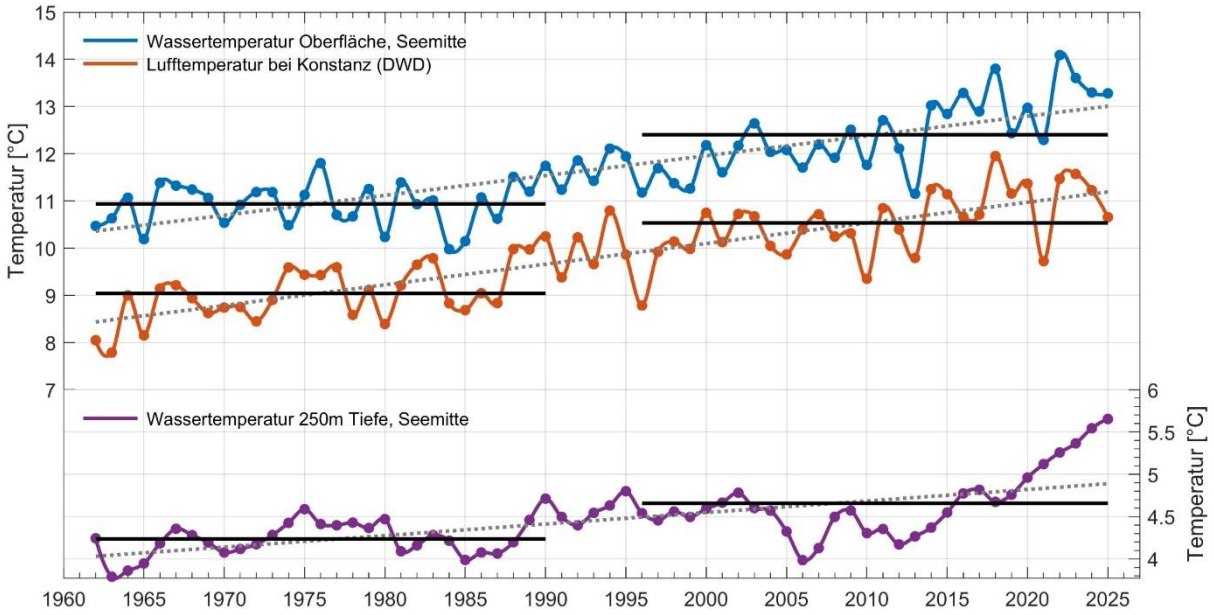


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 m Wassertiefe (lila).

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 2025 war die Tiefenwassertemperatur in 250 m Wassertiefe auf außergewöhnlich hohe Werte von 5,6 °C – Ende des Jahres sogar auf 5,7 °C – angestiegen.

Die oberflächlichen Wassertemperaturen Anfang des Jahres 2025 waren wie in den vorhergehenden Jahren durch den relativ milden Winter 2024/2025 geprägt (Abb. 3). An der Station Fischbach-Uttwil lagen die Oberflächentemperaturen am 14.01.2025 und 04.02.2025 mit 6,5 °C und 6,3 °C im Bereich des Vorjahres zu dieser Zeit. Die durchmischte Wasserschicht wies bis in etwa 50 m Wassertiefe am 14.01.2025 eine Temperatur von 6,5 °C bzw. 6,4 °C auf, die sich dann bis in 100 m auf 6,1 °C verringerte. Die Wassertemperatur in 250 m erreichte in diesem Winter zu dieser Zeit mit 5,6 °C einen außergewöhnlich hohen Wert, der noch einmal 0,1 K höher als im Vorjahr zu dieser Zeit war.

Im Verlauf des Januar 2025 kam es aufgrund des relativ warmen Winters nur zu einer geringfügigen weiteren Abkühlung des Wasserkörpers, so dass am 04.02.2025 an der Oberfläche 6,3 °C, in 5 m Wassertiefe 6,0 °C und in 250 m Wassertiefe eine Temperatur von 5,6 °C gemessen wurde. Am 03.03.2025 wurde an der Oberfläche eine Wassertemperatur von 6,1 °C und in 5 m bis 50 m Wassertiefe eine Temperatur von 5,8 °C und weiterhin 5,6 °C in 250 m gemessen, womit zu diesem Zeitpunkt auch der geringste vertikale Temperaturgradient mit dT = 0,5 K des Jahres 2025 (zwischen 5 m Wassertiefe und 250 m dT = 0,2 K) registriert wurde.

Danach erfolgte die weitere Erwärmung und beginnende stärkere Temperaturschichtung des Wasserkörpers, als am 07.04.2025 oberflächlich eine Wassertemperatur von 7,3 °C und am 05.05.2025 eine Temperatur von 12,2 °C gemessen wurde. Die Wassertemperatur in 250 m Wassertiefe betrug zu dieser Zeit weiterhin 5,6 °C.

Am 07.07.2025 wurde an der Station Fischbach-Uttwil mit 23,4 °C die höchste Wassertemperatur im Jahr 2025 im Rahmen der Terminmessungen registriert. Am 01.09.2025 wurde eine für diesen Termin noch hohe Oberflächenwassertemperatur von 21,0 °C registriert, am 07.10.2025 dann eine Temperatur von 14,9 °C als die herbstliche Abkühlung des Sees einsetzte.

Während der Abkühlungsphase im Herbst/Winter sanken die oberflächlichen Temperaturen dann bis auf 8,7 °C am 01.12.2025 ab. An diesem Termin wurde in 250 m Wassertiefe eine für diesen Tiefenbereich sehr hohe Temperatur von 5,7 °C gemessen.

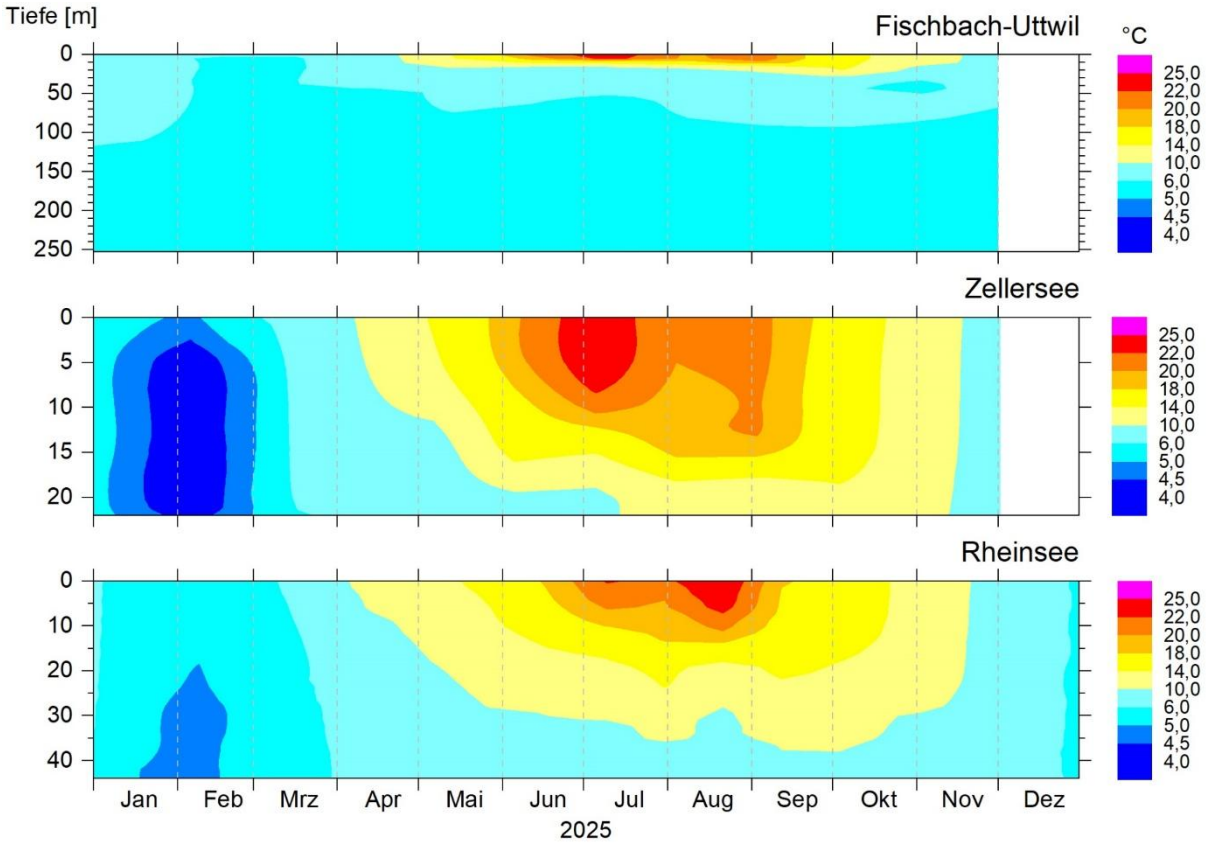


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2025 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil, oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten).

Die Auswertung entsprechender Stoff- und Temperaturgradienten und der daraus abgeleitete Durchmischungsindex (Abb. 4, Mitte) zeigt, dass es im Jahr 2025 schon im siebten Jahr in Folge keine gute vertikale stoffliche Durchmischung der Wassersäule gab.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** betrug 2025 im volumengewichteten Jahresmittel 5,3 µg/L und lag damit im unteren Bereich der Vorjahreswerte (2024: 6,1 µg/L, 2023: 5,4 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 2025 wurden 5,8 µg/L festgestellt (2024: 5,9 µg/L, 2023: 5,6 µg/L).

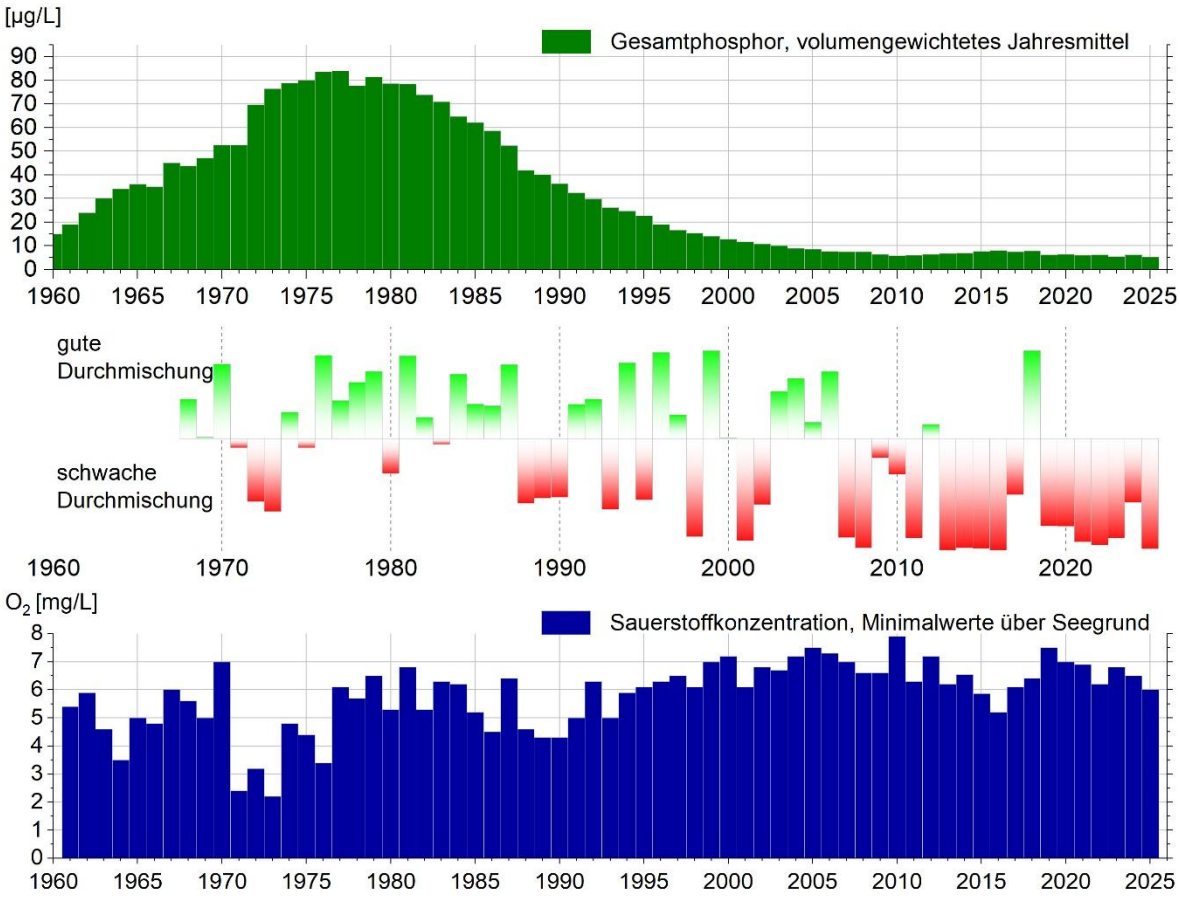


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

2025 war wie bereits die sechs 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 2025 zeigte mit 6,0 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe (Abb. 6). Stabile Sauerstoffverhältnisse am Seegrund sind essenziell 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 sauerstoffreichem Wasser, sind die derzeitig gemessenen Phosphorgehalte die Voraussetzungen für stabile Sauerstoffverhältnisse im Tiefenbereich.

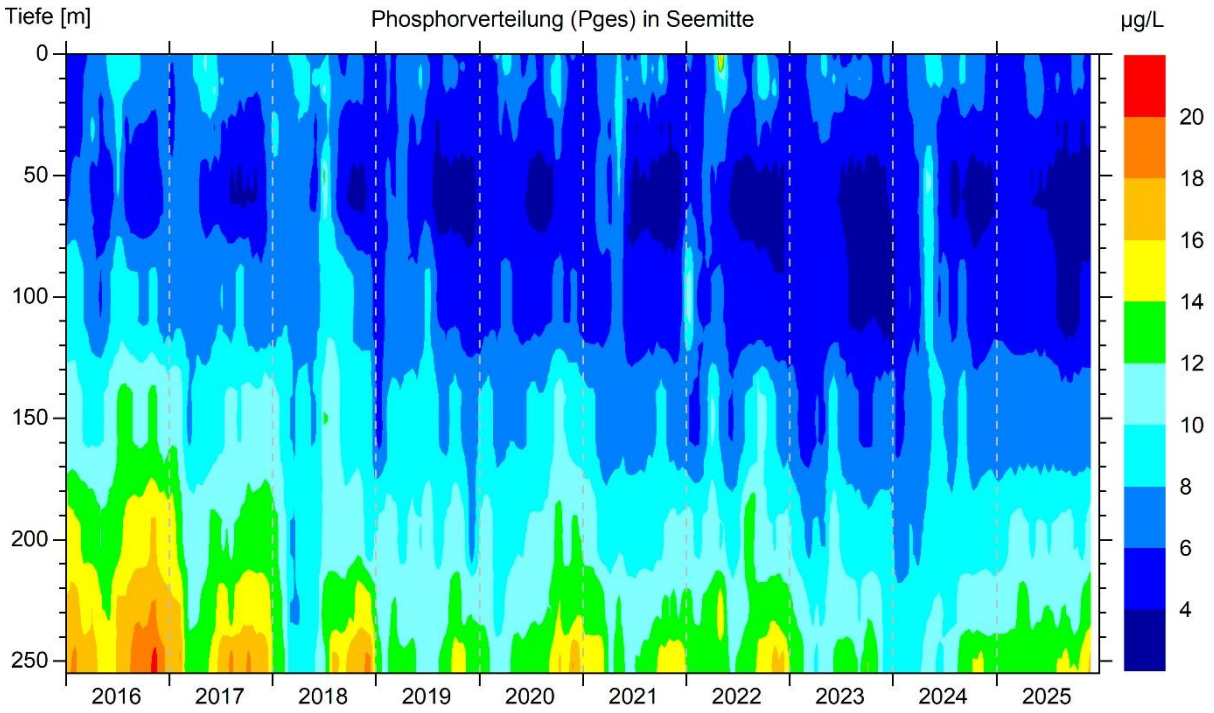


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2016 bis 2025.

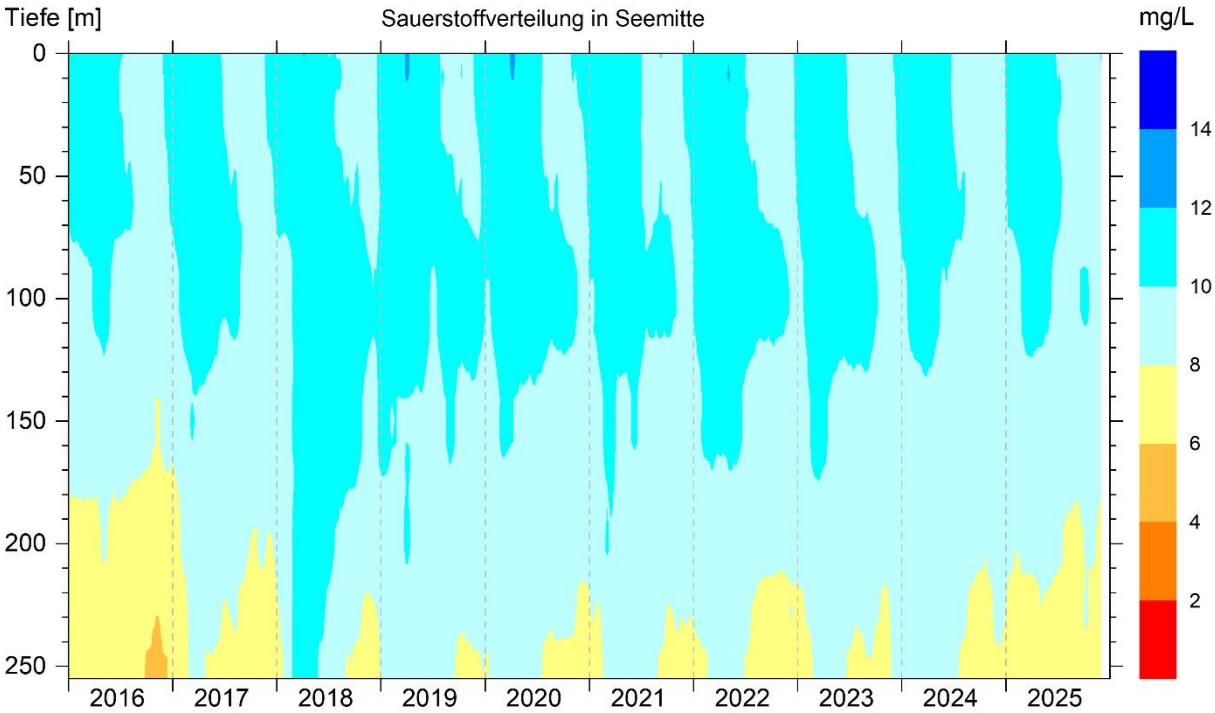


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2016 bis 2025.

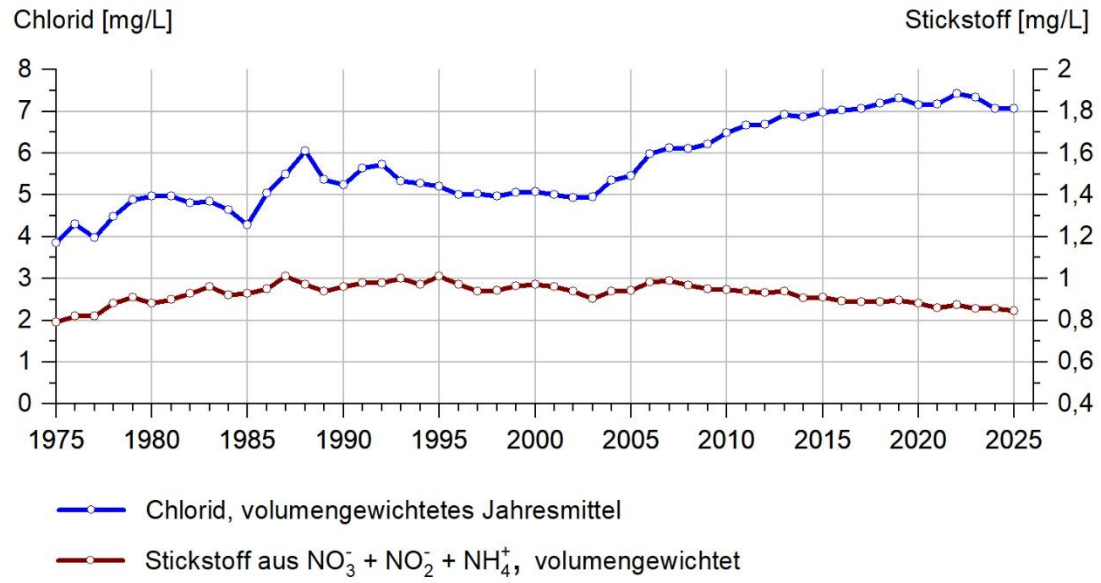


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2025 bei 0,85 mg/L (2024: 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 2025 wie im Vorjahr bei 7,1 mg/L. In den letzten drei Untersuchungsjahren zeigte sich nun kein weiterer Anstieg. Ob sich die Chloridkonzentration auf diesem Konzentrationsniveau stabilisiert, wird sich in den kommenden Jahren 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 Umweltrisikomanagement (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 ähnelte 2025 mehr dem Jahr 2023 als dem Jahr 2024, das offenbar durch die Einflüsse des langanhaltenden Hochwassers überprägt war. Die mittlere Phytoplankton-Biomasse lag mit 0,50 mg/L unter dem Vorjahreswert (0,60 mg/L). Auch die mittlere Chlorophyll a-Konzentration sank auf 1,5 µg/L (2024: 2,1 µg/L). Die maximale Biomasse wurde im Juni mit 1,18 mg/L erreicht.

Die Artenzusammensetzung wurde im Jahresmittel weiterhin von Bacillariophyceen dominiert (37,2 %), jedoch mit einem deutlich erhöhten Anteil der Dinophyceen (22,7 %). Dinophyceen waren vor allem in den Sommermonaten dominant. Die Kieselalgenblüten waren im Vergleich zu den Vorjahren deutlich schwächer entwickelt.

Zooplankton

Die Jahresdurchschnittsbiomasse des Crustaceenplanktons lag auf einem für einen oligotrophen See typischen Niveau (Tab. 1). Die Zooplanktonbiomasse lag mit 69 µg TM/L leicht über dem Vorjahresniveau. Während die Abundanz der Wasserflöhe (Cladoceren) weiter rückläufig war, zeigten die Ruderfußkrebse (Copepoden) eine leichte Zunahme. Die Rotatorienabundanz lag unter dem hohen Vorjahresniveau, blieb jedoch über dem Niveau von 2023. Die Biomasse und Individuenzahl des Helmwasserflohs *Daphnia cucullata* gingen 2025 weiter zurück, während der ansteigende Trend bei *Daphnia hyalina* sich weiter fortsetzte, so dass diese im Sommer 2025 die Biomasse unter den Daphnien dominierte. Hinsichtlich der Individuenzahlen erreichte *D. hyalina* ähnliche Werte wie *D. cucullata*. Die im Zuge der Eutrophierung eingewanderte Wasserflohart *Daphnia galeata* wurde im Rahmen des Monitorings an der Station Fischbach-Uttwil im Jahr 2025 nur im Juli und August mit wenigen Individuen nachgewiesen. Bei den Ruderfußkrebsen dominierten von Januar bis Mai und ab Oktober die Calanoiden mit *Eudiaptomus gracilis* die Biomasse. Cyclopoide Ruderfußkrebse waren in der wärmeren Jahreszeit zahlenmäßig und auch hinsichtlich der Biomasse dominant. Die Hauptarten waren *Mesocyclops leuckarti* und *Thermocyclops oithonoides*, wobei *Thermocyclops oithonoides* vor allem im Spätsommer und Herbst die Abundanzen der früher bildbestimmenden Art *Mesocyclops leuckarti* übertraf.

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

Biologisches Merkmal	**Fischbach-Uttwil**
Durchschnittliche Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m	0,50 (2024: 0,60)
Maximale Phytoplankton-Biomasse mg/L; 0-20 m	1,18 (Juni) (2024: 1,49 August)
Dominierende Großgruppen Phytoplankton Jahresverlauf; 0-20 m	Bacillariophyceae (37,2 %) Cryptophyceae (20,9 %) Dinophyceae (22,7 %) Chrysophyceae (13,9 %)
Durchschnittliche Chl a-Konzentration µg/L; 0-20 m	1,5 (2024: 2,1)
Maximale Chl a-Konzentration µg/L; 0-20 m	3,4 (Mai) (2024: 6,2 August)
Durchschnittliche Cladocerenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	8,63 (2024: 10,12)
Durchschnittliche Copodenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	21,33 (2024: 20,31)
Durchschnittliche Rotatorienabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	222,87 (2024: 274,11)
Durchschnittliche Zooplanktonbiomasse (µg TM/L, bezogen auf 0-20 m)	69 (2024: 64)

Monitoring der Quaggamuschel

Die durchschnittliche Dichte der frei im Wasser schwimmenden Larven der Dreikantmuscheln (Veligerlarven) an der Station Fischbach-Uttwil erreichte im Jahr 2025 ca. 1019 Larven pro m³ Seewasser. Das Jahresmaximum wurde im Mai mit 3991 Larven pro m³ Seewasser (bezogen auf eine Wassersäule von 0-100 m) nachgewiesen. Die Werte lagen niedriger als im Vorjahr jedoch auf einem ähnlichen Niveau wie 2023 (Abb. 8).

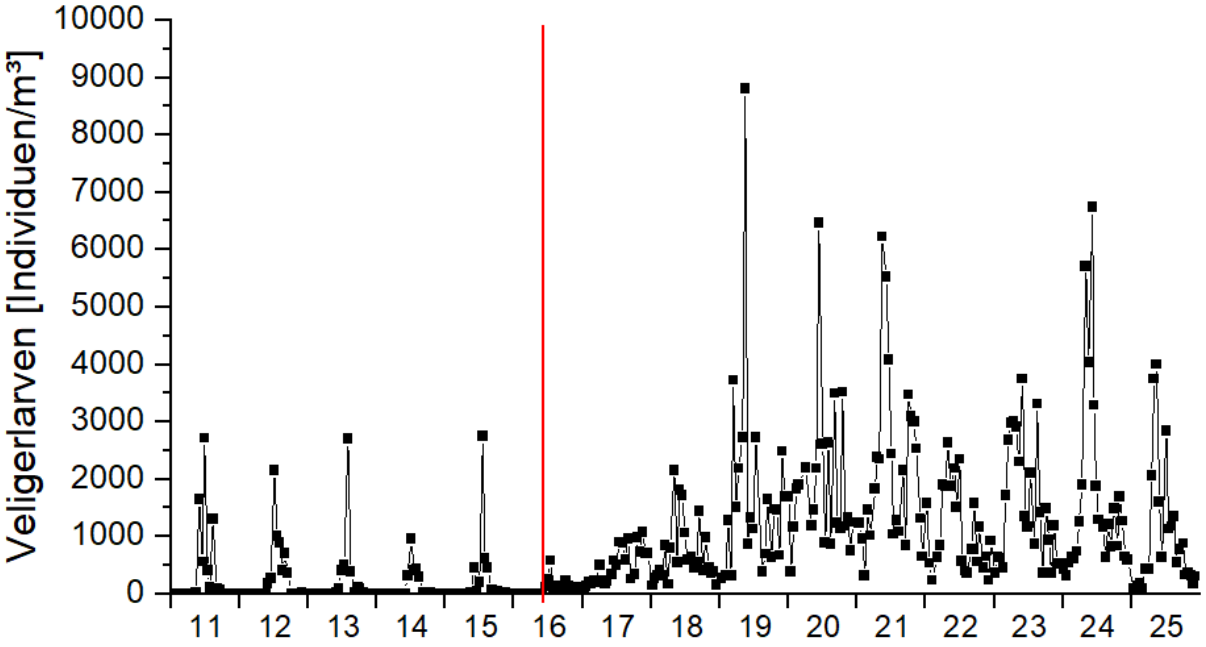


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von Quaggamuscheln im Bodensee.

Bodensee-Untersee

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den erneut milden Winter 2024/2025 sowie durch das wiederum sehr warme Jahr 2025 geprägt (Abb. 3).

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 14.01.2025 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit von 5,3 °C an der Wasseroberfläche und 4,9 °C in Bodennähe gemessen. Am 13.02.2025 hatte sich die Wassersäule leicht weiter abgekühlt und es wurden oberflächennah 5,1 °C und bodennah 4,9 °C gemessen. Am 19.03.2025 wurde dann die beginnende Erwärmung und erneut einsetzende thermische Schichtung des Wasserkörpers registriert: mit einer Wassertemperatur von 6,7 °C an der Oberfläche und 5,5 °C in Bodennähe. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 02.07.2025 mit 26,4 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Im September wurde dann am 24.09.2025 eine Oberflächentemperatur von 18,4 °C gemessen. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von T_{min} = 4,9 °C am 14.01.2025 und am 13.02.2025, und einer maximalen Temperatur T_{max} = 9,2 °C am 12.11.2025.

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde am 08.01.2025 oberflächennah eine Temperatur von 5,3 °C und am Boden in 22 m Wassertiefe eine Temperatur von 5,0 °C gemessen. Am 04.03.2025 wurde eine erste leichte Erwärmung der Wassersäule mit 5,9 °C an der Oberfläche und weiterhin 5,0 °C am Boden registriert. Am 08.04.2025 war diese Erwärmung bereits konsolidiert und oberflächennah wurden 10,1 °C und in Bodennähe 7,6 °C registriert. Am 06.05.2025 wurde mit einer Temperatur von 14,3 °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 08.01.2025 eine oberflächliche Temperatur von 4,3 °C und am Boden eine Wassertemperatur von 4,1 °C gemessen. Am 04.03.2025 wurden dann oberflächlich 4,7 °C und am Seeboden 4,3 °C gemessen. Die Messung am 08.04.2025 zeigte dann eine bereits deutliche Erwärmung der Wassersäule, die mit 10,0 °C an der Oberfläche und 7,4 °C am Seeboden einen ersten deutlichen Temperaturgradienten aufwies.

Die **oberflächlichen Höchsttemperaturen** wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 08.07.2025 im Gnadensee mit 23,8 °C und im Zellersee ebenfalls mit 23,8 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 08.01.2025 mit T_{min} = 4,1 °C und im Zellersee mit T_{min} = 5.0 °C am 08.01.2025 und am 04.03.2025 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} = 11,4 °C und im Zellersee mit T_{max} = 11,1 °C am 04.11.2025 gemessen.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** lag 2025 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 6,2 µg/L niedriger als im Vorjahr (2024: 7,4 µg/L), aber über dem Wert im Obersee (2025: 5,3 µg/L). Im Zellersee betrug der Jahresmittelwert 2025 12,7 µg/L und lag damit unter dem Wert von 2024 mit 13,1 µg/L. Im Gnadensee wurde 2025 ein Gesamtphosphorgehalt von 9,8 µg/L bestimmt (2024: 11,3 µg/L).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag im Rheinsee 2025 mit 0,71 mg/L etwas oberhalb des Vorjahreswertes von 0,68 mg/L, im Zellersee 2025 mit 0,84 mg/L dagegen etwas niedriger als 2024 (0,88 mg/L). Im Gnadensee lag der Wert für anorganischen Stickstoff mit 0,50 mg/L ebenfalls unterhalb des Wertes von 2024 (0,61 mg/L).

Der minimale **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug 2025 im Rheinsee 0,6 mg/L (2024: 0,8 mg/L). Auch im Tiefenwasserbereich des Zellersees wurde 2025 ein Sauerstoff-Minimum von 0,6 mg/L beobachtet. Ebenfalls gleich zum Rheinsee lag dieses im Jahr 2024 bei 0,8 mg/L. Der Gnadensee zeigte in den Herbstmonaten teilweise sauerstofffreie Verhältnisse über Grund. Ende des Jahres konnten sich die Sauerstoffwerte in allen Seeteilen des Untersees wieder erholen.

Phytoplankton und Pigmente

Im Untersee zeigten die einzelnen Becken differenzierte Entwicklungen. Die Phytoplankton-Biomasse im Zellersee und Rheinsee blieben auf ähnlichem Niveau wie 2024, während die Biomasse im Gnadensee auf 0,55 mg/L zurückging (vgl. Tab 2). Die Chlorophyll a-Konzentration im Zellersee sank, obwohl die Algenbiomasse nahezu gleichgeblieben ist. Im Rheinsee blieb die Chlorophyll a-Konzentration konstant, im Gnadensee ging sie entsprechend des Rückgangs der Phytoplanktonbiomasse zurück.

In allen Becken dominierten Cryptophyceen und Bacillariophyceen (Tab. 2). Die übrigen Gruppen spielten eine untergeordnete Rolle. Im Rheinsee war der Anteil der Bacillariophyceen an der Gesamtbiomasse im Vergleich zu 2024 (42,9 %) deutlich geringer. Hier kam es im Mai 2025 zu einer starken Vermehrung von Chrysophyceen der Gattungen *Uroglena* und *Dinobryon*.

Zooplankton

Die Zooplanktonentwicklung zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Becken. Besonders im Gnadensee traten hohe Rotatorienabundanzen im Mai auf, die – deutlich geringer ausgeprägt auch im Zellersee zu beobachten waren. Die Cladocerenabundanzen nahmen im Zellersee und Gnadensee leicht zu, während beim Rheinsee ein Rückgang zu verzeichnen war. Die dominanten Arten waren zahlenmäßig im Zellersee und Rheinsee nach wie vor *Daphnia cucullata*, wohingegen im Gnadensee weiterhin die größeren *Daphnia hyalina* und Hybridformen häufiger waren als *D. cucullata*. Bei den Copepoden war im Gnadensee und Rheinsee ein Rückgang in der Abundanz zu verzeichnen. Im Zellersee haben die Copepoden abundanzanteilig leicht zugenommen, die Biomasse ging jedoch zurück. Das lag vor allem an einem im Vergleich zu 2024 höheren Anteil kleinerer Formen wie *Thermocyclops* und *Mesocyclops*.

Die Biomassezusammensetzung hat sich im Zellersee am wenigsten geändert, im Rheinsee und Gnadensee war eine deutliche Verschiebung bei den Anteilen von calanoiden und cyclopoiden Copepoden zu erkennen. Die Calanoiden erreichten im Vergleich zu den cyclopoiden im Jahresdurchschnitt deutlich höhere Anteile an der Biomasse. Die Gesamtbiomasse des Zooplanktons nahm in allen Becken des Untersees ab. Die Biomassen indizieren erstmals in allen Teilen des Untersees oligotrophen Verhältnissen.

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 2025 im Zellersee mit knapp 30 000 Ind. /m³ (2024: 36 700 Ind. /m³). Wie am Obersee wurde auch in den Unterseebecken im Vergleich zum Vorjahr niedrigere 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)**
Durchschnittliche Phytoplankton-Biomasse mg/L	0,55 (2024: 0,54)	0,55 (2024: 0,64)	0,46 (2024: 0,49)
Maximale Phytoplankton - Biomasse mg/L	1,24 (Jun) (2024: 0,88)	0,70 (Aug) (2024: 1,01)	0,91 (Sep) (2024: 1,71)
Dominierende Phytoplanktongruppen	Cryptophyceen (41,5 %) Bacillariophyceen (38,5 %) Chrysophyceen (10,5 %)	Cryptophyceen (32, 6 %) Bacillariophyceen (30,4 %) Dinophyceen (12,8 %) Chrysophyceen (12,2 %)	Cryptophyceen (47,3 %) Bacillariophyceen (27,5 %) Chrysophyceen (15,1 %)
Durchschnittliche Chl a-Konzentration µg/L	1,3 (2024: 2,3)	2,4 (2024: 3,1)	1,6 (2024: 1,6)
Maximale Chl a-Konzentration µg/L	2,1 (Feb) (2024: 3,3)	5,1 (Apr) (2024: 5,0)	3,8 (Nov) (2024: 2,4)
Durchschnittliche Cladocerenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	24,47 (2024: 19,34)	14,53 (2024: 11,27)	5,79 (2024: 8,77)
Durchschnittliche Copodenabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	29,15 (2024: 24,01)	29,51 (2024: 32,79)	15,33 (2024: 22,77)
Durchschnittliche Rotatorienabundanz (10^4 Individuen/m² Seefläche)	274,3 (2024: 174,85)	401,1 (2024: 228,15)	135,62 (2024: 180,47)

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. Bei den Wasserflöhen zeigte sich erstmals seit 2016 ein deutlicher Rückgang der kleinen Wasserflohart *Daphnia cucullata* und das verstärkte Aufkommen der angestammten Art *Daphnia hyalina* – möglicherweise ein Effekt des verringerten Fraßdrucks durch zurückgehende Stichlingspopulationen.

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

In den Unterseebecken deuten die zurückgehenden Zooplanktonbiomassen auf oligotrophe Bedingungen hin. Durch weiteres Monitoring bleibt abzuwarten, ob sich die Tendenz weiter verfestigt, oder ob es sich um kurzfristige Effekte durch natürliche Schwankungen handelt.

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.

Untersuchungsprogramm Freiwasser

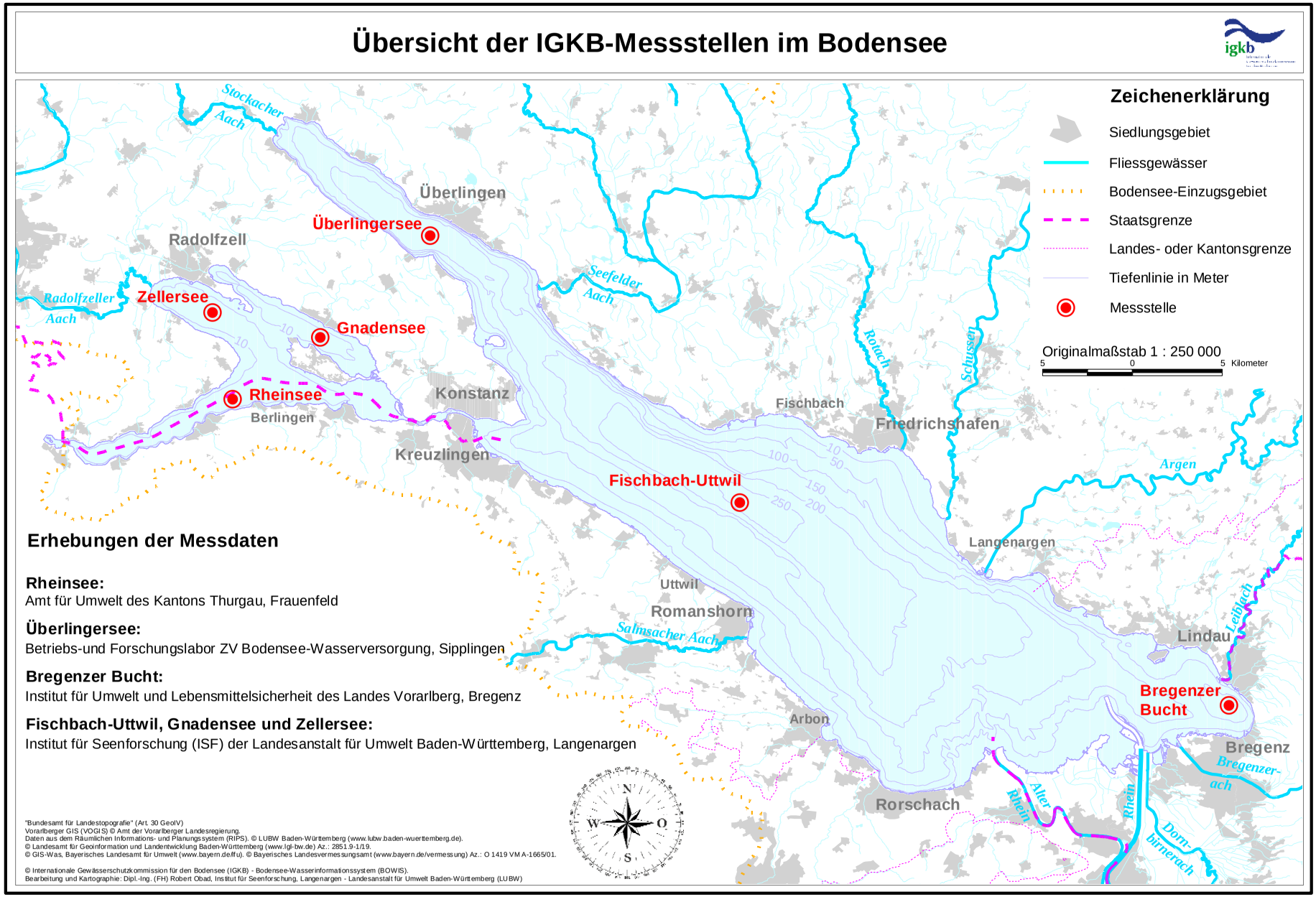
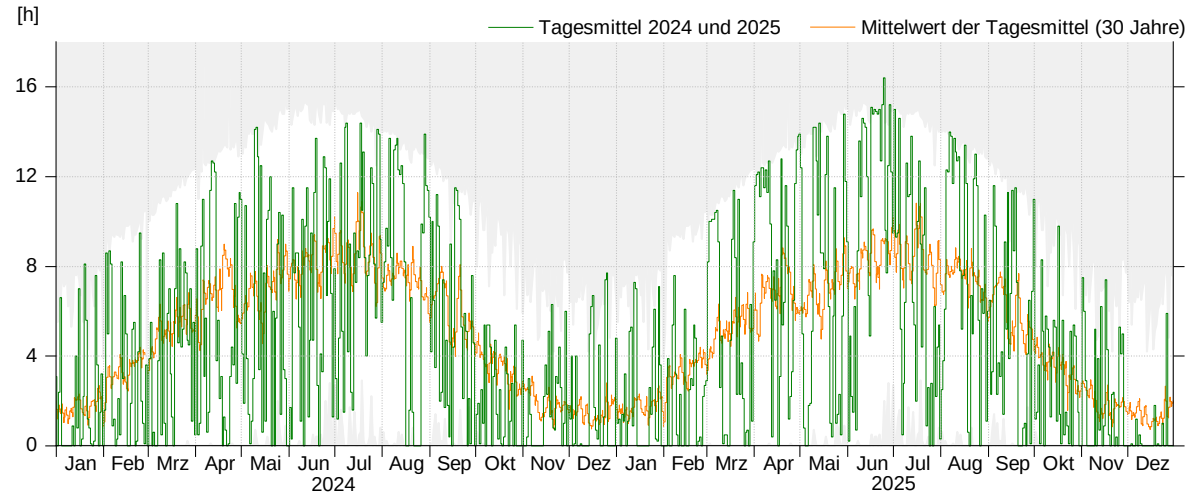


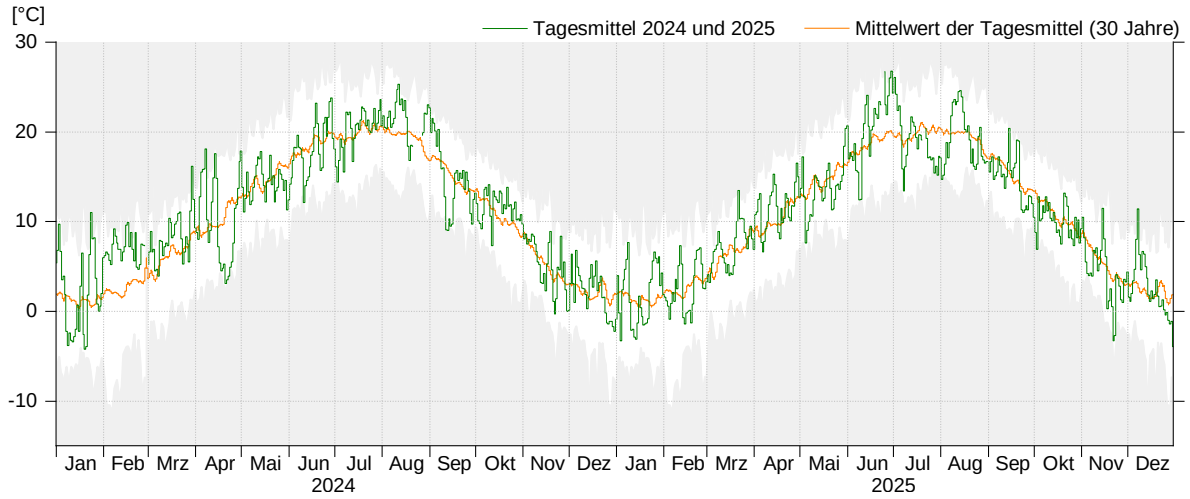
Abb. 1: Übersichtskarte der IGKB-Messstellen im Bodensee (2024-2025).

Meteorologie

Sonnenscheindauer



Lufttemperatur



Windgeschwindigkeiten

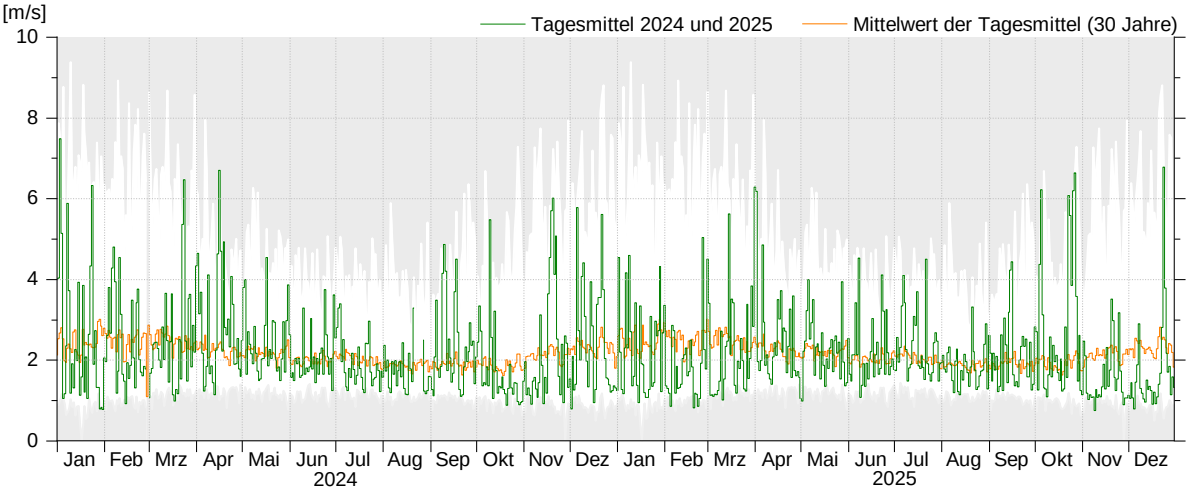


Abb. 2: Meteorologische Größen mit Bereichen zwischen Maxima und Minima langjähriger Tagesmittel. Quelle: Daten der Wetterstation Konstanz des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

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 Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu nennen: Februar mit 6,5 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +6,1 K, März mit einer Monatsmitteltemperatur von 7,4 °C (+3,7 K), und August mit 20,2 °C und einer positiven Temperaturanomalie 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.

Meteorologisch war das Jahr 2025 ein im Mittel wiederum sehr warmes Jahr, das hinsichtlich der Jahresmitteltemperatur für Deutschland mit 10,0 °C vom Deutschen Wetterdienst (DWD) als das achtwärmste Jahr seit Beginn der Registrierungen eingeordnet wird (DWD, Klimastatusbericht 2025). Die positive Abweichung von dem Mittelwert der Klimareferenzperiode 1961 – 1990 betrug +1,8 K. Die Niederschläge zeigten eine normale Variabilität und Schwankungsbreite gegenüber den langjährigen Mittelwerten auf, wobei insbesondere zu Beginn des Jahres im Frühjahr und Frühsommer relativ niedrige Werte erreicht wurden.

Die Einordnung als warmes Jahr zeigt sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,9 °C eine positive Abweichung von +1,8 K gegenüber dem Wert der internationalen Referenzperiode registriert wurde. In 2025 lagen dabei ausnahmslos alle Gebietsmonatsmittelwerte über den Mittelwerten

der Klimareferenzperiode. Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu nennen: Januar mit 1,7 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +2,5 K, März 6,0 °C (+2,4 K), April 10,2 °C (+2,8 K), Juni 19,4 °C (+4,3 K) und August mit 18,4 °C (+2,0 K).

Die Niederschläge wiesen im Jahr 2025 mit einem Jahresgebietsmittelwert von 864,9 mm (entspricht 88,3 % des Mittelwertes der Klimareferenzperiode) eine leicht unterdurchschnittliche Bilanz gegenüber der Klimareferenzperiode auf, wobei insbesondere im Frühling mit 115,2 mm (47,3 % der Mittelwerte) große negative Abweichungen und wenig Niederschläge registriert wurden, wohingegen im Herbst mit 294,2 mm (134,1 %) saisonal deutlich überhöhte Werte gemessen wurden.

Mit 1952,3 Sonnenstunden war 2025 ein Jahr mit erhöhter Sonnenscheindauer, das 121,5 % des Mittelwertes erreichte.

Hydrologie

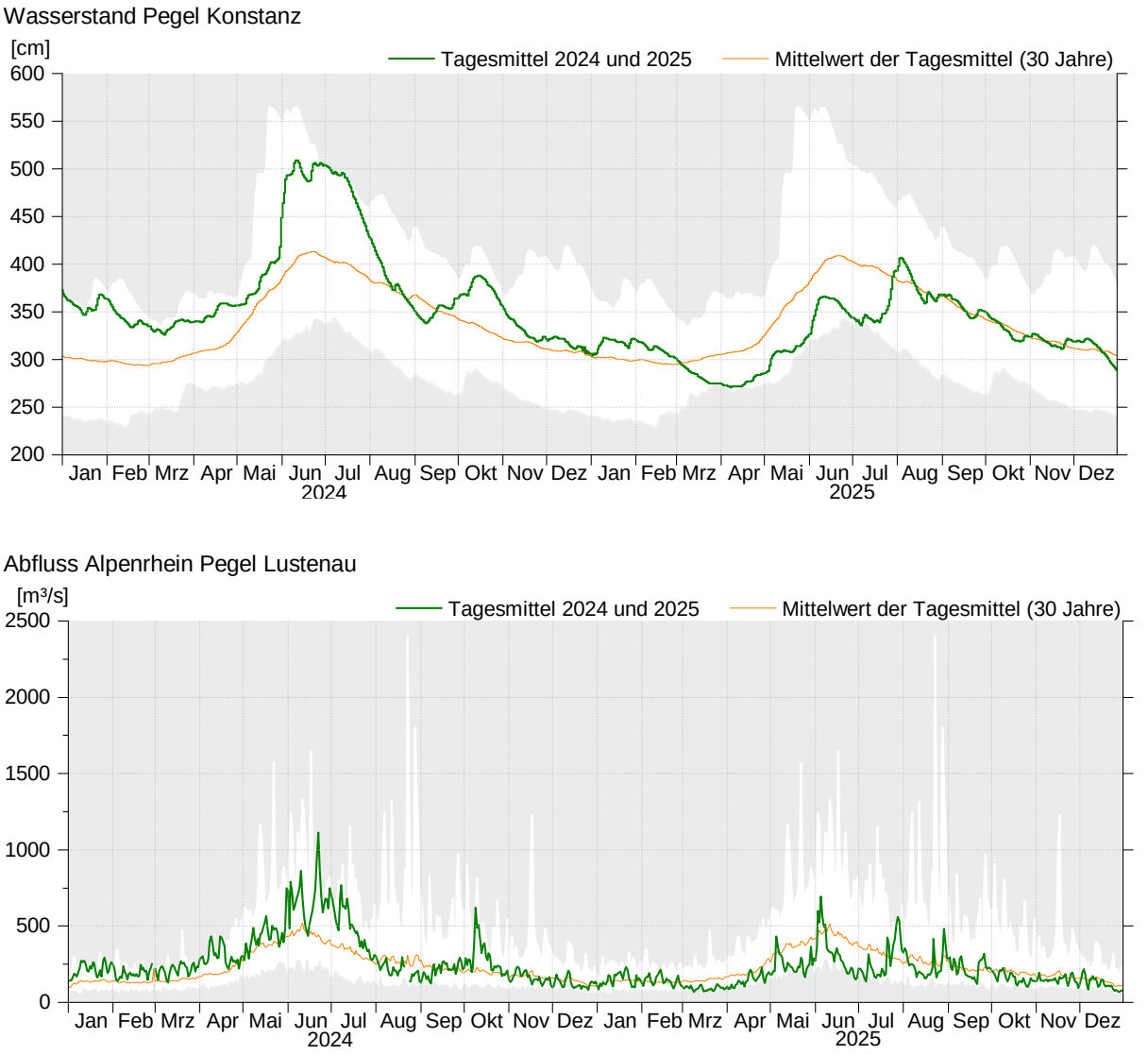


Abb. 3: Hydrologische Größen; Wasserstand Pegel Konstanz und Abfluss Alpenrhein Pegel Lustenau. Quellen: Hochwasser-Vorhersage-Zentrale (HVZ) Baden-Württemberg, BodenseeOnline.

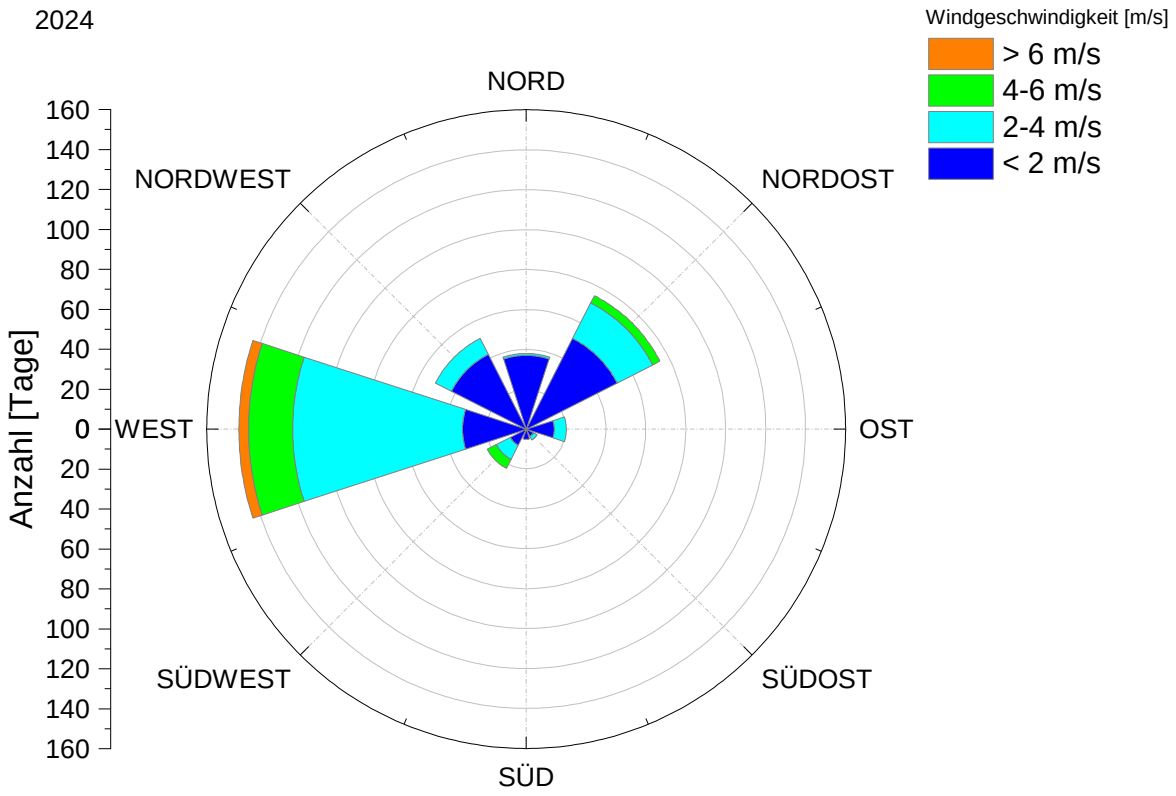
Die beiden Jahre 2024 und 2025 zeigten hydrologisch sehr unterschiedliche Reaktionsmuster der Niederschläge, Abflüsse und daraus resultierend der Wasserstände im Bodensee. Während es im Jahr 2024 sehr deutliche Überschreitungen der mittleren Wasserstände speziell im ersten Halbjahr aber auch im zweiten Halbjahr 2024 gab, lagen die Wasserstände im Jahr 2025 in der ersten Jahreshälfte deutlich unter den Mittelwerten und in der zweiten Jahreshälfte im Bereich der Mittelwerte selber.

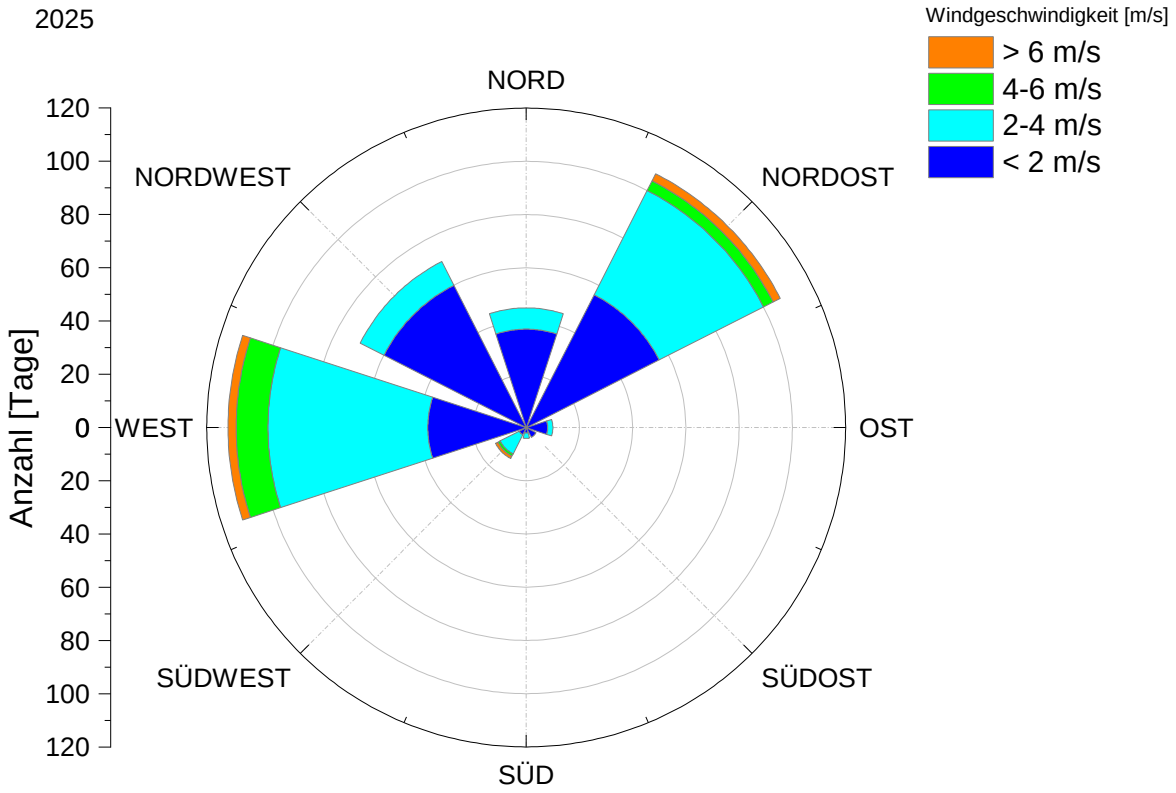
Das Jahr 2024 zeigte im zeitlichen Verlauf der **Wasserstände** mehrere Besonderheiten. Während in den Monaten August und September Wasserstände registriert wurden, die leicht unter den langjährigen Mittelwerten (Zeitraum von 1850 – 2023) lagen, waren die Wasserstände in allen anderen Monaten zum Teil 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 Wasserstandzunahmen 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. Danach näherten sich die Wasserstände im Verlauf des Julis wieder den Mittelwerten an und unterschritten diese im Lauf des Augusts 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.

Das Jahr 2025 zeigte im zeitlichen Verlauf der Wasserstände mehrere Besonderheiten. Während in den Monaten Januar und Februar Wasserstände registriert wurden, die leicht über den langjährigen Mittelwerten (Zeitraum von 1850 – 2024) lagen, waren die Wasserstände in den folgenden Monaten zum Teil sehr stark gegenüber diesen Mittelwerten erniedrigt und näherten sich im April, Mai sowie Ende Juni und Anfang Juli den langjährigen Minima an. Ab August bis zum Ende des Jahres näherten sich die Pegelstände dann wieder den Mittelwerten an.

Windverteilung





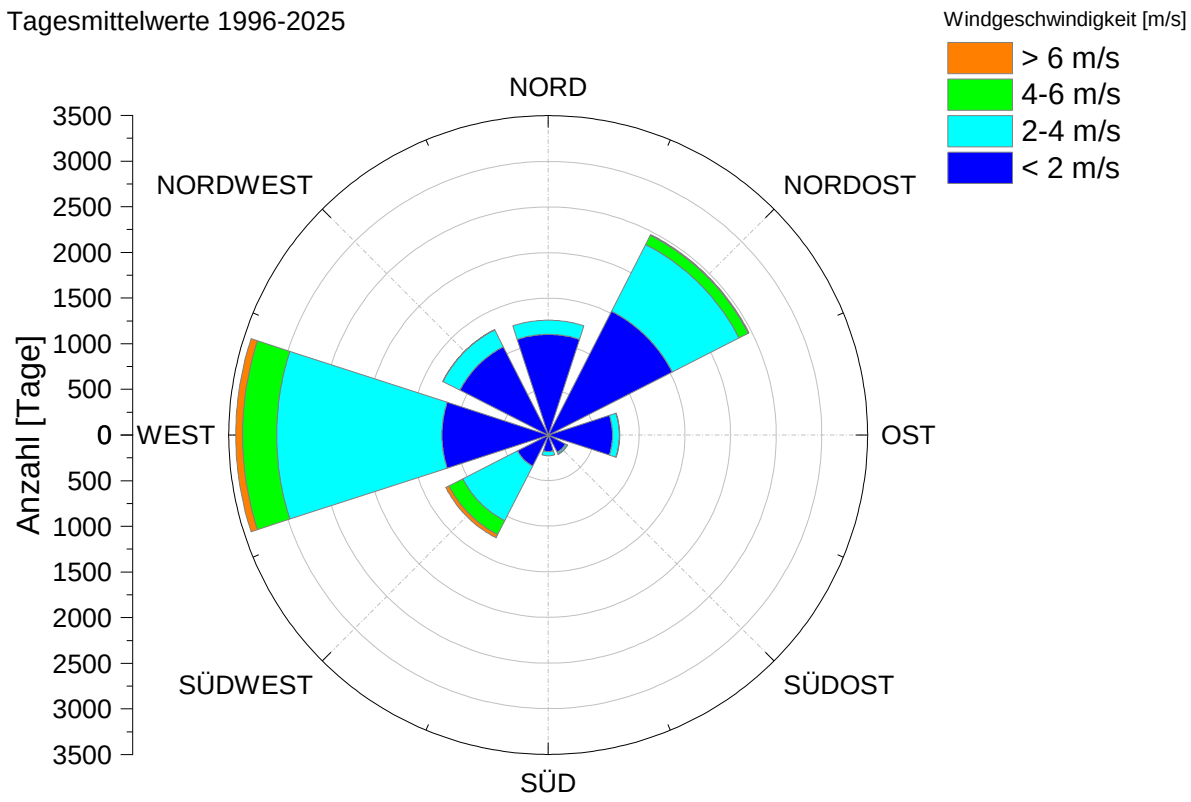


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung des Windes für die Jahre 2024 und 2025 (obere Abbildungen) bzw. die letzten 30 Jahre (untere Abbildung). Quelle: Daten der Wetterstation Konstanz des Deutschen Meteorologischen Dienstes (DWD).

Die **Windrichtungsverteilungen** der Jahre 2024 und 2025 zeigen für die Wetterstation Konstanz des Deutschen Meteorologischen Dienstes (DWD) als Hauptwindrichtungen West und für einzelne Starkwindereignisse Südwest sowie Nordost (Abb. 4).

Die **Jahresrichtungsverteilungen** für 2024 und 2025 weisen nur geringe Abweichungen von den langjährig gemittelten Verteilungen der Windrichtungen und -geschwindigkeiten auf, die im Rahmen der normalen Wettervariabilität liegen.

Wassertemperaturen an der Oberfläche und über Grund

Abb. 5: Langzeitliche Wassertemperaturentwicklung an der Oberfläche und über Grund für die Seeteile Obersee (Messstelle Fischbach-Uttwil), Zellersee und Rheinsee.

Die langjährige Entwicklung der **Wassertemperatur** zeigt relativ ähnliche Verläufe für die Oberflächenwassertemperatur der drei Seeteile Bodensee Obersee, Zellersee und Rheinsee in den Jahren 2016-2025 (siehe Abb. 5).

Die Temperaturen im Obersee an der Station Fischbach-Uttwil in 250 m Wassertiefe variieren in diesem Zeitraum zwischen etwa 4,6 °C und außergewöhnlich hohen 5,7 °C. Dabei steigen die Temperaturen an der tiefsten Stelle des Sees von etwa 4,6 °C im Januar 2016 relativ kontinuierlich auf 5,7 °C im Dezember 2025 an, werden jedoch durch die Durchmischungsgeschehnisse im Spätwinter und frühen Frühjahr auch jahresspezifisch leicht moduliert.

Wärmeinhalt

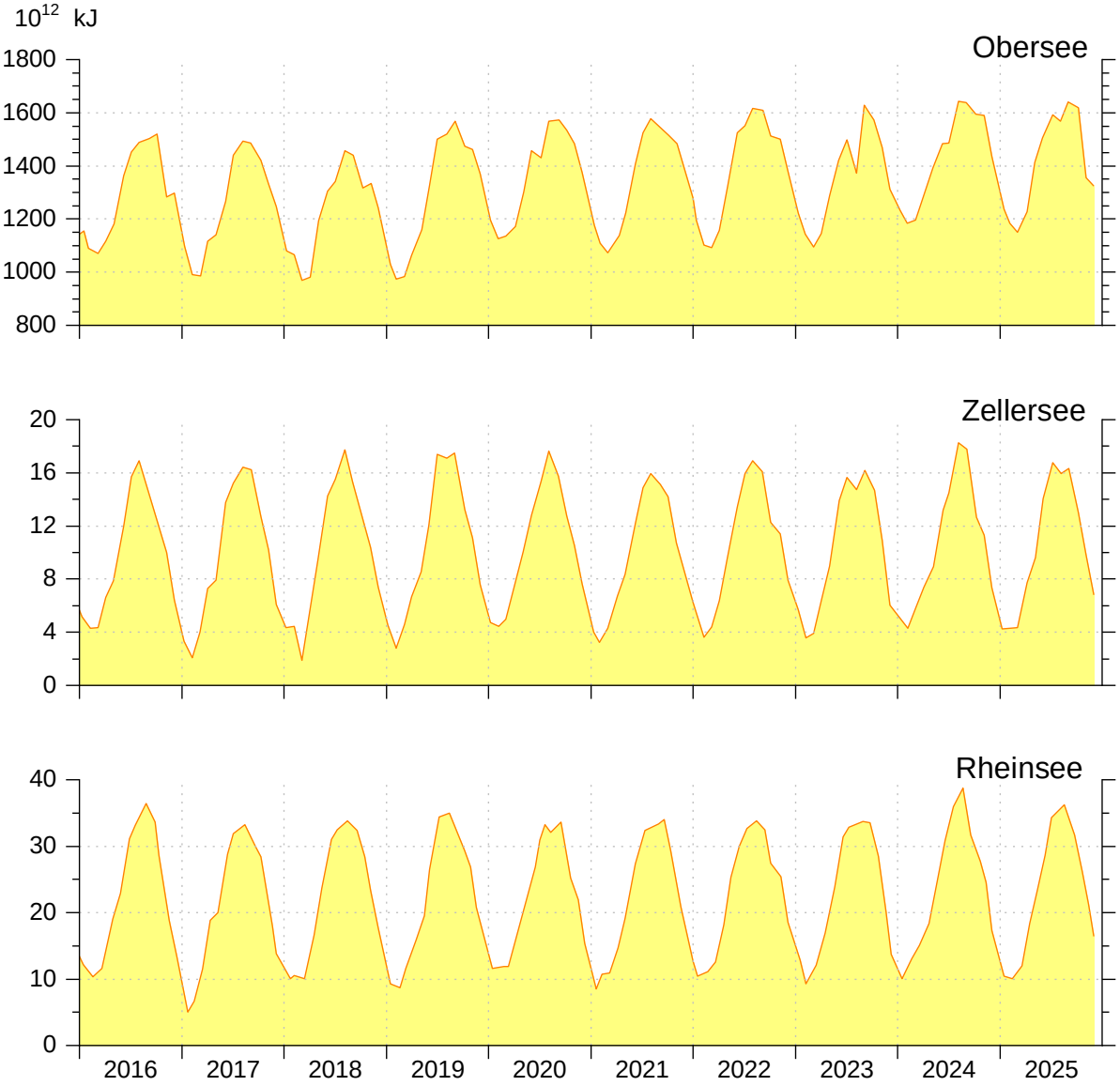


Abb. 6: Wärmeinhalt in den Seeteilen Obersee (0-250 m), Zellersee (0-22 m) und Rheinsee (0-45 m).

Der zeitliche Verlauf des **Wärmeinhaltes** in den verschiedenen Seeteilen (Abb. 6) ermöglicht eine Abschätzung der zeitlich integrierten Wärmeflüsse im Bodensee. Für die Jahre 2024 und 2025 werden im Obersee – repräsentiert durch die Temperaturmessungen der Station Fischbach-Uttwil – Werte für den Wärmeinhalt des Bodensees erreicht, die im Vergleich zu z. B. den Jahren 2016, 2017 und 2018 deutlich erhöhte Werte erreichen. Insbesondere verbleiben die winterlichen Wärmeinhalte des Bodensees in den Jahren 2024 und 2025 auf einem relativ hohen Wert, die mit den warmen Wintern dieser Jahre und der daraus resultierenden relativ geringen Auskühlung und nur unvollständigen Durchmischung in Zusammenhang stehen und mit den stetig ansteigenden Tiefenwassertemperaturen korrelieren.

Die Wärmeinhalte der Jahre 2024 und 2025 stehen natürlich in direkter Korrelation zu den meteorologischen Bedingungen in diesen beiden Jahren, die sehr hohe, überdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen aufweisen, wobei das Jahr 2024 als das bislang wärmste und das Jahr 2025 als das achtwärmste Jahr in die Klimastatistik eingegangen sind.

Für den Zellersee und den Rheinsee werden für das Jahr 2025 Wärmeinhalte ermittelt, die sich im Bereich der normalen Schwankungsbreite bewegen während für das Jahr 2024 leicht gegenüber dem Mittelwert erhöhte Werte registriert werden.

Wassertemperatur

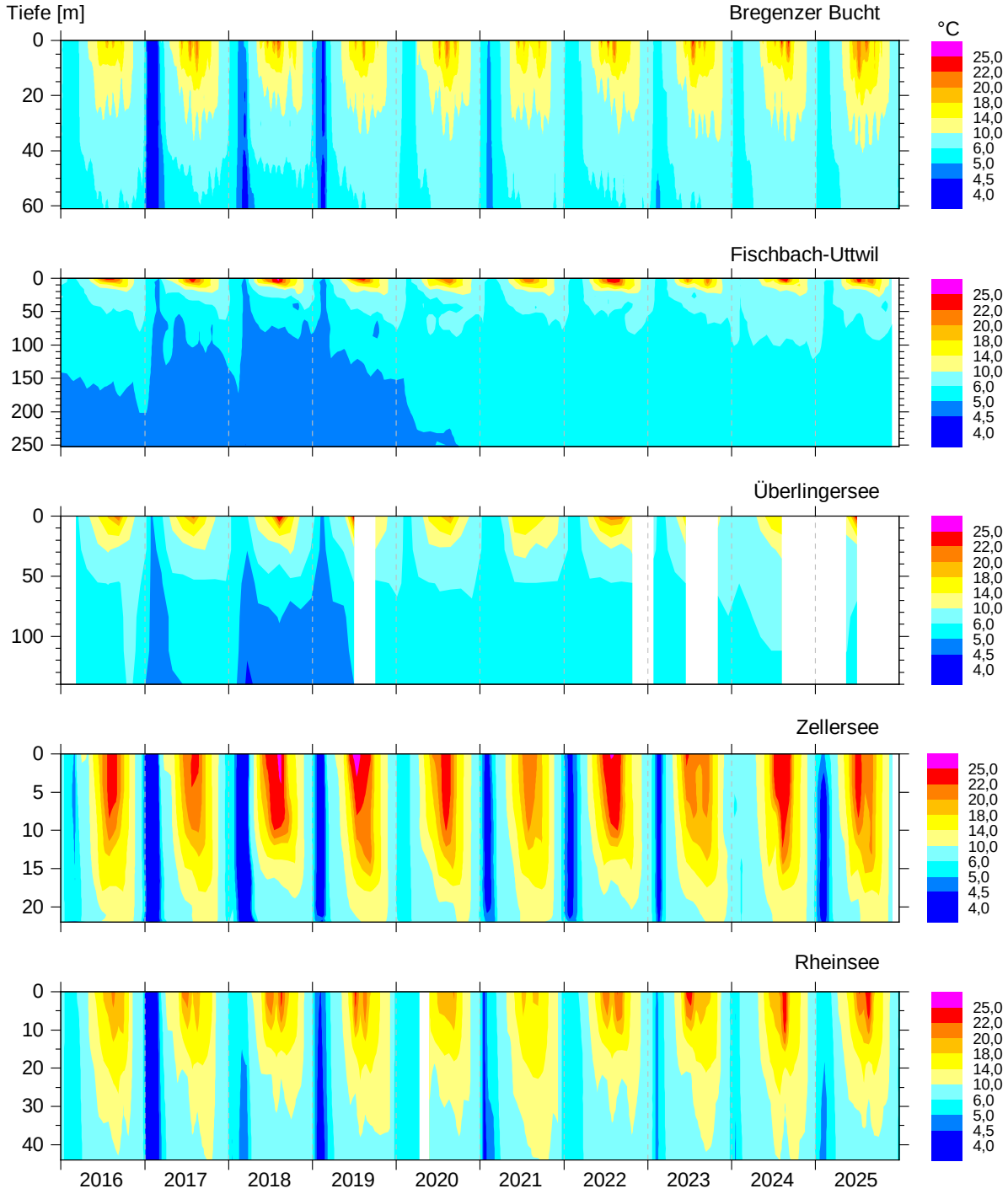


Abb. 7: Wassertemperaturverteilung in der Bregenzer Bucht (Obersee), in Seemitte (Messstelle Fischbach-Uttwil), im Überlingersee, sowie im Zellersee (Untersee) und Rheinsee (Untersee).

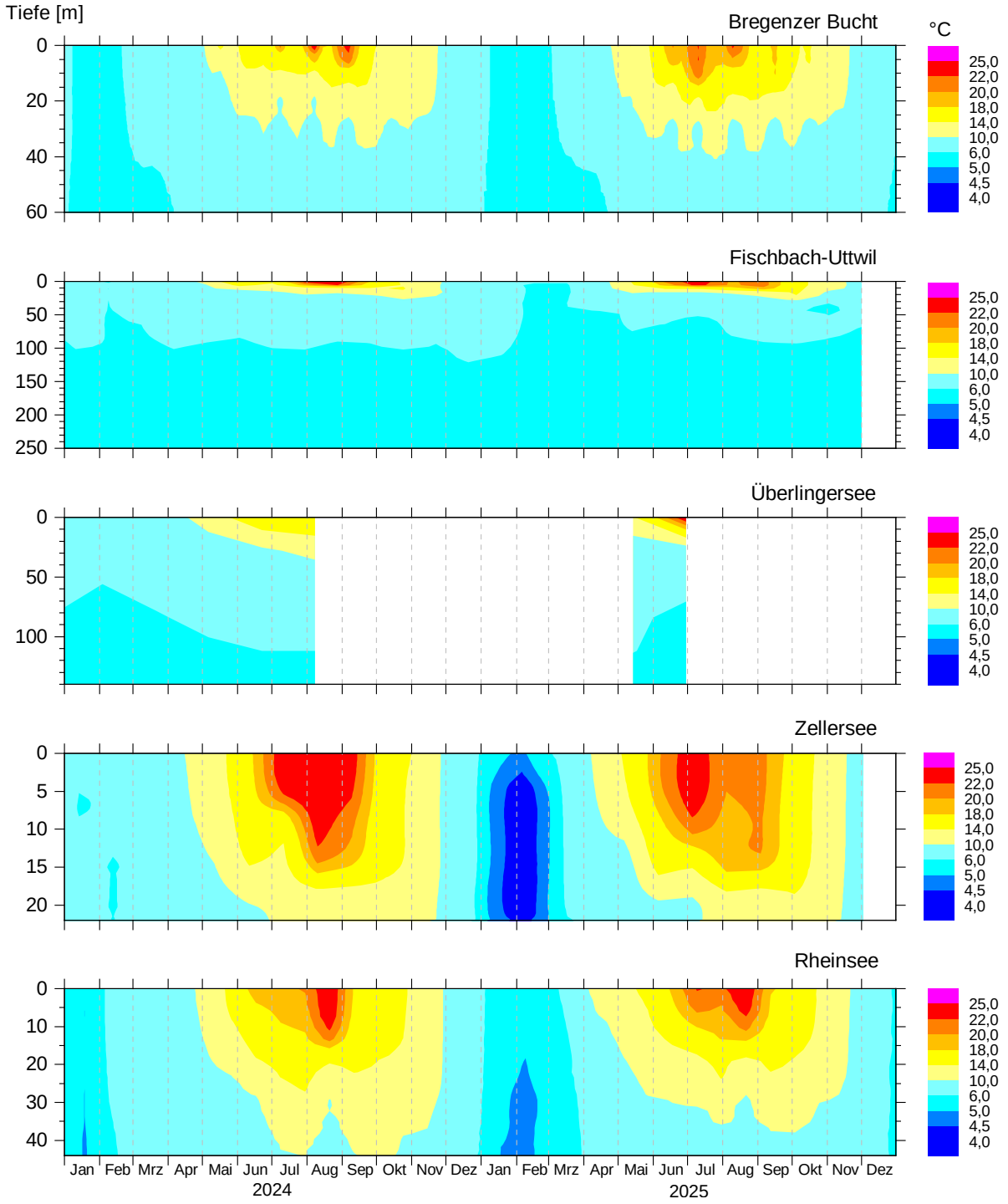


Abb. 8: Wassertemperaturverteilung in den Jahren 2024/2025 in der Bregenzer Bucht (Obersee), in Seemitte (Messstelle Fischbach-Uttwil), im Überlingersee, sowie im Zellersee (Untersee) und Rheinsee (Untersee).

Die langjährige Temperaturentwicklung wird für den Zeitraum 2016 bis 2025 in Abb. 7 und für die Jahre 2024 und 2025 in Abb. 8 für die verschiedenen Seeteile Bregenzer Bucht (Obersee), in Seemitte (Messstelle Fischbach-Uttwil), im Überlingersee, sowie im Zellersee (Untersee) und Rheinsee (Untersee) dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Morphometrien der verschiedenen Seeteile und deren Wassertiefe sind natürlich die Auswirkungen sowohl auf die Temperaturverteilung als auch insbesondere auf das vertikale Mischungsregime sehr unterschiedlich ausgeprägt. Während die Wasserkörper der Bregenzer Bucht, des Zellersees und des Rheinsees jeden Winter gut durchmischt werden, zeigen Überlingersee und insbesondere der Obersee ein anderes Verhalten. Hier kommt es nicht in allen Jahren zu einer vollständigen Durchmischung der Wassersäule.

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 immer noch 23,2 °C registriert.

Am 07.07.2025 wurde eine Oberflächenwassertemperatur von 23,4 °C registriert, am 01.09.2025 eine Temperatur von 21,0 °C.

Der Messpunkt Fischbach-Uttwil zeigt gleichzeitig sehr hohe Tiefenwassertemperaturen in den Jahren 2024 und 2025, die mit 5,6 °C am 02.12.2024 bzw. 5,7 °C am 01.12.2025 neue Rekordwerte für diesen Tiefenbereich erreichen.

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, das nach Angaben des DWD das wärmste Jahr seit Beginn der Registrierungen war.

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 16.01.2024 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit 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 Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von Tmin = 4,9 °C am 16.01.2024 und Tmax = 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 Tmin = 4,9 °C und im Zellersee mit Tmin = 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 Tmax = 11,3 °C und im Zellersee mit Tmax = 12,4 °C am 05.11.2024 gemessen.

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den erneut milden Winter 2024/2025 sowie durch das wiederum sehr warme Jahr 2025 geprägt.

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 14.01.2025 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit von 5,3 °C an der Wasseroberfläche und 4,9 °C in Bodennähe gemessen. Am 13.02.2025 hatte sich die Wassersäule leicht weiter abgekühlt und es wurden oberflächennah 5,1 °C und bodennah 4,9 °C gemessen. Am 19.03.2025 wurde dann die beginnende Erwärmung und erneut einsetzende thermische Schichtung des Wasserkörpers registriert: mit einer Wassertemperatur von 6,7 °C an der Oberfläche und 5,5 °C in Bodennähe. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 02.07.2025 mit 26,4 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Im September wurde dann am 24.09.2025 eine Oberflächentemperatur von 18,4 °C gemessen. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von T_{min} = 4,9 °C am 14.01.2025 und am 13.02.2025, und einer maximalen Temperatur T_{max} = 9,2 °C am 12.11.2025.

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde am 08.01.2025 oberflächennah eine Temperatur von 5,3 °C und am Boden in 22 m Wassertiefe eine Temperatur von 5,0 °C gemessen. Am 04.03.2025 wurde eine erste leichte Erwärmung der Wassersäule mit 5,9 °C an der Oberfläche und weiterhin 5,0 °C am Boden registriert. Am 08.04.2025 war diese Erwärmung bereits konsolidiert und oberflächennah wurden 10,1 °C und in Bodennähe 7,6 °C registriert. Am 06.05.2025 wurde mit einer Temperatur von 14,3 °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 08.01.2025 eine oberflächliche Temperatur von 4,3 °C und am Boden eine Wassertemperatur von 4,1 °C gemessen. Am 04.03.2025 wurden dann oberflächlich 4,7 °C und am Seeboden 4,3 °C gemessen. Die Messung am 08.04.2025 zeigte dann eine bereits deutliche Erwärmung der Wassersäule, die mit 10,0 °C an der Oberfläche und 7,4 °C am Seeboden einen ersten deutlichen Temperaturgradienten aufwies.

Die **oberflächlichen Höchsttemperaturen** wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 08.07.2025 im Gnadensee mit 23,8 °C und im Zellersee ebenfalls mit 23,8 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 08.01.2025 mit T_{min} = 4,1 °C und im Zellersee mit T_{min} = 5.0 °C am 08.01.2025 und am 04.03.2025 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} = 11,4 °C und im Zellersee mit T_{max} = 11,1 °C am 04.11.2025 gemessen.

Langzeitentwicklung von Sauerstoff, Gesamtphosphor, Ammonium und Nitrat

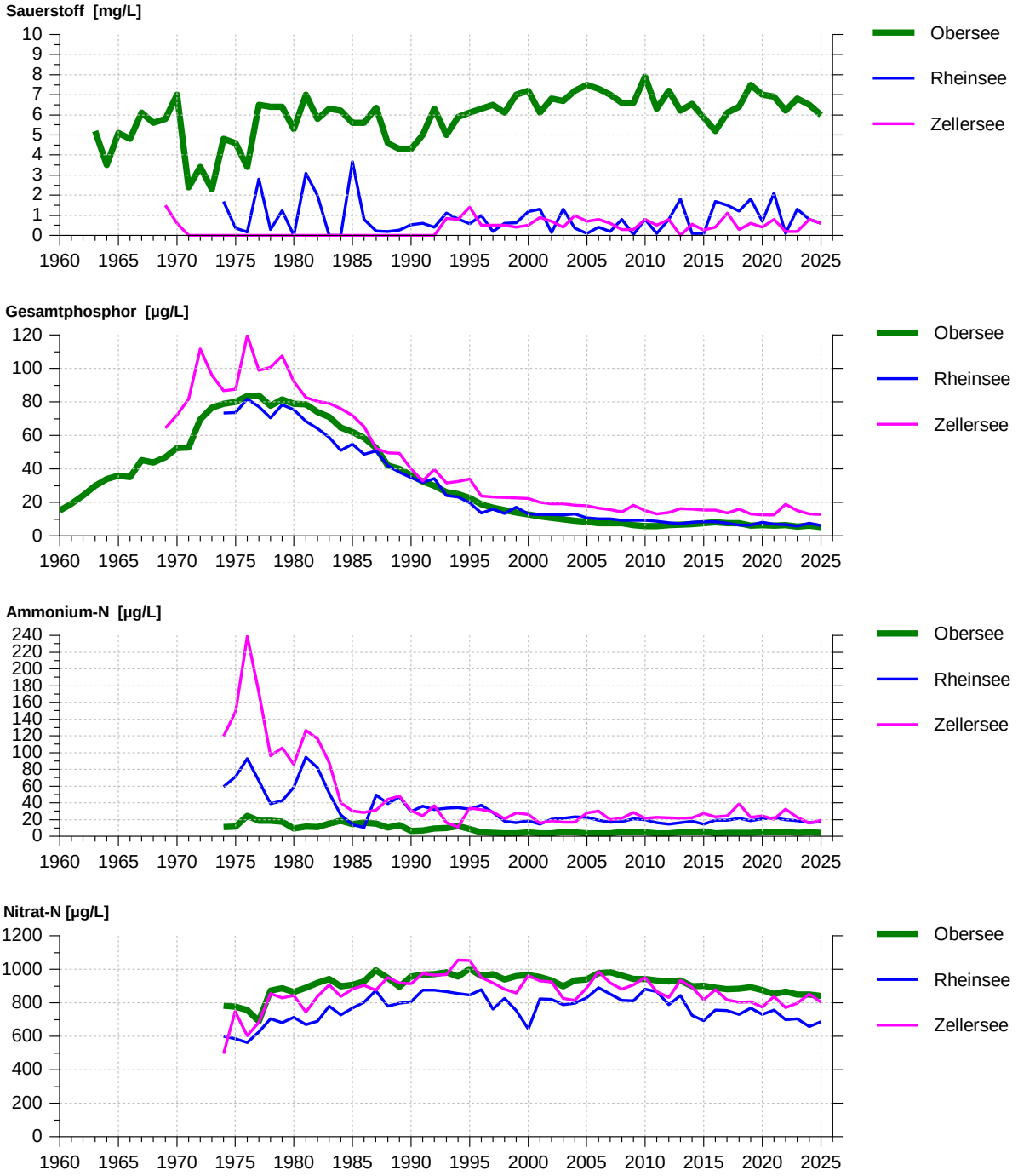


Abb. 9: Übersicht über die Langzeitentwicklung der Sauerstoffminima über Grund, sowie der Gesamtphosphor-, Ammonium-N- und Nitrat-N-Jahresmittelwerte in Seemitte Obersee (FU), Zellersee und Rheinsee. Die Parameter werden im Detail bei den jeweiligen Isoplethendarstellungen diskutiert.

Sauerstoff

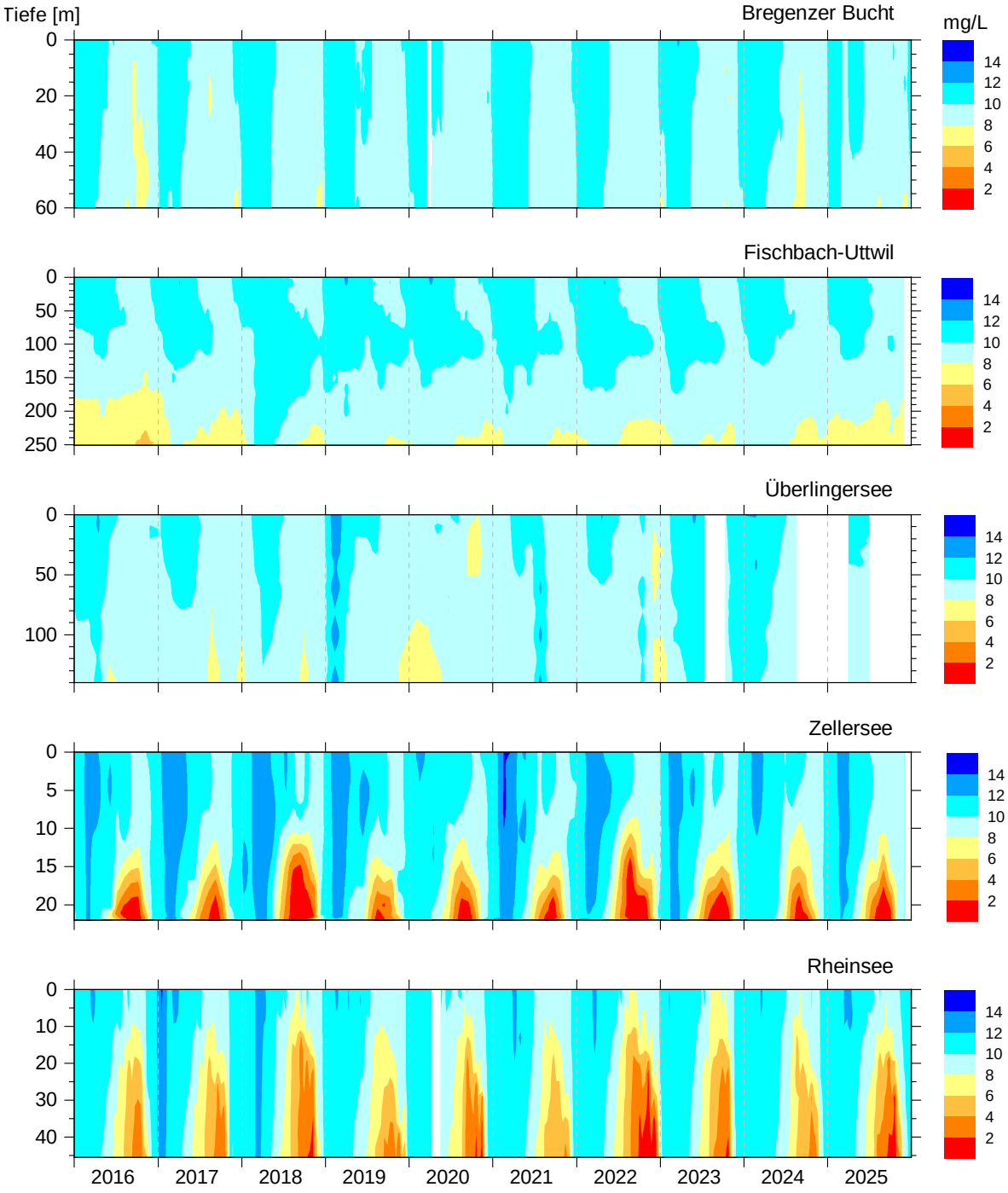


Abb. 10: Sauerstoffverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Die Langzeitentwicklung der Sauerstoffminima über Grund (Abb. 9) zeigt, dass der **Sauerstoff** vor allem im Zellersee im Gegensatz zum Obersee, im Zuge des aeroben Abbaus von Biomasse großteils aufgebraucht wird. Das jährliche Sauerstoffminimum über Grund lag im Zellersee und in den vergangenen 30 Jahren unter 2 mg/L. Im Obersee war die Minimalkonzentration in den letzten Jahren immer über 6 mg/L, außer 2016 mit 5,2 mg/L und 2015 mit 5,9 mg/L. 2019 wurde mit 7,5 mg/L der zweithöchste Wert der letzten knapp 60 Jahre registriert.

Im Verlauf der Sommer 2013 bis 2016 (siehe Abb. 10) erfolgte aufgrund der fehlenden Vollzirkulation im tiefen Hypolimnion im Obersee jeweils eine kontinuierliche Zehrung an Sauerstoff bis zum herbstlichen Minimum 5,2 mg/L (2016) über dem Seegrund. Obwohl es auch 2017 keine Vollzirkulation gab, konnten sich die grundnahen Sauerstoffwerte erholen, wodurch die herbstliche Minimalkonzentration bei 6,1 mg/L lag. Die gute Zirkulation im Frühjahr 2018 versorgte den Tiefenbereich mit sauerstoffreichem Wasser. 2019 wurde, wie bereits oben erwähnt, mit 7,5 mg/L der zweithöchste Wert der letzten knapp 60 Jahre registriert. 2022 und 2023 fielen die minimalen Sauerstoffwerte trotz fehlender Zirkulation nicht deutlich ab und lagen bei 6,2 mg/L und 6,8 mg/L.

Im Untersee sind regelmäßig anaerobe Verhältnisse in den tiefen Wasserschichten zu finden.

Gesamtphosphor

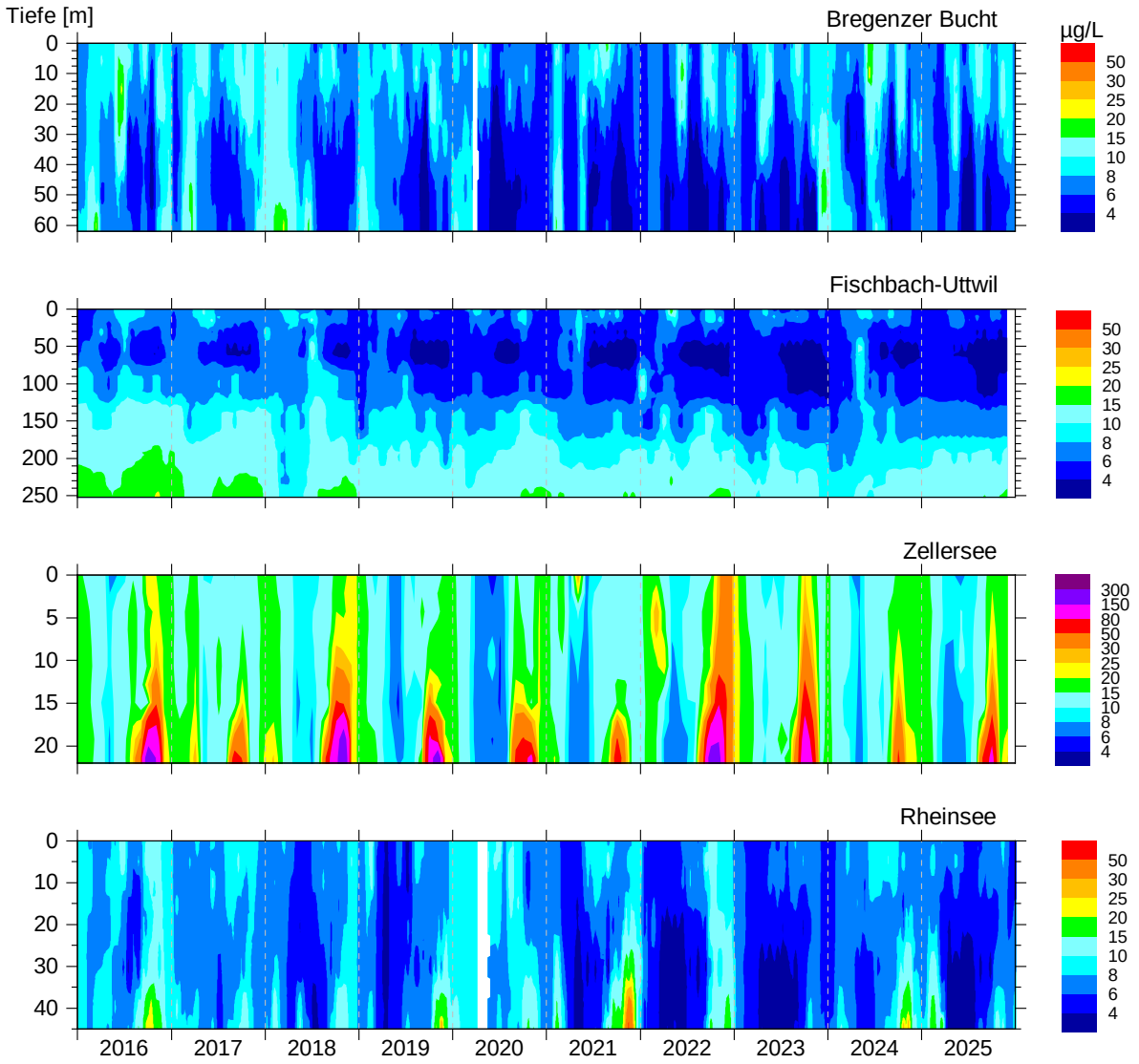


Abb. 11: Gesamtphosphorverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Die **Gesamtphosphorgehalte** im Obersee liegen weiterhin in einem für große tiefe Alpenseen typischen Bereich (Abb. 9). Als Konsequenz mehrerer aufeinanderfolgender Jahre ohne Vollzirkulation kam es an der Station Fischbach-Uttwil von 2013 bis 2016 zu einer Anreicherung in den tiefen Wasserschichten unter 100 m (Abb. 11). Am deutlichsten zeigte sich die Zunahme direkt über dem Seegrund in etwa 250 m Wassertiefe. 2018 konnte sich in Folge einer guten Zirkulation im Frühjahr die Phosphorkonzentration über die gesamte Wassersäule angleichen. Durch die Nähe zu den Mündungen von Alpenrhein und Bregenzerach sind in einzelnen Jahren (z. B. 2016) in der Bregenzer Bucht lokal höhere Phosphorgehalte zu beobachten. Auch das Hochwas-

serereignis im Frühsommer 2024 mit einem erhöhten Phosphoreintrag bildet sich deutlich ab (Abb. 11). Dennoch bestätigt sich insgesamt der rückläufige Trend der Phosphorgehalte in der Bregenzer Bucht. Auch im Untersee sind die Gesamtphosphorgehalte langfristig rückläufig (Abb. 9). Im Vergleich zum Obersee ist der flachere Zellersee wesentlich produktiver. Infolge von Phosphorfreisetzungen aus den Sedimenten ist hier der Phosphorgehalt höher als in den anderen Seeteilen. Vereinzelt kommt es auch im Rheinsee im Herbst zu einer ausgeprägten Phosphorrücklösung.

Orthophosphat

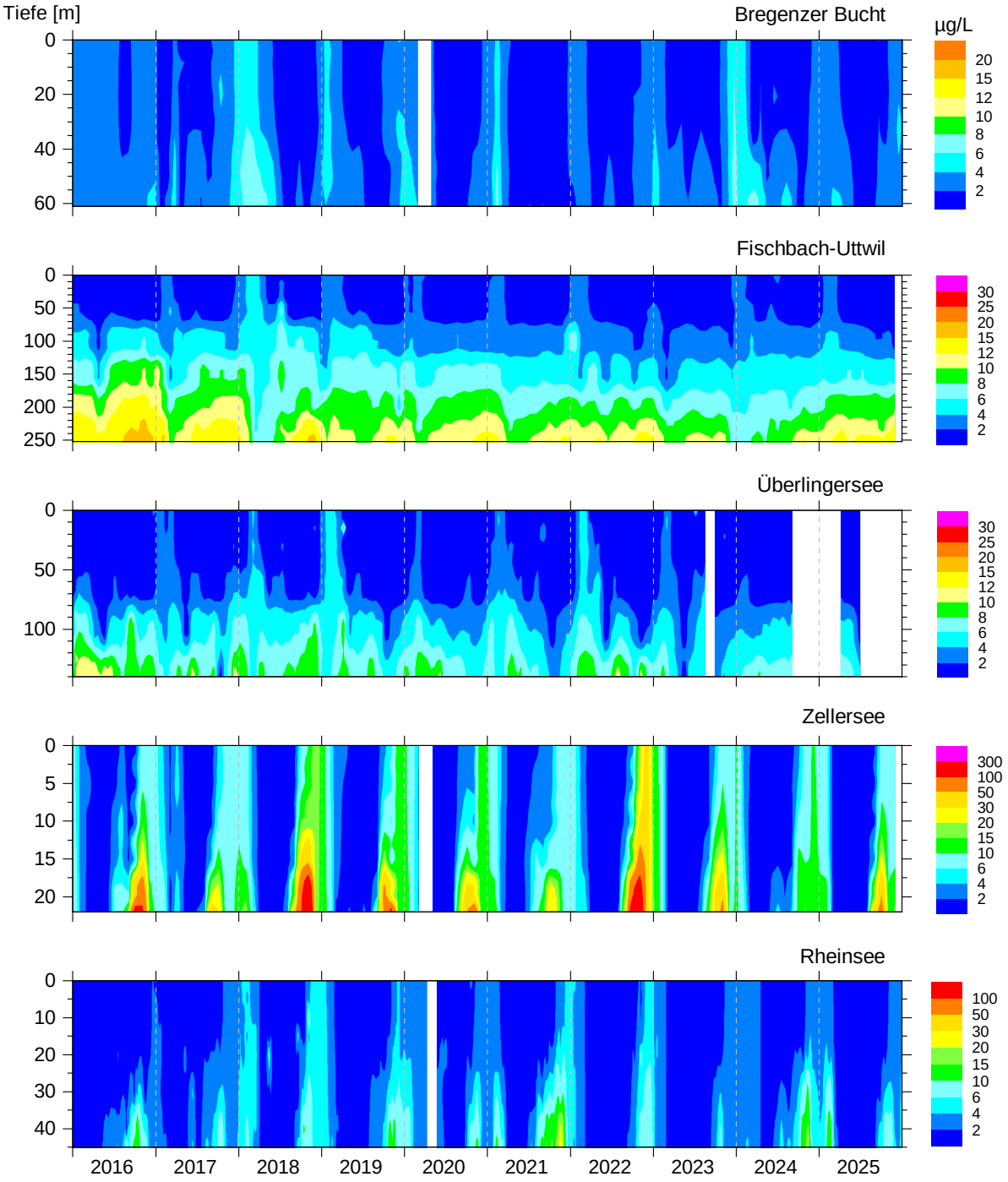


Abb. 12: Orthophosphatverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Die Vertikalverteilung von **Orthophosphat** (Abb. 12) in der Seemitte des Obersees (Fischbach-Uttwil) und im Überlingersee wird überwiegend von Produktion bzw. Abbau von Biomasse und Zirkulationsvorgängen bestimmt. Durch unvollständige Durchmischung des Wasserkörpers von 2013 bis 2017 hat sich Phosphat im Tiefenwasser angereichert und wurde erst im Frühjahr 2018 durch Zirkulationsprozesse wieder ausgeglichen.

Im Vergleich zum Obersee ist der flachere Zellersee produktiver. Die Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten trägt hier zur verzögerten Reoligotrophierung bei. Im Vergleich zum Zellersee ist der Rheinsee wesentlich stärker durch abfließendes Oberseewasser geprägt und der Phosphatrückgang fällt hier deutlicher als im Zellersee aus.

Nitrat ist im Bodensee die dominierende anorganische Stickstoffverbindung. Ammonium und Nitrit spielen nur eine untergeordnete Rolle. Seit Anfang der 1980er Jahre liegt die durchschnittliche Jahreskonzentration an der Station Fischbach-Uttwil im Bereich von ca. 0,9 bis 1,0 mg/L, wobei sich die Werte in den letzten Jahren eher um die 0,9 mg/L und leicht darunter bewegen (2025: 0,85 mg/L). Der leicht abnehmende Trend spiegelt auch die etwas rückläufigen Nitratgehalte in der Bregenzer Bucht wider (Abb. 13).

Die zu Jahresbeginn im Zellersee im Vergleich zum Obersee höheren Nitratwerte werden durch die nitratreiche Radolfzeller Aach verursacht, die dann tief im Zellersee einschichtet. Der im Sommer und Herbst verstärkte Abbau organischer Substanz zehrt in Grundnähe sowohl die Sauerstoff- als auch die Nitratvorräte. Nitrat wird fast vollständig reduziert, was erst während der Vertikalzirkulation wieder ausgeglichen wird. Im Rheinsee zeigt sich, dass am Jahresanfang sowohl über den Seerhein als auch aus dem Zellersee relativ nitratreiches Wasser kommt. Dies ändert sich im Sommerhalbjahr aufgrund der Nitrataufnahme durch die Algen.

Nitrat

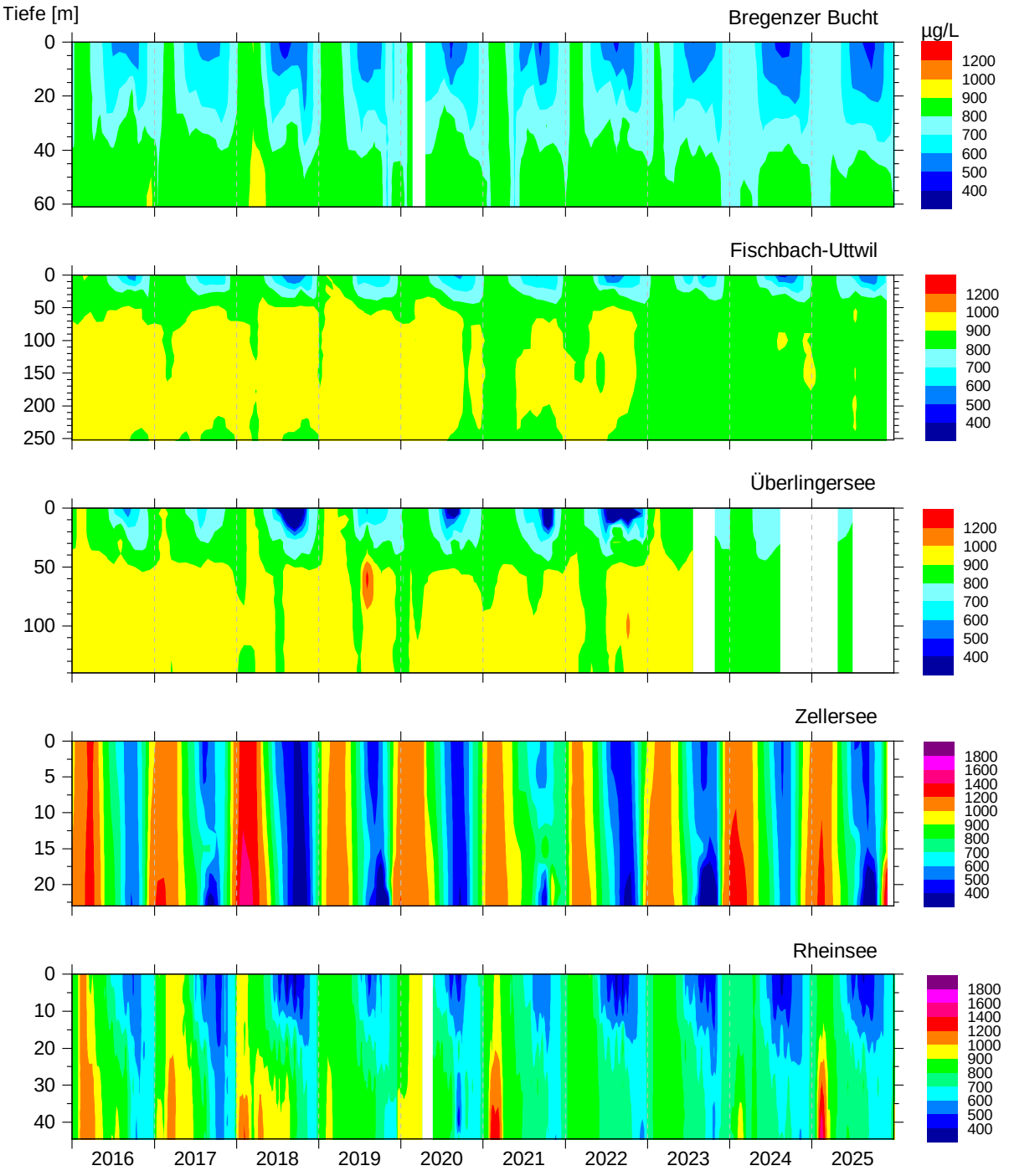


Abb. 13: Nitrat-N-Verteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Ammonium

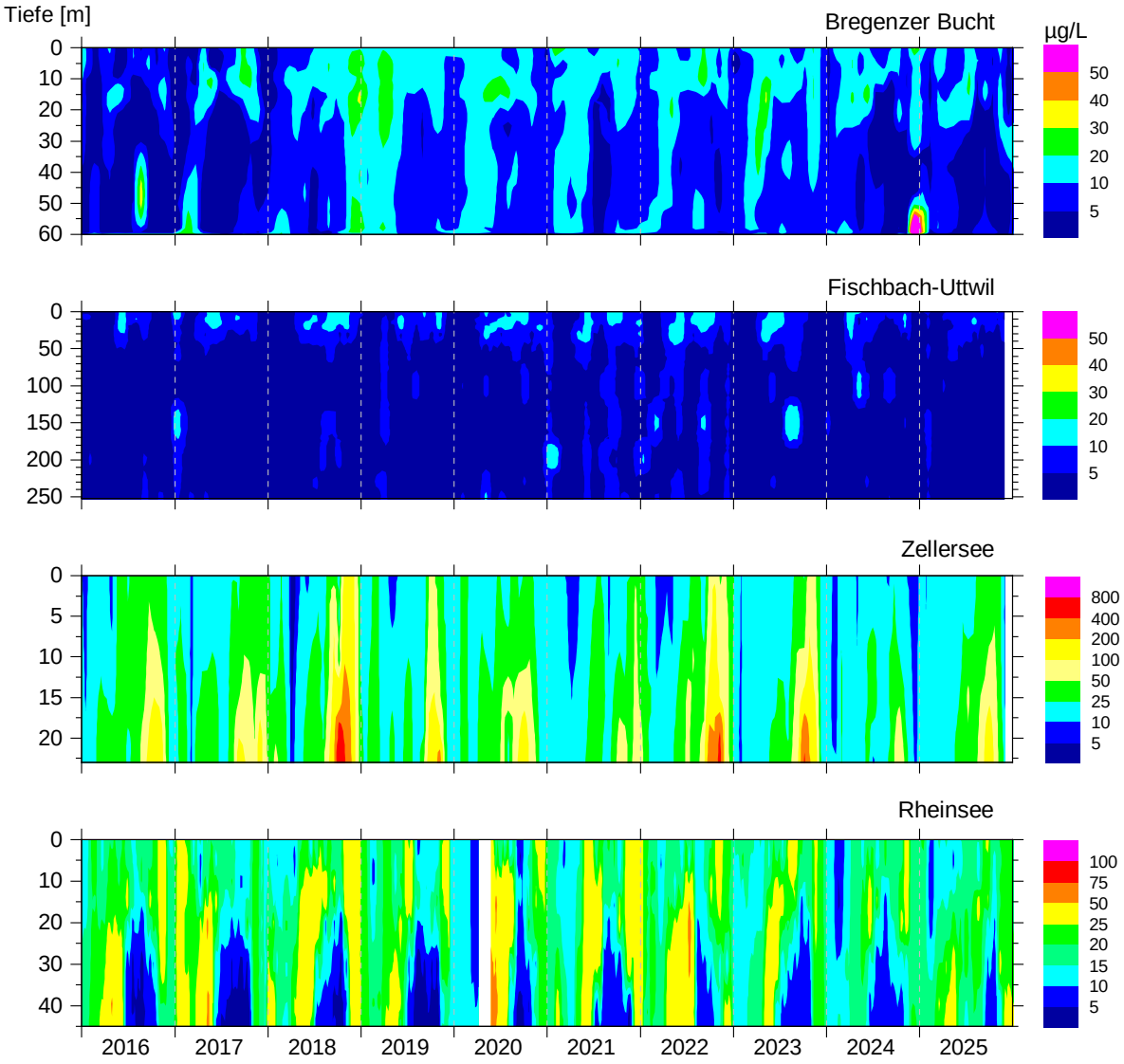


Abb. 14: Ammonium-N-Verteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Ammonium ist Teil des mikrobiellen Stickstoffabbaus im See und deutet auf den Abbau organischer Substanz hin. Die rückläufige Algenproduktion führte insgesamt zu abnehmenden Ammoniumgehalten seit den 70er Jahren des vorherigen Jahrhunderts (Abb. 9). An der Station Fischbach-Uttwil sind die geringsten Ammoniumgehalte zu finden und dieser Seeteil ist auch am wenigsten produktiv (Abb. 14).

Im produktiveren Untersee entsteht insbesondere im Zellersee Ammonium im Verlauf des Sommers durch Reduktion von Nitrat in den sauerstoffverarmten Tiefenzonen.

Silikat

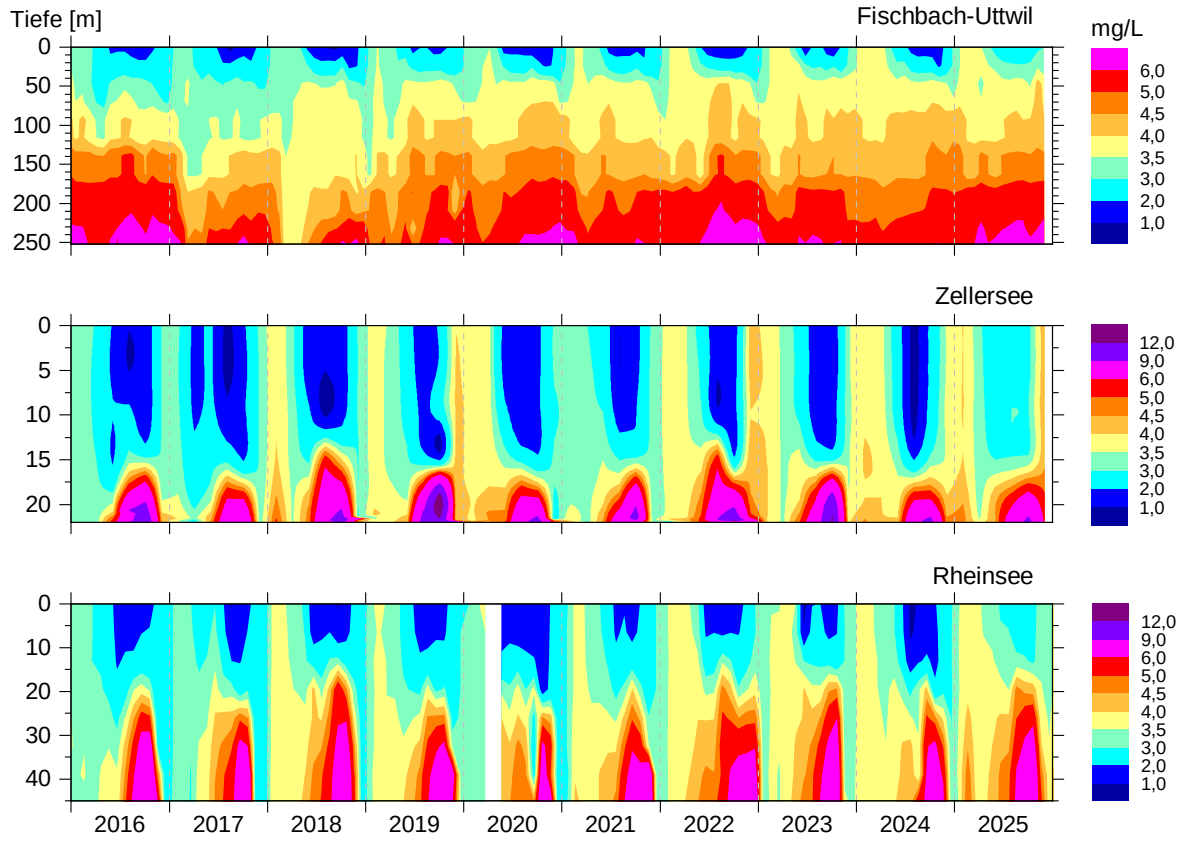


Abb. 15: Silikatverteilung in Seemitte (FU) im Obersee, im Zellersee und im Rheinsee.

Die saisonale Entwicklung der **Silikatkonzentration** ist in allen Seeteilen durch Zehrungsprozesse (Verbrauch durch Kieselalgen) an der Oberfläche und eine Freisetzung über dem Seegrund durch Abbauvorgänge geprägt. Im Obersee sind Jahre mit guter Vertikalzirkulation (2018) an einer Abnahme des Silikat-Vorrats im Tiefenwasser zu erkennen, während sich in Jahren mit unvollständiger Durchmischung das Tiefenwasser mit Silikat anreichert (Abb. 15).

Infolge der höheren Produktion führt die Freisetzung im Zellersee und Rheinsee zu höheren Konzentrationen über dem Seegrund als an der Station Fischbach-Uttwil. Allerdings führt die jährliche Vertikalzirkulation im Untersee meist nicht zu einer mehrjährigen Akkumulation in tiefen Wasserschichten.

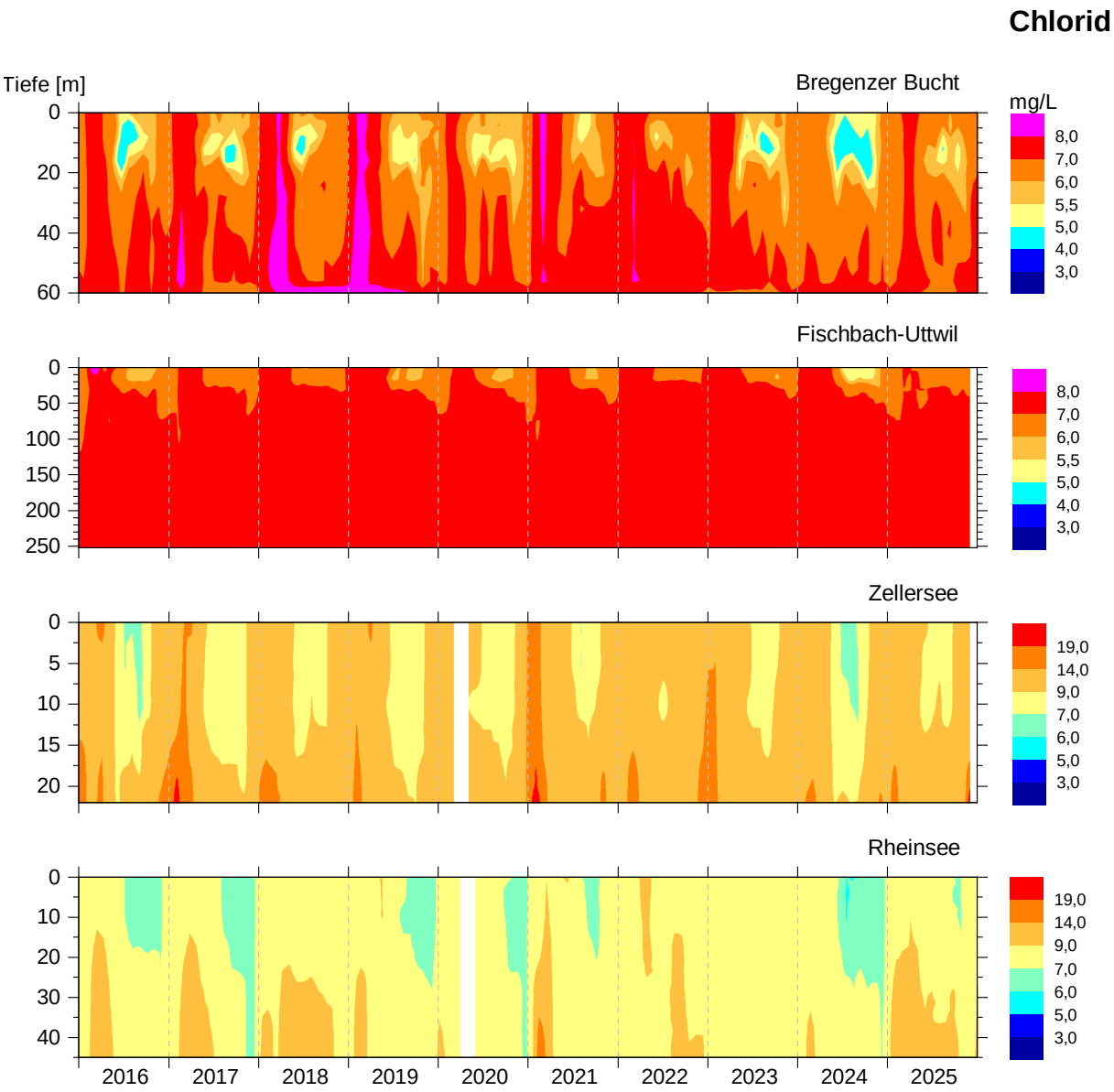


Abb. 16: Chloridverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Bei Schneeschmelze im Frühjahr bzw. Frühsommer führen die höheren Abflüsse zu geringeren Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe in Rhein und Bregenzerach. Anhand der Konzentrationsrückgänge von **Chlorid** vor allem in der Bregenzer Bucht lassen sich die bevorzugten Einschichtungstiefen der Zuflüsse im See bei etwa 5-20 m erkennen (Abb. 16). Auch das Hochwasserereignis im Juni 2024 ist an den niedrigen Chloridkonzentrationen in diesem Tiefenbereich nicht nur in der Bregenzer Bucht, sondern auch an der Station Fischbach-Uttwil deutlich zu erkennen. Insgesamt beobachtet man für den Obersee aber bereits seit 2004 eine Zunahme an den Chloridgehalten, welche kontinuierlich über die gesamte Wassersäule voranschreitet. In den letzten drei Untersuchungsjahren zeigte sich nun kein weiterer Anstieg des volumengewichteten

Jahresmittels (Abb. 7), es bleibt abzuwarten, ob sich die Chloridkonzentrationen auf diesem Niveau stabilisieren.

Die höheren Chloridwerte jeweils zu Jahresbeginn im Zellersee werden durch die Radolfzeller Aach verursacht. Mit steigendem Oberseespiegel im Verlauf des Frühjahrs/Sommers dominiert das chloridärmere Oberseewasser den Zellersee und die Gehalte nehmen ab. Die Chloridwerte im Rheinsee werden in erster Linie durch die Verhältnisse im Obersee bestimmt, sind durch den Einfluss des Zellersees jedoch höher als im Obersee.

Mangan

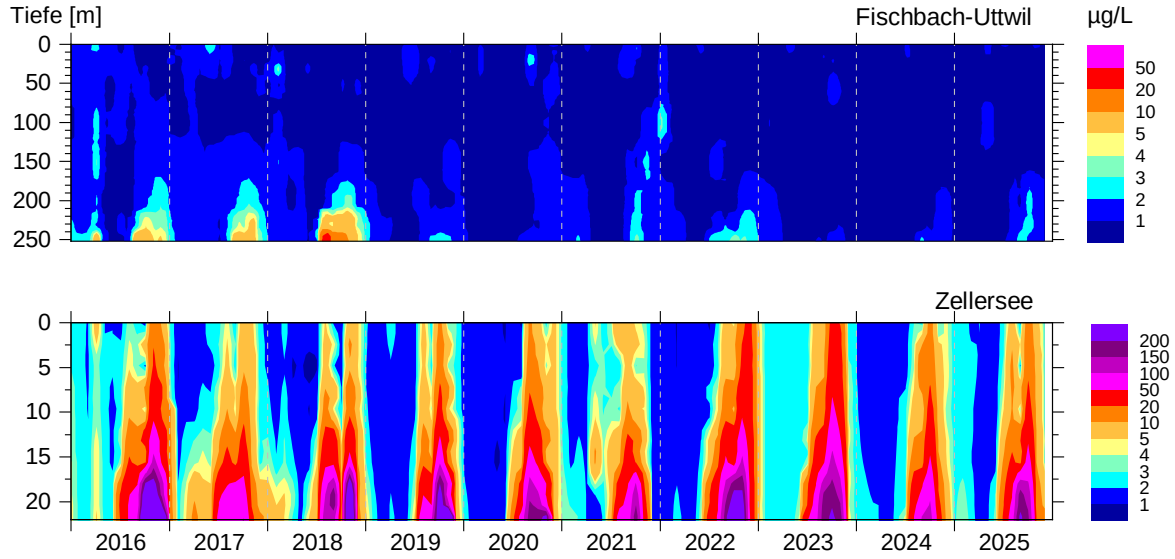


Abb. 17: Manganverteilung in Seemitte (FU) im Obersee und im Zellersee.

An der tiefsten Stelle im Obersee (Fischbach-Uttwil) finden zyklisch wiederkehrende **Mangan**-Freisetzungen nur noch in geringem Ausmaß statt (Abb. 17). Die Anstiege der Mangan-Konzentrationen sind gekoppelt mit dem Abbau von Biomasse über Grund, der im Verlauf der Wachstumsphase zu einer starken Sauerstoffzehrung und einer Absenkung der Redoxpotenziale führt. Dadurch werden schwer lösliche Mangan(IV)-Verbindungen zu leicht löslichen Mangan(II)-Verbindungen reduziert, die sich im überstehenden Wasser lösen. Vergleichbare Zyklen sind für die saisonale Freisetzung des Eisens und des daran gebundenen Phosphors verantwortlich.

Im Zellersee hingegen ist die Mangan-Freisetzung über dem Seegrund im letzten Jahrzehnt weiterhin hoch (Abb. 17). Hier sind die hohen Konzentrationen bis zur Oberfläche zu finden und nicht auf den tiefen Bereich begrenzt, wie dies im Obersee der Fall ist.

Eisen

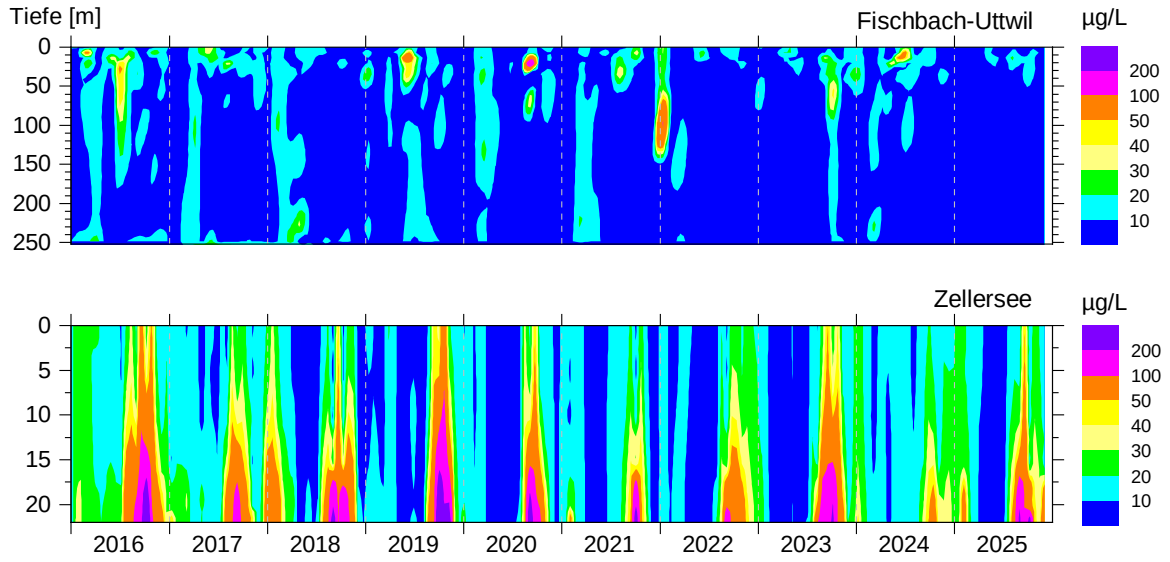


Abb. 18: Eisenverteilung in Seemitte (FU) im Obersee und im Zellersee.

Die saisonale Freisetzung des **Eisens** bei Absenkung der Redoxpotenziale folgt den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei Mangan (Abb. 18). Damit sind die Unterschiede zwischen Obersee und Untersee zu erklären. Zusätzlich zeigen erhöhte partikuläre Eisengehalte Flusswasserfahnen an, da Algen, im Gegensatz zu mineralischen Schwebstoffen mit Eisengehalten von einigen Prozenten, lediglich Spuren von Eisen enthalten.

Phytoplankton

Abb. 19: *Ceratium hirundinella.*

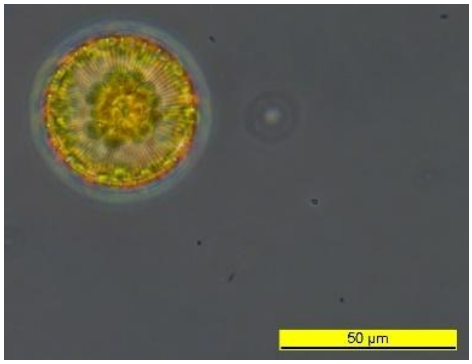


Abb. 20: *Stephanodiscus neoastraea.*

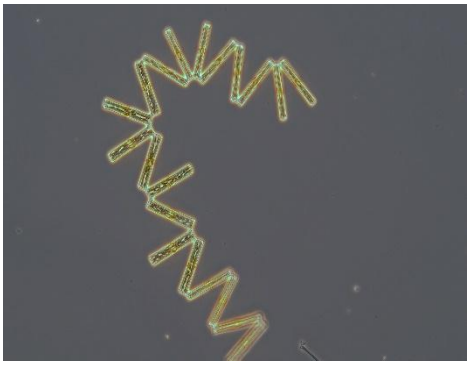


Abb. 21: *Tabellaria flocculosa.*

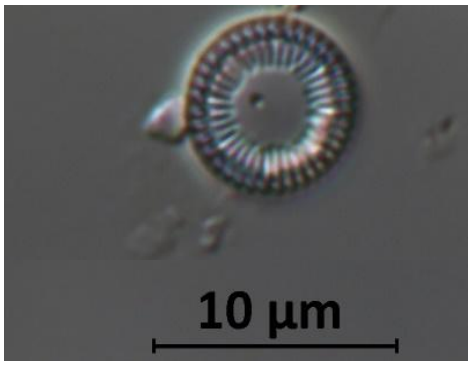


Abb. 22: *Cyclotella costei.*

Abb. 23: *Uroglena.*

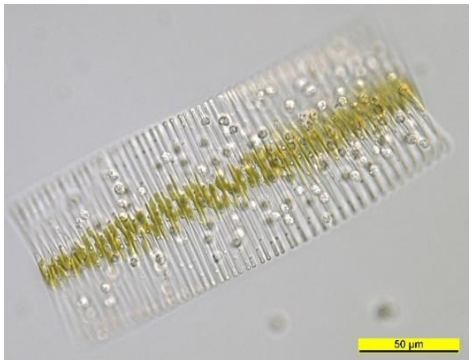


Abb. 24: *Fragilaria crotonensis.*

Abb. 25: *Plagioselmis lacustris*.

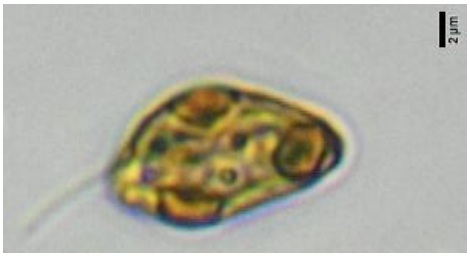


Abb. 26: *Rhodomonas lens*.

Bildrechte: LUBW

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil)

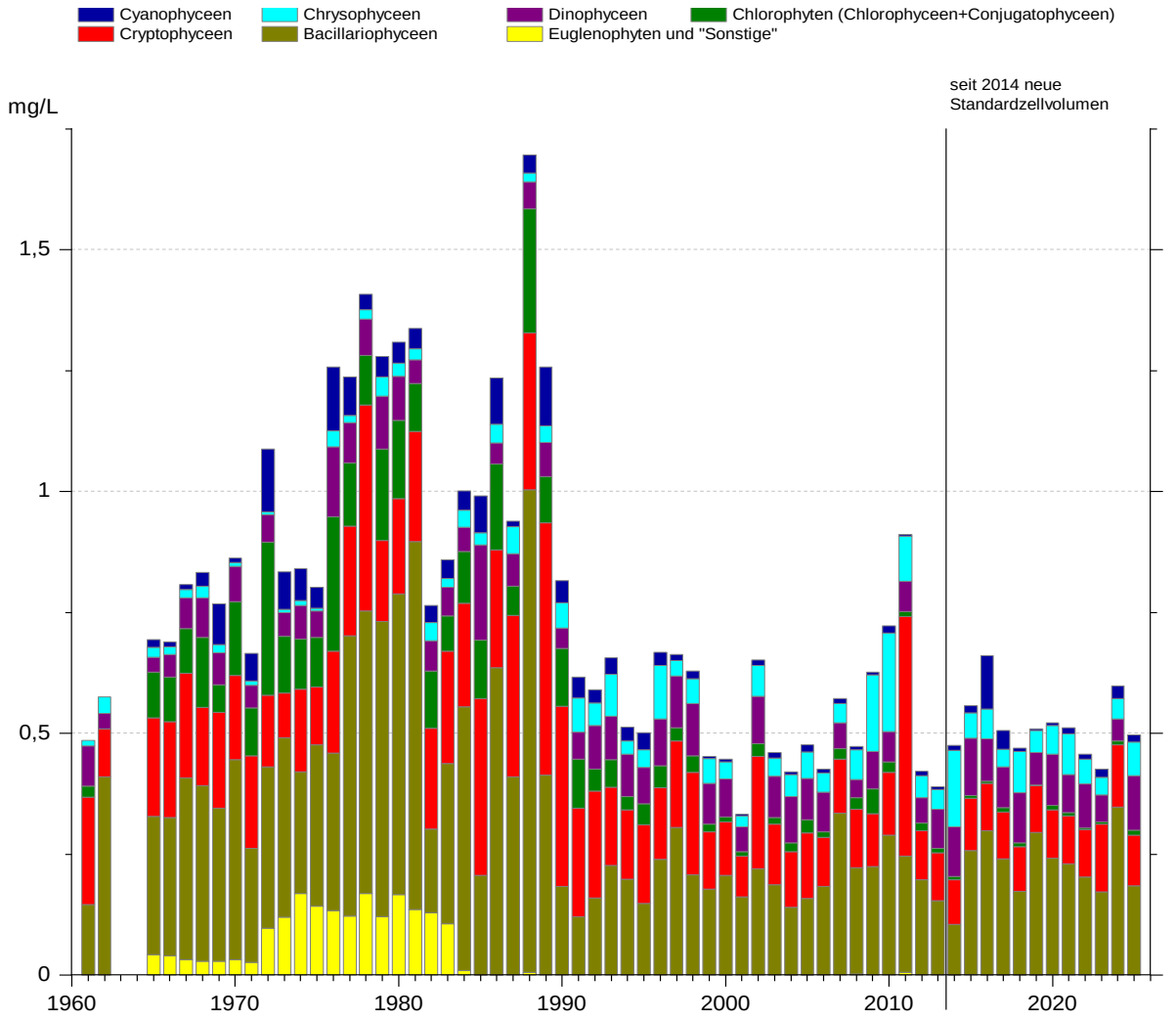


Abb. 27: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil, 1961-2025). Tiefenbereich 1965-1975: 0-50 m; ab 1976 0-20 m.

Seit der Reoligotrophierung stabilisiert sich das Phytoplankton im Bodensee-Obersee zunehmend auf einem Niveau um 0,5 mg/L Biomasse im Jahresdurchschnitt. Seit 2010 sind die Schwankungen zwischen den Messjahren relativ gering und auch Ausnahmejahre wie 2024, mit einem lang andauernden Hochwasser, verursachen nur geringe Abweichungen. 2024 wurde eine etwas höhere Biomasse von 0,6 mg/L beobachtet, was sich vor allem auf eine höhere Biomasse der Kieselalgen zurückzuführen war. 2025 betrug die Biomasse des Phytoplanktons 0,5 mg/L. Die Kieselalgen (Bacillariophyceen) bleiben die dominante Algengruppe. 2024 betrug der mittlere Anteil der Kieselalgen an der Phytoplankton-Biomasse 58,0 %, 2025 37,2 %. Der Anteil an Cyanophyceen und Chlorophyta (als Sammelgruppe) war weiterhin niedrig. Panzerflagellaten (Dinophyceen) waren 2024 mit 7,7 % vergleichsweise seltener, erreichten aber 2025 eine mittleren Biomasse-Anteil von 22,7 %.

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Zellersee)

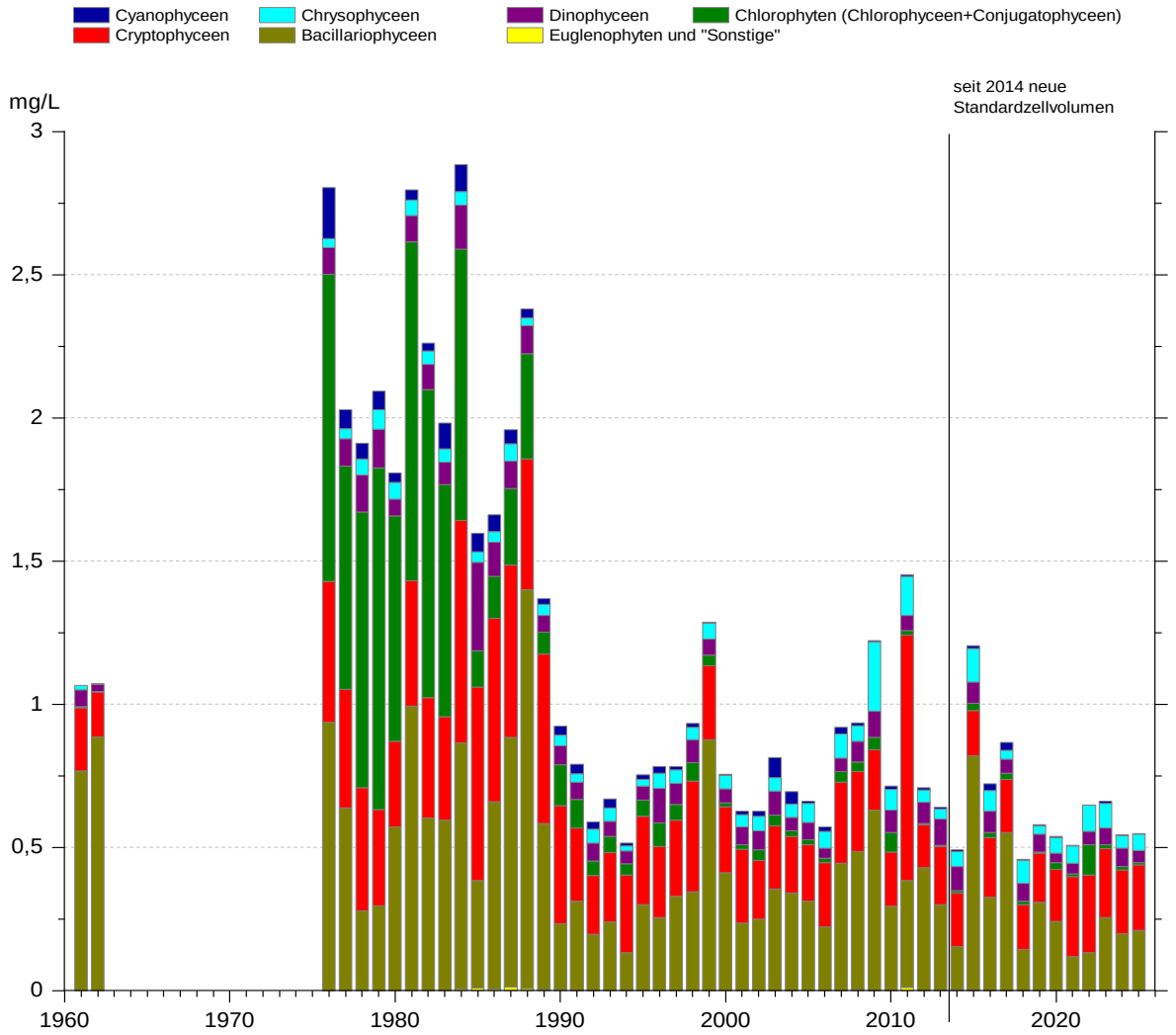


Abb. 28: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee (Zellersee, 1976-2025).

Nach dem deutlichen Rückgang der Phytoplankton-Biomassen im Zusammenhang mit der Reoligotrophierung im Zellersee und nach relativ starken Schwankungen von den 1990er bis in die 2010er Jahre zeichnet sich in den letzten Jahren eine Stabilisierung der Werte ab. Grünalgen (im weiteren Sinne, zusammengefasst als Chlorophyten) spielten im Zellersee in den 1980ern eine wichtige Rolle und waren zeitweise die Algengroßgruppe mit den höchsten Biomassen. Seit dem Rückgang der Nährstoffbelastung treten Grünalgen (von einzelnen Blüten abgesehen) heute nur noch als untergeordnete Randgruppe mit niedrigen Biomassen auf. Im Jahresmittel betrug 2024 der Anteil nur 2,1 %, 2025 waren es 1,6 % Die dominanten Algenklassen waren seit 2018 Cryptophyceen und Bacillariophyceen, oft in sehr ähnlichen Biomasse-Anteilen. Die Biomasse der Cyanophyceen hat im Zuge der Reoligotrophierung stark abgenommen. Bis in die 2010er Jahre schwankte der Anteil deutlich, nach 2017 war er durchweg sehr niedrig und lag 2024 bei 0,9 % und 2025 bei 0,3 %.

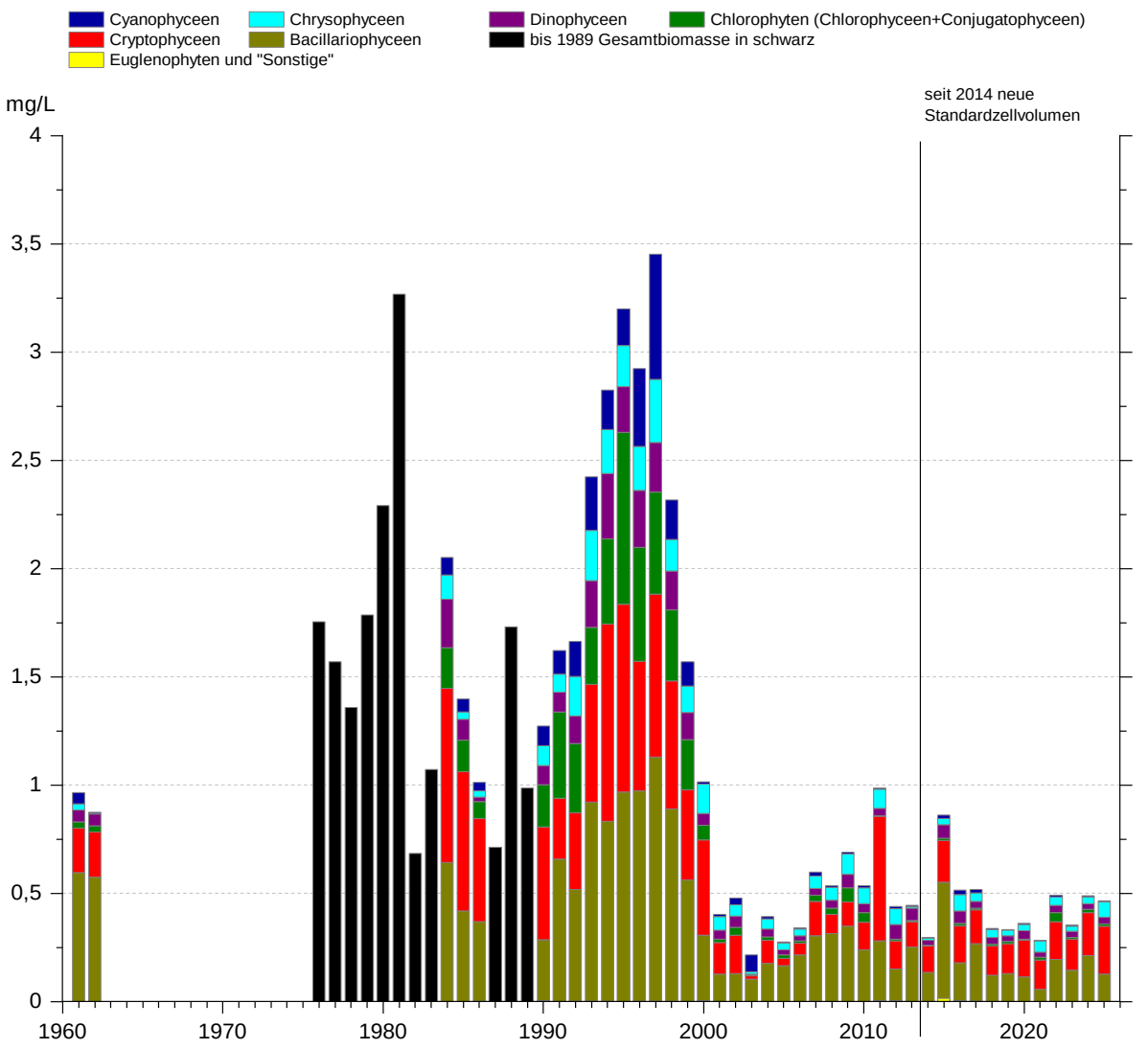


Abb. 29: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee (Rheinsee, 1976-2025).

Im Seeteil Rheinsee bildete sich die Verbesserung der Wasserqualität erst später als in den übrigen Seeteilen in der Entwicklung des Phytoplanktons ab. So traten noch während der 1990er Jahre sehr hohe Biomassen des Phytoplanktons mit hohen Anteilen von Cyanophyceen und den als Chlorophyten zusammengefassten Algengruppen auf. Seit den 2000er Jahren lagen die Messwerte deutlich niedriger und in einem ähnlichen Bereich wie im Bodensee-Obersee. In den letzten Jahren liegen die Biomassen des Phytoplanktons oft unter denen des Obersees. Dominante Algengruppe sind zumeist die Cryptophyceen, gefolgt von den Bacillariophyceen. 2024 hatten die Cryptophyceen einen Anteil von 40,2 % an der Biomasse des Phytoplanktons was geringfügig unter dem Biomasse-Anteil der Kieselalgen mit 43,7 % lag. 2025 erreichten die Cryptophyceen 47,3 %, die Bacillariophyceen nur 27,5 %, während der Anteil der Chrysophyceen mit 15,1 % höher war, als in den letzten Jahren.

Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2024/2025 im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m

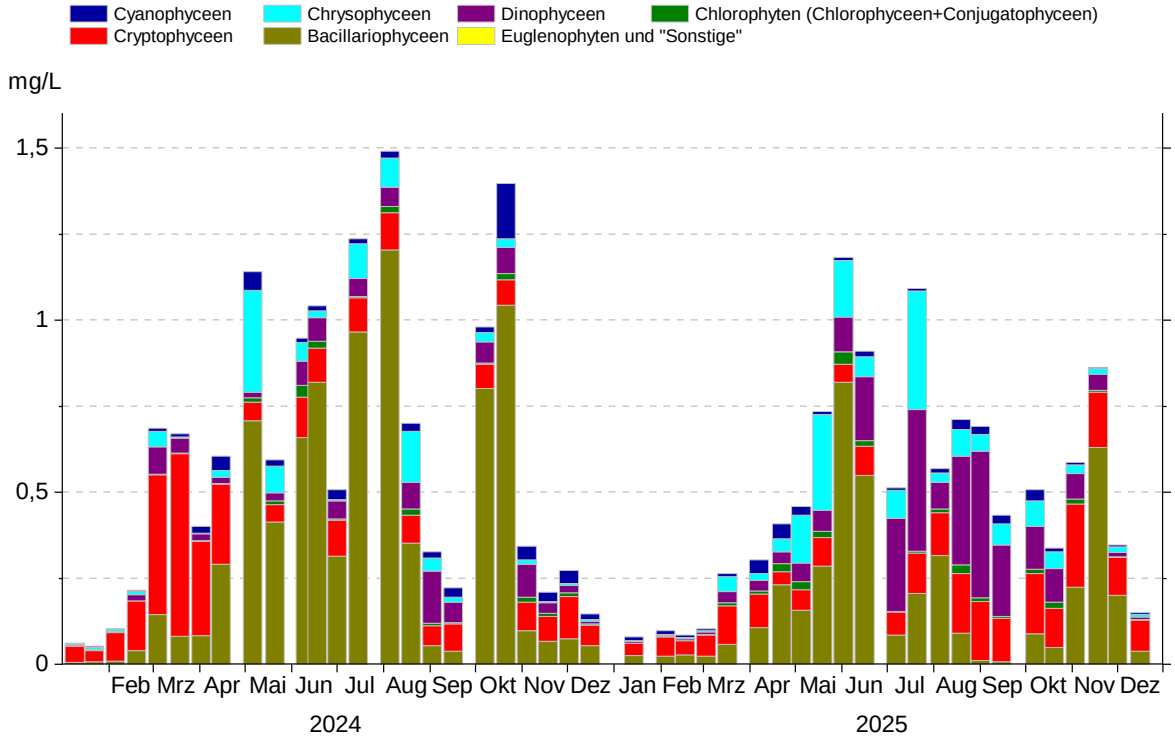


Abb. 30: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee 2024/2025 (Fischbach-Uttwil).

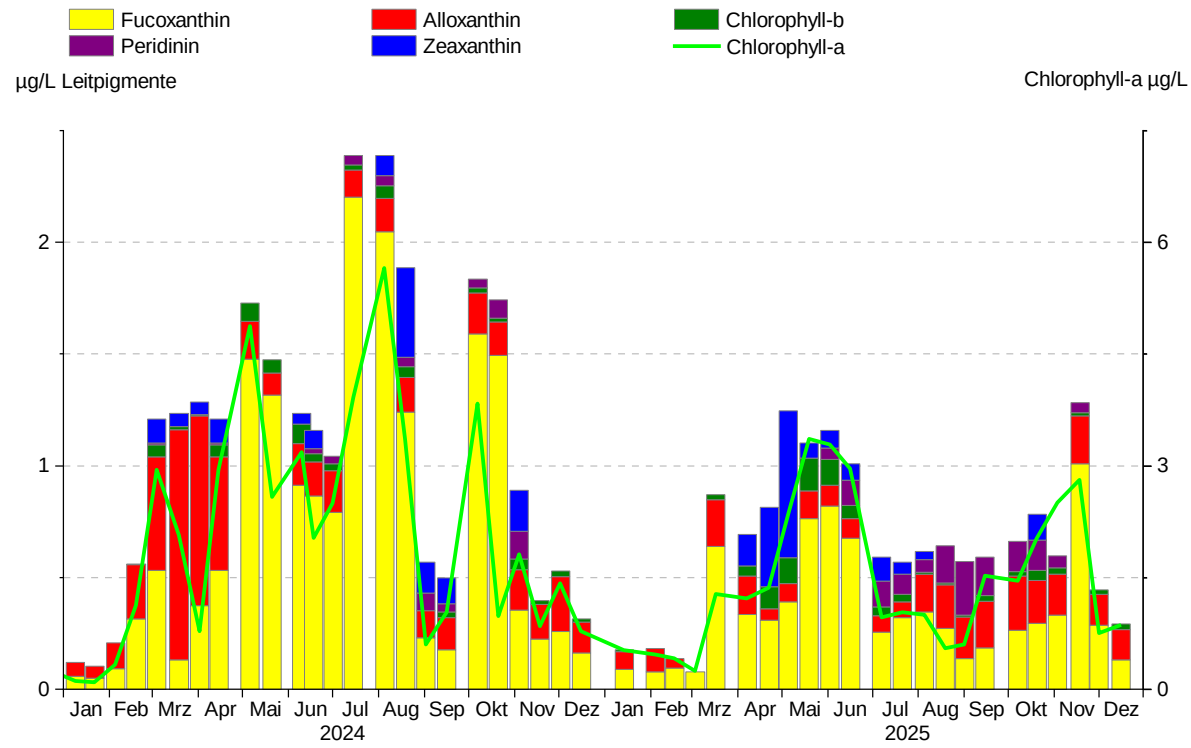


Abb. 31: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Obersee 2024/2025 in 0-20 m (Fischbach-Uttwil).

Im Jahr 2024 entwickelte sich das Phytoplankton an der Messstation Fischbach-Uttwil bis Mitte des Jahres ähnlich wie auch in vorangegangen Jahren. In der zweiten Jahreshälfte 2024 wurde jedoch eine starke Phytoplanktonentwicklung beobachtet, vermutlich bedingt durch die starken Niederschläge und den damit verbundenen Nährstoffeintrag. Besonders ins Gewicht fielen dabei Kieselalgen (Bacillariophyceen). Die mittlere Biomasse für 2024 an der Station Fischbach-Uttwil war mit 0,60 mg/L der höchste Wert seit 2017.

Die mittlere Phytoplanktonbiomasse betrug im Jahr 2025 0,49 mg/L. Der Maximalwert der Phytoplanktonbiomasse für 2025 wurde im Juni mit 1,18 mg/L erreicht.

Im direkten Vergleich beider Jahre fällt auf (Abb. 30), dass 2025 in den Sommermonaten Dinophyceen deutlich häufiger vertreten waren als 2024, im langjährigen Vergleich sind die Veränderungen jedoch im Bereich der natürlichen Schwankungen.

Die Konzentrationen der Leitpigmente spiegeln gut die Biomasseentwicklung der Algengruppen wider (Abb. 31). Eine Ausnahme bildet Zeaxanthin, das sich regelmäßig in den Pigmentanalysen findet und zu dem eine Entsprechung im mikroskopischen Befund (also Cyanophyceen) fehlt. Dieses Zeaxanthin stammt aus Picoplankton, das in der routinemäßigen mikroskopischen Untersuchung nicht erfasst wird. Im Frühjahr 2025 weisen die Zeaxanthinmessungen auf ein kräftiges Wachstum des Picoplanktons hin.

Leitpigmente 2024/2025 im Bodensee-Obersee (Bregenzer Bucht) in 0-20 m

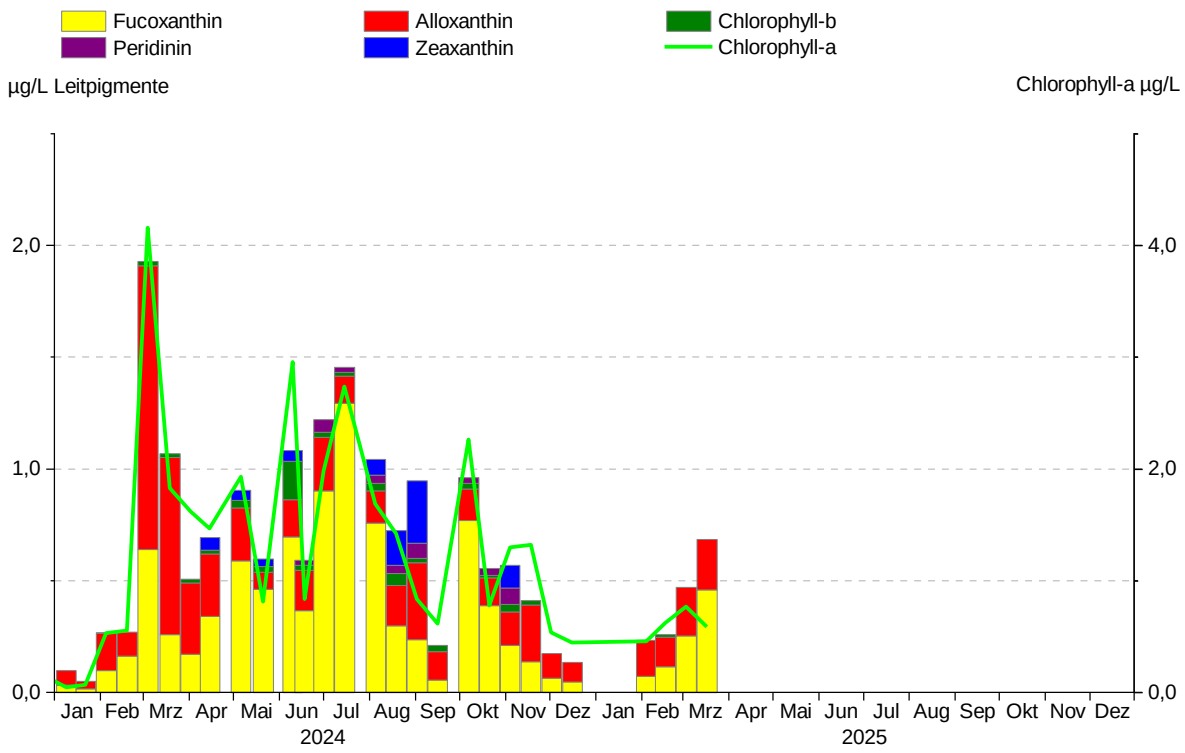


Abb. 32: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Obersee 2024/2025 (Bregenzer Bucht).

Für den Messpunkt Bregenzer Bucht wird die Entwicklung des Phytoplanktons nur über die Leitpigmentanalyse untersucht, eine mikroskopische Analyse wird nicht durchgeführt. Aufgrund personeller Engpässe wurden ab März 2025 keine Pigmentanalysen mehr durchgeführt. Die Pigmentanalyse zeigte ein vorwiegend durch Alloxanthin (Cryptophyceen) geprägt frühes Jahresmaximum im März 2024. Fucoxanthin zeigte im März ein weniger ausgeprägtes Frühjahrsmaximum, nahm darauf nach einem Tiefpunkt Anfang April bis zu einem Maximum im Juli 2024 zu. Die Zeaxanthin-Gehalte weisen auf das Wachstum von Cyanophyceen hin. In Analogie zu den Befunden an der Messstelle Fischbach-Uttwil wäre vor allem von autotrophen Picoplankton als Verursacher auszugehen.

Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2024/2025 im Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m

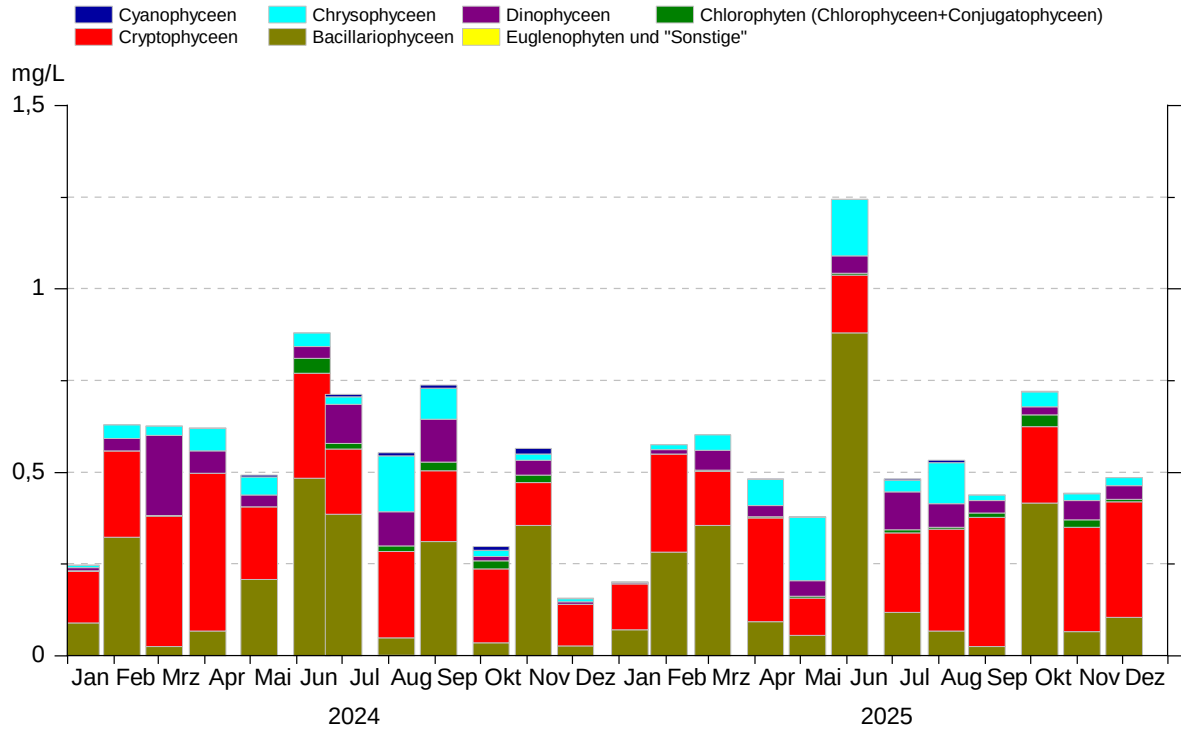


Abb. 33: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee 2024/2025 (Zellersee).

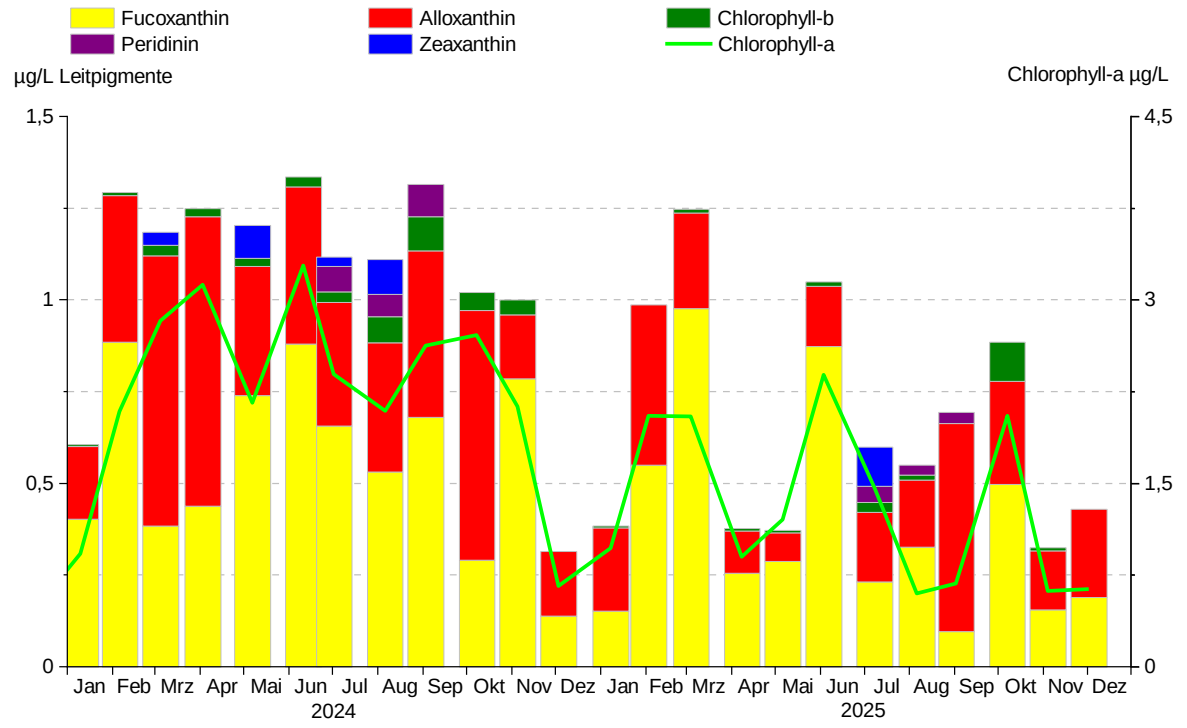


Abb. 34: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Untersee 2024/2025 (Zellersee).

Der Jahresgang im Zellersee war 2024 geprägt von einer schnellen Entwicklung des Phytoplanktons im Februar und März. Biomassen und Pigmentkonzentrationen blieben dann bis September in der Summe auf einem ähnlichen Niveau. Die Verhältnisse der Algengruppen zueinander waren hingegen ziemlich dynamisch. Markant ist das starke Wachstum von Dinophyceen im März 2024, wo diese sogar mehr Biomasse produzierten, als die sonst deutlich häufigeren Kieselalgen. Bei den Pigmenten tritt hingegen kein entsprechender Peridinin-Peak auf. Die Beobachtung, dass Peridinin sich erst ab dem Sommer in größeren Mengen nachweisen lässt, auch wenn im zeitigen Frühjahr reichlich Dinophyceen vorhanden waren, ist bereits vielfach gemacht worden. 2025 kam es von Januar bis März ebenfalls zu einer raschen Entwicklung, vor allem der Bacillariophyceen. In der Biomasse und – deutlicher – in den Pigmentkonzentrationen tritt dann im April und Mai 2025 ein deutlicher Rückgang ein. Im Juni kommt es zu einer Blüte bei den Bacillariophyceen, die deutlich höher ausfällt als im Jahr 2024.

Im Juli sind Biomasse und Pigmentkonzentrationen wieder deutlich niedriger. Erhöhte Zeaxanthin-Konzentrationen lassen auf ein verstärktes Vorkommen von autotrophem Picoplankton schließen.

Entwicklung Phytoplankton in 2024/2025 im Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m

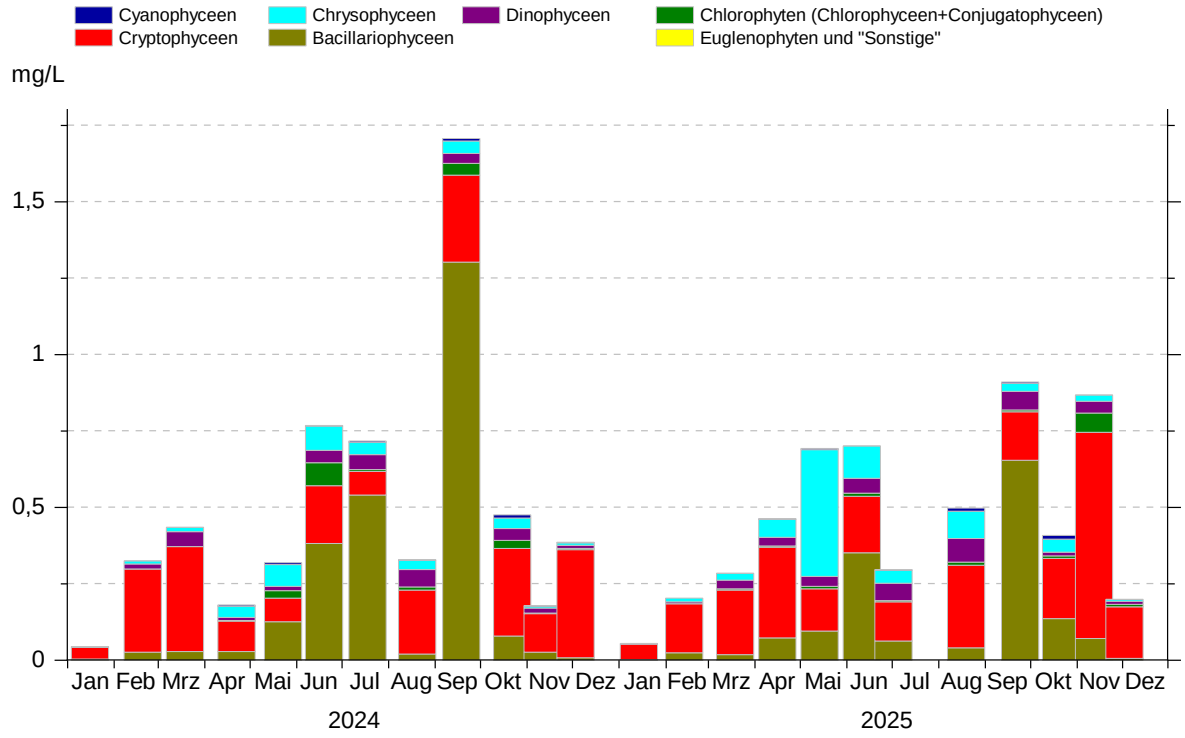


Abb. 35: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee 2024/2025 (Rheinsee).

Im Rheinsee wurde im Jahr 2024 eine mittlere Biomasse von 0,49 mg/L mit einem Maximalwert im September von 1,71 mg/L gemessen. Im September 2024 trat eine deutliche Blüte von *Fragilaria crotonensis* (Bacillariophyceae) auf. In Summe bildeten dadurch die Kieselalgen mit 43,9 % den größten Anteil am Phytoplankton, gefolgt von den Cryptophyceen mit 40,1 %.

Im Jahr 2025 zeigte sich eine leichte Abnahme der mittleren Biomasse auf 0,46 mg/L, mit einem Maximalwert im September von 0,91 mg/L. Ähnlich wie in 2024 trat auch hier im September eine Blüte von *Fragilaria crotonensis* auf, die aber deutlich geringer ausfiel, als im Vorjahr. Die Cryptophyceen bildeten mit 47,3 % den größten Anteil am Phytoplankton, während die Kieselalgen mit 27,5 % nur den zweitgrößten Anteil ausmachten. Im Mai 2025 wurde ein vermehrtes Auftreten der Chrysophycee *Uroglena* beobachtet, während ansonsten Chrysophyceen nur einen kleinen Teil des Phytoplanktons ausmachten. Cyanophyceen und Chlorophyta spielten in beiden hier dargestellten Untersuchungsjahren im Rheinsee nur eine untergeordnete Rolle.

Die Beprobung der Station Rheinsee wurde durch den Kanton Thurgau vorgenommen.

Hauptarten Phytoplankton in 2024/2025 Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m

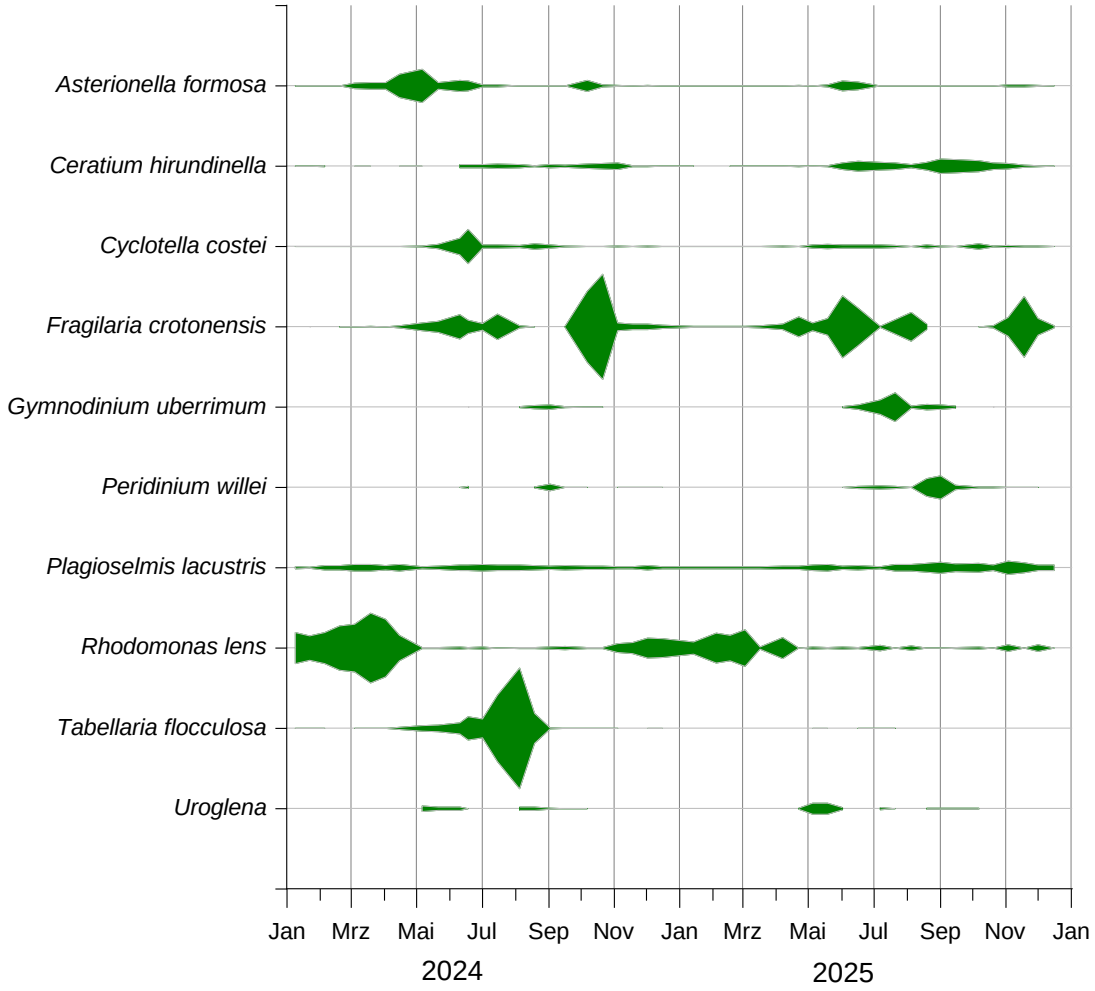


Abb. 36: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Als Hauptarten werden hier Taxa detailliert betrachtet, die im Berichtszeitraum mindestens einmal 15 % der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons ausmachten. Zu Beginn des Jahres 2024 dominierten die Cryptophyceen mit einem Anteil von 60-80 % an der Phytoplanktonbiomasse. Auch 2025 waren die Cryptophyceen bis in den April hinein dominant. *Rhodomonas lens* trug hier in beiden Jahren erheblich zur Biomasse bei. Während *Rhodomonas lens* ein stark saisonales Muster zeigte, trat *Plagioselmis lacustris* große Teile des Jahres in geringerer Häufigkeit auf.

Ab Mitte April nahm der Biomasseanteil der Kieselalgen zu, mit einem Maximum von 80 % im August 2024. Bestimmende Arten waren in beiden Jahren *Cyclotella costei*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis*. Die starken Niederschläge im Sommer 2024 führten zu einer Blüte der Kieselalge *Tabellaria flocculosa* Anfang August. In 2025 trat *Tabellaria flocculosa* hingegen nur in sehr geringen Mengen auf.

Dinophyceen waren in beiden Jahren in der 2. Jahreshälfte häufiger. In 2025 trat dieser Effekt deutlicher auf. Die Hauptarten unter den Dinophyceen waren *Ceratium hirundinella*, *Gymnodinium uberrimum* und *Peridinium willei.*

Unter den Vertretern der Goldalgen (Chrysophyceen) trat nur *Uroglena* als Hauptart auf. Die höchsten Biomassen wurden durch *Uroglena* jeweils Anfang Mai gebildet.

Hauptarten Phytoplankton in 2024/2025 Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m

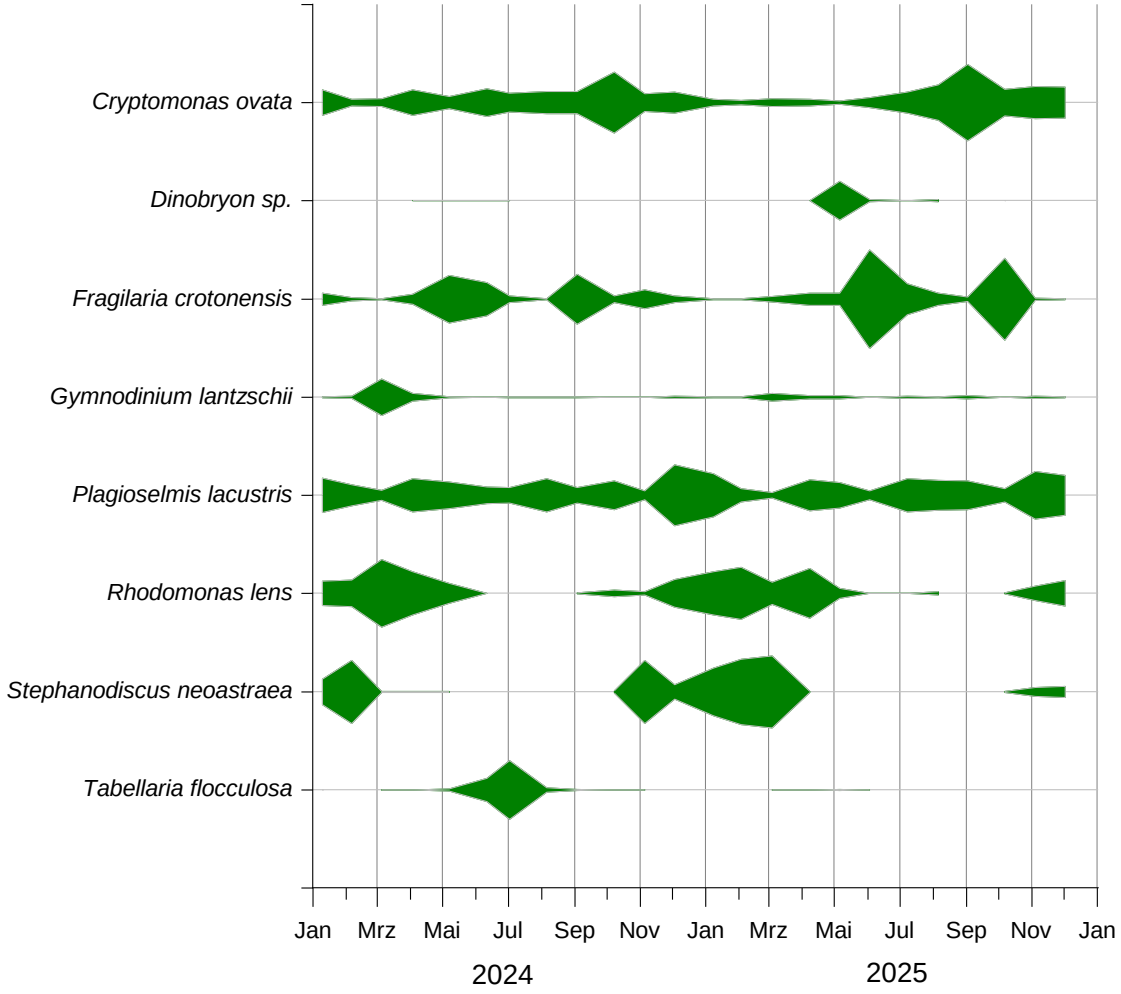


Abb. 37: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Untersee (Zellersee).

2024 waren die Cryptophyceen, insbesondere *Cryptomonas ovata* und *Plagioselmis lacustris*, wichtige Bestandteile des Phytoplanktons. *Rhodomonas lens* war vorwiegend in den kühleren Monaten aspektbestimmend. Bei den Kieselalgen zeigten sich deutliche jahreszeitliche Abfolgen, mit *Stephanodiscus neoastraea* im Februar und November, *Tabellaria flocculosa* im Juli und *Fragilaria crotonensis* im September als dominierende Arten.

2025 waren *Fragilaria crotonensis*, *Plagioselmis lacustris* und *Cryptomonas ovata* die Algen mit den höchsten Biomassen. *Fragilaria crotonensis* erreichte ein Maximum von 0,79 mg/L am 03. Juni 2025, während *Plagioselmis lacustris* durchgehend hohe Biomassen aufwies, aber kein stark ausgeprägtes Maximum zeigte. *Cryptomonas ovata* war hauptsächlich in der zweiten Jahreshälfte vertreten und erreichte ein Maximum von 0,22 mg/L am 02. September 2025.

.

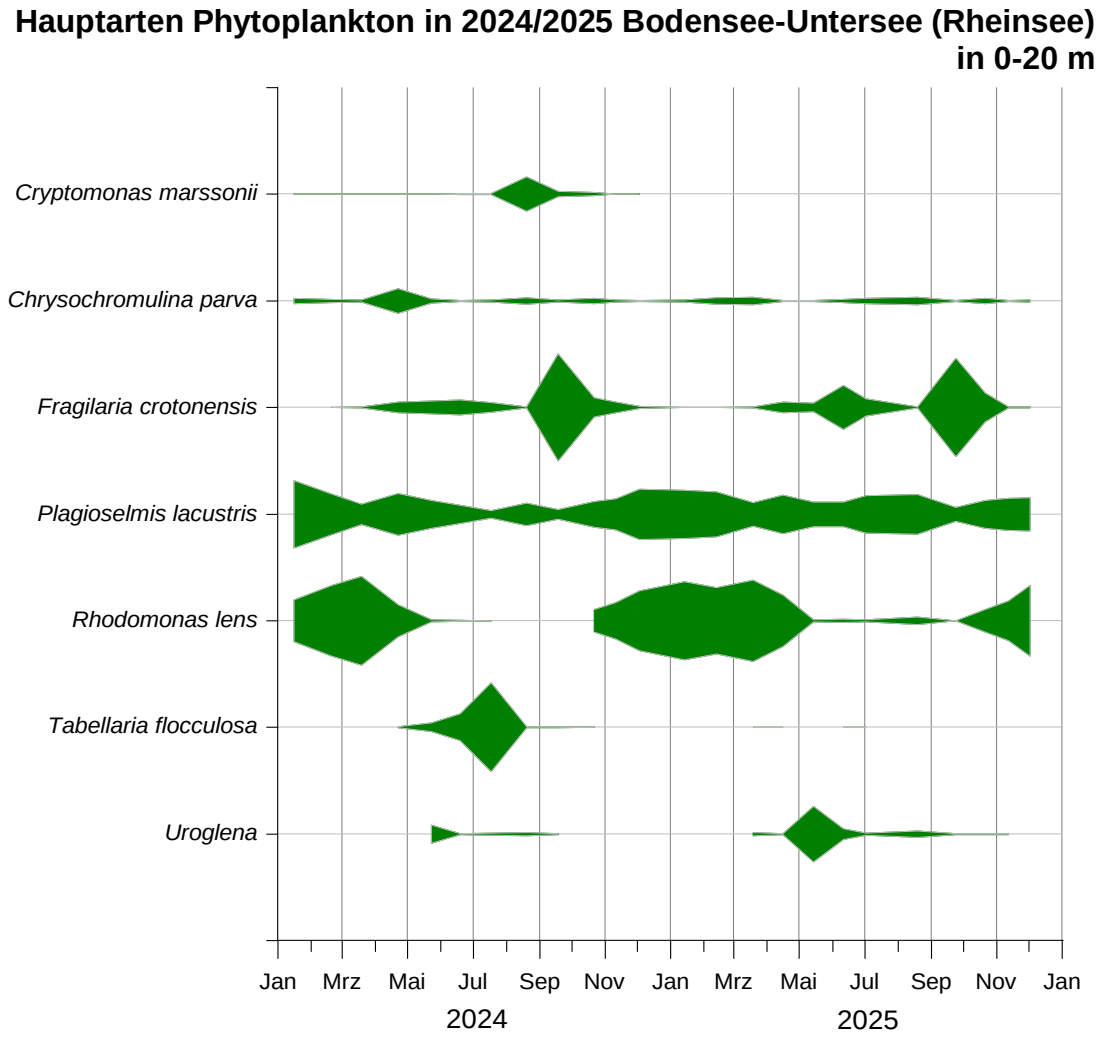


Abb. 38: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Untersee (Rheinsee).

Der Jahresverlauf der Hauptarten im Rheinsee wird geprägt durch eine ganzjährig hohe Dominanz der Cryptophyceen, wobei *Plagioselmis lacustris* (7-48 %) während des ganzen Jahres hohe Biomassen bildete. *Rhodomonas lens* zeigte jeweils von November bis Mai hohe Biomasseanteile auf. Im März 2024 erreichten diese 60 %, das Maximum für 2025 wurde ebenfalls im März mit 55 % festgestellt. *Cryptomonas marssonii* trat nur im August und September 2024 in größeren Biomassen (Anteil 24 %) auf und wird somit definitionsgemäß zu den Hauptarten gerechnet. *Chrysochromulina parva* war im Untersuchungszeitraum mit eher niedrigen Biomassen vertreten, entwickelte im Mai 2024 jedoch eine Blüte mit 16 % Anteil an der Biomasse des Phytoplanktons. Unter den Kieselalgen wurden regelmäßige Blüten von *Fragilaria crotonensis* mit einem kleineren Schwerpunkt im Juni und dem stärksten Wachstum im September / Oktober beobachtet. *Tabellaria flocculosa* hingegen bildete nur ein markantes Massenvorkommen im Juli / August 2024 aus. Zentrische Kieselalgen wie *Cyclotella* kamen 2024 und 2025 in geringeren Biomassen als in der Vergangenheit vor, und wurde daher nichtmehr als Hauptart eingestuft.

Pigmente

Langzeitentwicklung Chlorophyll a

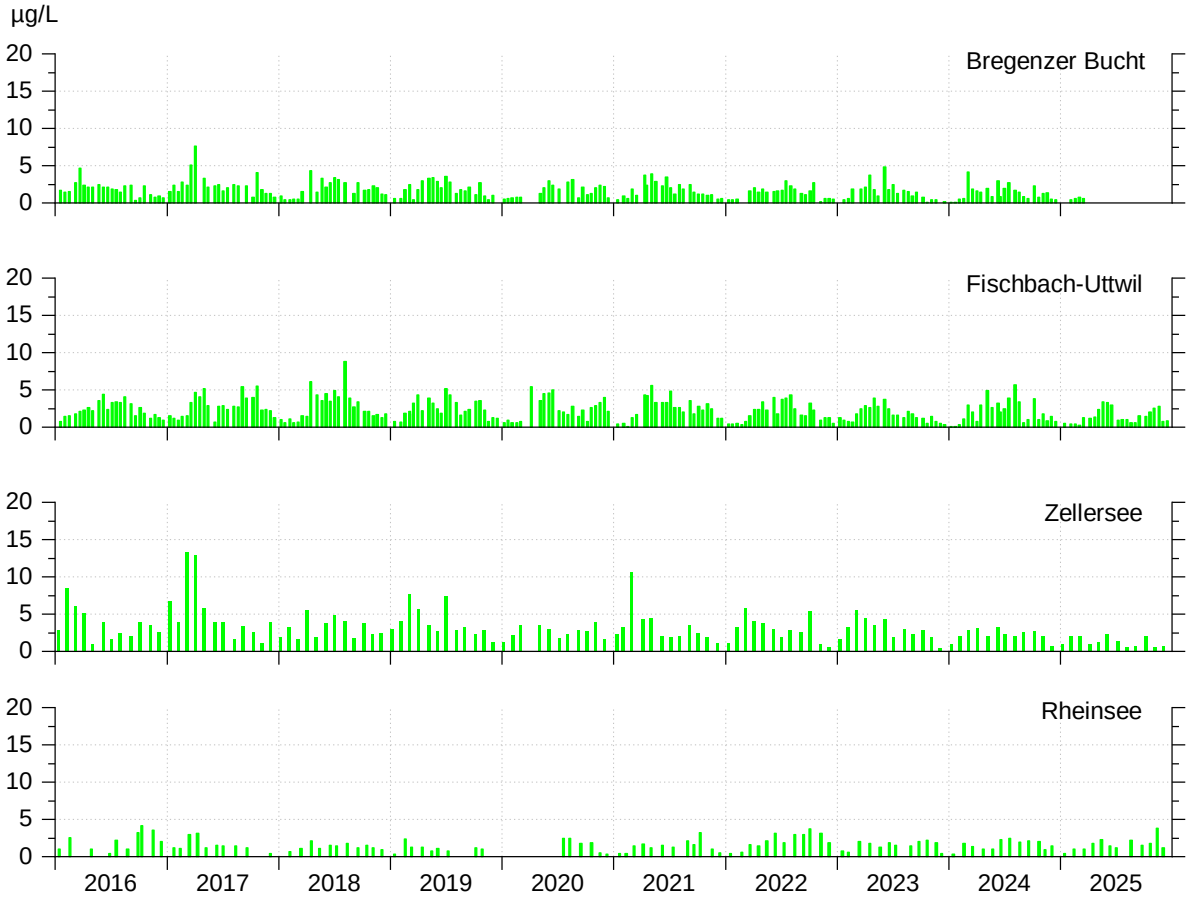


Abb. 39: Langfristige Chlorophyll a Entwicklung in 0-20 m.

Da Chlorophyll a in allen Algenklassen vorkommt, stellt es einen guten Summenparameter zur Beurteilung des Algenwachstums dar. Abb. 39 stellt die gemessenen Konzentrationen in den Jahresverläufen dar.

In der Bregenzer Bucht wurden 2024 sehr ähnliche Chlorophyll a-Konzentrationen gemessen, wie in den Jahren davor. Der Jahresmittelwert für 2024 lag hier bei 1,4 µg/L. Für 2025 wurden aus Kapazitätsgründen nur bis März Messungen vorgenommen.

An der Messstelle Fischbach-Uttwil war der Mittelwert für 2024 bei 2,2 µg/L und somit geringfügig über den Werten der Vorjahre. Einen Einfluss der Hochwasserereignisse 2024 konnte man dabei mit einer gewissen Zeitverzögerung beobachten. 2025 lagen die Werte insgesamt unter denen der Vorjahre. Das Jahresmittel betrug nur 1,5 µg/L.

An der Messstelle Zellersee hat sich 2024 und 2025 die Tendenz zu niedrigeren Werten fortgesetzt. Das Jahresmittel für 2024 lag bei 2,3 µg/L, das für 2025 bei 1,3 µg/L. Gegenüber den Werten von 2022 und 2023 hat sich das Jahresmittel somit mehr als halbiert. In der Vergangenheit war meist der Zellersee der Seeteil mit den höchsten Chlorophyll a-Konzentrationen, mittlerweile liegen die Werte jedoch in einem sehr ähnlichen Bereich wie an der Messstelle Fischbach-Uttwil.

Die Werte des Rheinsees wurden vom Amt für Umwelt (AFU) des Kantons Thurgau gemessen. Der etwas höhere Jahresmittelwert von 2,2 µg/L im Jahr 2022 blieb bislang ein einmaliges Ereignis. Die Jahresmittelwerte 2024 und 2025 betrugen jeweils 1,6 µg/L. Im Vergleich zwischen den Seeteilen lagen die Chlorophyll a-Konzentrationen im Rheinsee auf einem vergleichbaren Niveau wie an der Messstation Fischbach-Uttwil und etwas höher als in der Bregenzer Bucht.

Zooplankton

Abb. 40: *Gastropus stylifer.*

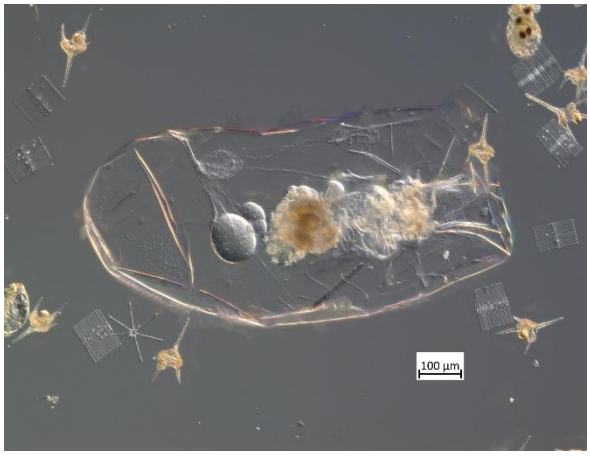


Abb. 41: *Asplanchna priodonta.*

Abb. 42: *Cyclops abyssorum* weiblich.

Abb. 44: *Cyclops abyssorum* männlich.

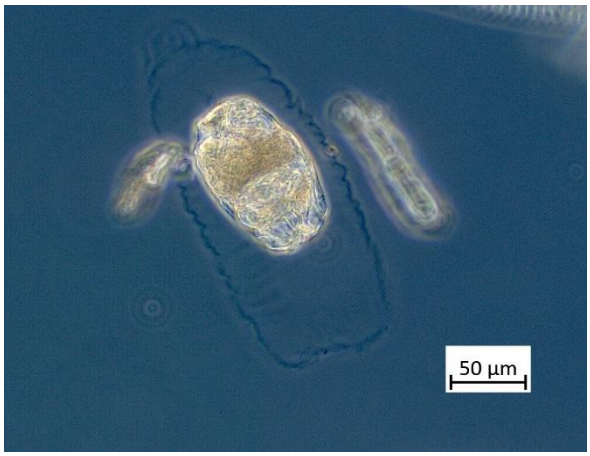


Abb. 43: *Collotheca.*

Abb. 45: *Daphnia hyalina adult* weiblich.

Bildrechte: LUBW

Langzeitentwicklung Crustaceen

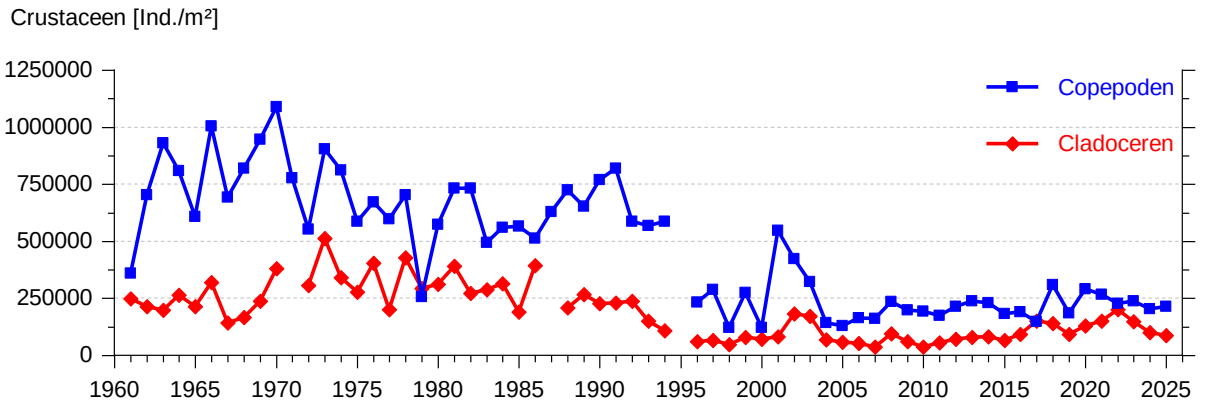


Abb. 46: Langzeitentwicklung der Crustaceen in Seemitte in 0-100 m (Fischbach-Uttwil). Bis 1985 wurde mit einem Nansen-Netz beprobt (666 cm² Fläche). Ab 1986 wurde ein Schließ-Netz mit Aufsatzkegel verwendet (213 cm² Öffnungsfläche).

Bei der langjährigen Entwicklung des Crustaceenplanktons scheinen sich die Zahlen auf niedrigem Niveau zu stabilisieren. Die Copepodenabundanz blieb in den vergangenen Jahren weitgehend konstant und nahm 2025 leicht zu. Die Cladocerenabundanz ist nach dem leichten Anstieg in den Jahren 2019-2022 auch in den Jahren 2024 und 2025 weiter zurückgegangen (Abb. 46).

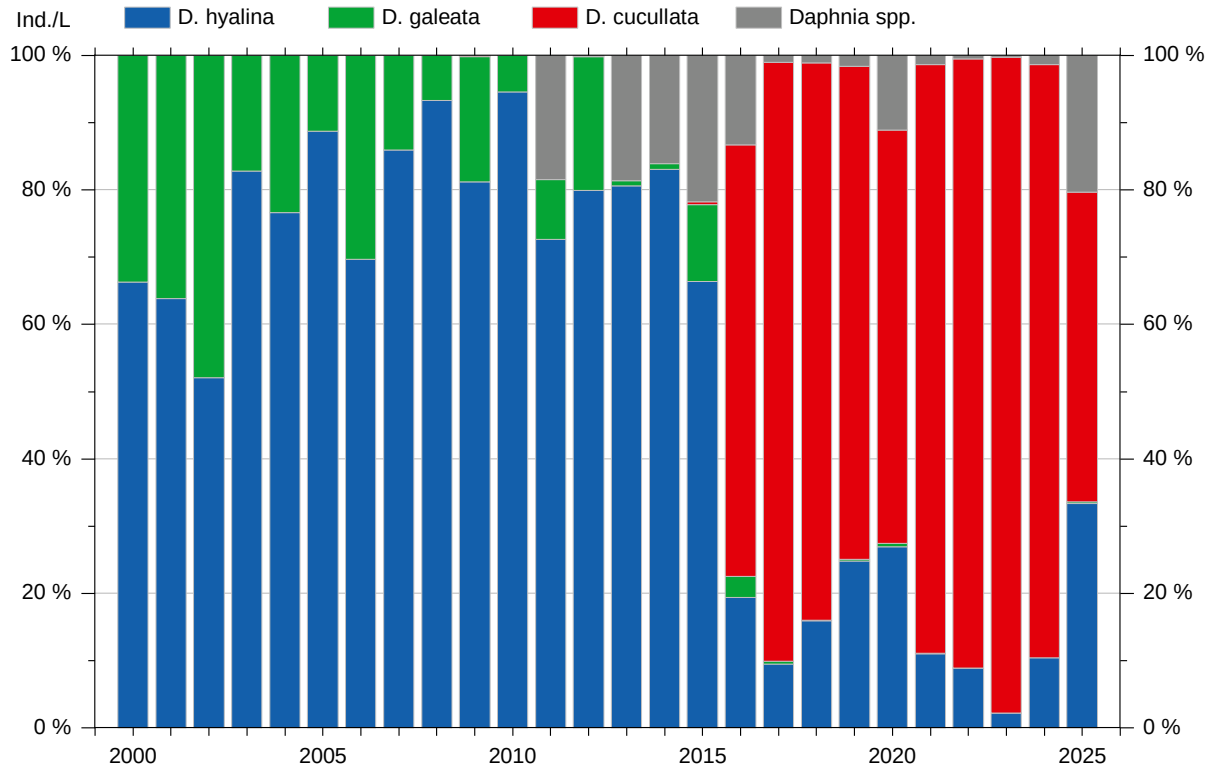


Abb. 47: Langjährige Zusammensetzung der Daphnienabundanz an der Messstelle Fischbach-Uttwil (FU).

Vergleicht man die langjährige Zusammensetzung des Daphnien-Zooplanktons (Abb. 47) im Obersee (FU), so fällt zum einen die Abnahme von *D. galeata* und die Dominanz von *D. cucullata* seit 2016 auf. Lediglich im Jahr 2007 und im Jahr 2009 trat *D. cucullata* in geringer Anzahl im Cladocerenplankton auf. Seit 2016 dominierte *D. cucullata* den Sommeraspekt, wohingegen *D. galeata* deutlich zurückgegangen ist und in den letzten beiden Jahren nur 2025 an zwei Probenahmeterminen nachgewiesen wurde. Allerdings ist anzumerken, dass ab dem Jahr 2011 versucht wurde, Daphnien-Hybride anhand morphologischer Merkmale zu erfassen. Diese sind in den grauen Anteilen der Säulen zusammengefasst und nur noch „eindeutige" *D. galeata* bzw. *D. hyalina* wurden als solche gezählt. Derzeit ist noch unklar, warum sich die etwas kleinere *D. cucullata* seit 2016 so stark etablieren konnte. *Daphnia cucullata* zählt zu den Feinfiltrierer, d. h. die Tiere können auch kleinste Nahrungspartikel wie Bakterien und Picoplankton effektiv nutzen. Dies könnte vor allem im Sommer, wenn vorwiegend große, schlecht fressbare Algen das Phytoplankton bestimmen, ein Vorteil gegenüber den größeren Daphnienarten (*D. hyalina/galeata*) sein, die gut fressbares Phytoplankton benötigen. Möglicherweise spielte im Jahr 2016 auch das Auftreten der fädigen Burgunderblutalge eine Rolle. Kleinere Cladocerenarten werden durch fädige Algen bei der Nahrungsaufnahme weniger beeinträchtigt als größere Cladoceren, die durch fädige Algen in ihrer Futteraufnahme, Filtrierrate, Wachstumsrate und Vermehrung abgeschwächt werden (GLIWICZ & SIEDLAR, 1980[1]). Dies könnte erklären, warum gleichzeitig mit dem Auftreten der Burgunderblutalge die Population von *D. cucullata* zunahm, während *D. hyalina* und *D. galeata* zurückgingen. Allerdings trat nach 2016/17 die Burgunderblutalge nicht mehr auffällig in Erscheinung, *D. cucullata* blieb aber weiterhin auf hohem Niveau. Möglicherweise hat die Zunahme der Quagga-Muschel und/oder die Einwanderung der Stichlinge ins Pelagial zu einer Artenverschiebung bei der Zusammensetzung des Daphnien-Zooplanktons geführt. *Daphnia cucullata* scheint sich dauerhaft im Obersee etabliert zu haben. Auffällig war, dass 2024 und 2025 *D. cucullata* zwar nach wie vor im Jahresdurchschnitt die dominante Art unter den Cladoceren war. Jedoch nahm die Biomasse der größeren *D. hyalina* 2024 wieder zu und hat im Jahr 2025 die kleine *D. cucullata* hinsichtlich der Biomasse sogar „überholt".

[1] Gliwicz, M. Siedlar, E. (1980): Food size limitation and algae interfering with food collection in Daphnia. Arch. Hydrobiol. 88(2), 155-177.

Saisonale Entwicklung des Zooplanktons

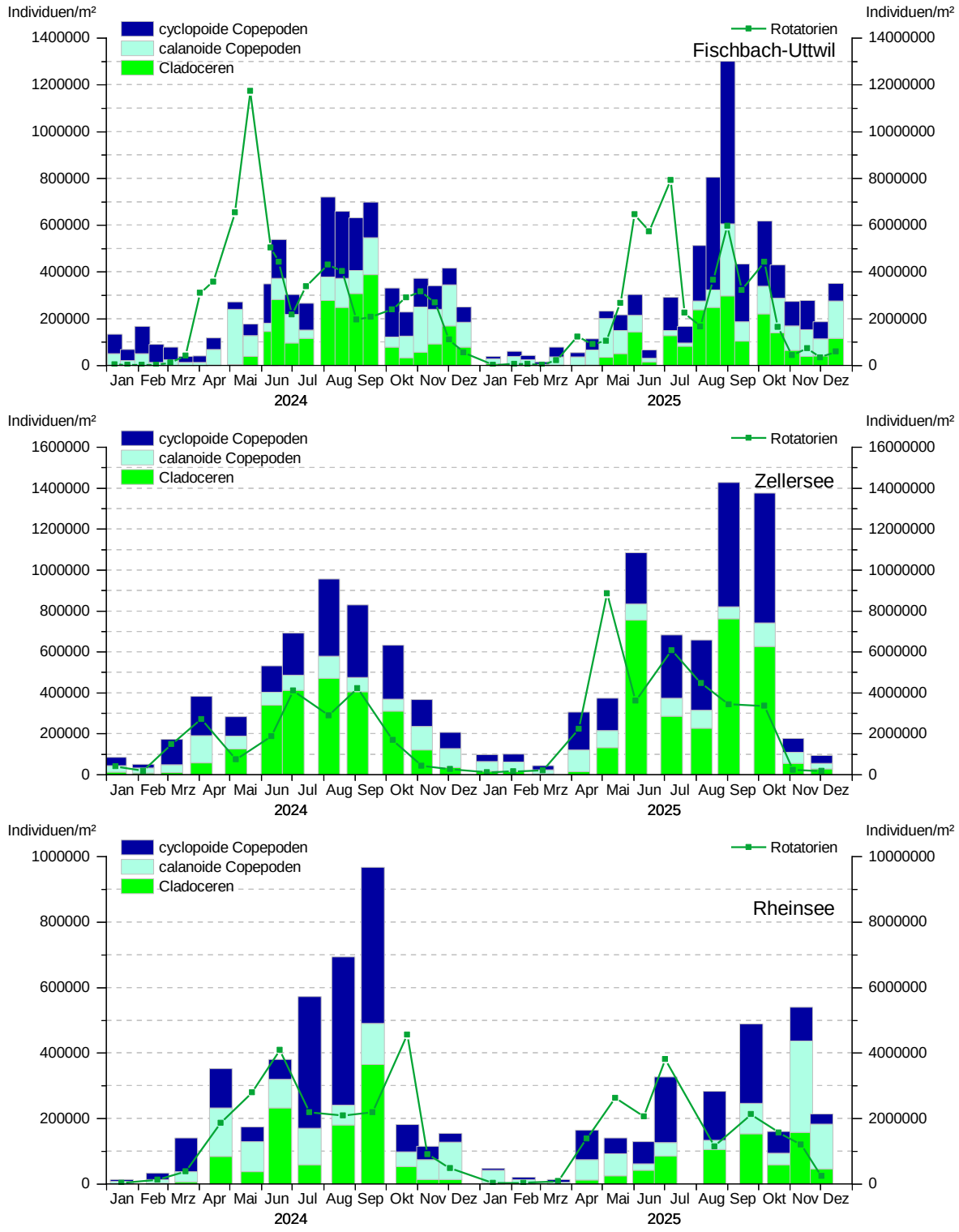


Abb. 48: Saisonale Entwicklung des Zooplanktons 2024/2025. Fischbach-Uttwil 0-100 m (oben), Zellersee 0-20 m (Mitte), Rheinsee 0-30 m (unten). Individuen/m² berechnet zur beprobten Netzöffnung.

Die Entwicklung der Cladoceren im Obersee begann 2024 und 2025 jeweils im Juni (Abb. 48). Im Jahr 2024 stiegen die Individuendichten bis September an, wo ein Maximum von rund 390 000 Ind. /m² erreicht wurde. Die durchschnittliche Gesamtabundanz lag bei 10,12 *10^4 Ind. /m². Im Jahr 2025 setzte sich die Entwicklung der Cladoceren bis in den Oktober fort. Auffällig waren extrem niedrige Abundanzen Mitte Juni. Das Maximum wurde ebenfalls im September mit knapp 300 000 Ind. /m² erreicht. Die durchschnittliche Gesamtabundanz lag mit 8,63 *10^4 Ind. /m² nochmals niedriger als 2024. Damit lagen die durchschnittlichen Abundanzen in beiden Jahren deutlich unter den Werten von 2022 und 2023 (20,09 bzw. 14,79 *10^4 Ind. /m²).

Im Frühjahr und Herbst wurde die Zooplanktonzusammensetzung in allen Seeteilen von den Copepoden dominiert (Abb. 48). Die Ruderfußkrebse werden im Obersee weiterhin durch *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops oithonoides* und *Eudiaptomus gracilis* geprägt. *Thermocyclops oithonoides* scheint sich weiter im Obersee zu etablieren und übertraf 2024 von Anfang Mai bis Anfang November und 2025 von Anfang August bis Anfang November die Abundanzen der früher bildbestimmenden Art *M. leuckarti*. Auffällig war die sehr geringe Präsenz der Gattung *Cyclops*, die 2024 und 2025 auch in der kühlen Jahreszeit nur einen geringen Anteil an der Copepoden-Abundanz hatte. *Eudiaptomus gracilis* war ganzjährig stark vertreten und dominierte insbesondere in der kühlen Jahreszeit die Biomasse. Im Zellersee und Rheinsee dominierten in der kühlen Jahreszeit weiterhin Vertreter der Gattung *Cyclops* (insbesondere *C. strenuus*), während das Sommer-Ruderfußplankton vor allem durch *T. oithonoides* und *M. leuckarti* bestimmt wurde. Dabei überwog *T. oithonoides* im Rheinsee deutlich, während *M. leuckarti* im Zellersee auch bis in den Spätherbst bzw. 2025 bis in den Dezember stark vertreten war. Calanoide Ruderfußkrebse (*E. gracilis* und *E. graciloides*) waren weiterhin stark vertreten. Im Zellersee nahm 2025 der Anteil kleinerer Formen wie *Thermocyclops* und *Mesocyclops* zu; zudem scheint sich *Thermocyclops crassus* vor allem in der zweiten Jahreshälfte zu etablieren.

Bei den Rotatorien bauten sich zum Sommer hin in allen Seeteilen hohe Individuendichten auf, die dann mehr oder weniger dynamisch zu niedrigen Abundanzen im Winter abfielen (Abb. 48). Die Hauptarten unter den Rotatorien waren im Obersee Flossenrädertiere (*Polyarthra* spp.), Synchaeten sowie *Keratella cochlearis*, wobei Synchaeten vor allem im Frühjahr vorherrschten. Im Sommer waren *Kellicottia longispina* und *Conochilus* spp. stark vertreten. Die Rotatorienabundanz lag im Obersee 2024 aufgrund eines hohen Peaks Ende Mai deutlich über dem Vorjahresniveau, 2025 unter dem Wert von 2024, aber weiterhin über dem Niveau von 2023. Im Zellersee und Rheinsee waren ebenfalls Flossenrädertiere, Synchaeten und *K. cochlearis* wichtige Vertreter, wobei im Zellersee 2025 zusätzlich *Conochilus* spp. im Frühjahr und Frühsommer zeitweise hohe Abundanzen erreichte.

Seit 2016 werden für das Zooplankton Biomassen bestimmt. Hierzu wird bei den Rotatorien (analog zum Phytoplankton) das Biovolumen einer Art durch einen Geokörper berechnet, der in der Form näherungsweise dem Rädertier entspricht. Beim Crustaceenplankton hingegen werden in der Regel die Trockenmassen aus Längen-Regressionsgleichungen berechnet und dann in Biomassen umgerechnet, wobei ganz grob davon ausgegangen werden kann, dass das Trockengewicht ca. 10 % der Biomasse ausmacht. Da die Biomassen in erheblichem Maß von der Größe und dem Entwicklungsstadium eines Taxons abhängen, wird seit 2016 das Crustaceenplankton in „Größenklassen“ gezählt. Bei den Cladoceren werden die Größenklassen in 200 µm – Schritten aufgeteilt, während die Copepoden nach Stadien (Nauplien, Copepodite C1 bis C5, Männchen, Weibchen) gezählt werden (ca. 100 bis 200 µm – Schritte zwischen den Stadien). Jeder Größenklasse bzw. jedem Stadium wird ein Trockengewicht bzw. eine Biomasse zugeordnet.

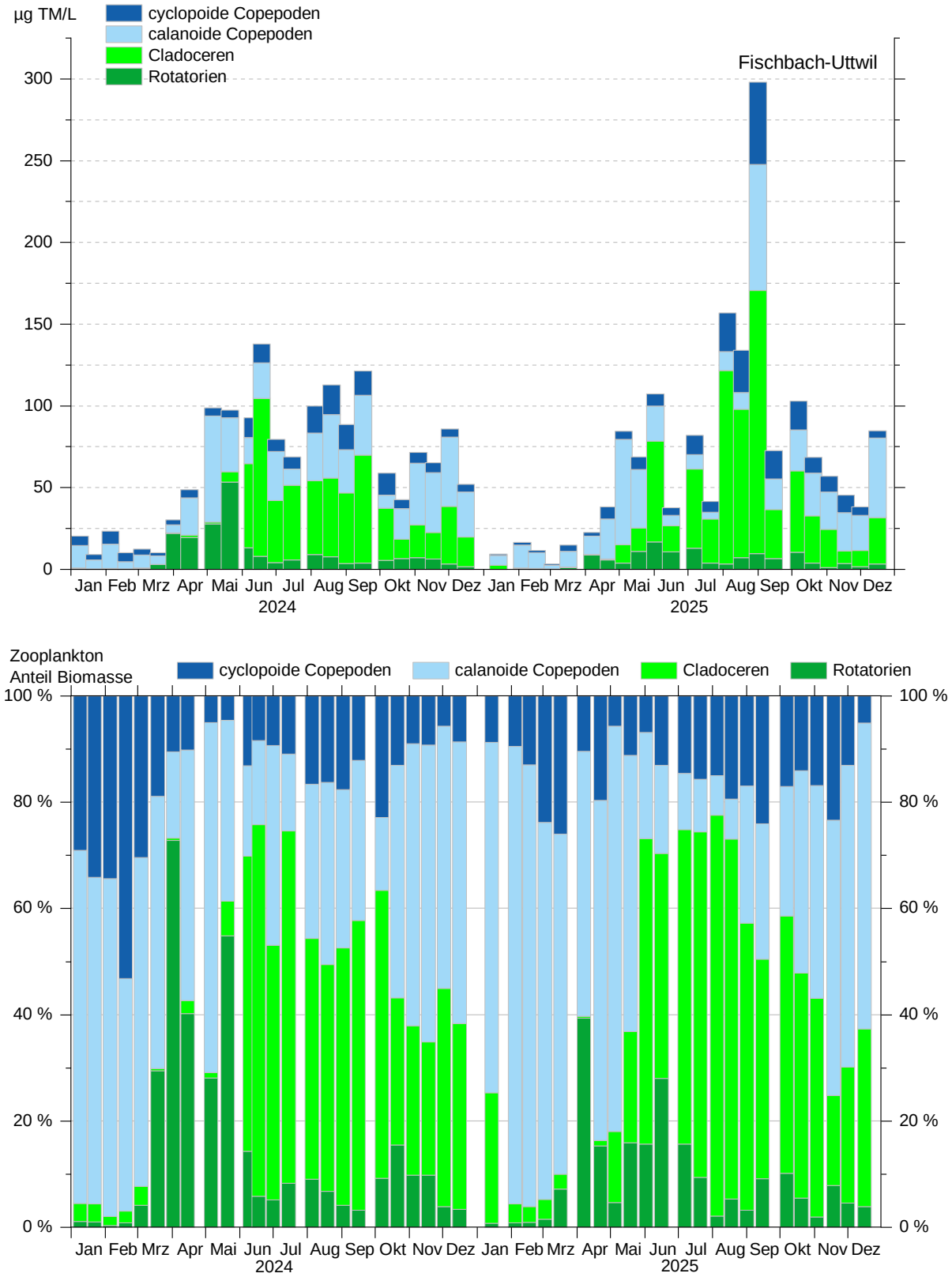


Abb. 49: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Fischbach-Uttwil (2024/2025) bezogen auf 20 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.

Die Biomasse im Obersee (bezogen auf 0-20 m) lag in den Jahren 2024 und 2025 quasi auf gleichem Niveau (Mittelwert: 64 resp. 69 µg TM/L) und damit im oligotrophen Bereich (Abb. 49). Im Vergleich zu den Vorjahren ist die Biomasse weiter zurückgegangen. Im Frühjahr dominierten die calanoiden Ruderfußkrebse, in den Sommermonaten die Cladoceren und gegen Ende der Jahre stellten wieder calanoide Ruderfußkrebse die Hauptmasse des Metazooplanktons. Der Anteil der Rotatorien lag im Jahr 2024 im Mittel bei 13,8 %. Dabei wurden zwischen März und Mai Biomasseanteile zwischen 30 und 70 % erreicht. Im Jahr 2025 war der Anteil der Rotatorien mit 7,9 % wieder geringer, wobei auch hier die höchsten Biomassenanteile mit 39 % Anfang April ermittelt werden konnten.

Die Biomasse im Zellersee lag 2024 im Durchschnitt bei 111 µg TM/L und war mit den Vorjahren vergleichbar. Im Jahr 2025 waren die durchschnittlichen Biomassen mit 74 µg TM/L niedriger als 2024 und lagen erstmals deutlich im oligotrophen Bereich. Starke Massenbildner waren im Frühjahr die cyclopoiden und calanoiden Ruderfußkrebse, im Sommer die Cladoceren (Abb. 50). Zum Jahresende hin wurden die omnivoren cyclopoiden sowie die herbivoren calanoiden Ruderfußkrebse wieder wichtig. Der Anteil der Rotatorien lag im Jahr 2024 bei 6 %. Im Jahr 2025 lag der Anteil der Rotatorien im Durchschnitt bei 9,5 %, wobei im Mai, Juli und August Anteile von knapp 20 % ermittelt wurden.

Die Biomasse im Rheinsee induzierte mit Mittelwerten von 44 µg TM/L (2024) und 23 µg TM/L (2025) deutlich oligotrophe Verhältnisse. Starke Massenbildner waren fast ganzjährig die calanoiden Ruderfußkrebse, wobei 2024 zusätzlich die cyclopoiden Ruderfußkrebse einen deutlichen Anteil der Biomasse darstellten (Abb. 51). Im Sommer bestimmten Cladoceren das Bild. Der Anteil der Rotatorien lag im Jahr 2024 im Mittel bei 8,7 %, erreichte im Mai einen Anteil von knapp 20 % und im Oktober von 33 % der Metazooplankton-Masse. Im Jahr 2025 erreichten die Biomassen im Mittel 9,4 %, wobei zwischen März und August Anteile zwischen 12 % und 17 % und im Oktober von 25 % ermittelt wurden.

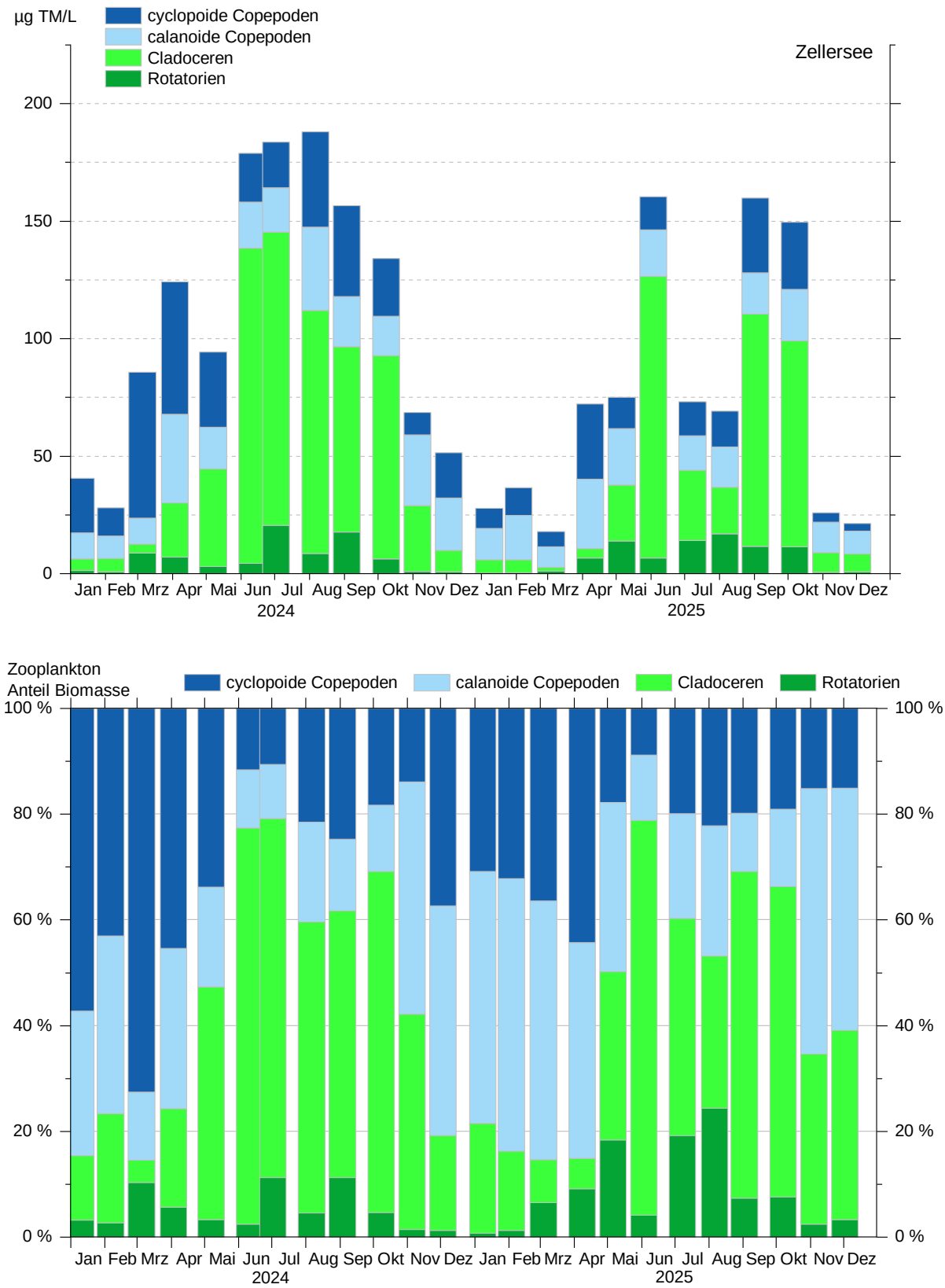


Abb. 50: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Zellersee (2024/2025) im Untersee bezogen auf 20 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.

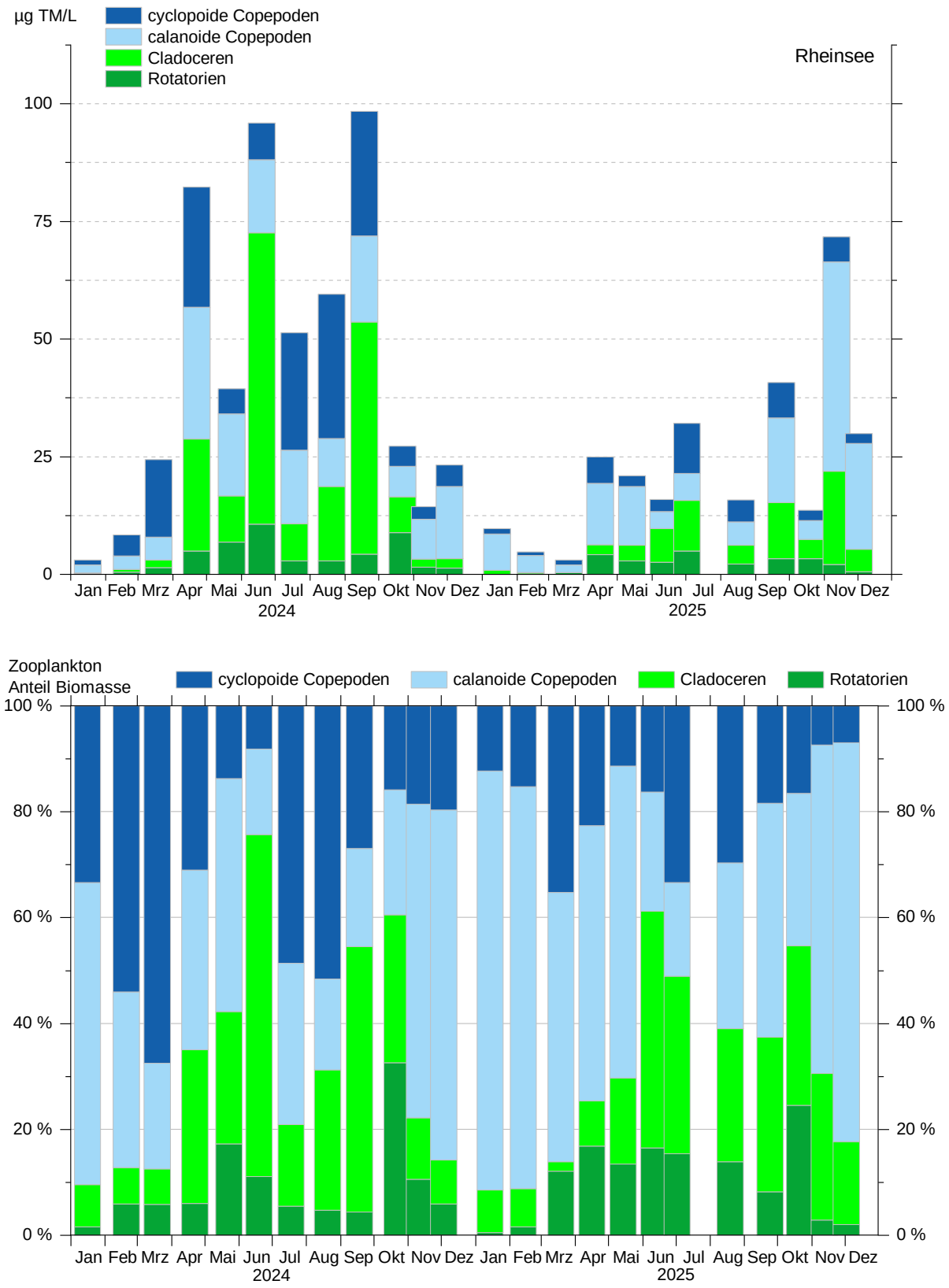


Abb. 51: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Rheinsee in den Jahren 2024 und 2025 bezogen auf 30 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.

Bakterien

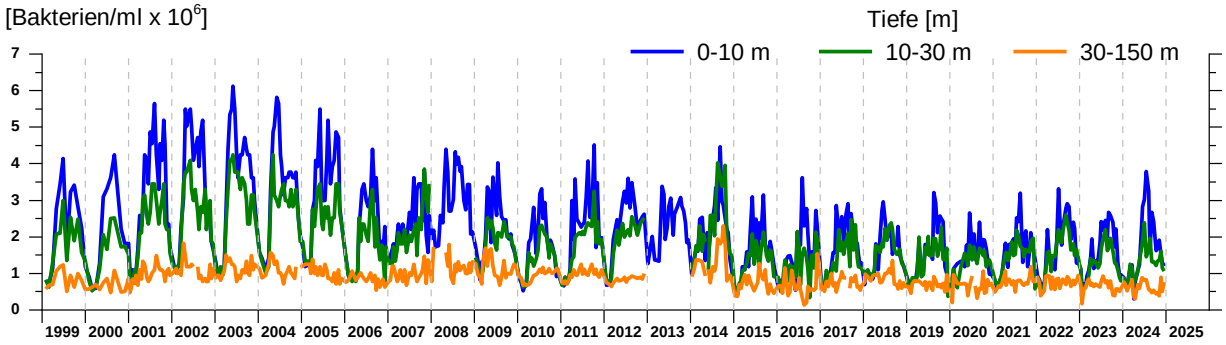


Abb. 52: Zelldichten des Bakterienplanktons, Entwicklung in Seemitte (Station Fischbach-Uttwil). Im Juni 2008 Methodenwechsel in Fluoreszenzmikroskopie, Proben aus Schicht 10-30 m wurden 2008 nur unvollständig erfasst und sind daher nicht dargestellt. Ebenso entfiel 2013 die Erfassung der Tiefenstufen 10-30 m und 30-150 m. Für 2025 liegen keine Messwerte vor.

Bakterienplankton ist ein wichtiger Teil des heterotrophen Planktons im See. Es ist maßgeblich am Abbau organischer Substanz beteiligt und bildet durch seine Sekundärproduktion eine wichtige Nahrungsquelle für filtrierende tierische Planktonorganismen. Die Ermittlung der Zelldichten des Bakterienplanktons (Abb. 52) erfolgte wie in den Vorjahren mittels DAPI-Färbung und automatisierter Zählung. Es wurden jeweils Integralproben in den Tiefenstufen 0-10 m, 10-30 m und 30-150 m ausgewertet.

Der langjährige Überblick der Messwerte zeigt ein wiederkehrendes Muster von Minima im Winter und Maxima im Sommer. Eine Abnahme der Werte ist bis etwa 2015 erkennbar. In den Langzeitdaten ist darüber hinaus ein Trend sichtbar, dass die Werte der Tiefenstufen 1-10 m und 10-30 m sich deutlich annähern.

Das Jahresmittel in der Schicht von 0-10 m lag 2024 bei 1,67 x 10^6 Zellen/mL. Das Maximum im Sommer 2024 war sehr ausgeprägt, was möglicherweise auf das Hochwasser zurückzuführen ist. Diese Werte bewegen sich damit seit 2015 auf sehr ähnlichem, für oligotrophe Seen üblichen Niveau.

Für das Jahr 2025 liegen aufgrund personeller Engpässe leider keine Messungen vor, so dass keine Aussage über die Entwicklung des Bakterienplanktons in diesem Jahr getroffen werden kann.

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet

Bericht der Sachverständigen zum Fachbereich Einzugsgebiet

1. Abwasserbeseitigung 2023/2024

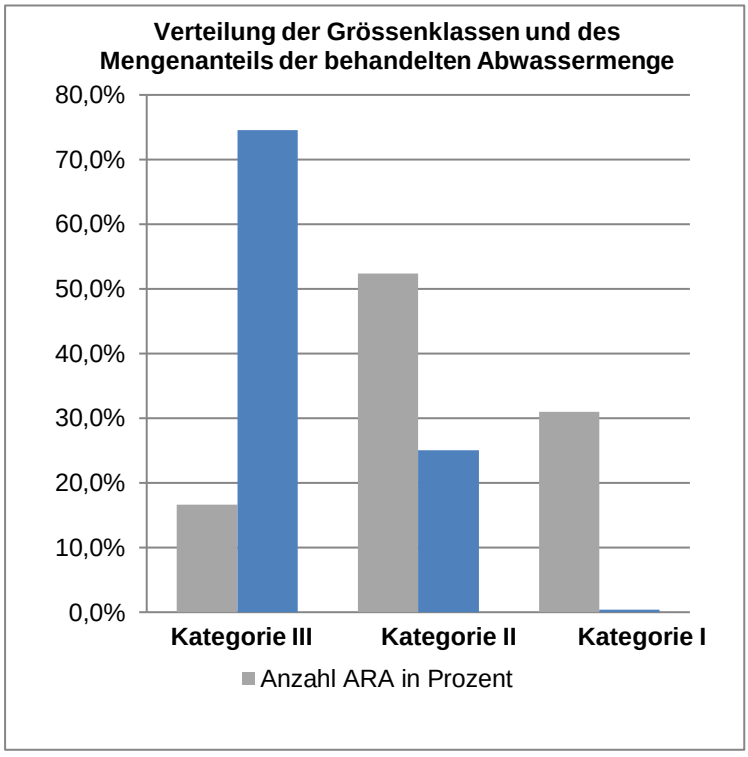
Zahlen zur Abwasserbeseitigung im Bodensee-Einzugsgebiet		**2023**	**2024**
Einwohner in ARA-Einzugsgebieten (Anzahl)		1'760'200	1'777'800
Zahl der an die ARA angeschlossen Einwohner (Kategorie I bis III) [2]		1'733'200	1'752'000
Zahl der nicht an die ARA angeschlossenen Einwohner (Kategorie I bis III)		27'000	25'800
Einwohnerwerte an ARA angeschlossen (Anzahl, Basis: CSB, 85 %-Wert)		3'750'000	3'860'000
Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gemäss IGKB-Richtlinie			
	- Kategorie III (> 40'000 EW)	33	35
	- Kategorie II (1'000 - 40'000 EW)	114	110
	- Kategorie I (50 - 1'000 EW)	64	65
Abwasserreinigungsanlagen total (Anzahl)		**211**	**210**
davon mit	- Nitrifikation	192	194
	- Denitrifikation	126	132
	- Phosphorelimination	155	154
	- weitergehende Reinigung (z. B. Flockungsfiltration)	17	17
	- Spurenstoffbehandlung	11	11
Zulauffrachten ARA			
	- Jahresabwassermenge (in 1'000 Kubikmeter)	286'275	308'930
	- Gesamtphosphor (in Tonnen)		1519.7
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen)		128'105
	- Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen)		32'026
	- Gesamtstickstoff (N, in Tonnen)		9'767
Ablauffrachten ARA			
	- Gesamtphosphor (in Tonnen)	73.0	74.8
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen)	5'331	5'438
	- Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen)	1'372	1'394
	- Gesamtstickstoff (N in Tonnen)		3'132
	- Anorganischer Stickstoff (N_{anorg}, in Tonnen)	2'834	2'702
Reinigungsleistung			
	- Gesamtphosphor (in %)		95.1
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in %)		95.8
	- Gesamtstickstoff (N, in %)		67.9
Mit weitergehender Reinigung behandelte Abwassermenge			
	- Filtration (ohne Spurenstoffbehandlung, in Prozent)	9.3	9.6
	- Spurenstoffbehandlung (in Prozent)	26.7	28.5
Regen- und Mischabwasser			
	- Flächenanteil im Mischsystem (in Prozent) [3]	77.9	77.4
	- Ausbaugrad Mischsystem (in Prozent)	95.1	95.2

[2] Abwasser von ca. weiteren 82'600 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

[3] ohne Vorarlberg

Ende des Berichtsjahres 2024 waren von den fast **1.78 Millionen** Einwohnern in den ARA-Einzugsgebieten des Bodensees rund **1.75 Millionen** an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage **(ARA) angeschlossen**. Daneben wird das Abwasser von etwa 82'600 Einwohnern zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets abgeleitet. Die grosse Abweichung zu den Vorjahreszahlen ist auf eine genaue Erhebung der Ortsteile im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees im Berichtsjahr zurückzuführen. In den vergangenen Berichtsjahren wurden die Einzugsgebiete dieser ARA nicht ortsteilscharf den Einzugsgebieten „Bodensee“ bzw. „Hochrhein“ zugeordnet. Der **Anschlussgrad** an eine zentrale Reinigungsanlage lag **2024** bei **98.5 %**. Bei den nicht an eine zentrale Reinigungsanlage angeschlossenen Einwohnern ist die Entsorgung gemäss Abschätzungen der letzten Jahre bei **über 80 % ordnungsgemäss** (Landwirtschaft oder Kleinkläranlage). Gesamthaft liegt die **korrekte Abwasserentsorgung** (zentral und dezentral) bei **über 99.5 %**. Ein gewisses Sanierungspotenzial liegt somit bei der dezentralen Abwasserentsorgung, was einer Daueraufgabe entspricht. Angesichts des hohen Anschlussgrades haben diese Zahlen jedoch nicht mehr die ursprüngliche Bedeutung, weshalb diese seit 2019 nicht mehr erhoben werden.

Die **Jahresabwassermenge** aus den insgesamt **210 ARA im Bodensee-Einzugsgebiet** betrug im Jahr 2024 rund **309 Mio. m³.**



Aktuell sind 35 der Kategorie III (> 40'000 EW), 110 ARA der Kategorie II (1'000 -40'000 EW) und 65 ARA der Kategorie I (50- 1'000 EW) zuzuteilen.

Der prozentuale Anteil der ARA bezogen auf die einzelnen Grössenkategorien sowie die behandelte Jahresabwassermenge ist der nebenstehenden Abbildung zu entnehmen.

Hier ist ersichtlich, dass die **35 grössten Anlagen** ca. **74.5 %** der gesamten **Jahresabwassermenge reinigen**.

Abb. 1: Verteilung der Grössenklassen und des Mengenanteils der behandelten Abwassermenge aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees in Prozent.

Auf **194** Anlagen erfolgt eine **Nitrifikation** und auf **132** eine **Denitrifikation**. Dies entspricht ca. **99 % bzw. 95 %** der behandelten Jahresabwassermenge.

In **17** Anlagen wurden **38.1 %** der **Jahresabwassermenge** einer **weitergehenden Reinigung** (Flockungsfiltration, Spurenstoffelimination) unterzogen. In weiteren 137 Anlagen wurden 61.3 % der Abwassermenge durch Phosphatfällung behandelt (jahresmittlere Ablaufkonzentration 0.28 mg/l P_{gesamt}).

Eine Übersicht über die verschiedenen Verfahrensstufen ist in der Abbildungen 2 zu entnehmen.

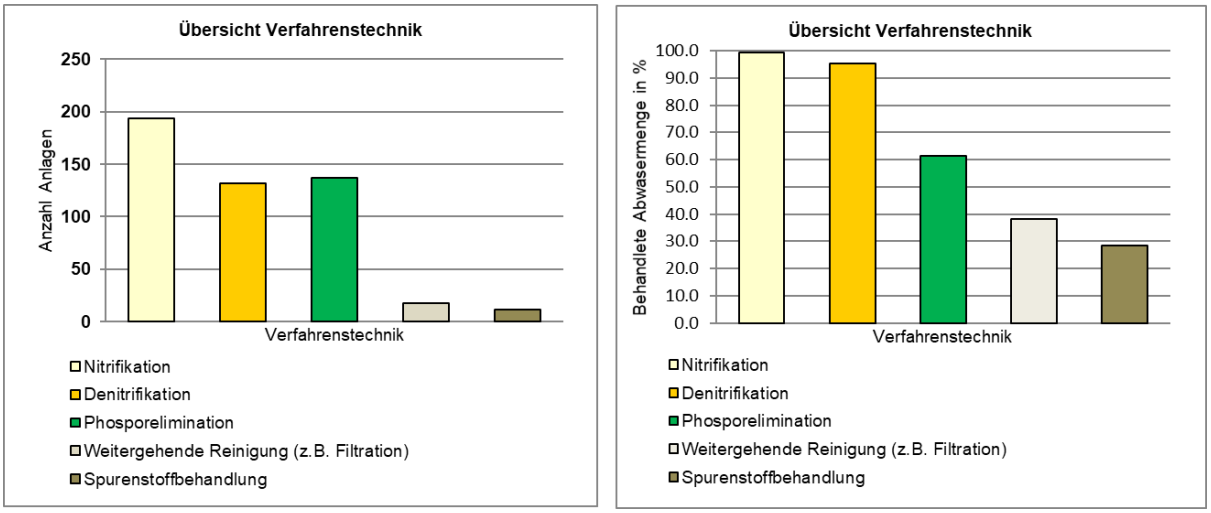


Abb. 2: Übersicht über die Verfahrenstechnik aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees bezogen auf die Anzahl der Anlagen (links) und bezogen auf die behandelte Abwassermenge (rechts).

11 ARA (Langwiese, Stockacher Aach, Uhldingen, Immenstaad, Friedrichshafen, Eriskirch, Kressbronn, Aachtal, Steinach-Morgental, St. Gallen-Hofen, Altenrhein) sind mit einer **Stufe** zur **Elimination von organischen Spurenstoffen** ausgerüstet (Verfahren mit Pulveraktivkohle, Ozonung oder kombiniert Ozonung mit granulierter Aktivkohle. Der Fachbereich führt hierzu eine Verfahrensübersicht). Sie reinigen rund **28.5 %** der gesamten **Jahresabwassermenge**.

Die **Reinigungsleistung aller ARA** im Einzugsgebiet betrug **95.1 %** bezüglich **Gesamtphosphor**, **95.8 %** bezüglich des Chemischen Sauerstoffbedarfs (**CSB**) und **67.9 %** bezogen auf **Gesamtstickstoff.**

In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung der Abwassermengen sowie der Schmutzstoff- und Nährstoffrestfrachten im Ablauf aller ARA im Bodensee-Einzugsgebiet von 1997 bis 2024 dargestellt.

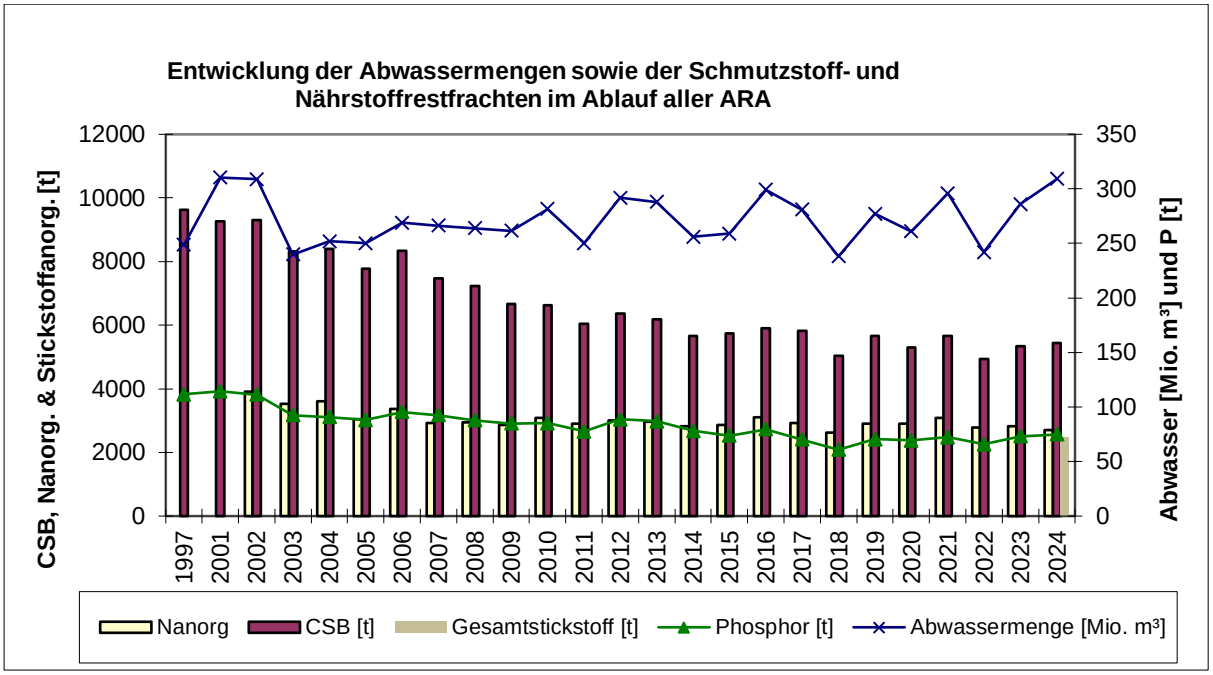


Abb. 3: Entwicklung der Abwassermengen, der Schmutzstoff- (CSB) und der Nährstoffrestfrachten im Ablauf aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees (seit 2010 inkl. Anteile Appenzell Ausserrhoden im Einzugsgebiet).

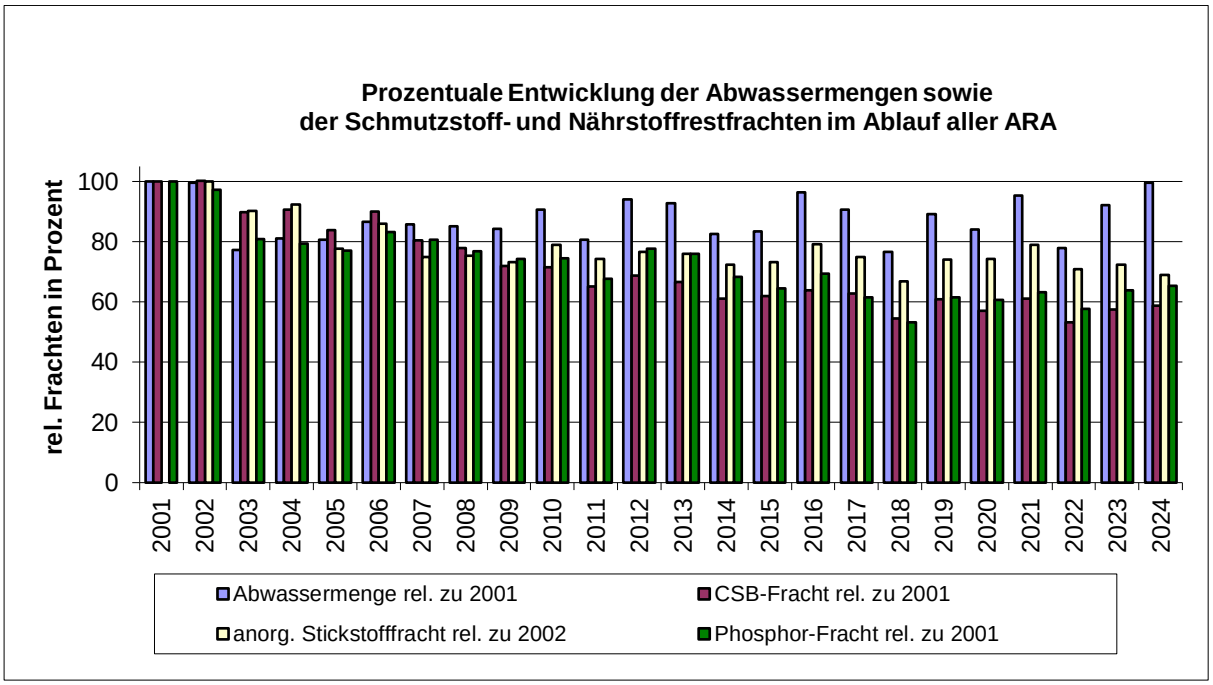


Abb. 4: Prozentualer Verlauf der Abwassermengen, der Schmutzstoff- (CSB) und der Nährstoffrestfrachten aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees bezogen auf das Jahr 2001 bzw. für Stickstoff auf das Jahr 2002.

2. Übersichtskarten 2024

Die Kläranlagenübersichtskarten und die Karten mit den wichtigen *„Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees“* (Gewässerbezeichnung, Stellenbezeichnung, Betreiber der Messstelle, Art der Beprobung bzw. Untersuchung sowie deren Häufigkeit) wurden aktualisiert. Ebenso Karten über die hydrometrischen Stationen im Einzugsgebiet mit den Parametern Pegel, Abfluss und Wassertemperatur (Abb. 7 - 16).

3. Spezielle Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet

a) Allgemeines

Die Aktivitäten des Fachbereichs im Bereich Spurenstoffe sind dem Kapitel 5 zu entnehmen.

b) Besonderheiten bei der Abwasserbeseitigung (Neuanlagen, grosse Umbauten, Stilllegungen, Zwischenfälle usw.)

Im Berichtsjahr reduzierte sich die Anzahl der ARA im Einzugsgebiet von 211 auf 210 Anlagen. Im Kanton Graubünden (GR) kam mit der ARA Surses (Alp Flix, Tigias) eine neue ARA der Kategorie 1 hinzu. Die ARA Habset in Appenzell Ausserrhoden (AR) ist seit Dezember 2023 an die ARA Altenrhein in St. Gallen (SG) angeschlossen. Die ARA Pfäffers-Väson (SG) wurde von Kat. 2 in Kat. 1 eingestuft.

Die ARA Wartau (SG) Kat. 2 wurde an die ARA Sargans (dadurch jetzt Kat. 3) angeschlossen und somit aufgehoben. Die ARA Bezau in Vorarlberg (VA) ist nun der Kat. 3 zugeordnet.

Die beiden ARA Bad Waldsee und Ettishofen wurden seit 2018 falsch in den Geschriebenen Arbeitskarten von Baden-Württemberg (BW) kategorisiert. Dies wurde nun seitens BW berichtigt.

Im Weiteren wird auf die aktuellen Berichterstattungen über den Stand der Gewässerschutzmassnahmen in den Ländern und Kantonen verwiesen.

c) Spezielle Untersuchungen im Einzugsgebiet des Bodensees (inkl. erfolgter und geplanter Aktivitäten zum Thema PFAS)

Es wird auf die aktuellen Berichterstattungen über den Stand der Gewässerschutzmassnahmen in den Ländern und Kantonen verwiesen.

d) Spezielles im Bereich Fliessgewässer mit einem Bezug auf den Bodensee

Es wird auf die aktuellen Berichterstattungen über den Stand der Gewässerschutzmassnahmen in den Ländern und Kantonen verwiesen.

e) Spezielles im Bereich Landwirtschaft mit möglichen Auswirkungen auf den Bodensee

Es wird auf die aktuellen Berichterstattungen über den Stand der Gewässerschutzmassnahmen in den Ländern und Kantonen verwiesen.

4. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee

a) Direkt einleitende Abwasserreinigungsanlagen

Der **Eintrag von Phosphor in den Obersee** aus den **16 seeanliegenden ARA** (Stockacher Aach, Uhldingen, Immenstaad, Friedrichshafen, Eriskirch, Kressbronn, Lindau, Leiblachtal, Bregenz, Hofsteig, Altenrhein, Morgental, St. Gallen-Hofen, Romanshorn, Kesswil und Münsterlingen) wurde mit Hilfe der durchgeführten Abwasseruntersuchungen ermittelt. Er betrug im Jahr **2024 18.2 Tonnen**. Dies entspricht gegenüber dem Vorjahr (2023 16.5 Tonnen) einer Zunahme um 1.7 Tonnen.

b) Gesamtabschätzung der Phosphorfracht

Aufgrund der **Abschätzung** der Phosphorfrachten aus den Einzugsgebieten von Alpenrhein, Bregenzerach, Argen und Schussen sowie den ARA-Abfluss-Phosphorfrachten kann davon ausgegangen werden, dass sich die dem **Obersee zugeführten P-Frachten** seit den Zuflussuntersuchungen 1995-1997 wenig verändert haben. Die Frachtschwankungen sind vor allem auf Hochwasserereignisse im Einzugsgebiet der Zuflüsse zurückzuführen. Dies zeigt die Abb. 7 für das Jahr 1999 beim Alpenrhein (Messstelle Diepoldsau). Auch in besonders regenreichen Jahren können tendenziell höhere P-Frachten beobachtet werden.

Im **Berichtsjahr** sieht man einen Anstieg der Phosphorfrachten von 56 auf **81.1 Tonnen** pro Jahr.

Es ist anzumerken, dass die Abfluss- und Messdaten für die Jahre 2021 und 2023 weiterhin nur provisorisch und jene für 2024 als superprovisorisch einzustufen sind. Sie können daher nur für erste Abschätzungen herangezogen werden. Die Daten werden jeweils mit den nächsten Berichten aktualisiert.

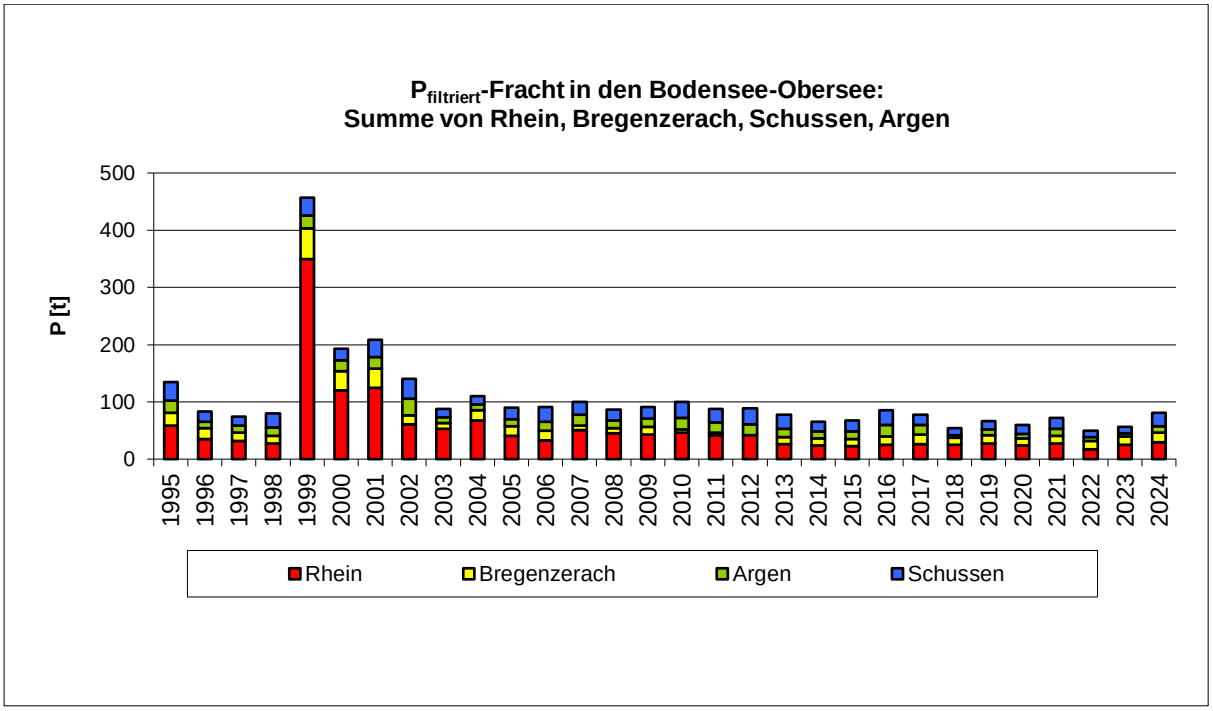


Abb. 5: Entwicklung der $P_{filtriert}$-Frachten in den Bodensee von Alpenrhein, Bregenzerach, Schussen und Argen von 1995 bis 2024 (Rhein mit BAFU-Daten Diepoldsau, Q ab 1995, $P_{filtriert}$ 7-Tage-Sammelproben ab 2012).

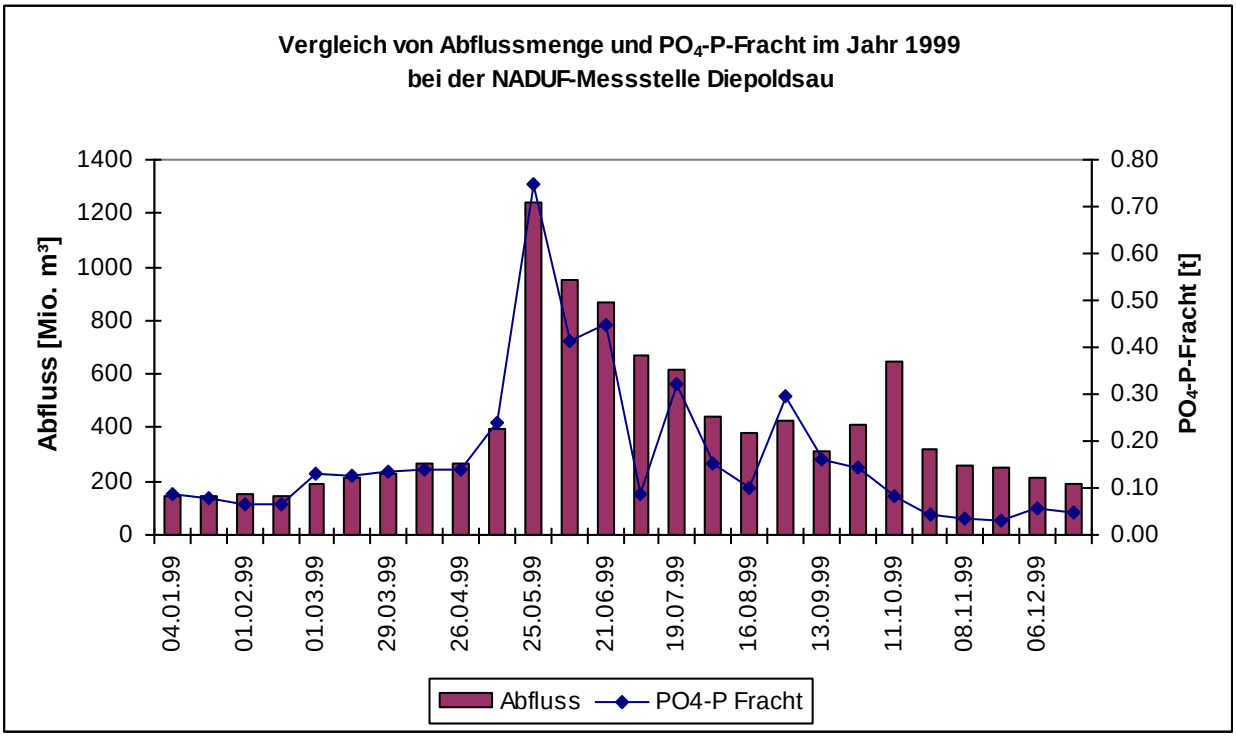


Abb. 6: Vergleich von Abflussmengen und PO_4-P-Frachten des Alpenrheins im Jahr 1999 bei der NADUF-Messstelle Diepoldsau.

5. Organische Spurenstoffe Bodensee und Zuflüsse

a) Spurenstoffmonitoring

Im Berichtsjahr konnten die Arbeiten des Büro HYDRA zum Spurenstoffmonitoring abgeschlossen und der Schlussbericht «IGKB-Spurenstoffmonitoring der Zuflüsse im Bodensee Einzugsgebiet» den Sachverständigen an dessen Juni-Sitzung vorgestellt werden.

Da dieser Bericht keinen konkreten Vorschlag für die Weiterführung des Spurenstoffmonitorings enthielt, wurde die Begleitgruppe, die sich aus Vertretern der Fachbereiche See und Einzugsgebiet zusammensetzt, von den Sachverständigen beauftragt, auf der Grundlage dieses Berichts einen konkreten Vorschlag für die Weiterführung des regelmässigen Spurenstoffmonitorings zu erarbeiten.

Der erarbeitete Vorschlag wurde an der Dezember-Sitzung des Sachverständigenkreises vorgestellt und stellt den Konsens der Sachverständigen dar.

Konkret sieht dieser vor, neben den Messpunkten im See, neu die sieben grössten seenahen ARA und nur noch jene sechs Fliessgewässer zu betrachten, welche bezogen auf Abfluss und angeschlossene Einwohner eine mindestens mittlere Relevanz für die Konzentrationen und Frachten im Bodensee aufweisen (Uferbereiche ausgenommen).

Mit dieser Variante steigt der Anteil der über das Monitoring erfassten und über das Abwasser in den Bodensee eingetragenen Spurenstoffe um 21.5 % auf neu 77.6 %. Wobei der Anteil der über die Fliessgewässer erfassten Anteile durch die Beschränkung auf frachtrelevante Fliessgewässer-Messstellen lediglich um 4.8 % sinkt.

Neben kleineren Änderungen im Bereich der Arzneimittel (Streichung: Atenolol, Bezafibrat und Cetirizin. Aufnahme: Azithromicin und Erythromicin), welche aus dem Vorschlag des Büros HYDRA hervorgingen, fand zudem eine Erweiterung der Stoffliste bezüglich per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) statt. Hier werden neu, in Anlehnung an die EU-Trinkwasserrichtlinie, 21 statt vier Einzelsubstanzen untersucht.

Zudem ist eine Erhöhung von derzeit drei auf sechs Untersuchungen pro Jahr bei Beibehaltung der zweimaligen Seebeprobung vorgesehen. Mit diesem Vorgehen wird den Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie sowie des CIS-Leitfaden Nr. 191 in Grundzügen nachgekommen.

Die **Gesamtkosten** des aktualisierten **Spurenstoffmonitorings** betragen rund **85'000 Euro**.

Durch die Streckung des Intervalls von vier auf sechs Jahre entsteht aus Sicht der Sachverständigen kein wesentlicher Informationsverlust. Hingegen können so die Mehrkosten pro Kampagne teilweise ausgeglichen werden.

b) Austausch zur Belastung kleiner Fliessgewässer

Wie an der 70. Kommissionstagung beauftragt, organisierte der Fachbereich einen fachlichen Austausch über ein mögliches gemeinsames Vorgehen für die Beurteilung der Belastung der kleinen Fliessgewässer im Einzugsgebiet des Bodensees. Dieser fand am 05. Februar 2025 in Bregenz statt.

Trotz eines uneinheitlichen Bildes Punkto Probenahmetechnik, Unterschungsumfang und -häufigkeit sehen die Fachexperten/-innen der Länder und Kantone derzeit weder eine fachliche Veranlassung noch eine Notwendigkeit für eine gemeinsame Untersuchungskampagne hinsichtlich der Gewässerqualität an den kleinen Fliessgewässern im EZG. Defizite an kleinen Fliessgewässern sind i. d. R. auf nationaler/kantonaler bzw. Länder-Ebene zu lösen.

Um ein allfälliges Modell für einen weiteren koordinierten fachlichen Austausch über die IGKB hinaus zu diskutieren, wird der Fachbereich Einzugsgebiet 2026 einen weiteren Austausch der Fachexperten/-innen koordinieren.

6. Abwasserbeseitigung 2024/2025

Zahlen zur Abwasserbeseitigung im Bodensee-Einzugsgebiet		**2024**	**2025**
Einwohner in ARA-Einzugsgebieten (Anzahl)		1'777'800	1'787'700
Zahl der an die ARA angeschlossen Einwohner (Kategorie I bis III) [4]		1'752'000	1'762'600
Zahl der nicht an die ARA angeschlossenen Einwohner (Kategorie I bis III)		25'800	25'100
Einwohnerwerte an ARA angeschlossen (Anzahl, Basis: CSB, 85 %-Wert)		3'860'000	3'770'000
Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gemäss IGKB-Richtlinie			
	- Kategorie III (> 40'000 EW)	35	35
	- Kategorie II (1'000 - 40'000 EW)	110	109
	- Kategorie I (50 - 1'000 EW)	65	68
Abwasserreinigungsanlagen total (Anzahl)		**210**	**212**
davon mit	- Nitrifikation	194	197
	- Denitrifikation	132	127
	- Phosphorelimination	154	152
	- weitergehende Reinigung (z. B. Flockungsfiltration)	17	19
	- Spurenstoffbehandlung	11	13
Zulauffrachten ARA			
	- Jahresabwassermenge (in 1'000 Kubikmeter)	308'930	247'204
	- Gesamtphosphor (in Tonnen)	1519.7	1513.4
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen)	128'105	130'568
	- Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen)	32'026	32'642
	- Gesamtstickstoff (N, in Tonnen)	9'767	9'614
Ablauffrachten ARA			
	- Gesamtphosphor (in Tonnen)	74.8	68.2
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen)	5'438	4'916
	- Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen)	1'394	1'272
	- Gesamtstickstoff (N in Tonnen)	3'132	2'976
	- Anorganischer Stickstoff (N_{anorg}, in Tonnen)	2'702	2'666
Reinigungsleistung			
	- Gesamtphosphor (in %)	95.1	95.5
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in %)	95.8	96.2
	- Gesamtstickstoff (N, in %)	67.9	69.0
Mit weitergehender Reinigung behandelte Abwassermenge			
	- Filtration (ohne Spurenstoffbehandlung, in Prozent)	9.6	8.7
	- Spurenstoffbehandlung (in Prozent)	28.5	31.4
Regen- und Mischabwasser			
	- Flächenanteil im Mischsystem (in Prozent) [5]	77.4	76.7
	- Ausbaugrad Mischsystem (in Prozent)	95.2	95.3

[4] Abwasser von ca. weiteren 83'600 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

[5] ohne Vorarlberg

Ende des Berichtsjahres 2025 waren von den fast **1.79 Millionen** Einwohnern in ARA-Einzugsgebieten des Bodensees **1.76 Millionen** an eine zentrale **Abwasserreinigungsanlage (ARA)** angeschlossen. Der Anschlussgrad beträgt somit **98.6 %**.

Bei den nicht an eine zentrale Reinigungsanlage angeschlossenen Einwohnern ist die Entsorgung gemäss Abschätzungen der letzten Jahre bei über **80 %** ordnungsgemäss (Landwirtschaft oder Kleinkläranlage). Gesamthaft liegt die korrekte Abwasserentsorgung (zentral und dezentral) bei über **99.5 %.**

Aktuell sind **35 ARA** der Kategorie III (> 40'000 EW), **109 ARA** der Kategorie II (1'000 - 40'000 EW) und **68 ARA** der Kategorie I (50 - 1'000 EW) zuzuteilen. Die 35 grössten Anlagen (Kategorie III) reinigen ca. **74.1 %** der gesamten Jahresabwassermenge.

Auf **197 Anlagen** erfolgt eine Nitrifikation und auf **127 Anlagen** eine Denitrifikation. Dies entspricht ca. 99 % bzw. 95 % der behandelten Jahresabwassermenge.

Auf **152 Anlagen** findet eine Phosphor-Elimination statt. Insgesamt fiel die Phosphorfracht von **74.8** auf **68.2 Tonnen**. Dies ist auch auf die im Vergleich zu 2024 (309 Mio. m^3) geringere Jahresabwassermenge von **247 Mio. m^3** zurückzuführen.

40.2 % der Jahresabwassermenge werden, auf **19 Anlagen**, einer weitergehenden Reinigung (z. B. Flockungsfiltration) zugeführt. **13 ARA** (Langwiese, Ettishofen, Stockacher Aach, Uhldingen, Immenstaad, Friedrichshafen, Eriskirch, Kressbronn, Aachtal, Steinach-Morgental, St. Gallen-Hofen, Altenrhein, Au-Rosenbergsau) sind mit einer Stufe zur Elimination von organischen Spurenstoffen ausgerüstet. Sie reinigen rund **31.4 %** der gesamten Jahresabwassermenge.

Die Reinigungsleistung aller ARA im Einzugsgebiet betrug **95.5 %** bezüglich Gesamtphosphor, **96.2 %** bezüglich des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) und **69.0 %** bezogen auf Gesamtstickstoff.

7. Übersichtskarten 2025

Die Kläranlagenübersichtskarten und die Karten mit den wichtigen „Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees“ (Gewässerbezeichnung, Stellenbezeichnung, Betreiber der Messstelle, Art der Beprobung bzw. Untersuchung sowie deren Häufigkeit) wurden aktualisiert. Ebenso Karten über die hydrometrischen Stationen im Einzugsgebiet mit den Parametern Pegel, Abfluss und Wassertemperatur (Abb. 7 - 16).

8. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee

a) Direkt einleitende Abwasserreinigungsanlagen

Die Ablauffracht der **16** seeanliegenden **Abwasserreinigungsanlagen** betrug 2025 **15.5 Tonnen**. Dies entspricht gegenüber dem Vorjahr (2024: **18.2 Tonnen**) eine Abnahme um **2.7 Tonnen**.

b) Gesamtabschätzung der Phosphorfracht

Die Auswertung der Zuflüsse Rhein, Bregenzerach, Schussen und Argen ergab, dass die Phosphorfracht in den Bodensee-Obersee im Jahr 2025 mit **44.3 Tonnen** $P_{filtriert}$ deutlich unter den Vorjahren lag (2024: **81.1 t** P, 2023: **56 t** P). Dies ist auf die bereits oben erwähnte Abnahme der Starkniederschlags- und Hochwasserereignisse zurückzuführen. Anzumerken ist, dass die Abfluss- und Messdaten für die Jahre 2022 bis 2025 weiterhin nur provisorisch einzustufen sind. Sie können daher nur für eine erste Abschätzung herangezogen werden.

9. Weitere Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet

<u>Spurenstoffmonitoring</u>

Auf Basis des an der 71. Kommissionstagung verabschiedeten Konzepts wurde das IGKB-Spurenstoffmonitoring im Berichtsjahr fortgeführt. Die Sachverständigen geben einen kurzen Überblick über das überarbeitete Untersuchungskonzept und die Änderungen zu den vorhergehenden Untersuchungen und stellen anschliessend erste Ergebnisse vor.

Auf Basis der bestehenden IGKB-Stoffliste, die aus früheren Untersuchungen abgeleitet und gezielt um PFAS erweitert wurde, sowie aufgrund von neu sechs Untersuchungen pro Jahr wurden knapp **5'000 Messwerte** erhoben. Von den 49 untersuchten Stoffen wurden 40 nachgewiesen bzw. lagen oberhalb der Bestimmungsgrenze.

Grundsätzlich liegen die Konzentrationen der untersuchten Substanzen im Freiwasser auf jeweils ähnlichem Niveau wie in den Vorjahren. Lediglich der bereits 2019 beobachtete Trend bei den Süßstoffen (Verschiebung von Acesulfam zu Sucralose) hat sich weiter verstärkt. Mit einer mittleren Konzentration von **0.25 µg/L** weist Sucralose inzwischen die höchsten Werte im Freiwasser auf und übertrifft damit Acesulfam. Neben Sucralose zählen – wie bereits in den Vorjahren – auch Metformin und Benzotriazol zu den Substanzen mit den höchsten mittleren Konzentrationen.

Bei PFOS ist insgesamt ein Rückgang zu verzeichnen. Im See und in den untersuchten Fliessgewässern kommt es nur in sehr niedrigen Konzentrationen vor oder wurde nicht nachgewiesen. Im Abwasser der untersuchten ARA ist PFOS jedoch weiterhin meist nachweisbar. Auch ist vielerorts eine Zunahme bei den PFOS-Ersatzstoffen wie PFBS und PFBA zu verzeichnen.

Auch bei den über die sieben grössten ARA in den See eingeleiteten Frachten stellt Sucralose den Spitzenreiter dar. Gefolgt von Guanylharnstoff, Iomeprol, Metformin und Benzotriazol. Um die äusserst wertvollen Daten, die durch die neuen Bestandsaufnahmen gewonnen wurden und die zur Beobachtung, Überwachung und Beurteilung der Gewässerqualität und der Eintragswege dienen, optimal zu nutzen, ist aufgrund der umfangreichen Datenmenge eine externe Auswertung erforderlich.

Modellierung von ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen in den Zuflüssen des Bodensees

Mit Beschluss der 70. Kommissionstagung erhielt der Fachbereich den Auftrag, nach der erneuten Durchführung des Spurenstoffmonitorings in den Zuflüssen die Modellierung von ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen in den Zuflüssen des Bodensees in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich See zu wiederholen.

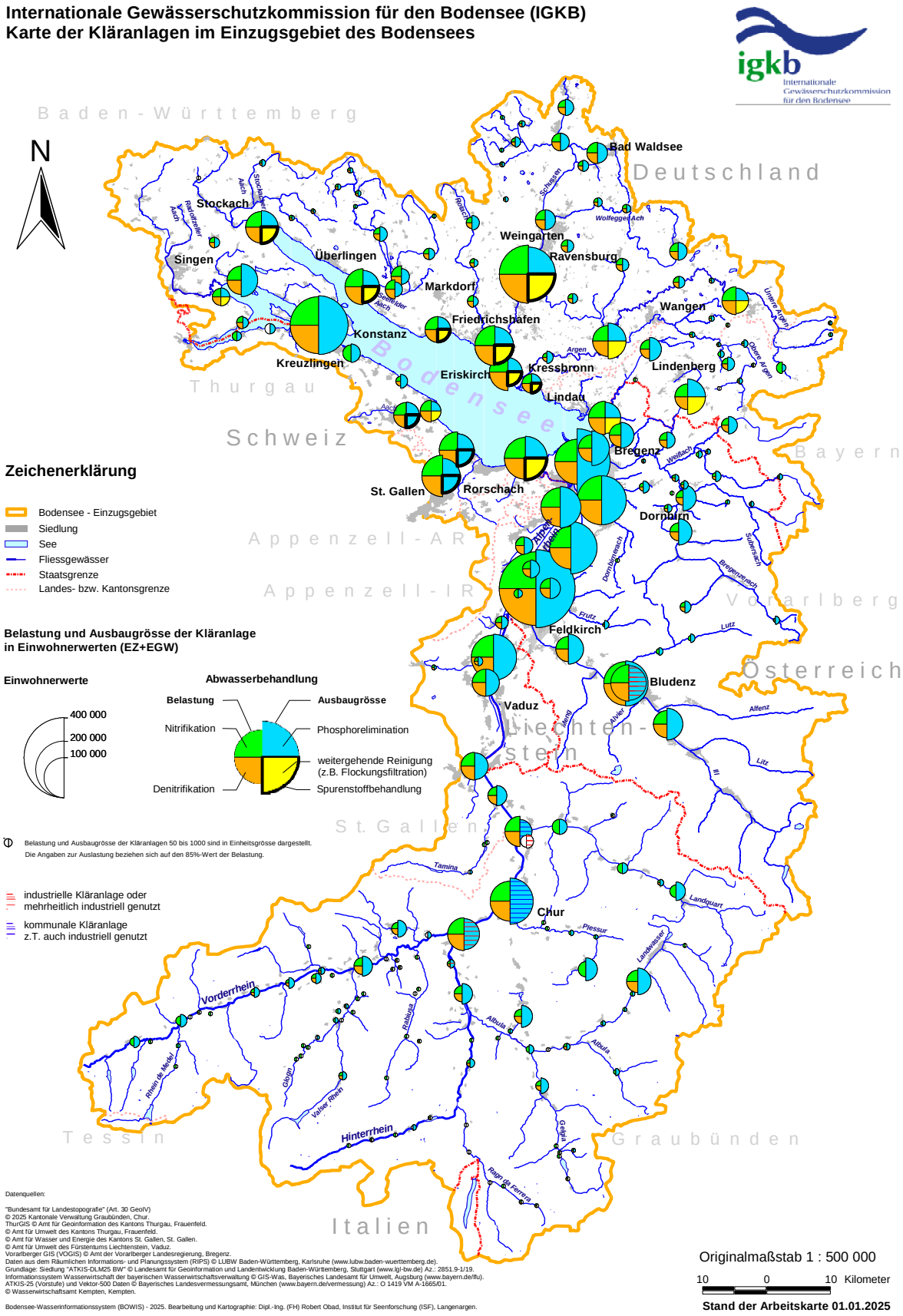
Der Fachbereich hat das bestehende Konzept aktualisiert. Neu wird auf die Betrachtungen des Seekörpers verzichtet. Zudem kommt neu ein Excel-Tool zur Anwendung, welches eine Unterteilung in die verschiedenen Flusseinzugsgebiete vorsieht und ermöglicht, dass künftige Anpassungen (beispielsweise durch die EU-Kommunalabwasserrichtlinie, KARL) einfach und ohne Hinzuziehung eines externen Experten durch den Fachbereich selbst vorgenommen werden können.

Nach erfolgter Angebotseinholung wurden die Arbeiten an der März-Sitzung des Sachverständigenkreises im freihändigen Verfahren und im Rahmen des in der Kostenliste erfassten Betrages vergeben. Die Bearbeitung wurde im April 2026 begonnen.

Austausch zur Belastung kleiner Fliessgewässer

Der Fachbereich Einzugsgebiet organisierte im April 2026 einen erneuten fachlichen Austausch über ein mögliches gemeinsames Vorgehen für die Beurteilung der Belastung der kleinen Fliessgewässer im Einzugsgebiet des Bodensees (Auftrag 70. Kommissionstagung).

Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet



Datenquellen:
"Bundesamt für Landestopografie" (Art. 30 GeoIV)
© 2025 Kantonale Verwaltung Graubünden, Chur.
ThurGIS © Amt für Geoinformation des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
© Amt für Wasser und Energie des Kantons St. Gallen, St. Gallen.
© Amt für Umwelt des Fürstentums Liechtenstein, Vaduz.
Vorarlberger GIS (VOGIS) © Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz.
Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) © LUBW Baden-Württemberg, Karlsruhe (www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
Grundlage: Siedlung "ATKIS-DLM25 BW" © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg, Stuttgart (www.lgl-bw.de) Az.: 2851.9-1/19.
Informationssystem Wasserwirtschaft der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung © GIS-Was, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg (www.bayern.de/lfu).
ATKIS-25 (Vorstufe) und Vektor-500 Daten © Bayerisches Landesvermessungsamt, München (www.bayern.de/vermessung) Az.: O 1419 VM A-1665/01.
© Wasserwirtschaftsamt Kempten, Kempten.
Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) - 2025. Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Ing. (FH) Robert Obad, Institut für Seenforschung (ISF), Langenargen.

Abb. 7: Kläranlagenkarte: Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees 2024.

Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet

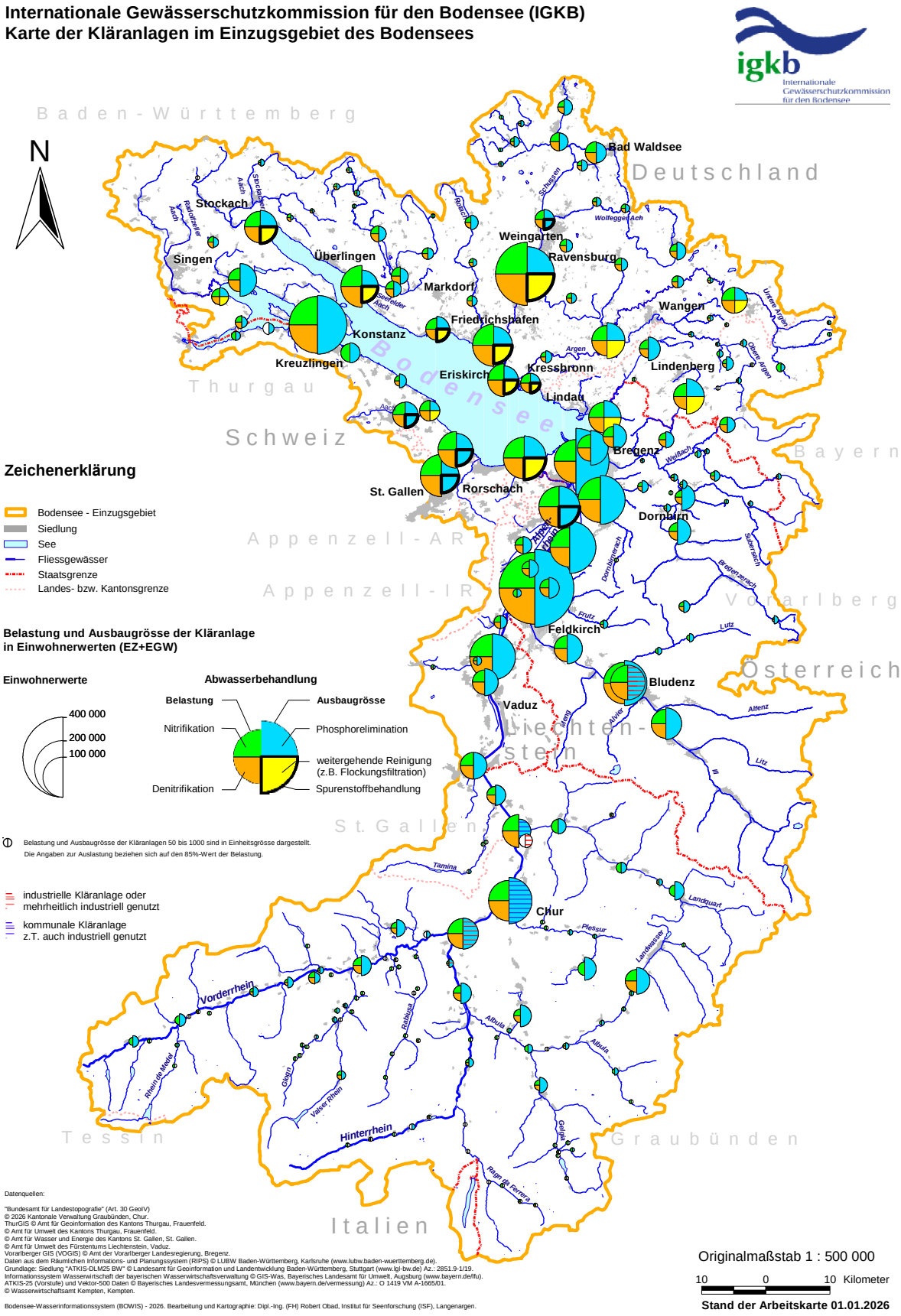
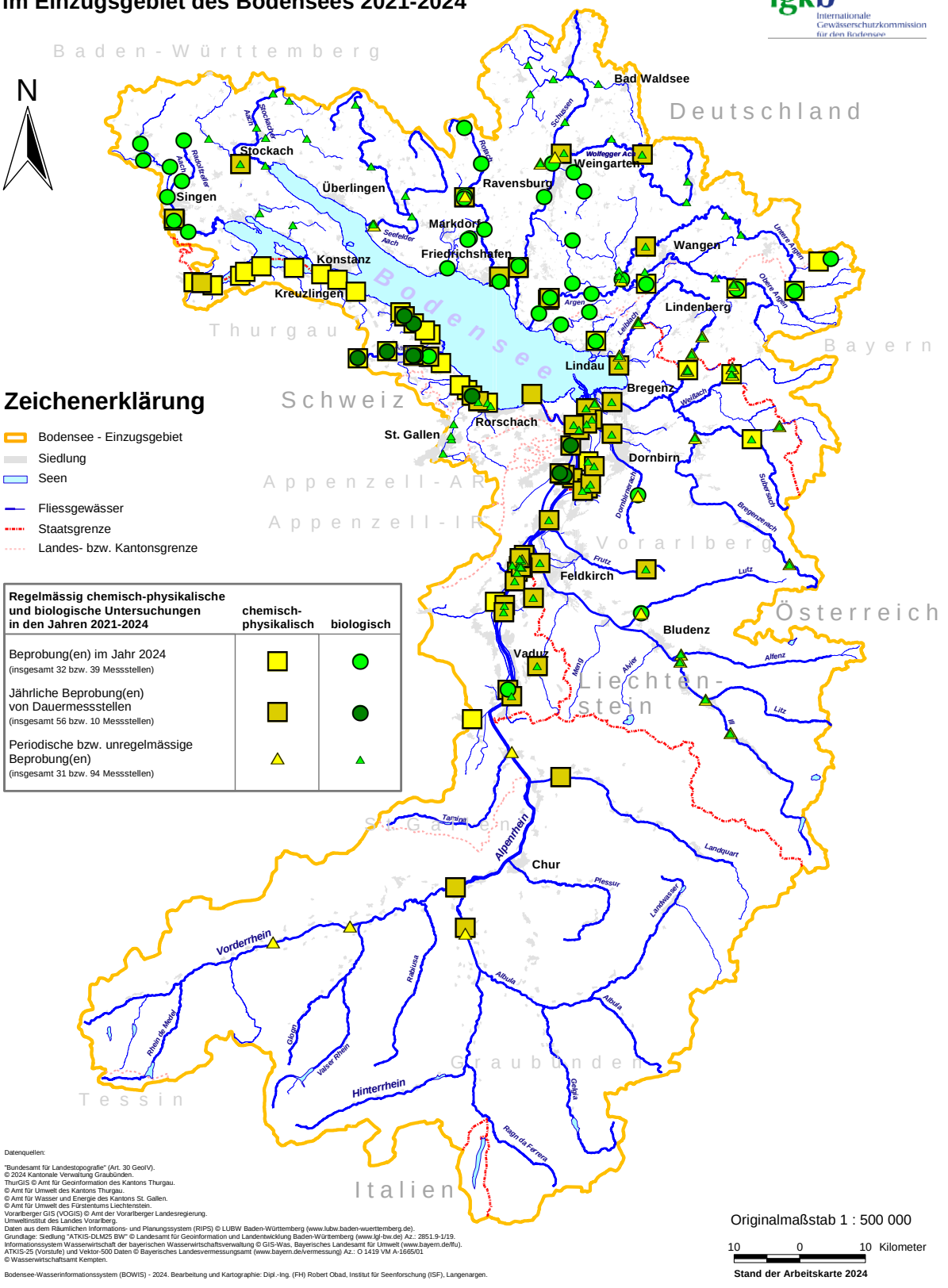


Abb. 8: Kläranlagenkarte: Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees 2025.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2021-2024

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)
Chemisch-physikalische und biologische Messstellen
im Einzugsgebiet des Bodensees 2021-2024



Datenquellen:

"Bundesamt für Landestopografie" (Art. 30 GeoIV).
© 2024 Kantonale Verwaltung Graubünden.
ThurGIS © Amt für Geoinformation des Kantons Thurgau.
© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau.
© Amt für Wasser und Energie des Kantons St. Gallen.
© Amt für Umwelt des Fürstentums Liechtenstein.
Vorarlberger GIS (VOGIS) © Amt der Vorarlberger Landesregierung.
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg.
Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) © LUBW Baden-Württemberg (www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
Grundlage: Siedlung "ATKIS-DLM25 BW" © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de) Az.: 2851.9-1/19.
Informationssystem Wasserwirtschaft der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung © GIS-Was, Bayerisches Landesamt für Umwelt (www.bayern.de/lfu).
ATKIS-25 (Vorstufe) und Vektor-500 Daten © Bayerisches Landesvermessungsamt (www.bayern.de/vermessung) Az.: O 1419 VM A-1665/01
© Wasserwirtschaftsamt Kempten.

Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) - 2024. Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Ing. (FH) Robert Obad, Institut für Seenforschung (ISF), Langenargen.

Abb. 9: Karte mit den wichtigen Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2021-2024.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2024

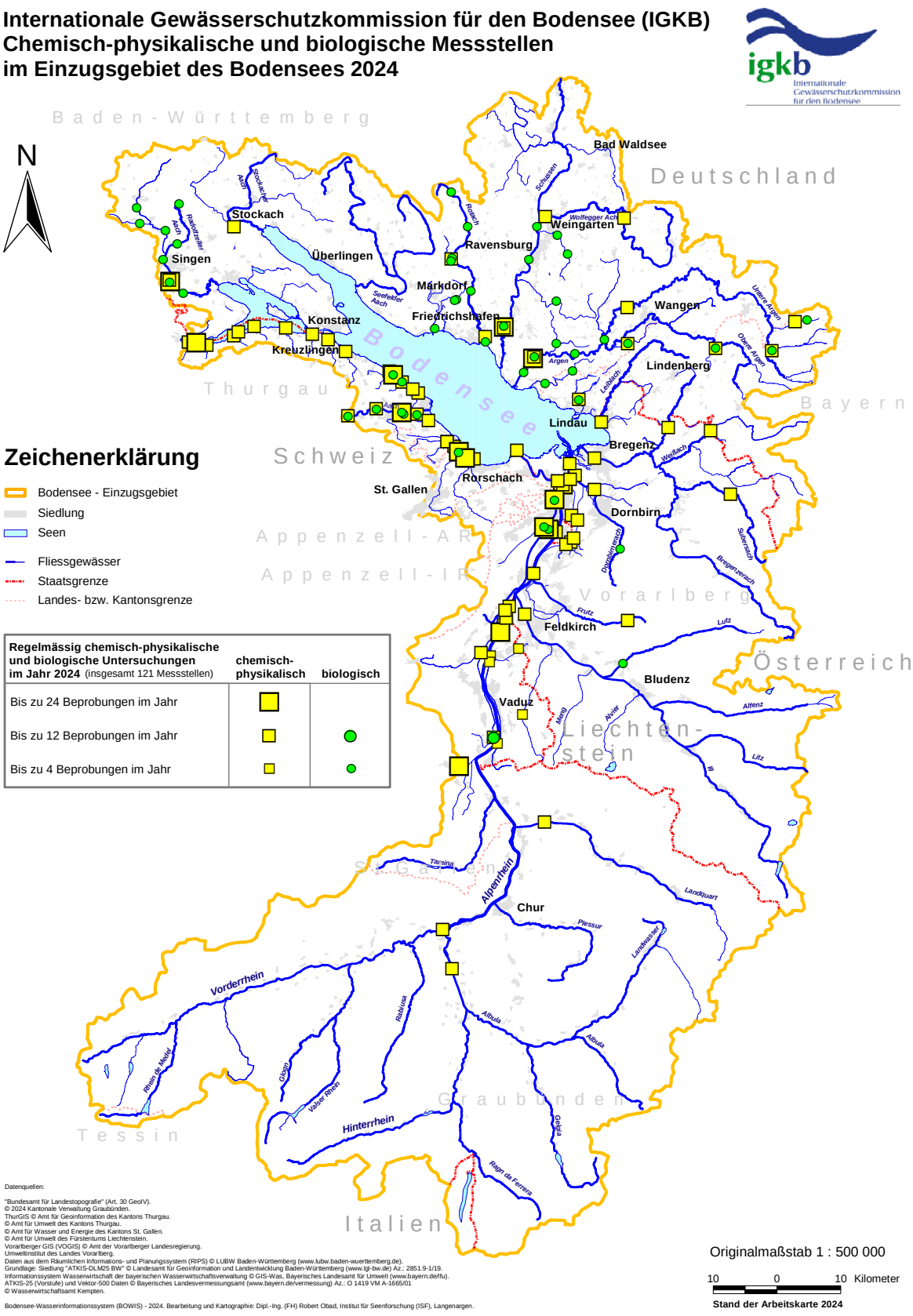


Abb. 10: Karte der Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees, Untersuchungshäufigkeiten im Jahr 2024.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2022-2025

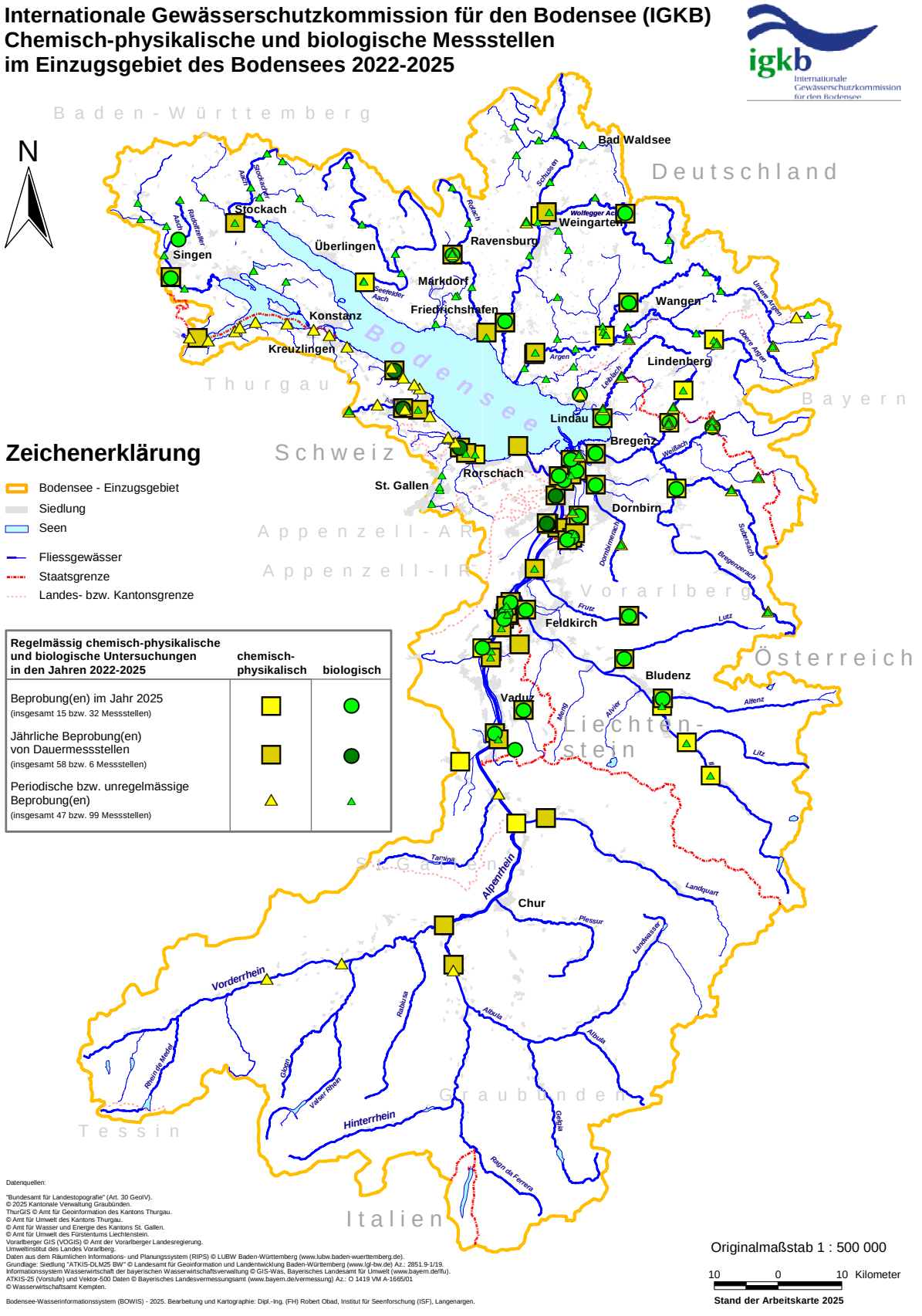


Abb.11: Karte mit den wichtigen Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2022-2025.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2025

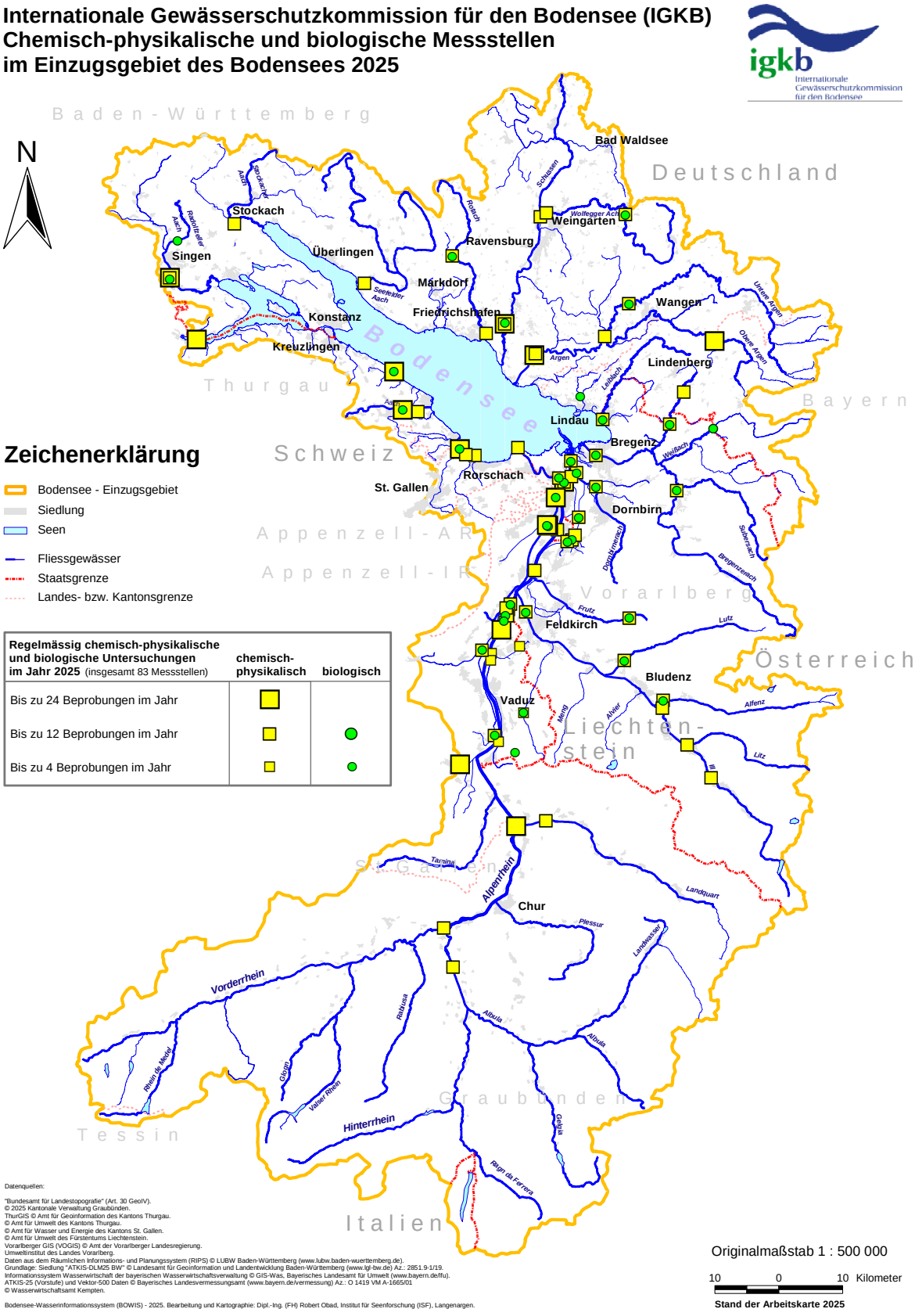


Abb. 12: Karte der Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees, Untersuchungshäufigkeiten im Jahr 2025.

Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2024

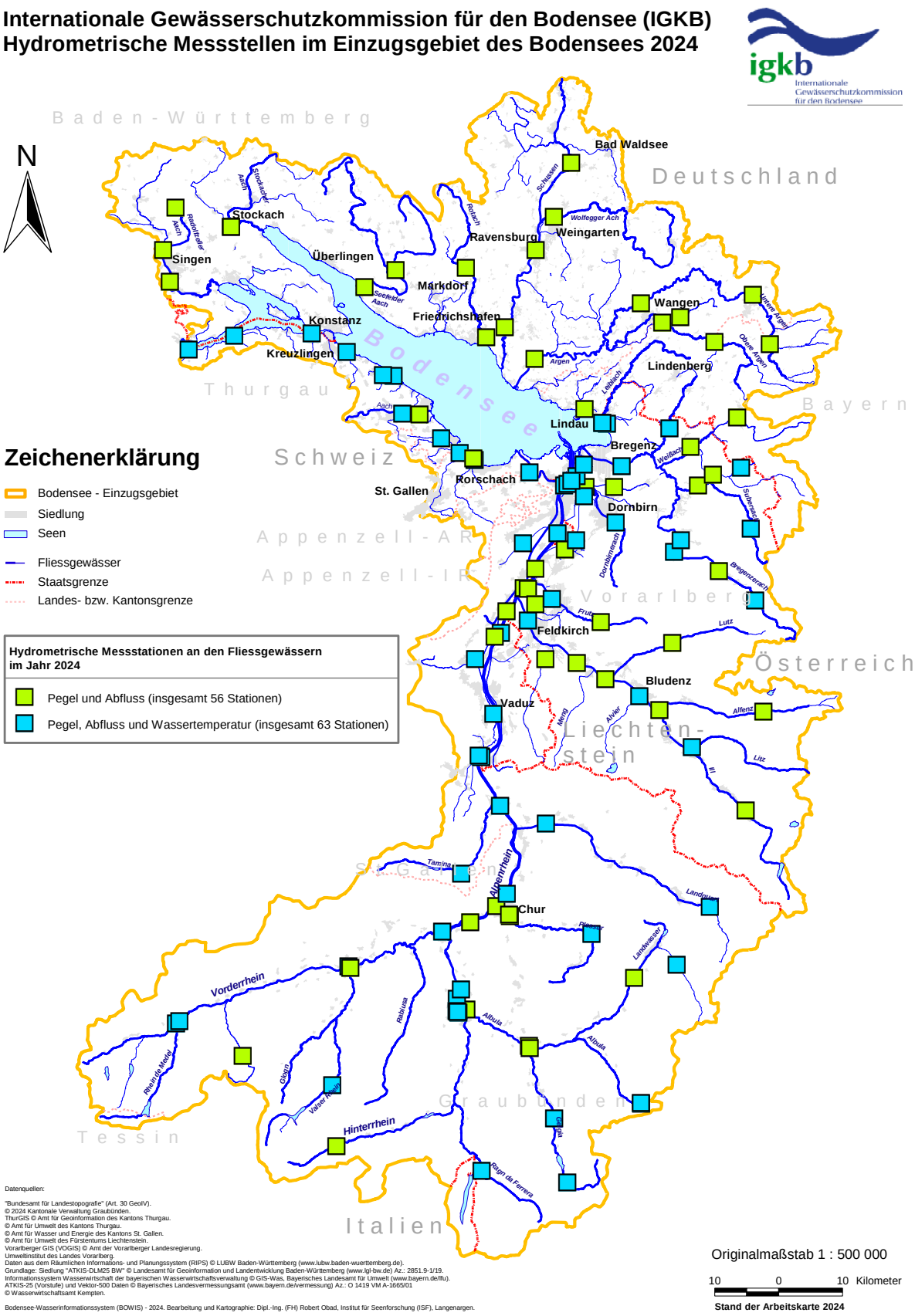
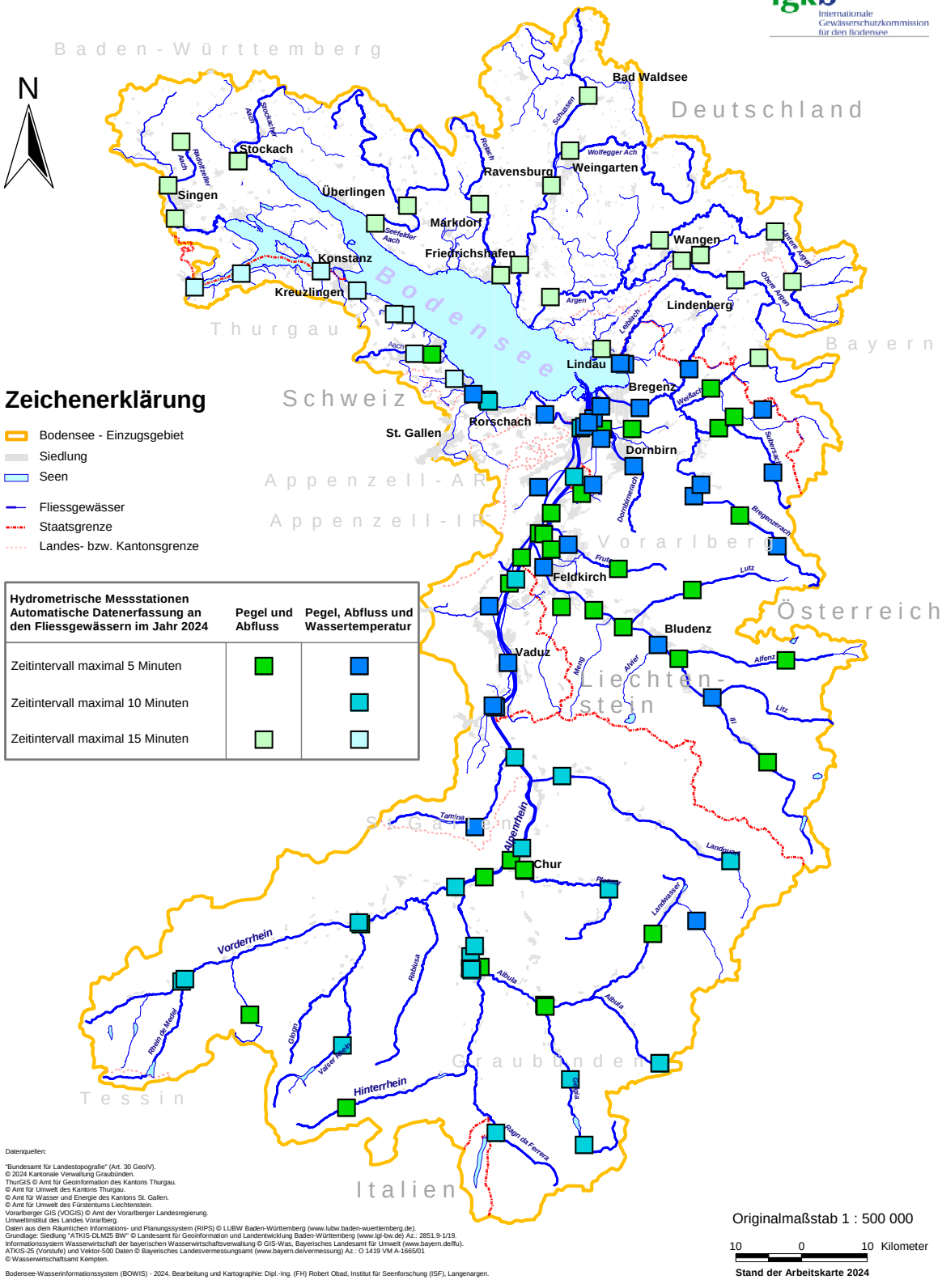


Abb. 13: Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees im Jahr 2024.

Karte hydrometrische Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2024

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)
Hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2024



Hydrometrische Messstationen Automatische Datenerfassung an den Fliessgewässern im Jahr 2024	Pegel und Abfluss	Pegel, Abfluss und Wassertemperatur
Zeitintervall maximal 5 Minuten	■	■
Zeitintervall maximal 10 Minuten		■
Zeitintervall maximal 15 Minuten	■	■

Datenquellen:

"Bundesamt für Landestopografie" (Art. 30 GeoIV).
© 2024 Kantonale Verwaltung Graubünden.
ThurGIS © Amt für Geoinformation des Kantons Thurgau.
© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau.
© Amt für Wasser und Energie des Kantons St. Gallen.
© Amt für Umwelt des Fürstentums Liechtenstein.
Vorarlberger GIS (VOGIS) © Amt der Vorarlberger Landesregierung.
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg.
Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) © LUBW Baden-Württemberg (www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
Grundlage: Siedlung "ATKIS-DLM25 BW" © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de) Az.: 2851.9-1/19.
Informationssystem Wasserwirtschaft der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung © GIS-Was, Bayerisches Landesamt für Umwelt (www.bayern.de/lfu).
ATKIS-25 (Vorstufe) und Vektor-500 Daten © Bayerisches Landesvermessungsamt (www.bayern.de\vermessung) Az.: O 1419 VM A-1665/01
© Wasserwirtschaftsamt Kempten.

Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) - 2024. Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Ing. (FH) Robert Obad, Institut für Seenforschung (ISF), Langenargen.

Abb. 14: Karte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees. Untersuchungshäufigkeiten mit Angaben von Zeitintervallen im Jahr 2024.

Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2025

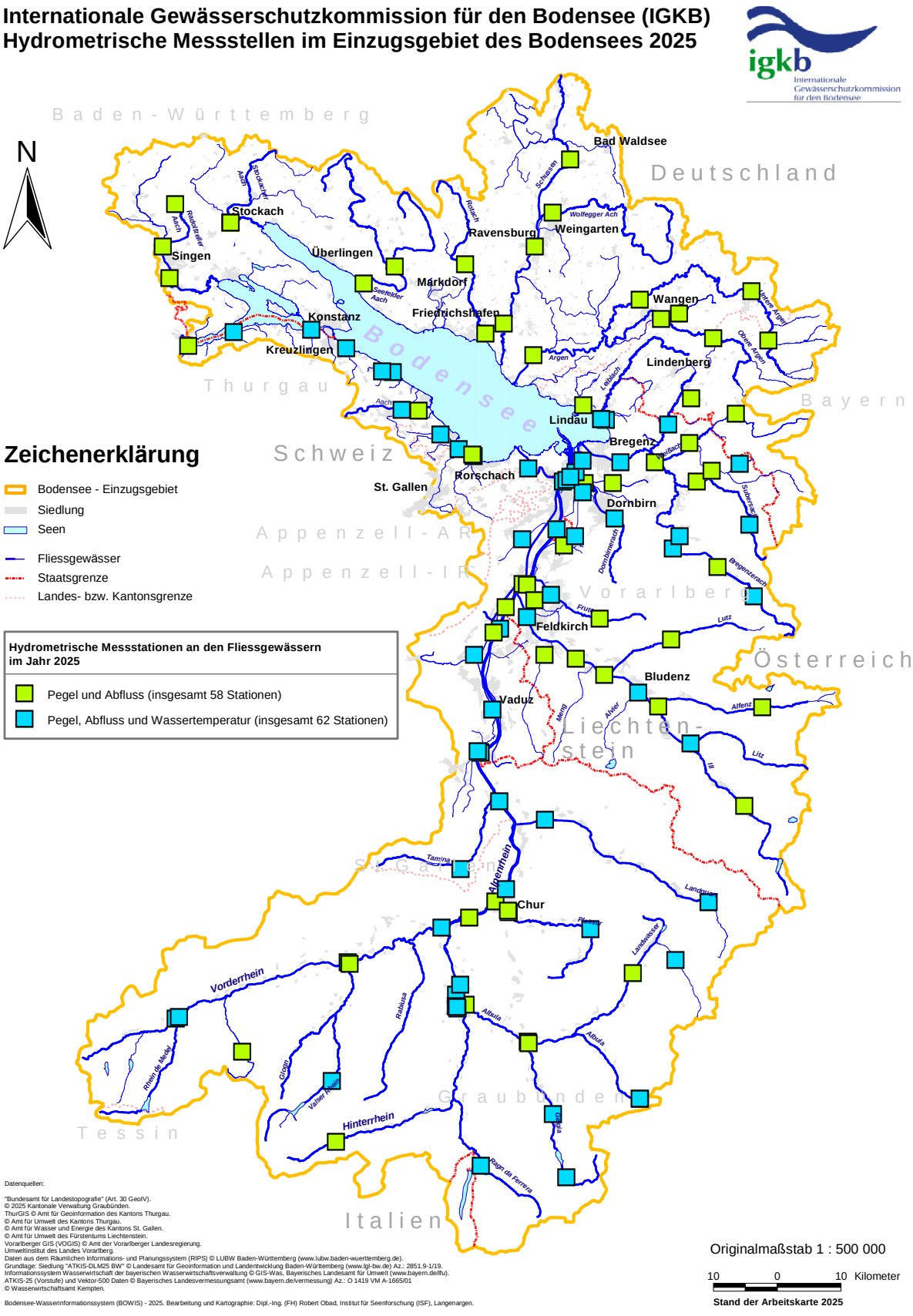
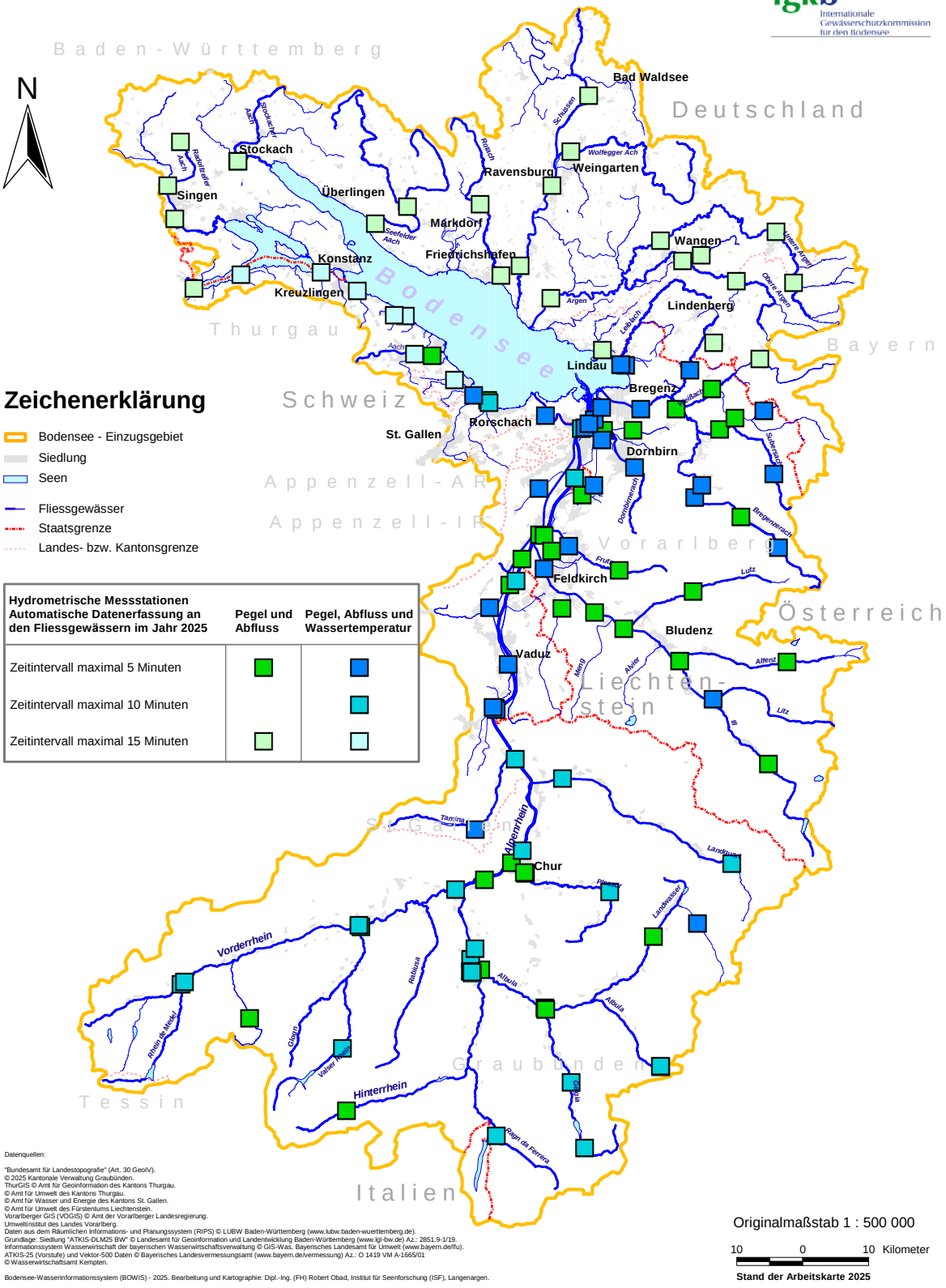


Abb. 15: Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees im Jahr 2025.

Karte der hydrometrischen Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2025

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)
Hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2025



Datenquellen:

"Bundesamt für Landestopografie" (Art. 30 GeoIV).
© 2025 Kantonale Verwaltung Graubünden.
ThurGIS © Amt für Geoinformation des Kantons Thurgau.
© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau.
© Amt für Wasser und Energie des Kantons St. Gallen.
© Amt für Umwelt des Fürstentums Liechtenstein.
Vorarlberger GIS (VOGIS) © Amt der Vorarlberger Landesregierung.
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg.
Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) © LUBW Baden-Württemberg (www.lubw.baden-wuerttemberg.de).
Grundlage: Siedlung "ATKIS-DLM25 BW" © Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (www.lgl-bw.de) Az.: 2851.9-1/19.
Informationssystem Wasserwirtschaft der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung © GIS-Was, Bayerisches Landesamt für Umwelt (www.bayern.de/lfu).
ATKIS-25 (Vorstufe) und Vektor-500 Daten © Bayerisches Landesvermessungsamt (www.bayern.de/vermessung) Az.: O 1419 VM A-1665/01
© Wasserwirtschaftsamt Kempten.

Bodensee-Wasserinformationssystem (BOWIS) - 2025. Bearbeitung und Kartographie: Dipl.-Ing. (FH) Robert Obad, Institut für Seenforschung (ISF), Langenargen.

Abb. 16: Karte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees. Untersuchungshäufigkeiten mit Angaben von Zeitintervallen im Jahr 2025.

Auskünfte

Baden-Württemberg:	Institut für Seenforschung (ISF) der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Argenweg 50/1 D-88085 Langenargen
Bayern:	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) Bürgermeister-Ulrich-Straße 160 D-86179 Augsburg Wasserwirtschaftsamt Kempten Rottachstr. 15 D-87439 Kempten
Österreich:	Amt der Vorarlberger Landesregierung Römerstraße 14 A-6901 Bregenz
Schweiz:	Bundesamt für Umwelt (BAFU) CH-3003 Bern

Dieser Bericht steht als PDF-Datei unter http://www.igkb.org zur Verfügung.