Bericht Nr. 45



Limnologischer Zustand des Bodensees

A - Aktueller Teil

B - Jahresbericht 2022/2023

Untersuchungsprogramm Freiwasser

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet



Herausgeber: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)

Titelbild: Zooplankton Daphnia cucullata, männlich • Institut für Seenforschung der Landes-

anstalt 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.

Internet: http://www.igkb.org

© IGKB 2024

ISSN 1011-1271

Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 45 (2022-2023)

Bericht Nr. 45

Limnologischer Zustand des Bodensees

A - Aktueller Teil

B - Jahresbericht 2022/2023

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:

M.Sc. Pauline App, Konstanz

Dipl. nat. ETH Heinz Ehmann, Frauenfeld

Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen

Dr. Karoline Härtl-Brandl, Langenargen

Dipl.-Ing. Gerhard Hutter, Bregenz

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

Dr. Petra Nowak, Langenargen

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

Dr. Petra Teiber-Sießegger, Langenargen

Dr. Piet Spaak, Dübendorf

Dipl.-Ing. Manuel Tille, Frauenfeld

Dr. Thomas Wolf, Langenargen

INHALTSVERZEICHNIS

A – AKTUELLER TEIL	9
Bodenseeuferbewertung – Stand der Renaturierungen	10
Neozoenergebnisse aus dem SeeWandel Projekt und dem Neozoenmonitoring	15
Stichlinge und ihre Bedeutung für die Felchen im Bodensee	15
Die Quaggamuscheldichten im Bodensee werden in den kommenden Jahrzehnten höchstwahrscheinlich massiv zunehmen	
Was steht vor der Tür? Mittelfristig erwartete Verschleppung und Ausbreitung von wirbell Neozoen	
Der weitere Rückgang der Felchenfänge der Fischerei	20
B - JAHRESBERICHT	22
Einleitung	23
Zustandsbeschreibung 2022	24
Bodensee-Obersee	24
Bodensee-Untersee	34
Fazit und Handlungsbedarf	37
Zustandsbeschreibung 2023	
Bodensee-Obersee	
Bodensee-Untersee	50
Fazit und Handlungsbedarf	54
Untersuchungsprogramm Freiwasser	55
Meteorologie	57
Hydrologie	60
Windverteilung	62
Wassertemperaturen an der Oberfläche und über Grund	64
Wärmeinhalt	65
Wassertemperatur	67
Langzeitentwicklung von Sauerstoff, Gesamtphosphor, Ammonium und Nitrat	72
Sauerstoff	73
Gesamtphosphor	75
Orthophosphat	77
Nitrat	79
Ammonium	80
Silikat	81
Chlorid	82
Mangan	
Eisen	
Phytoplankton	
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil)	

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Überlingersee)	88
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Zellersee)	90
Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Rheinsee)	91
Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m	
Leitpigmente 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Bregenzer Bucht) in 0-20 m	94
Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Überlingersee) in 0-20 m	95
Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m	
Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m	98
Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m	100
Hauptarten Phytoplankton in 2022 Bodensee-Obersee (Überlingersee) in 0-20 m	102
Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m	103
Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m	104
Pigmente	105
Langzeitentwicklung Chlorophyll a	105
Zooplankton	107
Langzeitentwicklung Crustaceen	108
Saisonale Entwicklung des Zooplanktons	110
Bakterien	117
ntersuchungsprogramm Finzugsgehiet	118
·	
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2022	
Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2020-2023	139
·	
Karte der hydrometrischen Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2023	
	Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Zellersee) Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Rheinsee) Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m Leitpigmente 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Bregenzer Bucht) in 0-20 m. Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Überlingersee) in 0-20 m. Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m. Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m. Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m. Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Obersee (Überlingersee) in 0-20 m. Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m. Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m. Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m. Pigmente. Langzeitentwicklung Chlorophyll a. Zooplankton Langzeitentwicklung Crustaceen Saisonale Entwicklung Grustaceen Saisonale Entwicklung des Zooplanktons Bakterien. **Netersuchungsprogramm Einzugsgebiet** 1. Abwasserbeseitigung 2021/2022 2. Übersichtskarten 2022 3. Spezielle Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet 4. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee. 5. Organische Spurenstoffe Bodensee und Zuflüsse 6. Abwasserbeseitigung 2022/2023 7. Übersichtskarten 2023 8. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee. 9. Weitere Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet 2022 Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet 2022 Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2020-2023 Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2022 Kareh hydrometrische Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2022 Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2023 Übersichtskarte hydrometrische Messstelle

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 2: UMGESETZTE PROJEKTE MIT LÄNGENAUSDEHNUNG.

ABB. 3: AUFLISTUNG DURCHGEFÜHRTER RENATURIERUNGEN SEIT 2017.

ABB. 4: BEISPIEL EINES UFERABSCHNITTES AN DER PIPELINE BREGENZ VOR UND NACH

A – AKTUELLER TEIL ABB. 1: GOOGLE EARTH-BILDAUSSCHNITT MIT EINER DURCHGEFÜHRTEN RENATURIERUNG IM BEREICH ERISKIRCHER STRANDBAD.

10

11

12

ABB.	4:	LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER GESAMTPHOSPHORKONZENTRATIONEN (OBEN), DER ZIRKULATION (MITTE) UND DER MINIMALEN SAUERSTOFFKONZENTRATIONEN ÜBER GRUND (UNTEN) IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL).	44
ABB.	5:	GESAMTPHOSPHORVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2014 BIS 2023.	45
ABB.		SAUERSTOFFVERTEILUNG IN SEEMITTE (FISCHBACH-UTTWIL) VON 2014 BIS 2023.	45
ABB.	7:	LANGFRISTIGE ENTWICKLUNG DER STICKSTOFF- UND CHLORIDKONZENTRATIONEN IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL).	46
ABB.	8:	VELIGERLARVEN IM ZOOPLANKTONFANG - MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL (0-100 M).	48
Unt	er	suchungsprogramm Freiwasser	
ABB.	1:	ÜBERSICHTSKARTE DER IGKB-MESSSTELLEN IM BODENSEE (2022-2023).	56
ABB.	2:	METEOROLOGISCHE GRÖßEN MIT BEREICHEN ZWISCHEN MAXIMA UND MINIMA LANGJÄHRIGER TAGESMITTEL.	57
ABB.	3:	HYDROLOGISCHE GRÖßEN; WASSERSTAND PEGEL KONSTANZ UND ABFLUSS ALPENRHEIN PEGEL LUSTENAU.	60
ABB.	4:	HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DES WINDES FÜR DIE JAHRE 2022 UND 2023.	63
ABB.	5:	LANGZEITLICHE WASSERTEMPERATURENTWICKLUNG AN DER OBERFLÄCHE UND ÜBER GRUND FÜR DIE SEETEILE OBERSEE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), ZELLERSEE UND RHEINSEE.	64
ABB.	6:	WÄRMEINHALT IN DEN SEETEILEN OBERSEE, ZELLERSEE UND RHEINSEE.	65
ABB.	7:	WASSERTEMPERATURVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT (OBERSEE), IN SEEMITTE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE (UNTERSEE) UND RHEINSEE (UNTERSEE).	67
ABB.	8:	WASSERTEMPERATURVERTEILUNG IN DEN JAHREN 2022/2023 IN DER BREGENZER BUCHT (OBERSEE), IN SEEMITTE (MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL), IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE (UNTERSEE) UND RHEINSEE (UNTERSEE).	68
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.	72
ABB.	10:	SAUERSTOFFVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	73
ABB.	11:	GESAMTPHOSPHORVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	75
ABB.	12:	ORTHOPHOSPHATVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	77
ABB.	13:	NITRAT-N-VERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ÜBERLINGERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	79
ABB.	14:	AMMONIUM-N-VERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	80
ABB.	15:	SILIKATVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, IM ZELLERSEE UND IM RHEINSEE.	81
ABB.	16:	CHLORIDVERTEILUNG IN DER BREGENZER BUCHT, IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE, SOWIE IM ZELLERSEE UND RHEINSEE IM UNTERSEE.	82
ABB.	17:	MANGANVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE UND IM ZELLERSEE.	83
ABB.	18:	EISENVERTEILUNG IN SEEMITTE (FU) IM OBERSEE UND IM ZELLERSEE.	84
ABB.	19:	ASTERIONELLA FORMOSA.	85
ABB.	20:	STEPHANODISCUS NEOASTRAEA.	85
ABB.	21:	GYMNODINIUM UBERRIMUM.	85
ABB.	22:	CYCLOTELLA HINZIAE.	85
ABB.	23:	SPHAEROCYSTIS.	85
ABB.	24:	FRAGILARIA CROTONENSIS.	85
ABB.	25:	PSEUDANABAENA LIMNETICA.	85

ABB. 26:	RHODOMONAS LENS.	85
ABB. 27	: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL, 1961-2023).	86
ABB. 28	: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE (ÜBERLINGERSEE, 1977-2023)	88
ABB. 29	: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE (ZELLERSEE, 1976-2023).	90
ABB. 30	: LANGZEITENTWICKLUNG DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE (RHEINSEE, 1976-2023).	91
ABB. 31	ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE 2022/2023 (FISCHBACH-UTTWIL).	92
ABB. 32	ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-OBERSEE 2022/2023 IN 0-20 M (FISCHBACH-UTTWIL).	92
ABB. 33	ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-OBERSEE 2022/2023 (BREGENZER BUCHT).	94
ABB. 34	: ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-OBERSEE 2022 (ÜBERLINGERSEE).	95
ABB. 35	ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE 2022/2023 (ZELLERSEE).	96
ABB. 36	: ENTWICKLUNGEN DER LEITPIGMENTE IM BODENSEE-UNTERSEE 2022/2023 (ZELLERSEE).	. 96
ABB. 37	ENTWICKLUNGEN DES PHYTOPLANKTONS IM BODENSEE-UNTERSEE 2022/2023 (RHEINSEE).	98
ABB. 38	BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-OBERSEE (FISCHBACH-UTTWIL).	100
ABB. 39	: BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-OBERSEE (ÜBERLINGERSEE).	102
ABB. 40	: BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-UNTERSEE (ZELLERSEE).	103
ABB. 41	BIOMASSEANTEILE DER HAUPTARTEN IM BODENSEE-UNTERSEE (RHEINSEE).	104
ABB. 42	: LANGFRISTIGE CHLOROPHYLL A ENTWICKLUNG IN 0-20 M.	105
ABB. 43	: DAPHNIA CUCULLATA MÄNNLICH.	107
ABB. 44	THERMOCYCLOPS OITHONOIDES OBEN, MESOCYCLOPS LEUCKARTI UNTEN	107
ABB. 45	CYCLOPS ABYSSORUM WEIBLICH.	107
ABB. 47	: COLLOTHECA.	107
ABB. 46	CONOCHILLUS.	107
ABB. 48	EUDIAPTOMUS GRACILIS MÄNNLICH.	107
ABB. 49	: LANGZEITENTWICKLUNG DER CRUSTACEEN IN SEEMITTE IN 0-100 M (FISCHBACH- UTTWIL).	108
ABB. 50	: LANGJÄHRIGE ZUSAMMENSETZUNG DER DAPHNIENABUNDANZ AN DER MESSSTELLE FISCHBACH-UTTWIL (FU).	108
ABB. 51	SAISONALE ENTWICKLUNG DES ZOOPLANKTONS 2022/2023. FISCHBACH-UTTWIL 0-100 M (OBEN), ZELLERSEE 0-20 M (MITTE), RHEINSEE 0-30 M (UNTEN).	110
ABB. 52	BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL (2022/2023) BEZOGEN AUF 20 M WASSERSÄULE.	113
ABB. 53	BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION ZELLERSEE (2022/2023) IM UNTERSEE BEZOGEN AUF 20 M WASSERSÄULE	115
ABB. 54	BIOMASSEN DES ZOOPLANKTONS (TROCKENMASSE) AN DER STATION RHEINSEE IN DEN JAHREN 2022 UND 2023 BEZOGEN AUF 30 M WASSERSÄULE.	116
ABB. 55	: ZELLDICHTEN DES BAKTERIENPLANKTONS, ENTWICKLUNG IN SEEMITTE (STATION FISCHBACH-UTTWIL).	117

Unter	suchungsprogramm Einzugsgebiet	
ABB. 1:	ENTWICKLUNG DER ABWASSERREINIGUNG: ANSCHLUSSGRAD AN ZENTRALE ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN (ARA), ORDNUNGSGEMÄSSE DEZENTRALE ENTSORGUNG UND TOTALE ORDNUNGSGEMÄSSE ABWASSERENTSORGUNG.	120
ABB. 2:	ENTWICKLUNG DER ABWASSERMENGEN, DER SCHMUTZSTOFF- (CSB) UND DER NÄHRSTOFFRESTFRACHTEN IM ABLAUF ALLER ARA IM BODENSEE-EINZUGSGEBIET.	121
ABB. 3:	PROZENTUALER VERLAUF DER ABWASSERMENGEN, DER SCHMUTZSTOFF- (CSB) UND DER NÄHRSTOFFRESTFRACHTEN ALLER ARA IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES BEZOGEN AUF DAS JAHR 2001 BZW. FÜR STICKSTOFF DAS JAHR 2002.	122
ABB. 4:	ENTWICKLUNG DER P _{FILTRIERT} -FRACHTEN IN DEN BODENSEE VON ALPENRHEIN, BREGENZERACH, SCHUSSEN UND ARGEN VON 1995 BIS 2016.	128
ABB. 5:	VERGLEICH VON ABFLUSSMENGEN UND PO ₄ -P-FRACHTEN DES ALPENRHEINS IM JAHR 1999 BEI DER NADUF-MESSSTELLE DIEPOLDSAU.	128
ABB. 6:	KLÄRANLAGENKARTE: STAND DER REINHALTUNGSMASSNAHMEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2022.	135
ABB. 7:	KLÄRANLAGENKARTE: STAND DER REINHALTUNGSMASSNAHMEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2023.	136
ABB. 8:	KARTE MIT DEN WICHTIGEN FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2019-2022.	137
ABB. 9:	KARTE DER FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES, UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN IM JAHR 2022.	138
ABB.10:	KARTE MIT DEN WICHTIGEN FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES 2020-2023.	139
ABB. 11:	KARTE DER FLIESSGEWÄSSER-MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES, UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN IM JAHR 2023.	140
ABB. 12:	ÜBERSICHTSKARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES IM JAHR 2022.	141
ABB. 13:	KARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES. UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN MIT ANGABEN VON ZEITINTERVALLEN IM JAHR 2022.	142
ABB. 14:	ÜBERSICHTSKARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES IM JAHR 2023.	143
ABB. 15:	KARTE HYDROMETRISCHE MESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES BODENSEES. UNTERSUCHUNGSHÄUFIGKEITEN MIT ANGABEN VON ZEITINTERVALLEN IM JAHR 2023.	144
Tabel	lenverzeichnis	
_		
	AHRESBERICHT	
Zusta	indsbeschreibung 2022	
TAB. 1:	KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL.	33
TAB. 2:	KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DEN UNTERSEESTATIONEN ZELLERSEE, GNADENSEE, RHEINSEE.	36
Zusta	ndsbeschreibung 2023	
TAB. 1:	KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DER STATION FISCHBACH-UTTWIL.	49
TAB. 2:	KENNZAHLEN AUSGEWÄHLTER BIOLOGISCHER MERKMALE AN DEN UNTERSEESTATIONEN ZELLERSEE, GNADENSEE, RHEINSEE.	53

A – Aktueller Teil

Bodenseeuferbewertung – Stand der Renaturierungen

Mit Stand 2006 lag die erste gesamthafte IGKB-Uferbewertung für den Bodensee vor. Die Bewertung und Darstellung erfolgt nach einheitlichen Vorgaben (Flyer IGKB Bodensee-Uferbewertung und IGKB Blauer Bericht Nr. 55, 2009).

In weiterer Folge wurde über die Arbeitsgruppe "Bewertung der Ufer und Flachwasserzone" das Renaturierungspotenzial für den Bodensee erhoben, ein Renaturierungsleitfaden (IGKB Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer, 2009) erstellt und die Visualisierung auf eine Google-Earth-Darstellung umgestellt (Abb. 1). Die relevanten Informationen zur Uferbewertung mit den Renaturierungspotentialen wurden eingearbeitet und in eine kmz-Datei umgesetzt. Diese ist auf der IGKB-Homepage als Download verfügbar (https://www.igkb.org/daten-karten/uferbewertung-und-renaturierung) und mit der frei zugänglichen und kostenfreien Software Google Earth verwendbar. Mit dieser Visualisierungslösung kann der Gesamtzustand der Bodensee-Uferbewertung seeweit bzw. interaktiv angezeigt werden. Die Darstellung steht auch auf der WebApp der IGKB zur Verfügung (https://m.igkb.org/#!/ufer.html).



Abb. 1: Google Earth-Bildausschnitt mit einer durchgeführten Renaturierung im Bereich Eriskircher Strandbad (hellgrau). Die Gesamtbewertung (breites Band) und das Renaturierungspotenzial (schmales Band) sind farblich dargestellt. Nicht immer kann bei einer Renaturierung aufgrund von Nutzungen oder anderen Randbedingungen das Renaturierungspotenzial vollständig ausgeschöpft werden.

Die Veranlassung von Maßnahmen und weitere Umsetzung liegen im Verantwortungund Zuständigkeitsbereich der Länder, Kantone und Gemeinden. Der AG Renaturierungspotential (Nachfolger der AG Bewertung der Ufer und Flachwasserzone) als Unterarbeitsgruppe des IGKB Fachbereichs See obliegt das Sammeln, Neubewerten und Darstellen der geplanten und umgesetzten Maßnahmen (Arbeitsliste Stand 26.02.2024).

Neben dem Fachaustausch wird in den jährlichen Arbeitstreffen die Arbeitsliste auf Stand gehalten und Neuerungen diskutiert. Zuletzt wurden die Begrifflichkeiten für interne Arbeitskarten vereinheitlicht.

Die letzte Evaluierung der Maßnahmen, die zwischen 2011 bis 2017 durchgeführt wurden, fand 2018 statt (IGKB Grüner Bericht Nr. 42, 2018). Seit der letzten Aktualisierung fanden in vier Gemeinden Umsetzungsmaßnahmen durch öffentliche Auftraggeber (Länder und Kantone) zur Aufwertung des Uferzustandes statt, welche im Jahr 2023 neu bewertet wurden (vgl. Abb.2). Insgesamt wurden an 51 50m-Abschnitten Baumaßnahmen vorgenommen. Seit 2017 wurden demnach mehr als 2400 m Uferlänge verändert und ökologisch aufgewertet.

abgeschlossene Renaturierungen/ökologische Verbesserungen (öffentliche Auftraggeber)								
						Länge (m)		
Gemeinde	Kreis	Land/Kanton	Staat	Seeteil	ID von - bis	ID-50m-Abschnitte	effektive Maßnahme	Bemerkungen
Überlingen	Bodenseekreis	Baden-	D	Überlinger See	2096-2112	17	I 760	Kooperative Maßnahme der Stadt und des Landes im
		Württemberg						Rahmen der Landesgartenschau 2020
Bregenz	-	Vorarlberg	Α	Obersee	3532-3541	10	515	Renaturierung Pipeline BA 02/2 - Melanie bis
								RhombergHaus/Steilufer
Bregenz	-	Vorarlberg	Α	Obersee	3515-3531	17	850	Renaturierung Pipeline BA 02/2 . Rhomberghaus bis
								Lochau
Rorschacherberg	-	Kt. St.Gallen	CH	Obersee	4277-4280			ökologische Ersatzmassnahmen im Kontext der
						4	140	Neukonzessionierung Hafen Hörnlibuck
Thal		I/A Ch Callan	CII	Observed	4224 4222			Virgin state Frankers and beautiful to
Inai	-	Kt. St.Gallen	CH	Obersee	4221-4223	3	3 I 170	ökologische Ersatzmassnahmen "Buebebadi" im
						-		Kontext der Neukonzessionierung Hafen Jägerhaus
					Summe:	51	2435	

Abb. 2: Umgesetzte Projekte mit Längenausdehnung.

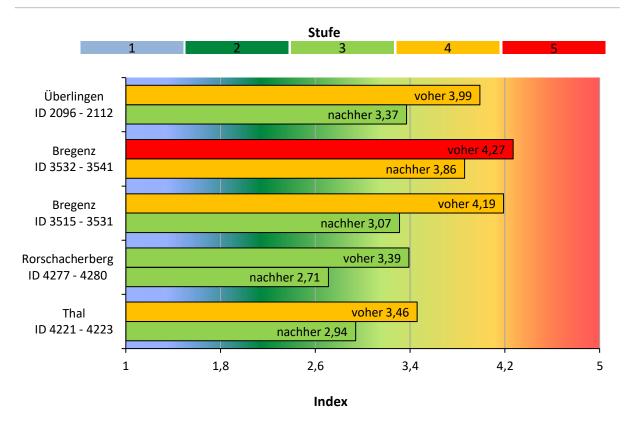


Abb. 3: Auflistung durchgeführter Renaturierungen seit 2017 und Darstellung der gemittelten Einstufung (Bewertungsstufe und Bewertungsindex vor und nach erfolgter Renaturierung für den jeweils betroffenen Uferbereich).

Zur Gesamtbewertung des Ufers wurde eine Gewichtung der Einzelkriterien nach ihrer ökologischen Bedeutung vorgenommen und daraus eine Gesamtnote errechnet.

Die neu gestalteten Uferbereiche waren bislang gesamthaft als "naturfremd" (Stufe 5), "naturfern" (Stufe 4) bis "beeinträchtigt" (Stufe 3) ausgewiesen. Die durchgeführten Maßnahmen führten im Mittel zu einer Verbesserung um eine Stufe. Im Bereich Rorschacherberg führten die Verbesserungsmaßnahmen im Mittel zu einer Verbesserung um 0,67 Indexpunkte und lag damit im Verbesserungsschnitt aller umgesetzten Maßnahmen (Gesamtmittel 0,66). Die Bewertung blieb jedoch innerhalb derselben Stufe 3 "beeinträchtigt" (Abb. 3). Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Veränderung eines renaturierten Abschnitts an der Pipeline in Bregenz.





22.05.2022 07.02.2024

Abb. 4: Beispiel eines Uferabschnittes an der Pipeline Bregenz vor und nach Renaturierung.

In weiteren fünf Gemeinden fanden durch **private Auftraggeber** auf einer Uferlänge von insgesamt 600 m weitere 10 Einzelmaßnahmen (z.B. Entfernung Ufermauer oder Slipanlage) statt. Wegen der Kleinräumigkeit wurden diese jedoch bislang noch nicht neu bewertet.

Die nachstehende Karte zeigt die seit 1976 rund um den Bodensee durchgeführten Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung (Abb. 5).

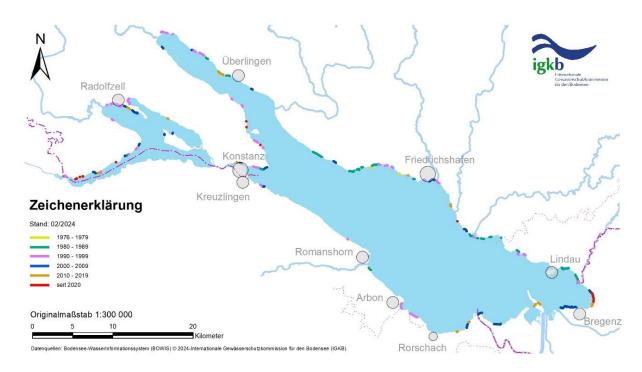


Abb. 5: Karte über die durchgeführten Maßnahmen und ökologischen Verbesserungen seit 1976.

Für den gesamten Bodensee ergibt sich mit Stand 2023 nachstehende zusammenfassende Bewertung (Abb. 6). 41 % des Bodenseeufers zeigen in der Uferbewertung einen natürlichen bis naturnahen Zustand. 20 % sind durch strukturelle Eingriffe als beeinträchtigt ausgewiesen. 39 % der Uferbereiche sind durch Verbauungen so stark beeinträchtigt, dass sie als naturfern bis naturfremd zu werten sind.

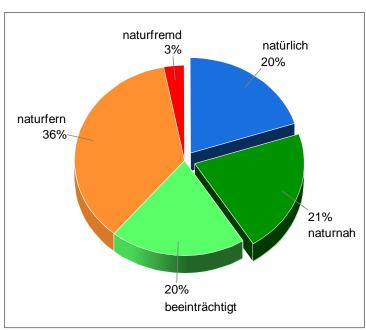


Abb. 6: Durchgeführte Maßnahmen und ökologische Verbesserungen seit 1976.

Neozoenergebnisse aus dem SeeWandel Projekt und dem Neozoenmonitoring

Im Zeitraum von 5,5 Jahren untersuchten Forschende aus drei Ländern den Einfluss und die Wechselwirkung verschiedener Stressfaktoren wie Nährstoffänderungen, invasive Arten und Klimawandel auf das Ökosystem Bodensee. Der aktuelle Wandel ist tiefgreifend, mit voraussichtlich weitreichenden Folgen für das komplexe Ökosystemgefüge und die Gewässernutzungen. Am 13. und 14. Juni 2023 wurde das Projekt mit einem wissenschaftlichen Symposium und einer Informationsveranstaltung für die Praxis abgeschlossen. An dieser Veranstaltung wurde gezeigt wie Stichling und Quaggamuschel das Ökosystem Bodensee die letzten Jahre geändert haben und in Zukunft weiter ändern werden.

Stichlinge und ihre Bedeutung für die Felchen im Bodensee

Seit 2011/2012 wird eine explosionsartige Entwicklung des gebietsfremden Dreistachligen Stichlings beobachtet. Die Fische treten in grossen Schwärmen im See auf. Es gibt Jahre, in denen über 90% der Fischindividuen im Freiwasser Stichlinge sind. Diese stellen eine direkte Nahrungskonkurrenz, vor allem für Felchen, dar.

Im Bodenseeraum unterscheidet man verschiedene Stichlings-Ökotypen mit unterschiedlichen Merkmalen und Anpassungen. Einer lebt ausschließlich in den umliegenden Bächen/Flüssen oder in der Uferzone, einen anderen findet man im Freiwasser bis in 50 m Tiefe. Ein Großteil der im Bodensee ansässigen Jungfische wandert ab Juli ins Freiwasser. Auch die älteren Tiere ziehen ins Freiwasser und nur ein Teil der Stichlinge verbleibt am Ufer. Im November/Dezember sind Stichlinge in hoher Zahl im Freiwasser, und auch im Uferbereich zu finden. Im Frühjahr kehren die Tiere dann zum Laichen in das Flachwasser des Sees oder in dessen Zuflüsse zurück. Die Laichwanderung einiger Bestände des Seeökotyps flussaufwärts in die Zuflüsse ist ähnlich der von anadromen¹ Meeresstichlingen. Obwohl diese Seestichlinge zeitgleich mit den Flussstichlingen laichen, sind sie genetisch verschieden.

Bodenseestichlinge werden im Durchschnitt 6-7 cm lang. Einige Exemplare erreichen bis 10 cm Länge und zählen damit zu den weltweit größten Süßwasserstichlingen. Dies könnte u.a. auf eine marine Ursprungspopulation zurückzuführen sein, die

-

¹ Anadrome Fische verbringen ihr adultes Leben im Salzwasser, schwimmen zum Ablaichen in Gewässer mit Süßwasser

schnell gewachsen ist und deren erwachsene Tiere ein reichhaltiges Nahrungsangebot vorfanden. Bodenseestichlinge (auch diejenigen, die im Uferbereich vorkommen) zeichnen sich durch eine vermehrt phänotypische Anpassung an eine Lebensweise im Freiwasser aus. Diese ist gekennzeichnet durch längere Kiemenrechen, eine ausgeprägte Kopfform und einen stark ausgebildeten Verteidigungskomplex (lange Stacheln und nahezu vollständige Plattenbedeckung des Körpers).

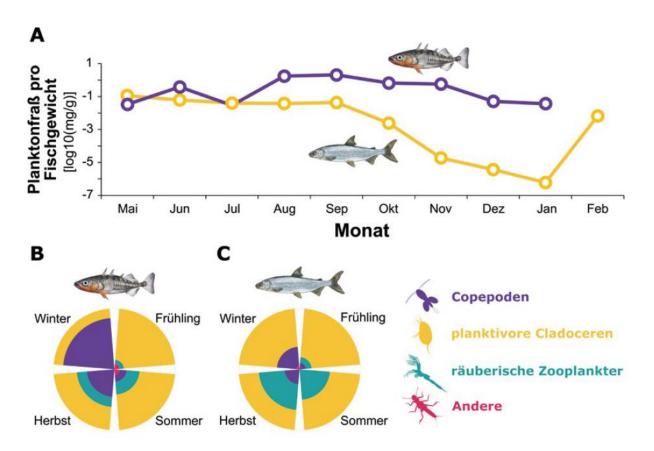


Abb. 7: (A) Saisonaler Zooplanktonfraß pro Gramm Fischgewicht bei Stichlingen (violett) und Felchen (gelb), und saisonaler Beitrag der Krebstier-Zooplanktonarten des Bodensees zur Ernährung einzelner (B) Stichlinge und (C) Felchen. Planktivore Cladoceren umfassen die verschiedenen *Daphnia*- Arten und *Bosmina*, räuberische Zooplankter *Leptodora* und *Bythotrephes* (Daten aus Ogorelec et al. 2022).

Bodenseestichlinge ernähren sich, wie auch die fischereiwirtschaftlich bedeutenden Felchen (Blaufelchen und Gangfisch), im Freiwasser von Zooplankton. Mageninhaltsanalysen von Felchen und Stichlingen im Bodensee zeigen eine ähnliche Beutepräferenz beider Fischarten, v.a. im Sommer und insbesondere größere Zooplanktonarten betreffend, wie *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* und planktivore Cladoceren wie *Daphnia longispina* (Abb. 7). Kleinere Zooplanktonarten wie *Bosmina* werden dann gefressen, wenn diese Arten jahreszeitlich bedingt häufig auftreten und große Arten als Alternativen fehlen. Von Bedeutung für das Zooplankton dürfte weiterhin

sein, dass die Stichlinge auch während des Winters eine relativ hohe Nahrungsaufnahme haben, während die größeren Felchen weitgehend die Nahrungsaufnahme einstellen. Zudem zeigen Aquarienversuche, dass junge Stichlinge die acht häufigsten Zooplanktonarten des Bodensees mit gleichem oder größerem Erfolg fressen wie gleich große Felchen. Wie Felchen fressen Bodenseestichlinge v.a. großes Zooplankton im Freiwasser, wodurch es möglicherweise zur Nahrungskonkurrenz zwischen den Fischarten kommt, wenn die Ressourcen begrenzt sind.

Die Quaggamuscheldichten im Bodensee werden in den kommenden Jahrzehnten höchstwahrscheinlich massiv zunehmen

Die Quaggamuschel (Dreissena rostriformis) ist eine invasive Süßwassermuschel in Europa und Nordamerika, welche auf Hart- und Weichsubstrat leben kann. In nur fünf Jahren hat die Quaggamuschel den Bodensee, wie auch den Genfersee vollständig besiedelt, in acht weiteren Schweizer und Österreichischen Seen wurde sie bereits nachgewiesen. Im Bodensee findet man in Wassertiefen von 10-30 m mittlerweile bis zu 25'000 Muscheln pro m². Auch an der tiefsten Stelle des Sees gibt es bereits Vorkommen, jedoch noch in geringen Mengen. Die Muscheln sind effiziente Filtrierer, sie fressen Algen, die auch Zooplankton als Futterquelle dienen. Dies hat weitere Konsequenzen für Fische, welche dadurch zu weniger Nahrung kommen. Außerdem verstopfen die Muscheln Infrastrukturanlagen von Trinkwasserbetrieben und Wärmeanlagen, was Schäden in Millionenhöhe verursacht. Neben dem Bodensee wurde das Ausbreitungsmuster von Quaggamuscheln im Genfer- und Bielersee im Rahmen eines anderen Projekts untersucht. In allen Seen wurden die Probestellen entlang Transekten festgelegt, welche vom Ufer bis in die Tiefe verlaufen. Dies erfolgte mit dem Ziel, das Ausbreitungsmuster dieser Seen mit demjenigen in den Großen Seen in Nordamerika, die seit einigen Jahrzehnten von der Art befallen sind, zu vergleichen.

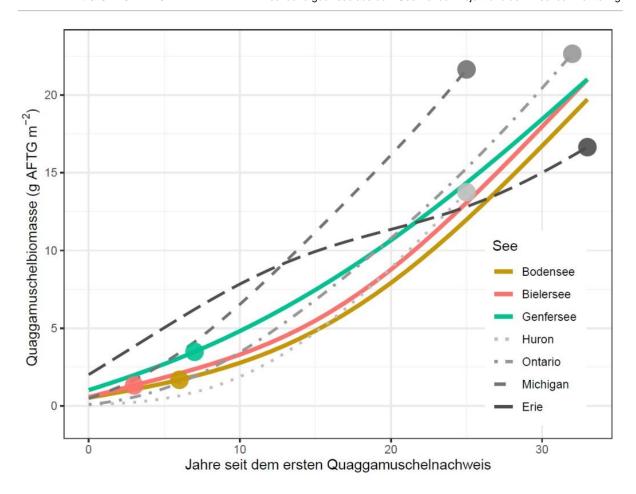


Abb. 8: Die potenzielle Zukunft der Quaggamuschel-Populationen in drei mitteleuropäischen Seen (Bodensee, Bielersee und Genfersee) im Vergleich mit vier nordamerikanischen Seen. Die vorhergesagte Biomasse der Quaggamuscheln pro Quadratmeter in jedem See über einen Zeitraum von 33 Jahren basiert auf Beobachtungen in Seebecken mit unterschiedlicher Morphometrie (Verhältnis Seebreite-Seetiefe). Jede Linie stellt den Mittelwert der vorhergesagten Biomasse an allen Standorten in jedem See dar. Die Abbildung zeigt, dass die Biomasse der Quaggamuscheln in Zukunft wahrscheinlich zunehmen wird, wobei es jedoch Unterschiede zwischen den Seebecken hinsichtlich des Ausmaßes dieser Zunahme gibt (Kraemer et al. 2023).

Die Analysen zeigen, dass die Biomasse der Quaggamuschel im Bieler-, Bodenseeund Genfersee in den nächsten 25 Jahren höchstwahrscheinlich um den Faktor 8-12 zunehmen wird (Abb. 8). Wie in Nordamerika wird dieser Anstieg wahrscheinlich durch eine Verlagerung zu größeren Individuen und größere Tiefen gekennzeichnet sein. Es ist zu befürchten, dass diese schnelle Ausbreitung der Quaggamuschel in den kommenden Jahrzehnten ähnliche gravierende Auswirkungen auf große mitteleuropäische Seen haben wird, wie die Eutrophierungsperiode in der Mitte des 20. Jahrhunderts.

Was steht vor der Tür? Mittelfristig erwartete Verschleppung und Ausbreitung von wirbellosen Neozoen

In den letzten 20 Jahren sind Neozoen in besonders schneller Abfolge im Bodensee aufgetreten. Dieses Phänomen wurde sowohl durch die wachsende Zahl möglicher Vektoren und Einwanderungswege, wahrscheinlich aber auch schon durch den Klimawandel gefördert. Die Einwanderung und Etablierung von wärmeliebenden Arten im Bodensee kann dadurch künftig noch weiter begünstigt werden. Wenn die neuen Arten im neu besiedelten Gebiet geeignete Temperaturen und noch keine Fraßfeinde oder andere Regulative vorfinden, wird eine schnelle Ausbreitung begünstigt. Umgekehrt bietet die noch ausgeprägte Habitatvielfalt im Bodensee-Litoral und die Anbindung an kühlere Zuflüsse Rückzugsorte für heimische Arten und kann eine vollständige Verdrängung verhindern oder zumindest verlangsamen.

Die Einwanderung weiterer wirbelloser Neozoen in den Bodensee ist zu erwarten. Bereits jetzt sind viele Arten ins Rheinsystem oder andere Voralpenseen (z.B. Genfer See) eingedrungen, aber im Bodensee noch nicht aufgetaucht. Grund dafür sind die bisher noch fehlenden, noch inaktiven oder noch nicht genutzten Vektoren.

Bei den wirbellosen Neozoen ist vor allem das Auftreten folgender Arten im Bodensee in naher Zukunft denkbar:

- Hemimysis anomala (Genfer See)
- Jaera istri (Oberrhein/Hochrhein)*2
- Chelicorophium curvispinum (Oberrhein/Hochrhein)
- Chelicorophium robustum (Oberrhein/Hochrhein)
- Chelicorophium sowinskyi (Oberrhein/Hochrhein)
- Echinogammarus trichiatus (Oberrhein/Hochrhein)
- Echinogammarus berilloni (Oberrhein/Donau)
- Obesogammarus obesus (Mittelrhein)
- Pectinella magnifica (lokal in Warmwasserfahnen)
- Limnodrilus maumeensis (Mittelrhein)

Theoretisch ist auch eine weitere Verbreitung des Signalkrebses *Pacifastacus lenius-culus* im Bodensee und die Einschleppung des Roten Sumpfkrebses *Procambarus*

_

² Beim IGKB-Monitoring des Makrozoobenthos wurde die Art bereits im März 2024 im Seerhein gefunden.

clarkii möglich. Einige dieser Arten haben in anderen Ökosystemen bereits ein invasives Verhalten gezeigt, daher ist eine Vermeidung von deren Einschleppung und auch die Überwachung der Verbreitung weiterhin von großer Wichtigkeit.

Auch manche in benachbarten Gebieten schon sehr häufigen, für den Bodensee problematische Wirbeltierarten, wie beispielsweise die Schwarzmundgrundel (Vektor z.B. illegale Verschleppung als lebende Köderfische) oder der Ochsenfrosch (Vektor z.B. Aquaristik) könnten sich aktiv weiter ausbreiten und dann mit noch größerer Wahrscheinlichkeit in den See eingeschleppt werden.

Der weitere Rückgang der Felchenfänge der Fischerei

Der weitere Rückgang der Felchenfänge der Fischerei hängt höchstwahrscheinlich mit dem invasiven Dreistachligen Stichling zusammen. Die Ausbreitung der invasiven Quaggamuschel wird diesen Prozess eher beschleunigen.

Die ursprüngliche Leitart und der Brotfisch der Berufsfischerei wird massiv weniger gefangen, ein Zusammenhang mit der Stichlingsinvasion ist im Moment die beste Erklärung. In dem ungestörten Zustand ohne Stichling wurde das Wachstum und die Bestandsstärke der Felchen hauptsächlich durch den limitierenden Nährstoff Phosphor, die Temperatur in der euphotischen Zone sowie die innerartliche Konkurrenz bestimmt. Zooplanktondichten (Wasserflöhe, Hüpferlinge) waren höher und damit hatten die Felchen im pelagischen Lebensraum genügend Beute.



Abb. 9: Lebensraum, Nahrung und Wachstumsfaktoren der Felchen mit Stichling (A. Brinker unveröffentlicht).

Seit 2012 ist der Lebensraum der Felchen durch die Invasion der Stichlinge (Abb. 9) stark beeinflusst. Stichlinge fressen das gleiche Plankton wie Felchen. Seit der Stichlingsinvasion hat sich die Zusammensetzung des Planktons verändert. Auch greifen die Stichlinge in die Felchenrekrutierung in noch zu ermittelndem Maße als Räuber von Ei und Larve ein. Zudem hat sich die Schichtung und Oberflächentemperatur durch den Klimawandel verändert, so dass die Felchen diese Bereiche zur Nahrungsaufnahme in den Sommermonaten wahrscheinlich meiden. Die Folge: stark rückläufiges Wachstum, verringerte Bestandsstärke, Einbruch der Fischereierträge.

Grundsätzlich sieht es im Moment danach aus, dass in der Zukunft mit einem nochmals deutlich reduzierten Fischereiertrag am Bodensee zu rechnen ist, als dies heute der Fall ist. Im Projekt wurden mögliche Optionen theoretisch aufgezeigt, um die dargelegten Stichlingseffekte zu begrenzen. Dies beinhaltet Anpassungen beim Besatzund Laichfischmanagement sowie gezielte Befischungsstrategien. Umsetzung und / oder Pilotstudien hierzu stehen noch aus.

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 <u>www.igkb.org</u> verfügbar ist.

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

- Institut f
 ür 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 2022

Bodensee-Obersee

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

2022

- war ein sehr warmes, sehr sonnenreiches und sehr niederschlagsarmes Jahr
- zeigte der Jahresmittelwert der oberflächennahen Wassertemperatur an der Station Fischbach-Uttwil einen neuen Höchstwert
- wurde die bisher h\u00f6chste Jahresdurchschnittstemperatur in 250 m Wassertiefe beobachtet
- war ein Jahr mit schlechter Zirkulation und
- war gekennzeichnet durch eine weitere Ausbreitung der Quagga-Muschel.

Die Konzentration des Gesamtphosphors im volumengewichteten Jahresmittel 2022 betrug 6,2 μ g/L. Der Vorjahreswert lag bei 6,0 μ g/L. Der minimale Sauerstoffgehalt im tiefen Hypolimnion des Obersees zeigte mit 6,2 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe.

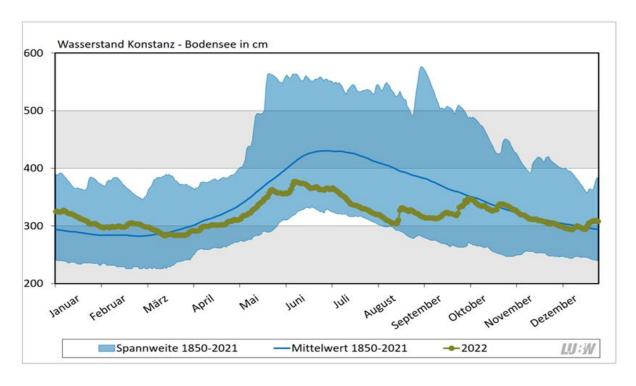


Abb. 1: Wasserstandsverlauf des Bodensee Obersees an der Pegelstation Konstanz (Daten: LUBW). Die grüne Linie zeigt den Verlauf für das Jahr 2022, die blaue Linie die mittleren Wasserstände im Zeitraum 1850-2021, der blaue Bereich kennzeichnet die Schwankungsbreiten der Wasserstände im Zeitraum 1850-2021.

Das Jahr 2022 zeigte **Wasserstände** (Abb. 1), die sich von Januar bis Mai im Bereich der langjährigen Mittelwerte (1850 – 2021) bewegten. Dabei traten im Januar und Februar leicht überdurchschnittliche Werte auf, während im März, April und Mai leicht unterdurchschnittliche Werte gemessen wurden. In den Sommermonaten Juni, Juli, August und auch noch im September lagen die Wasserstände dann aufgrund der sehr warmen und niederschlagsarmen Witterung weit unterhalb der Mittelwerte, wobei im August sogar die Annäherung an die langjährigen Minimalwerte erfolgte. Im Oktober bis Dezember wurden dann wieder Wasserstände registriert, die fast exakt die langjährigen Mittelwerte reproduzierten. Der niedrigste Pegelstand wurde in Konstanz am 15.03.2022 mit 282,4 cm registriert, der höchste Pegelstand am 11.06.2022 mit 377,4 cm.

Meteorologisch war das Jahr 2022 nach den beiden Rekordjahren 2018 und 2020 und dem etwas kühleren Jahr 2021 ein wiederum sehr warmes, sehr sonnenreiches und sehr niederschlagsarmes Jahr, das hinsichtlich der Temperaturen und Sonnenscheindauer neue Rekorde aufstellt. Der DWD spricht in seinem Jahresbericht von "starker Trockenheit, fulminanten Hitzewellen und Rekorden bei Temperatur und Sonnenscheindauer" (DWD, Klimastatusbericht 2022).

Das deutschlandweite Gebietsmittel der Temperatur lag dabei mit 10,5 °C um 2,3 K über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode (IRP, 1961 – 1990), was 2022 gemeinsam mit dem Jahr 2018 zum wärmsten Jahr seit 1881 macht. Dabei traten nur mit Ausnahme des Septembers in allen Monaten positive Temperaturanomalien gegenüber der Referenzperiode auf.

Das zeigte sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C eine positive Abweichung von +2,5 K gegenüber dem Wert der Internationalen Referenzperiode registriert wurde. Mit Ausnahme des Monats September (0.0 K) wiesen auch für dieses Gebiet alle Monate des Jahres eine gegenüber der Referenzperiode positive Temperaturanomalie auf.

Mit 2024,1 Sonnenstunden im deutschlandweiten Gebietsmittel war das Jahr 2022 außerdem ein überdurchschnittlich sonnenscheinreiches, das mit diesem Wert deutlich über dem langjährigen Mittelwert von 1607 Sonnenscheinstunden der Referenzperiode 1961 bis 1990 lag und seit 1951 das sonnenreichste Jahr war. Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen sind insbesondere folgende Monate zu Februar mit nennen einer Monatsmitteltemperatur von 4,0 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +3,6 K. Mai mit einer Monatsmitteltemperatur von 14,9 °C (+3,0 K), Juni mit 18,8 °C (+3,7 K), Juli mit 20,0 °C (+3,0 K) und August 2022 mit 20,3 °C (+3,9 K) sowie Oktober mit 12,9 °C (+ 4,2 K).

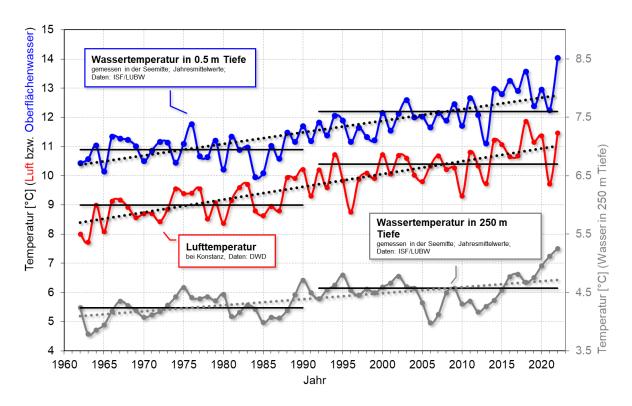


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 m Wassertiefe (grau).

In Abb. 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. Bei den Jahresmittelwerten der oberflächennah gemessenen Wassertemperaturen wurde dabei in 2022 mit einer Temperatur von 14 °C ein neuer Höchstwert erreicht. 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 2 bis 5 Jahren kontinuierlich ansteigt, bis eine erneute starke Durchmischung eine Rücksetzung auf niedrigere Temperaturen bewirkt. Anfang des Jahres 2022 war die Tiefenwassertemperatur in 250 m Wassertiefe auf außergewöhnlich hohe Werte von 5,2 °C – Ende des Jahres auf 5,3 °C – angestiegen.

Die oberflächlichen Wassertemperaturen Anfang des Jahres 2022 waren wie in den vorhergehenden Jahren durch den erneut milden Winter 2021/2022 geprägt (Abb. 3). An der Station Fischbach-Uttwil lagen die Oberflächentemperaturen am 11.01.2022 und 08.02.2022 mit 6,3 °C und 5,7 °C im Bereich des Vorjahres zu dieser Zeit. Die durchmischte Wasserschicht wies bis in etwa 65 m Wassertiefe am 11.01.2022 eine einheitliche Temperatur von 6,3 °C auf. Die Tiefentemperatur in 250 m erreichte in diesem Winter zu dieser Zeit mit 5,2 °C einen außergewöhnlich hohen Wert, der noch einmal 0,1 K höher als im Vorjahr zu dieser Zeit war.

Im Verlauf des Februars 2022 kam es zu einer weiteren Durchmischung und Abkühlung des Wasserkörpers. Am 24.02.2022 wurde eine Wassertemperatur von 5,6 bis 5,5 Grad bis in eine Tiefe von fast 190 m gemessen. An diesem Termin und in ähnlicher Form am 08.03.2022 wurden die geringsten vertikalen Temperaturgradienten in 2022 gemessen, als an der Station Fischbach-Uttwil im Bodensee Obersee an der Oberfläche eine Wassertemperatur von 5,6 °C und in 250 m Wassertiefe 5,2 °C registriert wurden.

Bereits am 21.03.2022 konnte wieder die beginnende Temperaturschichtung des Wasserkörpers beobachtet werden, als oberflächlich in 0,5 m Wassertiefe eine Wassertemperatur von 6,3 °C und am 05.04.2022 von 6,5 °C gemessen wurden. Die Wassertemperatur in 250 m Wassertiefe betrug zu dieser Zeit weiterhin 5,2 °C.

Am 02.08.2022 wurde an der Station Fischbach-Uttwil mit 24,8 °C die höchste Wassertemperatur im Jahr 2022 gemessen. Am 05.07.2022 wurde eine Oberflächenwassertemperatur von 22,8 °C registriert, am 06.09.2022 eine Temperatur von 21,9 °C.

Am 05.10.2022 wurde an der Oberfläche eine Wassertemperatur von 15,8 °C gemessen. Während der Abkühlungsphase im Herbst/Winter sanken die oberflächlichen Temperaturen dann bis auf 7,7 °C am 19.12.2022 ab. An diesem Termin wurde in 250 m Wassertiefe eine für diesen Tiefenbereich hohe Temperatur von 5,3 °C gemessen.

Die Auswertung entsprechender Stoff- und Temperaturgradienten und der daraus abgeleitete Durchmischungsindex (Abb. 4 Mitte) zeigt, dass es im Jahr 2022 schon im vierten Jahr in Folge keine gute vertikale stoffliche Durchmischung der Wassersäule gab.

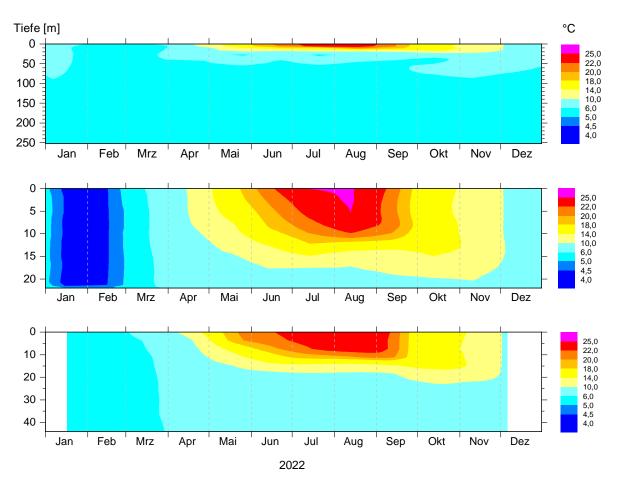


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2022 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil, oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten).

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** betrug 2022 im volumengewichteten Jahresmittel 6,2 μ g/L und lag damit nahe den Vorjahreswerten (2021: 6,0 μ g/L, 2020: 6,3 μ g/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 2022 wurden 6,5 μ g/L festgestellt (2021: 6,3 μ g/L, 2020: 6,3 μ g/L).

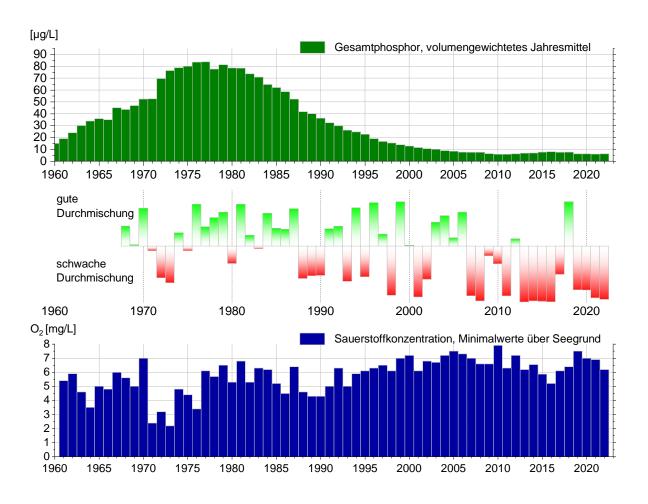


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

2022 war wie bereits 2021 ein Jahr mit schlechter Zirkulation. Eine gute Zirkulation zeigte sich zuletzt 2018 nach fünf aufeinanderfolgenden Jahren mit schlechter Durchmischung. Im Gegensatz zu den Jahren 2013 bis 2017 kam es allerdings seit 2018 nicht zu einer beträchtlichen Anreicherung von Phosphor in der Tiefe (Abb. 5). Die Beobachtung deckt sich auch mit den gemessenen Sauerstoffwerten über Grund. Der minimale **Sauerstoffgehalt** im tiefen Hypolimnion des Obersees 2022 zeigte mit 6,2 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe (Abb. 6).

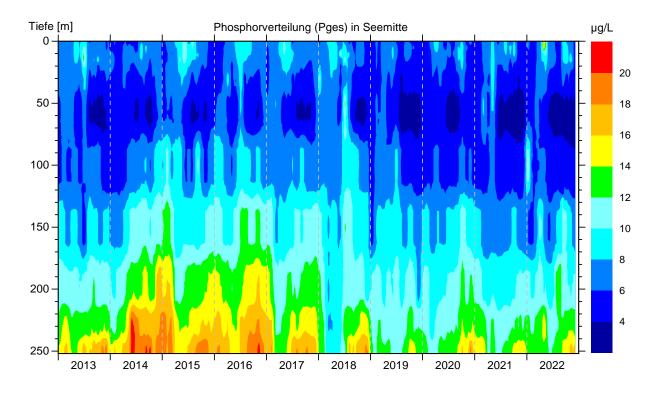


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2013 bis 2022.

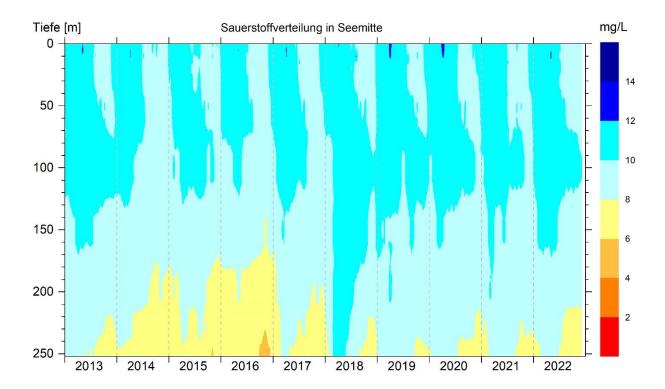


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2013 bis 2022.

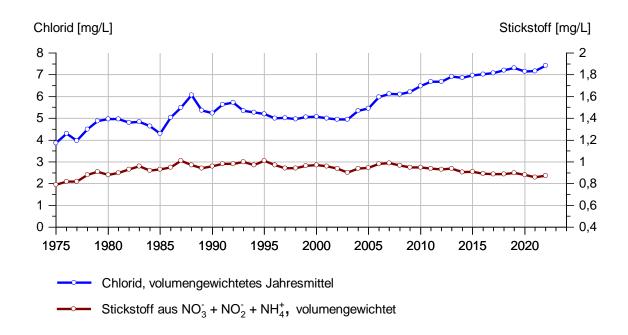


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2022 bei 0,87 mg/L (2021: 0,86 mg/L). Insgesamt ist ein leicht abnehmender Trend der Konzentrationen seit den 90er Jahren erkennbar (Abb. 7).

Bei **Chlorid** als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich zeichnet sich seit 2004 ein zunehmender Trend ab (Abb. 7). Während es im Jahr 2003 noch 5 mg/L waren, stieg die Konzentration 2013 auf 6,9 mg/L und lag 2022 bei 7,4 mg/L. Ein beträchtlicher Teil der Zunahme stammt aus der winterlichen Straßensalzung, wie im Grünen Bericht 37 ausgeführt wurde.

Phytoplankton und Pigmente

Die Phytoplanktonentwicklung an der Station Fischbach-Uttwil verlief 2022 typisch für einen oligotrophen Alpensee. Die Chlorophyll a-Konzentrationen (Jahresdurchschnitt 2,0 µg/l) waren insgesamt niedrig (Tab. 1). 2022 war die Phytoplankton-Biomasse mit 0,46 mg/L im Jahresdurchschnitt etwas niedriger als in den letzten drei Jahren. 2022 bildeten Kieselalgen (Bacillariophyceen) mit 44,2 % im Vergleich der Algengroßgruppen die meiste Biomasse. Gegenüber 2021 bildeten Chrysophyceen 2022 etwas weniger Biomasse. Ihr Biomasse-Anteil lag im Jahresdurchschnitt 2021 bei 16,7 %, 2022 hingegen bei 11,2 % und damit eher wieder im Bereich der Jahre 2020 und 2019.

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* kam im Obersee im Jahr 2022 kaum noch vor. Die Dominanz des Helmwasserflohs *Daphnia cucullata* manifestierte sich 2022 weiter. Zudem nahm auch der Anteil kleiner Rüsselkrebse (*Bosmina spp.*) im Vergleich zu 2021 zu. Bei den Ruderfußkrebsen dominierten die Calanoiden mit *Eudiaptomus gracilis* die Biomasse. Unter den cyclopoiden Ruderfußkrebsen breitete sich *Thermocyclops oithonoides* im Obersee weiter aus während die etablierte Art *Mesocyclops leuckarti* anteilmäßig zurückging.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz lag im Jahr 2022 etwas niedriger als im Jahr 2021 (Tab. 1). Die Rotatorien waren zahlenmäßig weit häufiger vertreten als das Crustaceenplankton. Bei einer durchschnittlichen Abundanz von gut 80 % erreichten die Rotatorien aufgrund ihres geringen Individuengewichts allerdings lediglich knapp 6 % der Biomasse (Trockenmasse). Die höchsten Biomassen wurden Ende April bis Ende Mai mit Anteilen zwischen 16-28 % an der Gesamtbiomasse vorgefunden.

Monitoring der Quaggamuschel

Auch im Jahr 2022 breitete sich die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) im Bodensee weiter in die Tiefe aus. Die durchschnittliche Dichte der frei im Wasser schwimmenden Larven der Muscheln (Veligerlarven) an der Station Fischbach-Uttwil erreichte im Jahr 2022 ca. 1125 Larven pro m³ Seewasser. Das Maximum wurde Anfang Mai mit knapp 2620 Larven pro m³ Seewasser (bezogen auf eine Wassersäule von 0-100 m) nachgewiesen. Das Maximum lag deutlich unter den Werten der Vorjahre (Abb. 8).

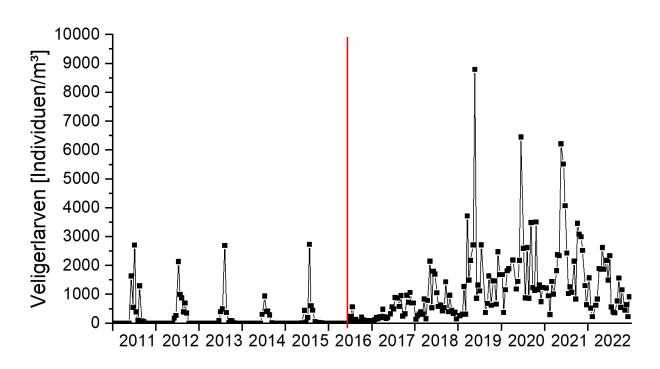


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von Quaggamuscheln im Bodensee.

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

Biologisches Merkmal	Fischbach-Uttwil
Ø Phytoplankton-Biomasse (mg/L); 0-20 m	0,46 (2021: 0,51)
maximale Phytoplankton-Biomasse (mg/L); 0-20 m	1,24 (August) (September 2021: 1,06)
dominierende Großgruppen Phytoplankton Jahresverlauf; 0-20 m	Bacillariophyceae (44,2 %) Cryptophyceae (21,4 %) Dinophyceae (19,8 %) Chrysophyceae (11,2 %)
Ø Chl a- Konzentration (µg/L); 0-20 m	2,0 (2021: 2,7)
maximale ChI a- Konzentration (μg/L); 0-20 m	4,3 (August) (Mai 2021 5,96)
Ø Cladocerenabundanz (10 ⁴ Individuen/m² Seefläche)	20,09 (2021: 15,08)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	22,78 (2021: 26,78)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m² Seefläche)	187,38 (2021: 245,18)
Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L, bezogen auf 0-20 m)	74 (2021: 92)

Bodensee-Untersee

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den milden Winter 2021/2022 sowie durch das sehr warme Jahr 2022 geprägt (Abb. 3).

Im **Rheinsee** (Wassertiefe: 45 m) wurde am 17.01.2022 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit Wassertemperaturen zwischen 5,2 °C und bodennah 5,1 °C gemessen. Am 23.02.2022 wurde dann bereits eine Erwärmung der Wassersäule registriert, als oberflächennah 5,6 °C und bodennah 5,5 °C gemessen wurden, was auf die relativ warmen Monate Januar und Februar zurückzuführen ist. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 16.08.2022 mit 24,8 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von T_{min} = 5,1 °C am 17.01.2022 und T_{max} = 8,8 °C am 06.12.2022.

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde im Februar am 09.02.2022 eine oberflächennah bis zum Boden in 22 m Wassertiefe weitgehend konstante Wassertemperatur von 4,3 °C registriert, wobei davon abweichend die obersten 0,30 m eine Temperatur von 4,4 °C bzw. 4,5 °C aufwiesen. Am 07.03.2022 wurde eine bereits wieder leicht erwärmte Wassersäule angetroffen, bei der oberflächennah 5,2 °C und 5,4 °C in Bodennähe registriert wurden. Am 04.04.2022 wurde mit einer Temperatur von 8,2 °C bereits eine deutliche Erwärmung des Oberflächenwasserkörpers registriert und es bildete sich eine thermische Schichtung im Gewässer aus, als bodennah 6,4 °C gemessen wurden.

Im **Gnadensee** (Wassertiefe: 19 m) wurde am 09.02.2022 eine weitgehend ausgeglichene Temperaturverteilung vorgefunden, die eine konstante Temperatur von 3,9 °C von der Oberfläche bis zum Boden aufwies. Die Messung am 07.03.2022 zeigte dann eine bereits wieder leicht erwärmte Wassersäule, die mit 5,3 °C an der Oberfläche und 5,2 °C am Seeboden nur geringe Temperaturgradienten aufwies. Am 04.04.2022 wurden oberflächlich dann 8,8 °C registriert – am Seeboden 6,0 °C.

Die **oberflächlichen Höchsttemperaturen** wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 01.08.2022 im Gnadensee mit 26,0 °C und im Zellersee mit 25,2 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit $T_{min} = 3.9$ °C und im Zellersee mit $T_{min} = 4.3$ °C jeweils am 09.02.2022 gemessen. Aufgrund der flacheren Morphometrien wurden im Vergleich zum Rheinsee leicht höhere maximale **Tiefenwas**-

sertemperaturen an den tiefsten Stellen dieser beiden Teilbecken registriert. Die maximale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit $T_{max} = 10,2$ °C am 04.10.2022 und im Zellersee mit $T_{max} = 9,3$ °C am 07.11.2022 gemessen.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** lag 2022 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 6,6 μ g/L auf Vorjahresniveau (2021: 6,9 μ g/L) und nahe dem Wert im Obersee (2022: 6,2 μ g/L). Im Zellersee betrug der Jahresmittelwert 2022 18,9 μ g/L und lag damit über dem Wert von 2021 mit 12,3 μ g/L. Ebenso zeigte sich im Gnadensee 2022 mit einem Gesamtphosphorgehalt von 13,6 μ g/L eine leichte Zunahme (2020 auf 11,1 μ g/L).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag im Rheinsee 2022 mit 0,73 mg/L leicht unterhalb des Vorjahreswertes von 0,79 mg/L, ebenso im Zellersee 2022 mit 0,82 mg/L (2021 0,85 mg/L). Im Gnadensee lag der Wert für anorganischem Stickstoff bei 0,60 mg/L (2021: 0,59 mg/L).

Der minimale **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug 2022 im Rheinsee 0,1 mg/L (2021: 2,1 mg/L). Im Tiefenwasserbereich des Zellersees wurde 2022 ein Sauerstoff-Minimum im September von 0,2 mg/L beobachtet. Im Jahr 2021 lag dieses im Oktober bei 0,8 mg/L. Der Gnadensees zeigte in den Herbstmonaten wie im Vorjahr sauerstofffreie Verhältnisse über Grund. Ende des Jahres konnten sich die Sauerstoffwerte in allen Seeteilen des Untersees wieder erholen.

Phytoplankton und Pigmente

Die Phytoplankton-Biomasse nahm an allen Unterseestationen im Vergleich zu 2021 zu (Tab. 2). Am deutlichsten war die Zunahme im Rheinsee zu beobachten (von 0,28 mg/L auf 0,49 mg/L). Trotz einer Zunahme der Phytoplanktonbiomasse lagen die mittleren Chlorophyll-a-Konzentrationen im Zellersee und Gnadensee etwas niedriger als im Jahr 2021, im Rheinsee hingegen stieg die Chlorophyll-Konzentration an. Im Rheinsee wurde im Juni eine ausgeprägte Kieselalgenblüte beobachtet, die in den anderen Unterseebecken so nicht auftrat. Auffällig war auch der hohe Anteil von Grünalgen (v.a. Gattung *Sphaerocystis*) in den Unterseebecken im Spätsommer.

Zooplankton

Die mittlere Abundanz der Ruderfußkrebse (Copepoden) nahm im Gegensatz zum Obersee an allen Unterseestationen leicht zu (Tab. 2). Die mittlere Abundanz der Wasserflöhe (Cladoceren) erhöhte sich nur im Zellersee, im Gnadensee und Rheinsee lagen sie auf ähnlichem Niveau wie im Vorjahr. Im Zellersee und Rheinsee wurde die Wasserflohbiomasse durch *Daphnia cucullata* bestimmt, beim Gnadensee war nach wie vor die größere Art *Daphnia galeata* im Jahresdurchschnitt am häufigsten, *Daphnia cucullata* spielte hier nur eine untergeordnete Rolle.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz hat im Vergleich zu 2021 im Rheinsee deutlich zugenommen, im Gnadensee deutlich abgenommen und blieb im Zellersee auf ähnlichem Niveau (Tab. 2). Die Rotatorien trugen zahlenmäßig zwischen 72 % und 91 % zur Abundanz bei, machten aber bei Betrachtung der Biomasse lediglich ca. 3 % bei Gnadensee und Zellersee, beim Rheinsee immerhin gut 12 % 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 2022 im Zellersee mit knapp 9 400 Individuen/m³. Wie am Obersee wurde auch in den Unterseebecken im Vergleich zum Vorjahr deutlich geringere Larvenabundanzen beobachtet.

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

	Zellersee (0-20 m)	Gnadensee (0-18 m)	Rheinsee (0-30 m)
Ø Phytoplankton-Biomasse (mg/L)	0,65 (2021: 0,51)	0,72 (2021: 0,56)	0,49 (2021: 0,28)
max. Phytoplankton- Biomasse (mg/L)	0,91 (Mai)	1,25 (Mrz)	1,52 (Jun)
dominierende Phyto- planktongruppen Jah- resverlauf	Cryptophyceen (41,7 %) Bacillariophyceen (20,4 %) Chlorophyta (16,5 %)	Bacillariophyceen (35,8 %) Cryptophyceen (25,9 %) Chrysophyceen (15,7 %)	Bacillariophyceen (39,9 %) Cryptophyceen (35,3 %)

Ø Chl a-Konzentration (µg/L)	2,95 (2021: 3,3)	3,7 (2021: 3,9)	2,16 (2021: 1,4)
maximale ChI a- Kon- zentration (µg/L)	5,7 (Mrz), 5,4 (Okt) (2021: Mrz 10,6)	5,2 (Feb, Mrz) 5,6 (Okt.) (2021: Apr 8,4)	3,7 (Okt) (2021: Okt 3,2)
Ø Cladocerena- bundanz (10 ⁴ Indivi- duen/m ² Seefläche)	18,73 (2021: 12,41)	15,25 (2021: 15,59)	6,9 (2021: 7,99)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	24,93 (2021: 20,36)	33,93 (2021: 30,07)	19,73 (2021: 13,75)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	139,01 (2021: 131,99)	140,78 (2021: 224)	280,6 (2021: 133,04)
Ø Zooplanktonbio- masse (µg TM/L)	110 (2021: 99)	165 (2021: 167)	41 (2021: 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 geringe Schwankungen statt, die u.a. durch interne Prozesse induziert werden.

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

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

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

Zustandsbeschreibung 2023

Bodensee-Obersee

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

2023

- war ein sehr warmes und überdurchschnittlich sonnenreiches Jahr
- wurde die bisher h\u00f6chste Jahresdurchschnittstemperatur in 250 m Wassertiefe beobachtet
- waren die sommerlichen Wasserstände erneut außergewöhnlich niedrig
- wurde mit den höchsten Wasserständen, die je in einem Dezember gemessen wurden, beendet
- war ein Jahr mit schlechter Zirkulation und
- war gekennzeichnet durch eine weitere Ausbreitung der Quagga-Muschel.

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

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

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

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

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

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

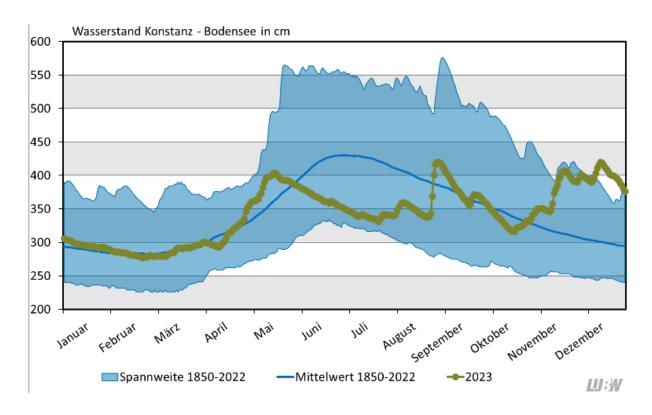


Abb. 1: Tagesmittelwerte des Wasserstands für das Jahr 2023 (grüne Linie, ungeprüfte Rohdaten) am Seepegel Konstanz – Bodensee. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert für den jeweiligen Tag im Analysezeitraum ab 1850. Die Spannweite gibt den minimalen/maximalen Messwert am jeweiligen Kalendertag im Analysezeitraum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

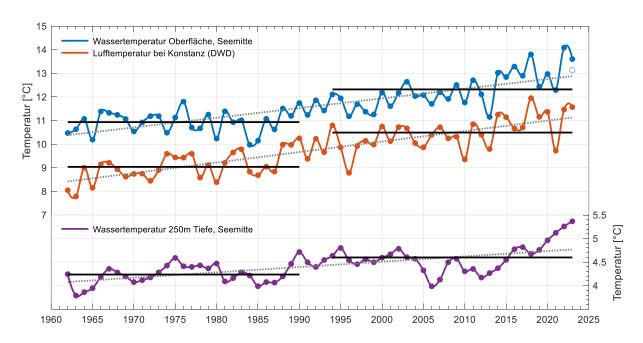


Abb. 2: Langjährige Entwicklung der Temperaturen von Luft (rot) und des Oberflächenwassers im Obersee in Fischbach-Uttwil in etwa 0,5 m Wassertiefe (blau) sowie Temperatur am Seeboden in 250 Wassertiefe (lila). Der ungefüllte blaue Kreis im Jahr 2023 gibt den Jahresmittelwert der Oberflächenwassertemperatur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

In Abbildung 2 sind die langjährigen Entwicklungen der Jahresmittel der Lufttemperatur, der oberflächlichen Wassertemperatur in 0,5 m Wassertiefe und der Hypolimnionwassertemperatur am Messpunkt Fischbach-Uttwil in 250 m Wassertiefe dargestellt. Zu sehen ist außerdem das "sägezahnartige" Verhalten der Tiefenwassertemperatur, die nach einem gut durchmischten Jahr meist wieder auf niedrigere Wassertemperaturwerte eingestellt wird und dann über Zeiträume von etwa zwei bis fünf Jahren kontinuierlich ansteigt, bis eine erneute starke Durchmischung eine Rücksetzung auf niedrigere Temperaturen bewirkt. Anfang des Jahres 2023 war die Tiefenwassertemperatur in 250 m Wassertiefe auf außergewöhnlich hohe Werte von 5,3 °C – Ende des Jahres sogar auf 5,4 °C – angestiegen.

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

Im Verlauf des Februars 2023 kam es zu einer weiteren Durchmischung und Abkühlung des Wasserkörpers. Am 06.03.2023 wurde eine Wassertemperatur von durchgehend 5,5 °C im Tiefenbereich von 5 m bis in 100 m gemessen. An diesem Termin wurde der geringste vertikale Temperaturgradient in 2023 gemessen mit einer Wassertemperatur an der Oberfläche von 5,7 °C und in 250 m Wassertiefe 5,3 °C.

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

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

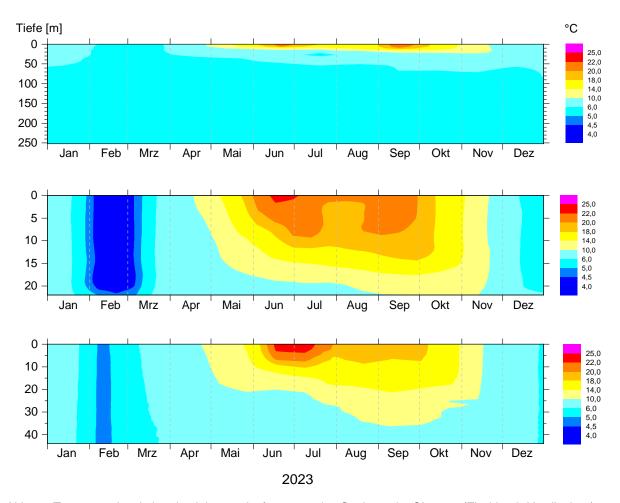


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Jahresverlauf 2023 an den Stationen im Obersee (Fischbach-Uttwil, oben), Zellersee (Mitte) und Rheinsee (unten).

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

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

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

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

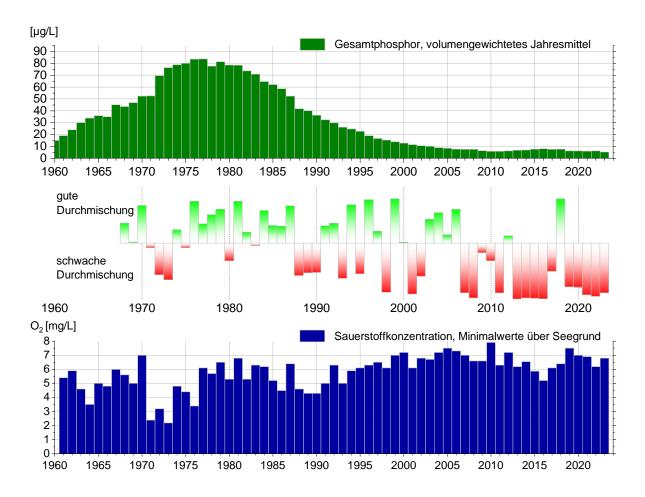


Abb. 4: Langfristige Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentrationen (oben), der Zirkulation (Mitte) und der minimalen Sauerstoffkonzentrationen über Grund (unten) im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

2023 war wie bereits die vier Vorgängerjahre ein Jahr mit schlechter Zirkulation. Eine gute Zirkulation zeigte sich zuletzt 2018 nach fünf aufeinanderfolgenden Jahren mit schlechter Durchmischung. Im Gegensatz zu den Jahren 2013 bis 2017 kam es allerdings seit 2018 nicht zu einer beträchtlichen Anreicherung von Phosphor in der Tiefe (Abb. 5). Die Beobachtung deckt sich auch mit den gemessenen Sauerstoffwerten über Grund. Der minimale **Sauerstoffgehalt** im tiefen Hypolimnion des Obersees 2023 zeigte mit 6,8 mg/L eine stabile Sauerstoffversorgung in der Tiefe (Abb. 6).

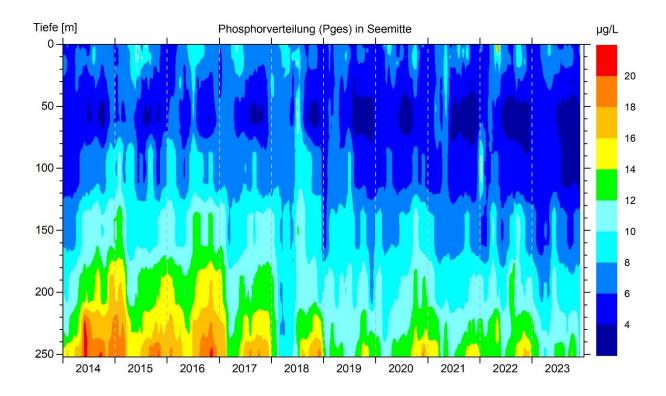


Abb. 5: Gesamtphosphorverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2014 bis 2023.

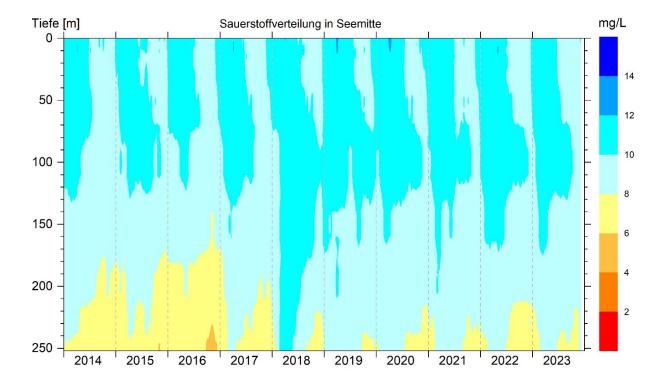


Abb. 6: Sauerstoffverteilung in Seemitte (Fischbach-Uttwil) von 2014 bis 2023.

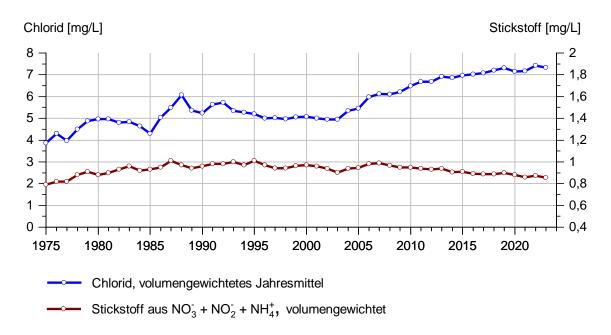


Abb. 7: Langfristige Entwicklung der Stickstoff- und Chloridkonzentrationen im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2023 bei 0,86 mg/L (2022: 0,87 mg/L). Insgesamt ist ein leicht abnehmender Trend der Konzentrationen seit den 90er Jahren erkennbar (Abb. 7).

Bei Chlorid als Indikator vielfältiger Einträge aus dem Siedlungsbereich zeichnet sich seit 2004 ein zunehmender Trend ab (Abb. 7). Während es im Jahr 2003 noch 5 mg/L waren, stieg die Konzentration 2022 auf 7,4 mg/L und lag 2023 bei 7,3 mg/L. Laut dem deutschen Umweltbundesamt können Gewässerorganismen bereits ab einer Chlorid-konzentration von 200 mg/L geschädigt werden (UBA 2013). In Deutschland gibt es keinen geregelten Grenzwert für Seen. Für Fließgewässer ist gemäß der Oberflächengewässerverordnung ((OGewV) 2016, Anlage 7) unter den allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (ACP) für Chlorid ein Orientierungswert von 200 mg/L festgesetzt. Neuere Untersuchungen an Seen in Kanada und Europa zeigen, dass Zooplanktonorganismen auch bei niedrigeren Konzentrationen beeinträchtigt werden können (Hintz et al, 2022). Das nationale französische Institut für Industrie- und Umweltrisikomanagement (INERIS) hat 2019 für Chlorid einen Grenzwert von 30 mg/L zum Schutz von aquatischen Organismen vorgeschlagen. Der Konzentration im Bodensee liegt mit 7,3 mg/L deutlich darunter.

Phytoplankton und Pigmente

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

Zooplankton

Die Jahresdurchschnittsbiomasse des Crustaceenplanktons lag auf einem für einen oligotrophen See typischen Niveau (Tab. 1). Die Jahresdurchschnittsbiomasse ist im Vergleich zu den Vorjahren leicht zurückgegangen. Die im Zuge der Eutrophierung eingewanderte Wasserflohart *Daphnia galeata* kam im Obersee im Jahr 2023 kaum noch vor. Die Dominanz des Helmwasserflohs *Daphnia cucullata* manifestierte sich 2023 weiter. Bei den Ruderfußkrebsen dominierten die Calanoiden mit *Eudiaptomus gracilis* die Biomasse. Cyclopoide Ruderfußkrebse, die normalerweise in der wärmeren Jahreszeit dominieren (*Mesocyclops leuckarti* und *Thermocyclops oithonoides*) sind bereits zu Beginn der Untersuchung bildbestimmend wenn auch im Winter vorwiegend durch "aktive, im Pelagial befindliche" Diapause-Stadien (C5- Copepodide). Thermocyclops oithonoides scheint sich im Obersee zu etablieren und übertrifft im Hochsommer die Abundanzen der früher bildbestimmenden Art *Mesocyclops leuckarti*.

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

Monitoring der Quaggamuschel

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

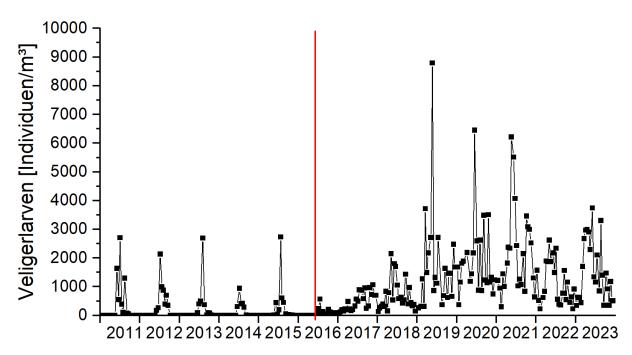


Abb. 8: Veligerlarven im Zooplanktonfang an der Messstelle Fischbach-Uttwil (0-100 m). Die rote Linie markiert den Zeitpunkt des Erstfundes von Quaggamuscheln im Bodensee.

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

Biologisches Merkmal	Fischbach-Uttwil
Ø Phytoplankton-Biomasse (mg/L); 0-20 m	0,43 (2022: 0,46)
maximale Phytoplankton-Biomasse (mg/L); 0-20 m	1,27 (Juni) (August 2022: 1,24)
dominierende Großgruppen Phytoplankton Jahresverlauf; 0-20 m	Bacillariophyceae (40,5 %) Cryptophyceae (32,9 %) Dinophyceae (13,0 %) Chrysophyceae (8,8 %)
Ø Chl a- Konzentration (µg/L); 0-20 m	1,7 (2022: 2,0)
maximale ChI a- Konzentration (μg/L); 0-20 m	3,8 (Mai) (August 2022 4,3)
Ø Cladocerenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	14,79 (2022: 20,09)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m² Seefläche)	23,71 (2022: 22,78)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	188,87 (2022: 187,38)
Ø Zooplanktonbiomasse (µg TM/L, bezogen auf 0-20 m)	70 (2022: 74)
Ø Ciliatenbiomasse (mg/L, bezogen auf 0-20 m)	0,144

Bodensee-Untersee

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

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

Im **Zellersee** (Wassertiefe: 22 m) wurde im Januar am 11.01.2023 eine oberflächennah bis zum Boden in 22 m Wassertiefe weitgehend ausgeglichene Wassertemperatur von 6,7 °C bis 6,8 °C registriert. Am 07.03.2023 wurde eine vertikal konstante Temperatur von 4,6 °C in der gesamten Wassersäule gemessen. Am 04.04.2023 wurde eine bereits wieder leicht erwärmte Wassersäule angetroffen, bei der oberflächennah 7,6 °C und 7,5 °C in Bodennähe registriert wurden. Am 03.05.2023 wurde mit einer Temperatur von 13,0 °C bereits eine deutliche Erwärmung des Oberflächenwasserkörpers und beginnende thermische Schichtung des Gewässers0 registriert, als bodennah 8,4 °C gemessen wurden.

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

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

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 07.02.2023 mit T_{min} = 3,8 °C und im Zellersee mit T_{min} = 4,6 °C am 07.03.2023 gemessen. Aufgrund der flacheren Morphometrien wurden im Vergleich zum Rheinsee leicht höhere maximale **Tiefenwassertemperaturen** an den tiefsten Stellen dieser beiden Teilbecken registriert. Die maximale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit T_{max} = 10.9 °C am 08.08.2023 und im Zellersee mit T_{max} = 10.6 °C am 07.11.2023 gemessen.

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

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

Der minimale **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug 2023 im Rheinsee 1,3 mg/L (2022: 0,1 mg/L). Im Tiefenwasserbereich des Zellersees wurde 2023 ein Sauerstoff-Minimum im September von 0,2 mg/L beobachtet. Im Jahr 2022 lag dieses im Oktober bei 0,2 mg/L. Der Gnadensee zeigte in den Herbstmonaten wie im Vorjahr sauerstofffreie Verhältnisse über Grund. Ende des Jahres konnten sich die Sauerstoffwerte in allen Seeteilen des Untersees wieder erholen.

Phytoplankton und Pigmente

Die mittlere Phytoplankton-Biomasse war im Vergleich zu 2022 im Zellersee kaum verändert und hat in den anderen beiden Seeteilen leicht abgenommen (Tab. 2). Auffällig war, dass die maximal beobachteten Phytoplankton-Werte im Rheinsee mit 0,85 mg/L (2022: 1,5 mg/L) deutlich und im Gnadensee mit 1,06 mg/L (2022: 1,25 mg/L) etwas niedriger waren als im Vorjahr. Die mittleren Chlorophyll-a-Konzentrationen folgten der Entwicklung der Phytoplankton-Biomassen; sie waren im Zellersee mit den Werten aus 2022 vergleichbar und nahmen im Gnaden- und Rheinsee leicht ab. In allen drei Seeteilen waren Kieselalgen und Cryptophyceen die dominierenden Phytoplankton-Gruppen. Auffällig war im Oktober ein hoher Anteil an Cyanobakterien im Gnadensee (v.a. *Planktothrix rubescens*).

Zooplankton

Die mittlere Abundanz der Ruderfußkrebse (Copepoden) nahm im Zellersee und Gnadensee leicht zu (Tab. 2). Die mittlere Abundanz der Wasserflöhe (Cladoceren) erhöhte sich nur im Gnadensee und Rheinsee, im Zellersee lagen sie auf ähnlichem Niveau wie im Vorjahr. Im Zellersee und Rheinsee wurde die Wasserflohbiomasse durch *Daphnia cucullata* bestimmt, beim Gnadensee war nach wie vor die größere Art *Daphnia galeata* im Jahresdurchschnitt am häufigsten, *Daphnia cucullata* spielte hier nur eine untergeordnete Rolle.

Der Jahresmittelwert der Rotatorienabundanz hat im Vergleich zu 2022 im Zellersee und Gnadensee deutlich zugenommen, im Rheinsee hingegen deutlich abgenommen (Tab. 2). Die Rotatorien trugen zahlenmäßig zwischen 78 % und 89 % zur Abundanz bei, machten aber bei Betrachtung der Biomasse lediglich ca. 3 % bis 8 % aus.

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

Ciliatenplankton

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

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

	Zellersee (0-20 m)	Gnadensee (0-18 m)	Rheinsee (0-30 m)
Ø Phytoplankton-Biomasse (mg/L)	0,66 (2022: 0,65)	0,66 (2022: 0,72)	0,35 (2022: 0,49)
max. Phytoplankton- Biomasse (mg/L)	1,58 (Mai) (2022: Mai 0,91)	1,06 (Mai) (2022: Mrz 1,25)	0,85 (Jun) (2022: 1,52 Jun)
dominierende Phyto- planktongruppen Jah- resverlauf	Bacillariophyceen (38,6 %) Cryptophyceen (36,4 %) Chrysophyceen (13,2 %)	Cryptophyceen (32,9 %) Bacillariophyceen (32,3 %) Chrysophyceen (14,2 %)	Bacillariophyceen (41,1 %) Cryptophyceen (40,6 %)
Ø Chl a-Konzentration (µg/L)	2,99 (2022: 2,95)	3,29 (2022: 3,7)	1,48 (2022: 2,16)
maximale ChI a- Konzentration (µg/L)	5,6 (Mrz) (2022: Mrz 5,7, Okt 5,4)	4,7 (Feb) 4,85 (Okt.) (2022: Feb/Mrz 5,2, Okt 5,6)	2,2 (Okt) (2022: Okt 3,7)
Ø Cladocerena- bundanz (10 ⁴ Indivi- duen/m ² Seefläche)	18,34 (2022: 18,73)	19,99 (2022: 15,25)	8,03 (2022: 6,9)
Ø Copodenabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	26,18 (2022: 24,93)	43,05 (2022: 33,93)	16,93 (2022: 19,73)
Ø Rotatorienabundanz (10 ⁴ Individuen/m ² Seefläche)	215,94 (2022: 139,01)	218,23 (2022: 140,78	195,02 (2022: 280,6)
Ø Zooplanktonbio- masse (μg TM/L)	110 (2022: 110)	186 (2022: 165)	38 (2022: 41)
Ø Ciliatenbiomasse (mg/L)	0,206	0,193	0,126

Fazit und Handlungsbedarf

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

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

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

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

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

Untersuchungsprogramm Freiwasser

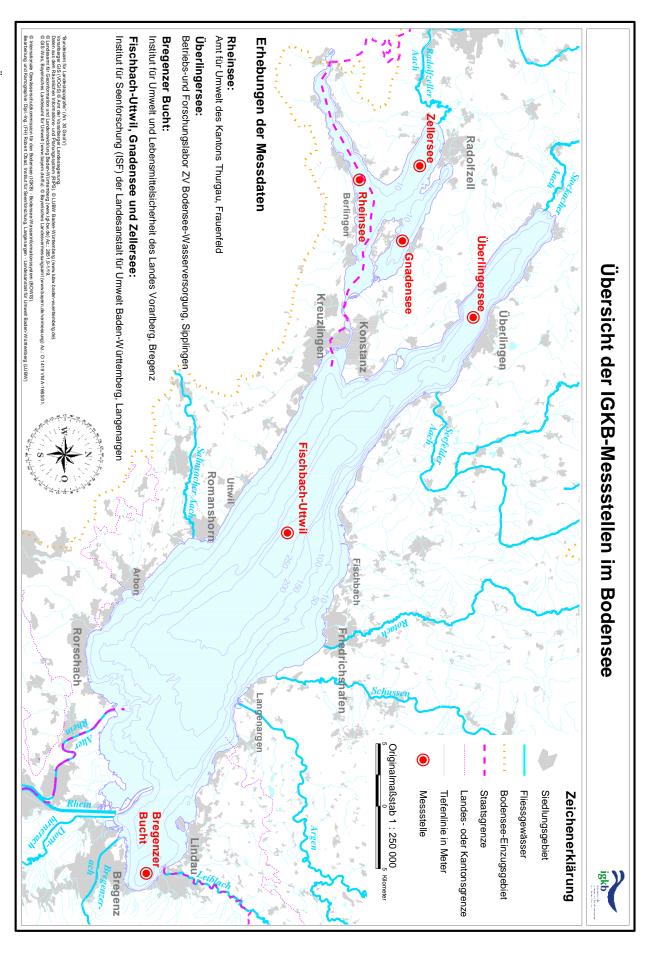
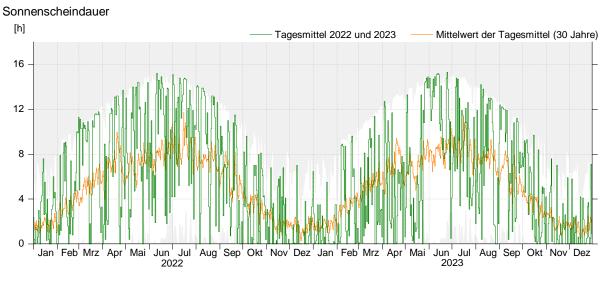
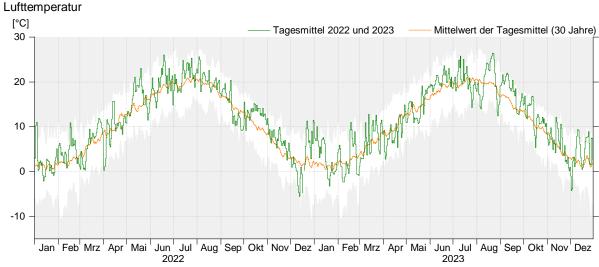


Abb. 1: Übersichtskarte der IGKB-Messstellen im Bodensee (2022-2023).

Meteorologie





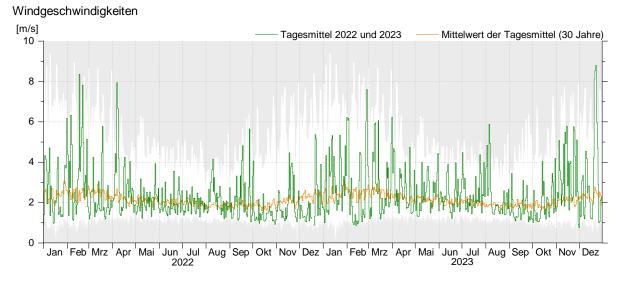


Abb. 2: Meteorologische Größen mit Bereichen zwischen Maxima und Minima langjähriger Tagesmittel. Quelle: Daten der Wetterstation Konstanz des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Meteorologisch war das Jahr 2022 nach den beiden Rekordjahren 2018 und 2020 und dem etwas kühleren Jahr 2021 ein wiederum sehr warmes, sehr sonnenreiches und sehr niederschlagsarmes Jahr, das hinsichtlich der Temperaturen und Sonnenscheindauer neue Rekorde aufstellt. Der DWD spricht in seinem Jahresbericht von "starker Trockenheit, fulminanten Hitzewellen und Rekorden bei Temperatur und Sonnenscheindauer" (DWD, Klimastatusbericht 2022).

Das deutschlandweite Gebietsmittel der Temperatur lag dabei mit 10,5 °C um 2,3 K über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode (IRP, 1961 – 1990), was 2022 gemeinsam mit dem Jahr 2018 zum wärmsten Jahr seit 1881 macht. Dabei traten nur mit Ausnahme des Septembers in allen Monaten positive Temperaturanomalien gegenüber der Referenzperiode auf.

Das zeigte sich auch in den Gebietsmittelwerten für Baden-Württemberg, wo mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C eine positive Abweichung von +2,5 K gegenüber dem Wert der Internationalen Referenzperiode registriert wurde. Mit Ausnahme des Monats September (0.0 K) wiesen auch für dieses Gebiet alle Monate des Jahres eine gegenüber der Referenzperiode positive Temperaturanomalie auf.

Mit 2024,1 Sonnenstunden im deutschlandweiten Gebietsmittel war das Jahr 2022 außerdem ein überdurchschnittlich sonnenscheinreiches, das mit diesem Wert deutlich über dem langjährigen Mittelwert von 1607 Sonnenscheinstunden der Referenzperiode 1961 bis 1990 lag und seit 1951 das sonnenreichste Jahr war. Als besonders warme Monate mit den größten positiven Temperaturanomalien der Monatsmitteltemperaturen insbesondere Monate zu Februar sind folgende nennen mit einer Monatsmitteltemperatur von 4,0 °C und einer positiven Temperaturanomalie von +3,6 K, Mai mit einer Monatsmitteltemperatur von 14,9 °C (+3,0 K), Juni mit 18,8 °C (+3,7 K), Juli mit 20,0 °C (+3,0 K) und August 2022 mit 20,3 °C (+3,9 K) sowie Oktober mit 12,9 °C (+ 4,2 K).

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

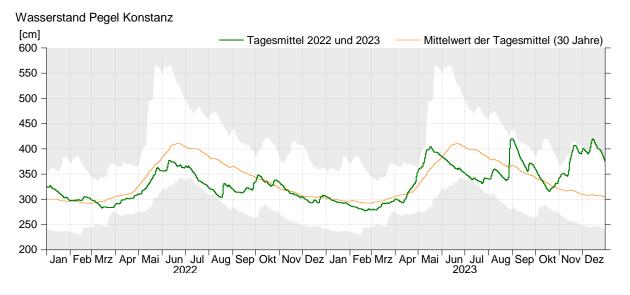
Das deutschlandweite Gebietsmittel der Temperatur lag dabei mit 10,6 °C um 2,3 K über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode (IRP, 1961 – 1990), was 2023 vor den Jahren 2018 und 2022 zum wärmsten Jahr seit 1881 macht. Dabei traten im deutschlandweiten Gebietsmittelwert in allen Monaten positive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

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

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

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

Hydrologie



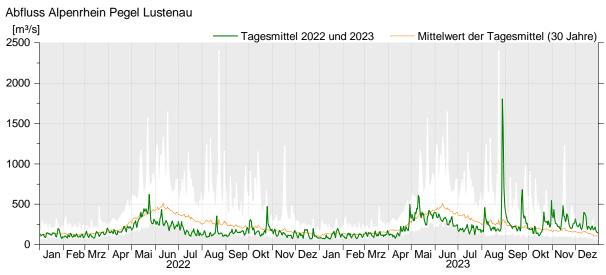


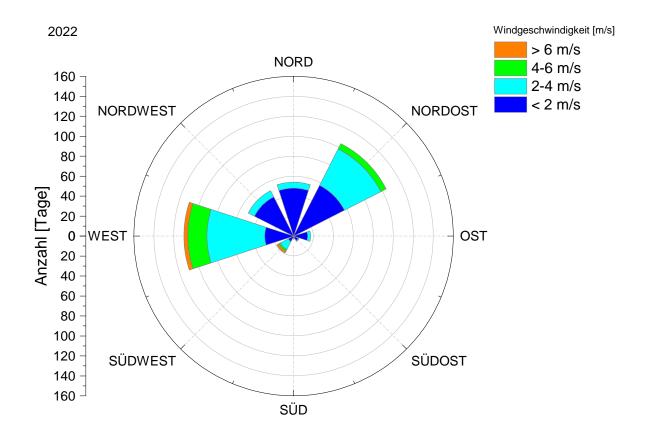
Abb. 3: Hydrologische Größen; Wasserstand Pegel Konstanz und Abfluss Alpenrhein Pegel Lustenau. Quellen: Hochwasser-Vorhersage-Zentrale (HVZ) Baden-Württemberg, BodenseeOnline.

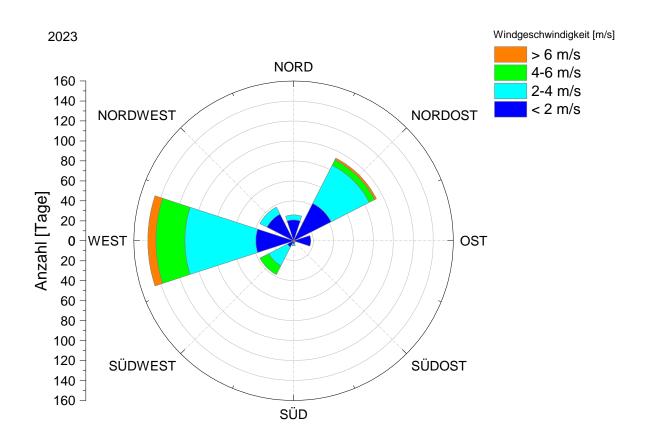
Das Jahr 2022 zeigte Wasserstände (Abb. 3), die sich von Januar bis Mai im Bereich der langjährigen Mittelwerte (1850 - 2021) bewegten. Dabei traten im Januar und Februar leicht überdurchschnittliche Werte auf, während im März, April und Mai leicht unterdurchschnittliche Werte gemessen wurden. In den Sommermonaten Juni, Juli, August und auch noch im September lagen die Wasserstände dann aufgrund der sehr warmen und niederschlagsarmen Witterung weit unterhalb der Mittelwerte, wobei im August sogar die Annäherung an die langjährigen Minimalwerte erfolgte. Im Oktober bis Dezember wurden dann wieder Wasserstände registriert, die fast exakt die langjährigen Mittelwerte reproduzierten. Der niedrigste Pegelstand wurde in Konstanz am

15.03.2022 mit 282,4 cm registriert, der höchste Pegelstand am 11.06.2022 mit 377,4 cm.

Das Jahr 2023 zeigte Wasserstände (Abb. 3), die sich von Januar bis April im Bereich der langjährigen Mittelwerte (1850 – 2021) bewegten. Im Mai wurden dann gegenüber den langjährigen Mittelwerten deutlich erhöhte Wasserstände registriert. In den Sommermonaten Juni, Juli und August lagen die Wasserstände dann aufgrund der sehr warmen und niederschlagsarmen Witterung zum Teil weit unterhalb der Mittelwerte und näherten sich speziell im Juli den langjährigen Extrema an, ohne diese zu erreichen. Ende August kam es dann im Lauf einer stark niederschlagsreichen Periode zwischen dem 24.08.2023 und 31.08.2023 zu einem raschen Anstieg des Wasserstandes um 83 cm. Im September und Oktober wurden dann wieder Wasserstände registriert, die nahe den langjährigen Mittelwerten lagen. In den folgenden niederschlagsreichen Monaten November und Dezember kam es dann noch einmal zu einem starken Anstieg der Wasserstände. Im Dezember wurden dann sogar langjährige Maxima erreicht und an insgesamt 19 Tagen überschritten. Mit 420 cm wurde am Pegel Konstanz am 15.12.2023 der bisherige maximale Dezemberwasserstand vom 410 cm vom 01.12.1944 um 10 cm übertroffen.

Windverteilung





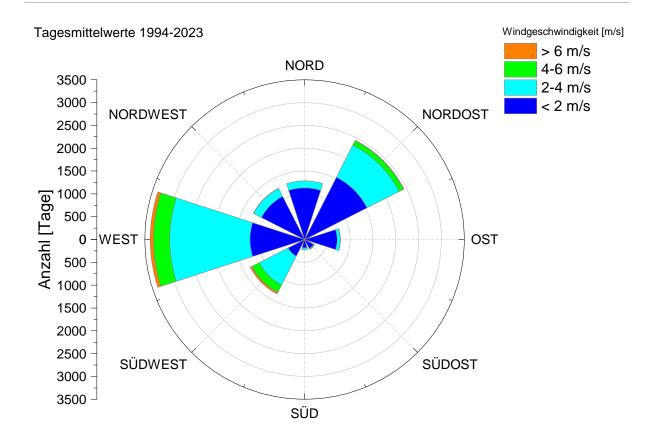


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung des Windes für die Jahre 2022 und 2023 (obere Abbildungen) bzw. die letzten 30 Jahre (untere Abbildung). Quelle: Daten der Wetterstation Konstanz des Deutschen Meteorologischen Dienstes (DWD).

Die Windrichtungsverteilungen der Jahre 2022 und 2023 zeigen für die Wetterstation Konstanz des Deutschen Meteorologischen Dienstes (DWD) als Hauptwindrichtungen West und Südwest sowie Nordost (siehe Abb. 4). Die Jahresrichtungsverteilungen für 2022 und 2023 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

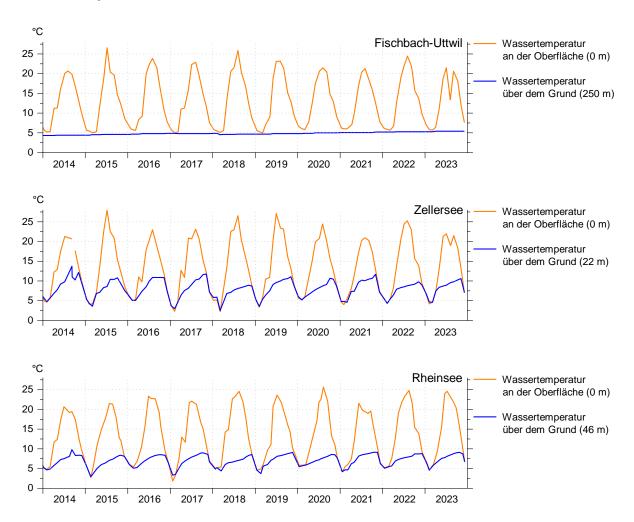


Abb. 5: Langzeitliche Wassertemperaturentwicklung an der Oberfläche und über Grund für die Seeteile Obersee (Messstelle Fischbach-Uttwil), Zellersee und Rheinsee.

Die langjährige Entwicklung der Wassertemperatur zeigt relativ ähnliche Verläufe für die Oberflächenwassertemperatur der drei Seeteile Bodensee Obersee, Zellersee und Rheinsee in den Jahren 2014-2023 (siehe Abb. 5).

Die Temperaturen im Obersee an der Station Fischbach-Uttwil in 250 m Wassertiefe variieren in diesem Zeitraum zwischen etwa 4,3 °C und außergewöhnlich hohen 5,4 °C. Dabei steigen die Temperaturen an der tiefsten Stelle des Sees von etwa 4,3 °C im Januar 2014 relativ kontinuierlich auf 5,4 °C im Dezember 2023 an, werden jedoch durch die Durchmischungsgeschehnisse im Spätwinter und frühen Frühjahr auch jahresspezifisch leicht moduliert.

Wärmeinhalt

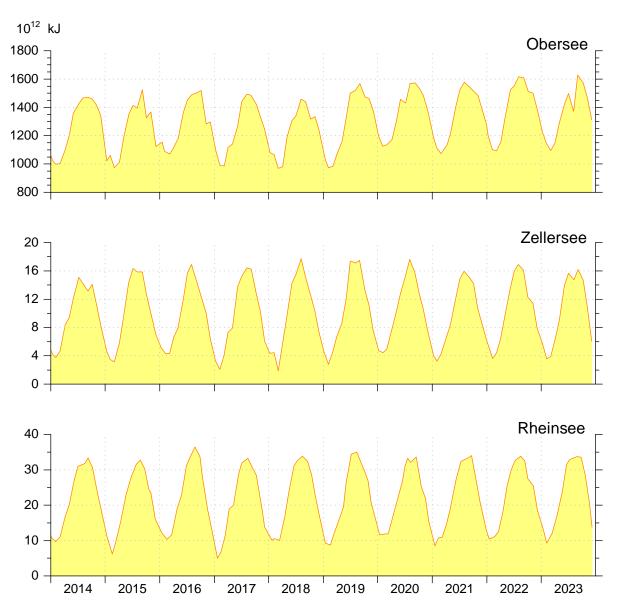


Abb. 6: Wärmeinhalt in den Seeteilen Obersee (0-250 m), Zellersee (0-22 m) und Rheinsee (0-45 m).

Der zeitliche Verlauf des Wärmeinhaltes in den verschiedenen Seeteilen (Abb. 6) ermöglicht eine Abschätzung der zeitlich integrierten Wärmeflüsse im Bodensee. Für die Jahre 2022 und 2023 werden im Obersee – repräsentiert durch die Temperaturmessungen der Station Fischbach-Uttwil – Werte für den Wärmeinhalt des Bodensees erreicht, die ebenso wie in den direkten Vorjahren im Vergleich zu z. B. den Jahren 2014 und 2015 überdurchschnittliche Werte erreichen. Insbesondere verbleiben die winterlichen Wärmeinhalte des Bodensees in den Jahren 2022 und 2023 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 steht.

Die Wärmeinhalte der Jahre 2022 und 2023 stehen natürlich in direkter Korrelation zu den meteorologischen Bedingungen in diesen beiden Jahren, die sehr hohe, überdurchschnittliche Jahresmitteltemperaturen aufweisen, die für 2022 mit einem sehr heißen und sonnenreichen Sommer verbunden sind, während sich 2023 insbesondere durch sehr milde Winter- und Herbsttemperaturen auszeichnet.

Für den Zellersee und den Rheinsee werden für die Jahre 2022 und 2023 Wärmeinhalte ermittelt, die sich im Bereich der normalen Schwankungsbreite bewegen.

Wassertemperatur

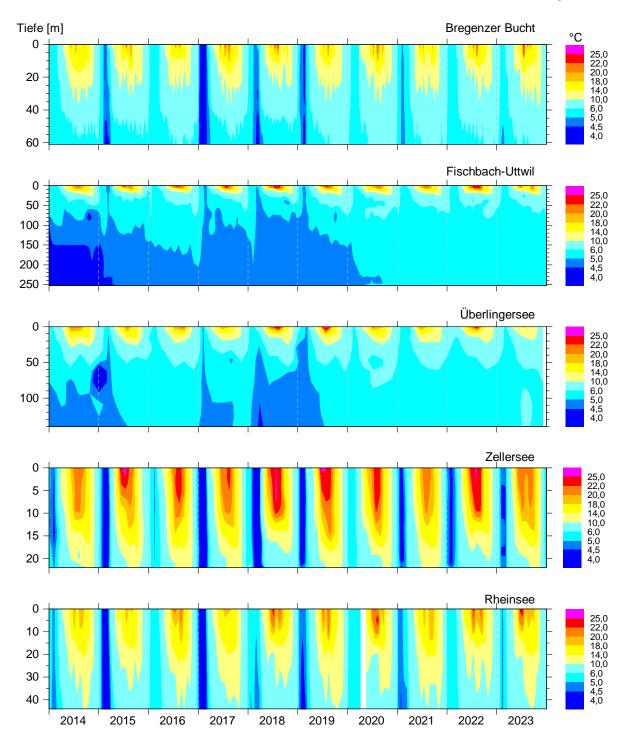


Abb. 7: Wassertemperaturverteilung in der Bregenzer Bucht (Obersee), in Seemitte (Messstelle Fischbach-Uttwil), im Überlingersee, sowie im Zellersee (Untersee) und Rheinsee (Untersee).

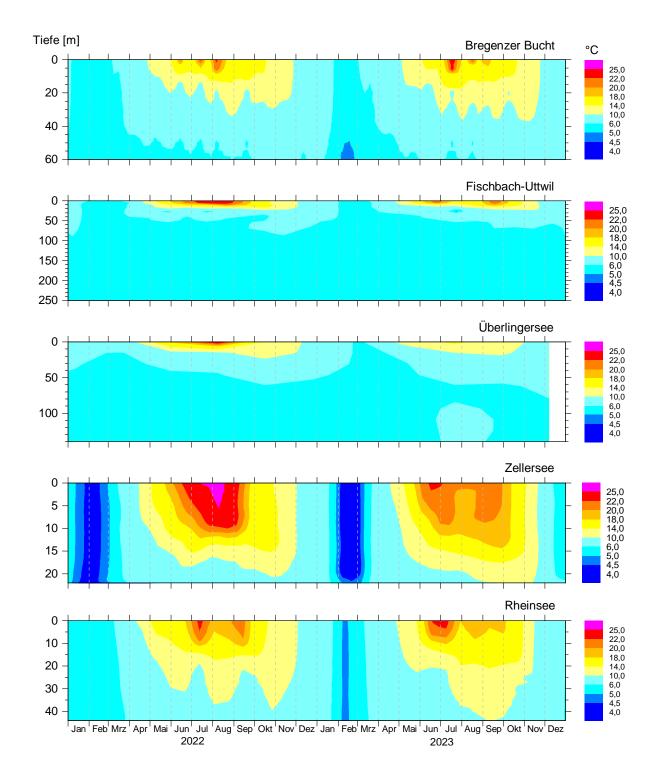


Abb. 8: Wassertemperaturverteilung in den Jahren 2022/2023 in der Bregenzer Bucht (Obersee), in Seemitte (Messstelle Fischbach-Uttwil), im Überlingersee, sowie im Zellersee (Untersee) und Rheinsee (Untersee).

Die langjährige Temperaturentwicklung wird für den Zeitraum 2014 bis 2023 in Abb. 7 und für die Jahre 2022 und 2023 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.

Auffällig sind auch die Unterschiede für die oberflächennahen Temperaturschichten in den Jahren 2022 und 2023 (siehe Abb. 8). Diese Wasserschichten werden im Jahr 2022 aufgrund des meteorologisch sehr warmen Sommers stark erwärmt und zeigen insgesamt höhere Werte als im Jahr 2023, dass davon unabhängig trotzdem sehr hohe mittlere Temperaturen erreicht, jedoch keine so deutlich ausgeprägten Warmphasen im Sommer wie das Jahr 2022 zeigt.

Am 02.08.2022 wurde an der Station Fischbach-Uttwil mit 24,8 °C die höchste Wassertemperatur im Jahr 2022 gemessen. Am 05.07.2022 wurde eine Oberflächenwassertemperatur von 22,8 °C registriert, am 06.09.2022 eine Temperatur von 21,9 °C.

Der Messpunkt Fischbach-Uttwil zeigt gleichzeitig die hohen Tiefenwassertemperaturen in den Jahren 2022 und 2023, die mit 5,3 °C bzw. 5,4 °C neue Rekordwerte erreichen.

Eine Besonderheit ist in den Messungen der Wassertemperaturen - die auch einen Einfluss auf die abgeleiteten Werte und Grafiken z.B. der Wärmeinhalte haben - insbesondere im Bodensee-Obersee aber auch in schwächerer Form im Zellersee am 07.08.2023 zu beobachten. Zu dieser Zeit wurde durch ein Starkwindereignis ein sogenanntes "Upwelling-Ereignis" initiiert, bei dem kurzzeitig das warme Oberflächenwasser durch kaltes Wasser aus tieferen Wasserschichten verdrängt wurde und am Messpunkt Fischbach-Uttwil eine Temperatur von nur 13,4 °C an der Oberfläche gemessen wurde. Simulationen mit dem BodenseeOnline-Modellsystem zeigen den sehr kurzzeitigen, vorübergehenden Charakter dieses Ereignisses, das sich nur über etwas mehr als einen Tag zeigte.

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

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den milden Winter 2021/2022 sowie durch das sehr warme Jahr 2022 geprägt, dass insbesondere durch einen sehr warmen und sonnenreichen Sommer geprägt war.

Im Rheinsee (Wassertiefe: 45 m) wurde am 17.01.2022 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit Wassertemperaturen zwischen 5,2 °C und bodennah 5,1 °C gemessen. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 16.08.2022 mit 24,8 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von $T_{min} = 5,1$ °C am 17.01.2022 und $T_{max} = 8,8$ °C am 06.12.2022.

Die oberflächlichen Höchsttemperaturen wurden im Zellersee und Gnadensee jeweils am 01.08.2022 im Gnadensee mit 26,0 °C und im Zellersee mit 25,2 °C gemessen.

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit $T_{min} = 3.9$ °C und im Zellersee mit $T_{min} = 4.3$ °C jeweils am 09.02.2022 gemessen. Aufgrund der flacheren Morphometrien wurden im Vergleich zum Rheinsee leicht höhere maximale Tiefenwassertemperaturen an den tiefsten Stellen dieser beiden Teilbecken registriert. Die maximale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit $T_{max} = 10.2$ °C am 04.10.2022 und im Zellersee mit $T_{max} = 9.3$ °C am 07.11.2022 gemessen.

Die oberflächlichen Wassertemperaturen Anfang des Jahres 2023 waren wie in den vorhergehenden Jahren durch den erneut sehr milden Winter 2022/2023 geprägt. An der Station Fischbach-Uttwil lagen die Oberflächentemperaturen am 10.01.2023 und am 06.02.2023 mit 7,1 °C und 5,8 °C im Bereich des Vorjahres zu dieser Zeit.

Die Wassertemperatur in 250 m erreichte in diesem Winter zu dieser Zeit mit 5,3 °C einen außergewöhnlich hohen Wert, der noch einmal 0,1 K höher als im Vorjahr zu dieser Zeit war.

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

2023 war wie bereits die vier Vorgängerjahre ein Jahr mit schlechter Zirkulation.

Die Temperatur- und Schichtungsverhältnisse waren in den drei Seeteilen Rheinsee, Zellersee und Gnadensee durch den milden Winter 2022/2023 sowie durch das wiederum

im Mittel sehr warme Jahr 2023 geprägt, das insbesondere überdurchschnittlich warme Winter-und Herbstmonatsmitteltemperaturen zeigte.

Im Rheinsee (Wassertiefe: 45 m) wurde am 18.01.2023 eine relativ homogene Temperaturverteilung mit Wassertemperaturen zwischen 6,4 °C und bodennah 6,2 °C gemessen. Im weiteren Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper bis im Rahmen des monatlichen Routinemonitorings am 11.07.2023 mit 24,6 °C der höchste Messwert des Jahres im Rheinsee registriert wurde. Aufgrund der warmen Witterung im September wurde dann noch am 25.09.2023 eine Oberflächentemperatur von 20,4 °C gemessen. Die Temperatur an der tiefsten Stelle folgte einem ausgeprägten Jahresgang mit einer minimal registrierten Temperatur von $T_{min} = 4,6$ °C am 07.02.2023 und $T_{max} = 9,1$ °C am 23.10.2023.

Im Zellersee (Wassertiefe: 22 m) wurde im Januar am 11.01.2023 eine oberflächennah bis zum Boden in 22 m Wassertiefe weitgehend ausgeglichene Wassertemperatur von 6,7 °C bis 6,8 °C registriert.

Im Gnadensee (Wassertiefe: 19 m) wurde am 11.01.2023 eine weitgehend ausgeglichene Temperaturverteilung vorgefunden, die eine Temperatur von 6,5 °C an der Oberfläche und 6,4 °C am Boden aufwies.

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

Die minimale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee am 07.02.2023 mit T_{min} = 3,8 °C und im Zellersee mit T_{min} = 4,6 °C am 07.03.2023 gemessen. Aufgrund der flacheren Morphometrien wurden im Vergleich zum Rheinsee leicht höhere maximale Tiefenwassertemperaturen an den tiefsten Stellen dieser beiden Teilbecken registriert. Die maximale Tiefenwassertemperatur wurde im Gnadensee mit T_{max} = 10.9 °C am 08.08.2023 und im Zellersee mit T_{max} = 10.6 °C am 07.11.2023 gemessen.

Langzeitentwicklung von Sauerstoff, Gesamtphosphor, Ammonium und Nitrat

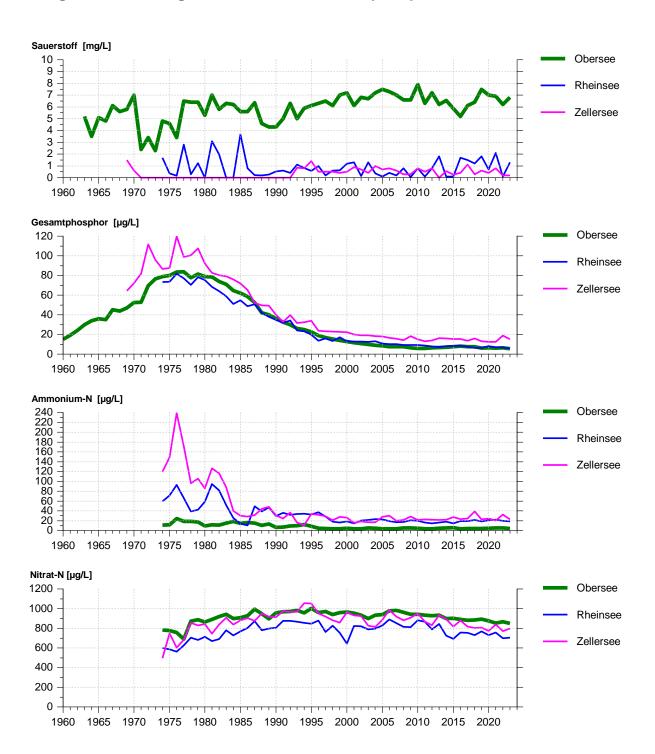


Abb. 9: Übersicht über die Langzeitentwicklung der Sauerstoffminima über Grund, sowie der Gesamtphosphor-, Ammonium-N- und Nitrat-N-Jahresmittelwerte in Seemitte Obersee (FU), Zellersee und Rheinsee. Die Parameter werden im Detail bei den jeweiligen Isoplethendarstellungen diskutiert.

Sauerstoff

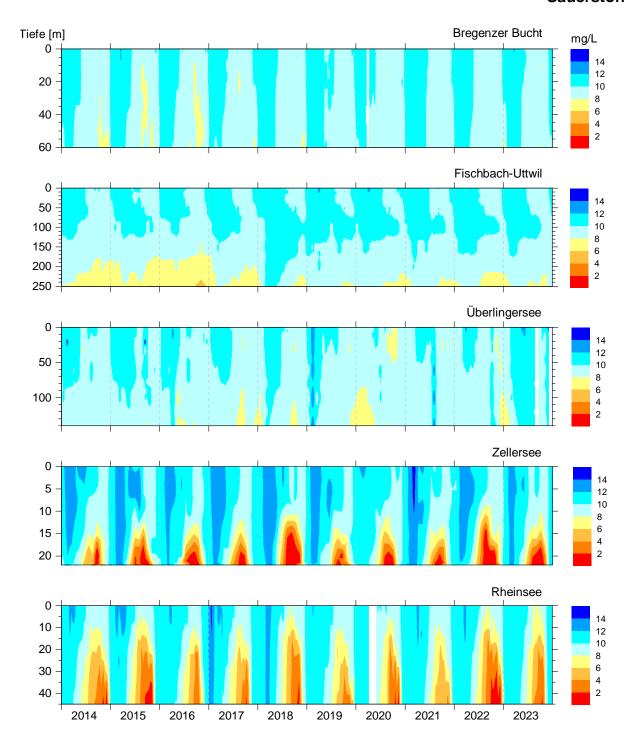


Abb. 10: Sauerstoffverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

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 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

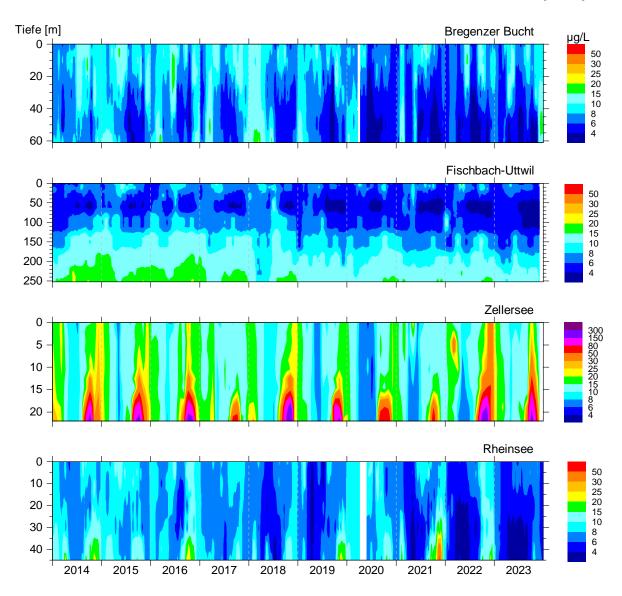


Abb. 11: Gesamtphosphorverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

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 wie 2013 und 2016 in der Bregenzer Bucht lokal höhere Phosphorgehalte zu beobachten, insgesamt zeigt sich aber ein rückläufiger 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

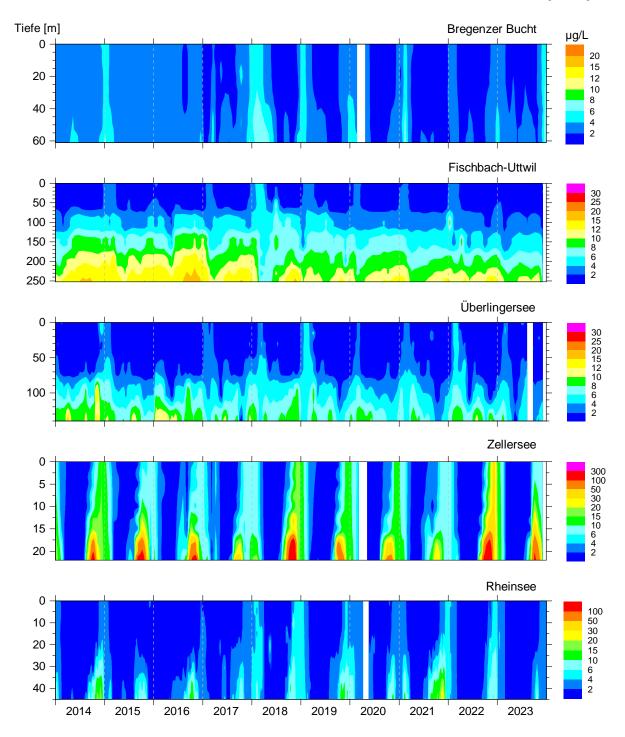


Abb. 12: Orthophosphatverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

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 (2023: 0,86 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

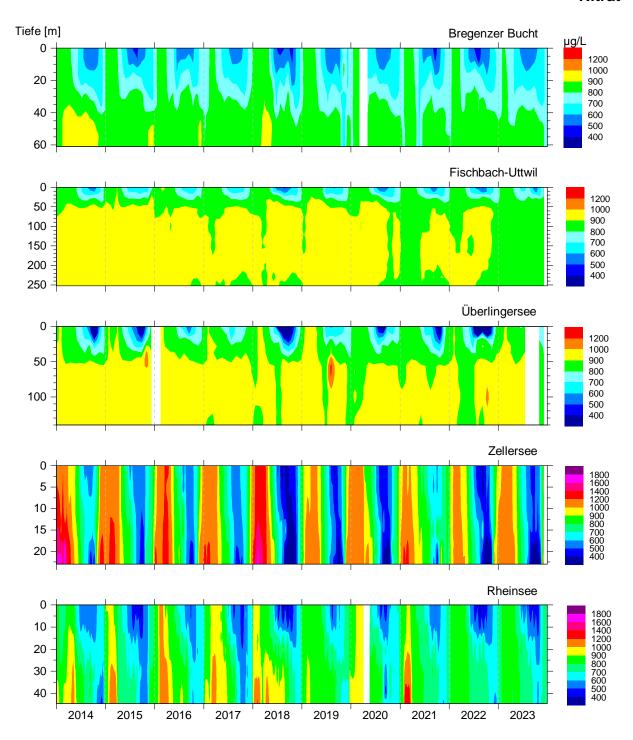


Abb. 13: Nitrat-N-Verteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, im Überlingersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Ammonium

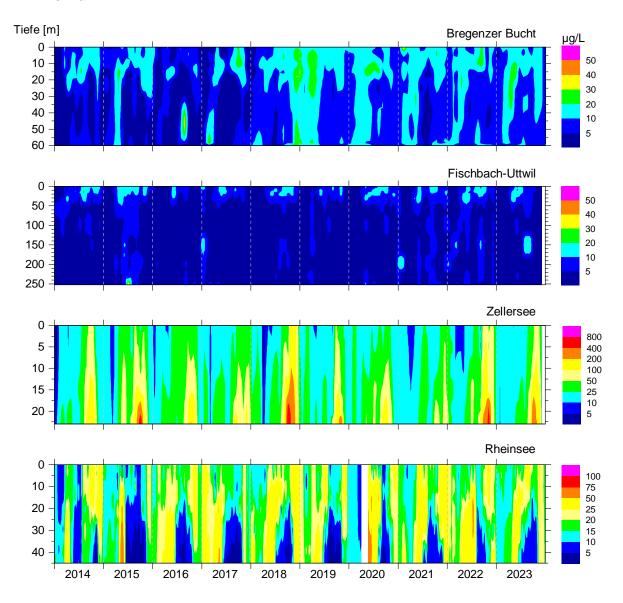


Abb. 14: Ammonium-N-Verteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

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 Ammoniumgehalten 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.

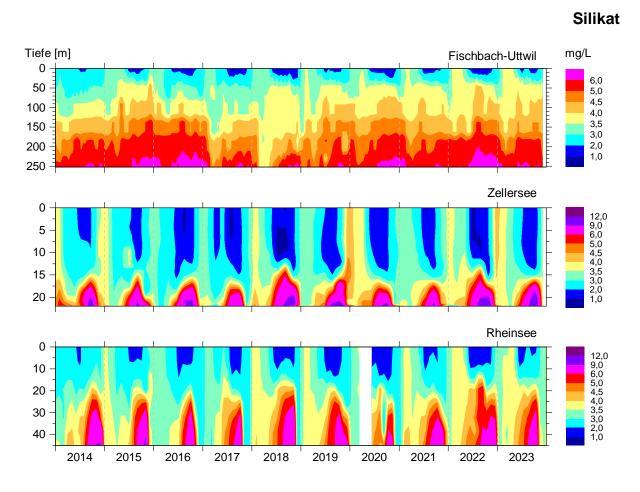


Abb. 15: Silikatverteilung in Seemitte (FU) im Obersee, im Zellersee und im Rheinsee.

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.

Chlorid

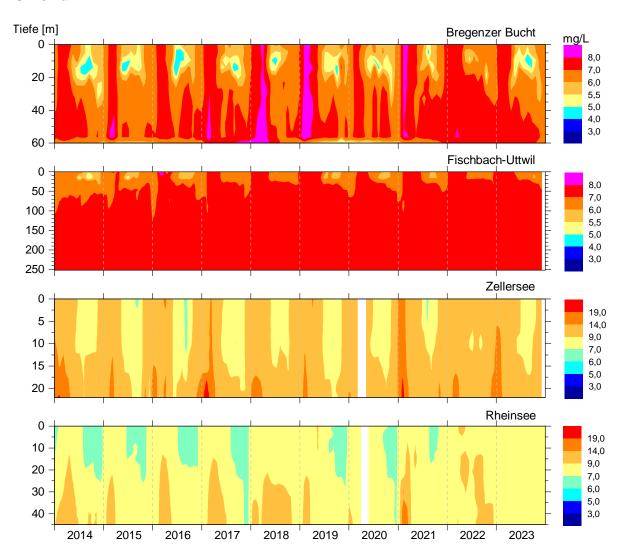


Abb. 16: Chloridverteilung in der Bregenzer Bucht, in Seemitte (FU) im Obersee, sowie im Zellersee und Rheinsee im Untersee.

Bei Schneeschmelze im Frühjahr bzw. Frühsommer führen die höheren Abflüssen und 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). Insgesamt beobachtet man bereits seit 2004 eine Zunahme an den Chloridgehalten im Obersee und diese schreitet kontinuierlich über die gesamte Wassersäule voran. 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.

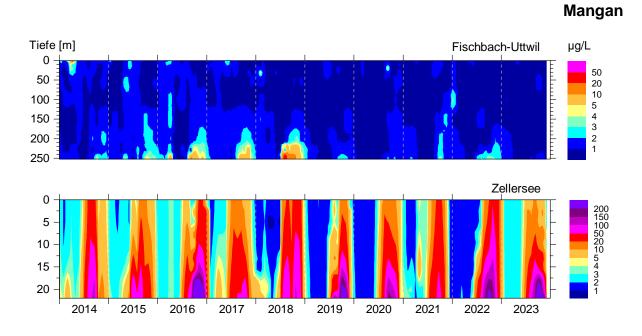


Abb. 17: Manganverteilung in Seemitte (FU) im Obersee und im Zellersee.

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

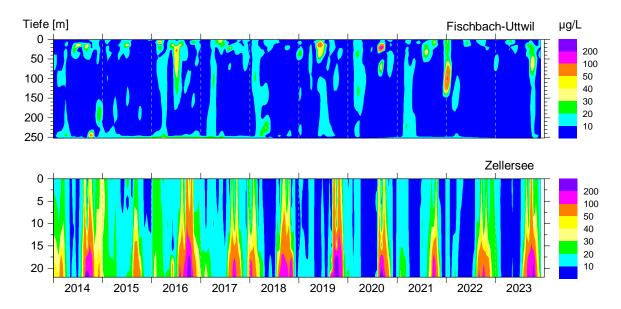


Abb. 18: Eisenverteilung in Seemitte (FU) im Obersee und im Zellersee.

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

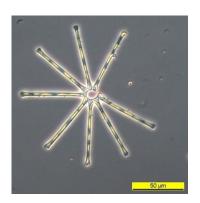


Abb. 19: Asterionella formosa.

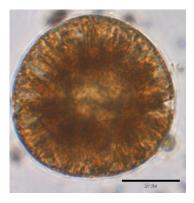


Abb. 21: Gymnodinium uberrimum.



Abb. 23: Sphaerocystis.

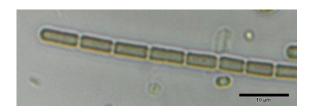


Abb. 25: Pseudanabaena limnetica.

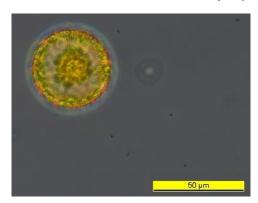


Abb. 20: Stephanodiscus neoastraea.

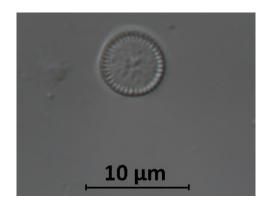


Abb. 22: Cyclotella hinziae.

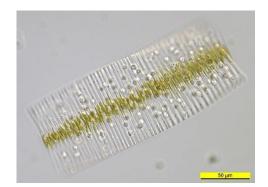


Abb. 24: Fragilaria crotonensis.



Abb. 26: Rhodomonas lens.

Bildrechte: LUBW

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil)

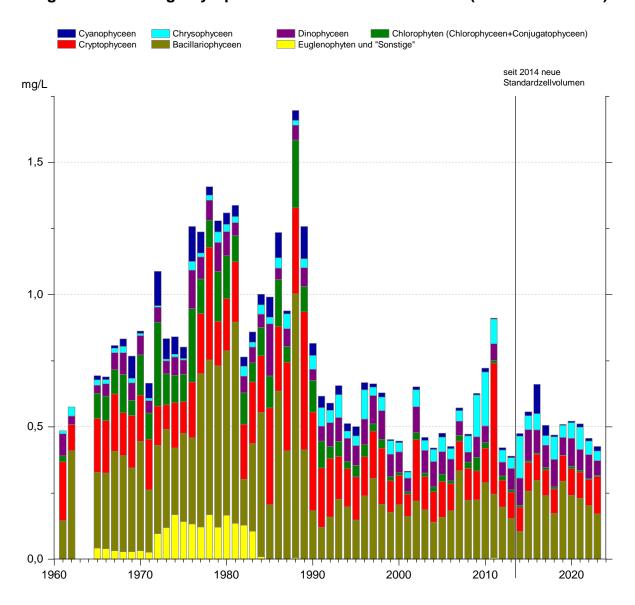


Abb. 27: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil, 1961-2023). Tiefenbereich 1965-1975: 0-50 m; ab 1976 0-20 m.

Die Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) zeigt nach der Reoligotrophierung seit den 1990er Jahren weitgehend stabile Verhältnisse der Algenklassen zueinander (Abb. 27). Auch die Biomasse des Phytoplanktons ist in den letzten zehn Jahren von kleineren natürlichen Schwankungen abgesehen sehr stabil geblieben. Das verstärkte Auftreten von Cyanobakterien in den Jahren 2016 und 2017 – eine starke Vermehrung der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) – trat in den folgenden Jahren nicht erneut auf. Der Anteil an Chlorophyten (als Sammelbegriff für die ehemals unter "Grünalgen" zusammengefassten Klassen: Chlorophyceae, Conjugatophyceae, Prasinophyceae und Ulvophyceae) hat in den 1990er und 2000er Jahren abgenommen und blieb in den letzten Jahren auf niedrigem Niveau

relativ konstant. Die größte Biomasse im Phytoplankton bilden nach wie vor die Bacillariophyceen (Kieselalgen). Cryptophyceen (Schlundalgen), Chrysophyceen (Goldalgen) und Dinophyceen (Panzerflagellaten) sind in den letzten Jahren oft in sehr ähnlichen Mengenverhältnissen vorhanden. Ein Trend zu einer dauerhaften Verschiebung der Mengenverhältnisse ist hier nicht erkennbar.

Wie auch in den vorangegangenen Grünen Berichten Nr. 41 - Nr. 44 wurden aktualisierte Standardzellvolumina zur Berechnung der Biomassen herangezogen.

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Obersee (Überlingersee)

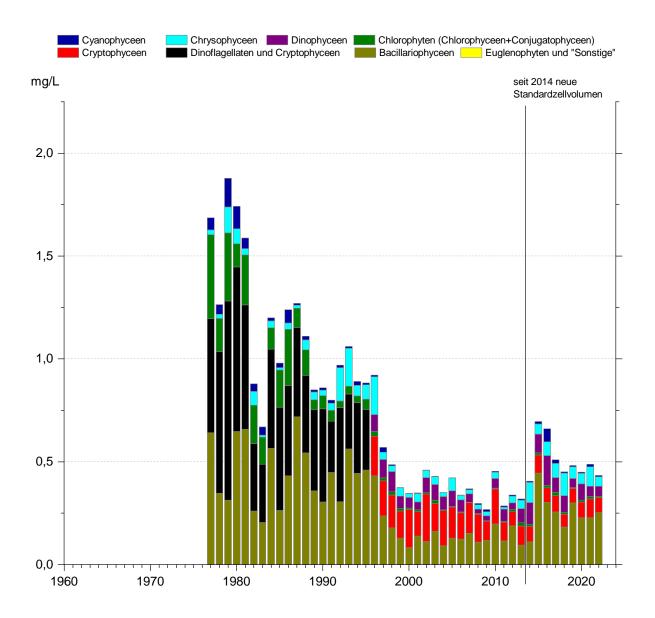


Abb. 28: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee (Überlingersee, 1977-2023). Daten erhoben von der BWV.

Im Überlingersee haben sich nach 2015 Bacillariophyceen als biomassereichste Algengruppe des Phytoplanktons etabliert (Abb. 28). Cryptophyceen, die in den 2000er Jahren noch einen fast ebenso großen bzw. in einigen Jahren sogar größeren Anteil an der Biomasse des Phytoplanktons hatten, sind hingegen in Menge und Anteil zurückgegangen, während Chrysophyceen eine Tendenz zu einem höheren Biomasseanteil hinzeigten, die allerdings wegen der 2014 erfolgten Umstellung des Berechnungsverfahrens vorsichtig interpretiert werden muss. Hinsichtlich der älteren Daten ist zu beachten, dass das Phytoplankton von 1977 bis 1995 nach einem vereinfachten

Verfahren ausgewertet wurde, bei dem Dinoflagellaten und Cryptophyceen zusammengefasst wurden. Eine Interpretation dieser beiden Gruppen vor 1996 ist deshalb nicht möglich. Mit der Reoligotrophierung sind seit 1997 die Chlorophyten sehr stark zurückgegangen und stellen in den letzten Jahren nur noch unbedeutende Anteile der Biomasse. Gleiches gilt für die Cyanobakterien, mit der Ausnahme, dass die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) 2016 und 2017 sich stark vermehrte und dadurch die Biomasse insgesamt und den Anteil der Cyanobakterien am Phytoplankton erhöhte. Diese Entwicklung wiederholte sich in den jüngeren Jahren nicht.

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Zellersee)

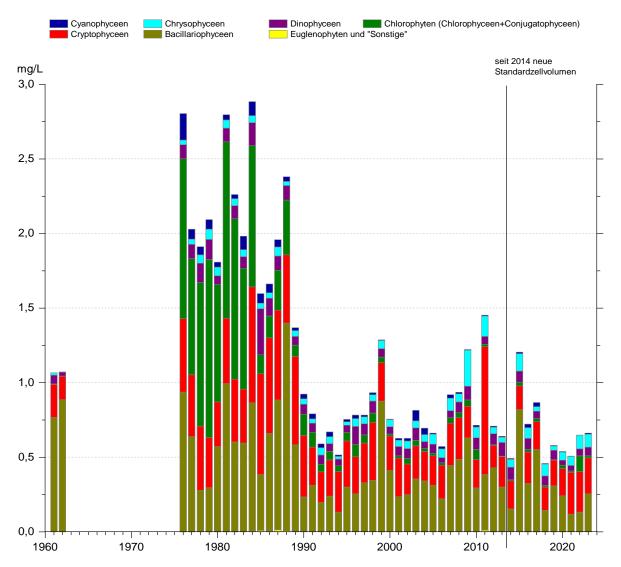


Abb. 29: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee (Zellersee, 1976-2023).

Im Zellersee ist seit der Reoligotrophierung wie in den anderen Seeteilen auch, die Biomasse des Phytoplanktons deutlich zurückgegangen (Abb. 29). Die Schwankungen im Zellersee sind etwas ausgeprägter als in den anderen Seeteilen. Seit Ende der 1990er Jahren gab es wiederholt aufeinanderfolgende Untersuchungsjahre, bei denen sich die Biomasse fast halbierte bzw. verdoppelte. Bei den Algengruppen fand die größte Veränderung bei den grünen Algen (Chlorophyten, als Sammelgruppe von Chlorophyceen, Conjugatophyceen, Ulvophyceen und sonstigen ehemals als Grünalgen klassifizierte Algen) statt. Bildete diese Gruppe 1976 bis 1984 noch einen wesentlichen, in mehreren Jahren den größten Teil der Phytoplankton-Biomasse, trugen die Chlorophyten seit Mitte der 1990er Jahre nur mehr wenig zur Biomasse bei. Die wichtigsten Algengruppen sind Kieselalgen und Cryptophyceen. Je nach Untersuchungsjahr war hierbei jeweils die eine oder die andere Algengruppe dominant.

Langzeitentwicklung Phytoplankton im Bodensee-Untersee (Rheinsee)

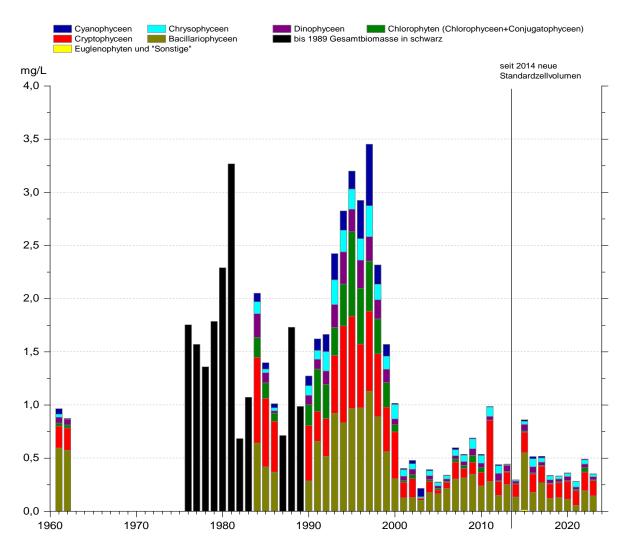


Abb. 30: Langzeitentwicklung des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee (Rheinsee, 1976-2023).

Im Seeteil Rheinsee traten während der 1990er Jahre noch sehr hohe Biomassen des Phytoplanktons auf. Seit den 2000er Jahren lagen die Messwerte deutlich niedriger und in einem ähnlichen Bereich wie im Bodensee-Obersee. In den letzten Messperioden war die Phytoplankton-Biomasse in der Regel geringer als im Obersee (Abb. 30). Bis zum deutlichen Rückgang der Biomasse stellten die Chlorophyten einen mengenmäßig bedeutenden Teil des Phytoplanktons dar. Ähnlich wie in anderen Seeteilen haben sie im Zuge der Reoligotrophierung sehr stark abgenommen und waren in den letzten Messperioden mengenmäßig unbedeutend. Die Bacillariophyceen (Kieselalgen) und Cryptophyceen (Schlundalgen) waren über den gesamten aufgezeichneten Zeitraum die wichtigsten Algengruppen. In den letzten Messperioden nahmen die Kieselalgen jedoch ab. Inwieweit das im Rahmen der natürlichen Schwankungen lag oder einen tatsächlichen Trend darstellt, lässt sich derzeit noch nicht abschätzen. Stark abgenommen haben im Rheinsee die Cyanobakterien, die in den letzten Jahren nur eine untergeordnete Rolle spielten.

Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m

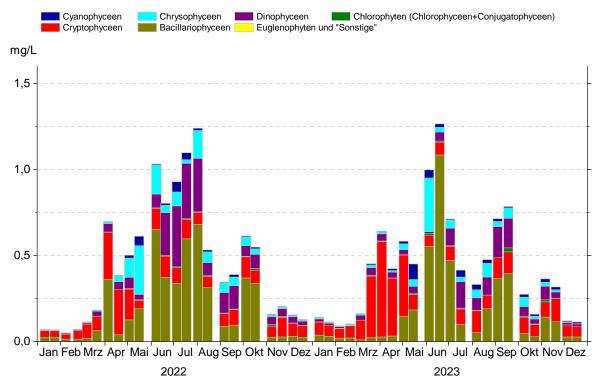


Abb. 31: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee 2022/2023 (Fischbach-Uttwil).

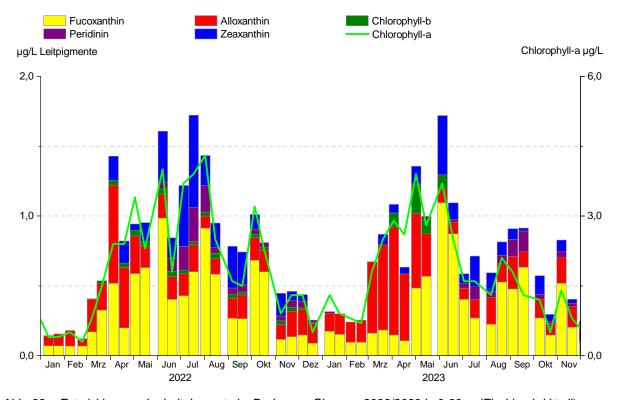


Abb. 32: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Obersee 2022/2023 in 0-20 m (Fischbach-Uttwil).

An der Messstation Fischbach-Uttwil entwickelte sich das Phytoplankton in den Jahren 2022 und 2023 relativ ähnlich und ohne besondere Auffälligkeiten (Abb. 31). Abweichungen zu den Vorjahren liegen im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite. Die durchschnittliche Phytoplankton-Biomasse ergibt für 2022 0,46 mg/L und 2023 0,42 mg/L und liegt somit geringfügig unter den Werten von 2020 und 2021.

Sowohl die mikroskopische Auszählung zur Ermittlung der Biomasse (Abb. 31) als auch die Pigmentanalyse (Abb. 32) zeigen, dass im Obersee 2022 und 2023 Kieselalgen (Bacillariophyceae) die wichtigste Algengruppe war. Gegenüber 2021 war 2022 der Anteil der Kieselalgen mit 44,2 % der Phytoplankton-Biomasse auf einem ähnlichen Niveau (2021: 45,1 %). 2023 war der Anteil mit 40,5 % etwas geringer. Cryptophyceen stellten bezogen auf die Biomasse die zweitwichtigste Artengruppe an der Messstelle Fischbach-Uttwil dar. Sie bildeten 2022 einen Anteil von 21,4 % und 2023 einen etwas höheren Anteil von 32,9 % an Biomasse des Phytoplanktons. Auch bei den Dinophyceen waren die Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren etwas ausgeprägter: 2022 hatten sie einen Anteil von 19,8 %, 2023 einen Anteil von 13,8 %. Die Anteile der Chrysophyceen an der Phytoplankton-Biomasse waren in beiden Untersuchungsjahren mit 11,2 % und 8,2 % vergleichbar.

In den Jahresverläufen konnte im April 2022 eine ausgeprägte Blüte von Asterionella formosa (Bacillariophyceae) und von Rhodomonas lens (Cryptophyceae) beobachtet werden. Das starke Wachstum von Kieselalgen im Juni wurde hingegen von Cyclotella costei geprägt, wohingegen Fragilaria crotonensis im Gegensatz zu den Vorjahren erst im Juli und August die bestimmende Kieselalgenart war. Im Frühjahr 2023 bildeten die Cryptophyceae mit Rhodomonas lens und Plagioselmis lacustris als bestimmende Arten nur eine sehr leichte Blüte. Die Kieselalgen entwickelten sich im Frühjahr 2023 schwächer. Insbesondere Asterionella formosa trat im April ungewöhnlich schwach auf. Inwieweit hierbei die Frühjahrsblüte tatsächlich nicht auftrat, oder sie nur kurz zwischen zwei Messungen stattfand und daher nicht erfasst wurde, lässt sich nicht sicher beurteilen.

Die Konzentrationen der Leitpigmente spiegeln gut die Biomasseentwicklung der Algengruppen wieder. Eine Ausnahme bildet Zeaxanthin, das sich regelmäßig in den Pigmentanalysen findet und zu dem eine Entsprechung im mikroskopischen Befund (also Cyanobakterien) fehlt. Dieses Zeaxanthin stammt aus Picoplankton, das in der routinemäßigen mikroskopischen Untersuchung nicht erfasst wird.

Leitpigmente 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Bregenzer Bucht) in 0-20 m

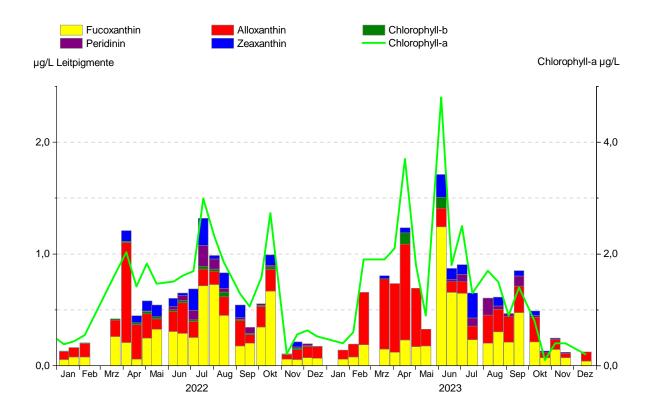


Abb. 33: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Obersee 2022/2023 (Bregenzer Bucht).

Für den Messpunkt Bregenzer Bucht wird die Entwicklung des Phytoplanktons nur über die Leitpigmentanalyse untersucht, eine mikroskopische Analyse wird nicht durchgeführt. Wie das auch in der Vergangenheit oft der Fall war, ähneln die Jahresverläufe 2022 und 2023 (Abb. 33) denen der Station Fischbach-Uttwil. Die Konzentrationen der Leitpigmente liegen 2022 überwiegend niedriger als in Seemitte (Fischbach-Uttwil). Im Untersuchungsjahr 2023 wurden in der Bregenzer Bucht vor allem Mitte April und Anfang Juni höhere Konzentrationen der Leitpigmente gemessen als an der Station Fischbach-Uttwil.

Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Obersee (Überlingersee) in 0-20 m

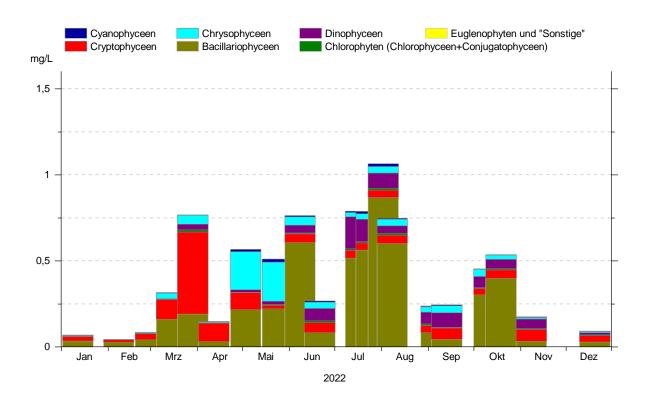


Abb. 34: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Obersee 2022 (Überlingersee). Quelle: BWV.

In der Vergangenheit entwickelte sich das Plankton im Überlingersee bedingt durch abweichende Licht- und Strömungsverhältnisse oftmals deutlich anders als in den übrigen Seeteilen. Seit mehreren Jahren geht die Entwicklung aber in Richtung einer Angleichung des Überlingersees an die Planktonentwicklung des restlichen Obersees. Aufgrund von technischen Problemen konnten im Untersuchungsjahr 2023 keine Probenahmen im Überlingersee durchgeführt werden, weswegen Phytoplankton-Daten nur aus dem Jahr 2022 betrachtet werden. Verglichen mit der Messstation Fischbach-Uttwil konnte man für 2022 eine weitgehend parallele Phytoplankton-Sukzession beobachten. Die ausgeprägte Blüte von Asterionella formosa (Kieselalge) war Ende März am Überlingersee nicht zu beobachten. Andere markante Ereignisse wie die Frühjahrsblüte von Rhodomonas lens (Cryptophyceae), das starke Wachstum der Kieselalgen im Sommer mit einer Dominanz von Cyclotella costei im Juni und Fragilaria crotonensis im Juli und August waren im Überlingersee und in Fischbach-Uttwil gleichermaßen sichtbar (Abb. 34). Die durchschnittliche Biomasse des Phytoplanktons war 2022 mit 0,43 mg/L nahezu gleich hoch wie die der Messstelle Fischbach-Uttwil.

Entwicklung Phytoplankton und Leitpigmente in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Zellersee) in 0-20 m

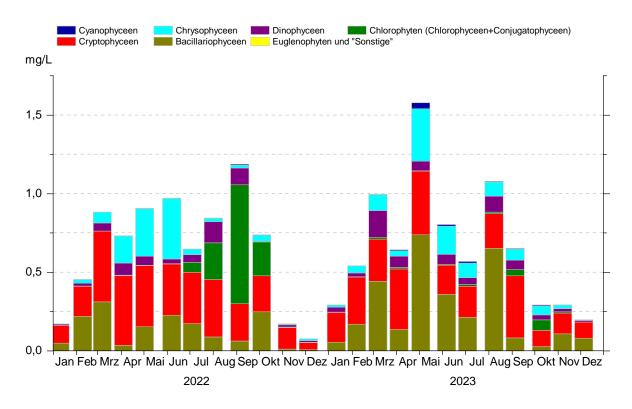


Abb. 35: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee 2022/2023 (Zellersee).

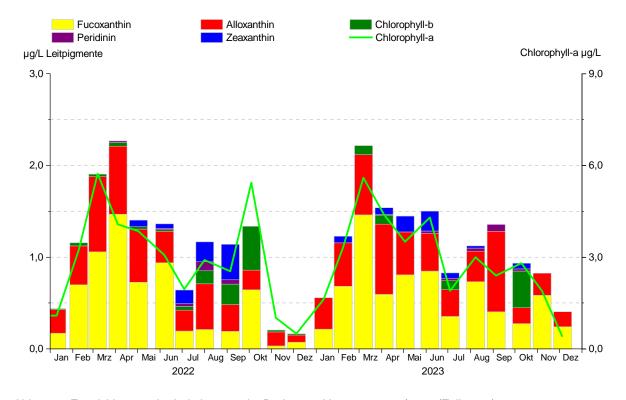


Abb. 36: Entwicklungen der Leitpigmente im Bodensee-Untersee 2022/2023 (Zellersee).

In der Vergangenheit setzte im Zellersee die Entwicklung des Phytoplanktons oftmals relativ früh im Jahr ein. Auch 2022 und 2023 war die frühe Entwicklung vor allem von Cryptophyceen und Kieselalgen zu beobachten (Abb. 35). Insgesamt setzte sich der Trend der beiden Vorjahre zu weniger Phytoplankton nicht fort. Im Zellersee betrug die Phytoplankton-Biomasse im Jahresmittel 2022 0,65 mg/L und 2023 0,66 mg/L. Somit war in beiden Untersuchungsjahren wieder mehr Phytoplankton vorhanden als 2020 (0.54 mg/L) bzw. 2021 (0.51 mg/L) und die Biomassewerte entsprachen denen von 2019 (0,62 mg/L). 2022 waren die Cryptophyceen mit einem Biomasse-Anteil von 41,7 % die wichtigsten Primärproduzenten des Planktons, gefolgt von den Kieselalgen mit 20,4 %. 2023 hingegen war der Biomasse-Anteil der Kieselalgen mit 38,6 % und der der Cryptophyceen mit 36,4 % sehr ähnlich. Der relative Anteil der Chrysophyceen war 2022 mit 14,0 % vergleichbar mit 2023 (13,2 %). Der Anteil der Dinophyceen an der Phytoplankton-Biomasse war 2022 mit 7,2 % etwas geringer als 2023 (8,7 %). Eine ausgeprägte Frühjahrsblüte wurde in beiden Untersuchungsjahren nicht erfasst. Hervorzuheben sind die starke Entwicklung von Chrysochromulina parva und Dinobryon in der ersten Jahreshälfte, sowie einer Massenentwicklung der Grünalge Sphaerocystis in der zweiten Jahreshälfte 2022. Im September und Oktober 2023 nahm der Anteil der Grünalgen ebenfalls zu, jedoch nicht im gleichen Maß wie im Vorjahr. Dabei wurde 2023 neben Sphaerocystis die Kugelalge Volvox als bestimmende Art beobachtet.

Die Analyse der Pigmente (Abb. 36) spiegelte die Befunde der mikroskopischen Analyse gut wider – mit den bekannten Verschiebungen, die durch unterschiedliche Verhältnisse von Biomasse zum Pigmentgehalt hervorgerufen wurden. Die Jahresmittel der Chlorophyll a-Konzentration von 2022 und 2023 betrug gleichermaßen 2,9 μ g/L. Der Verlauf folgte deutlich der Phytoplankton-Biomasse und den Konzentrationen der übrigen Leitpigmente.

Entwicklung Phytoplankton in 2022/2023 im Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m

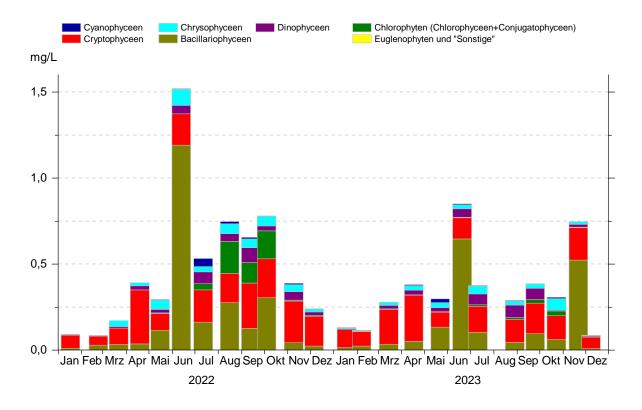


Abb. 37: Entwicklungen des Phytoplanktons im Bodensee-Untersee 2022/2023 (Rheinsee).

Die Station Rheinsee wird durch den Kanton Thurgau beprobt. Bedingt durch seine Lage wird der Rheinsee durch den Obersee und durch den Zellersee deutlich beeinflusst. Während die mittlere Biomasse des Rheinsees 2022 mit 0,49 mg/L auf das Niveau der Station Fischbach-Uttwil angestiegen war, hatte der Rheinsee 2023 mit 0,35 mg/L wieder die niedrigsten Phytoplankton-Biomassen. Ähnlich wie im Zellersee bildeten im Rheinsee die Kieselalgen 2023 mit 41,1 % und die Cryptophyceen mit 40,6 % einen vergleichbaren Anteil an der Phytoplankton-Biomasse. Hingegen trat im Juni 2022 im Rheinsee eine deutliche Kieselalgenblüte auf, die von Cyclotella costei dominiert und in den anderen Seeteilen nicht beobachtet wurde. Bezogen auf die Biomasse, waren im Untersuchungsjahr 2022 dann auch die Kieselalgen (39,9 %) die wichtigste Algengruppe des Phytoplanktons im Rheinsee; dicht gefolgt von den Cryptophyceen, die 35,3 % zur Phytoplankton-Biomasse beitrugen. Wie auch im Zellersee konnte im Rheinsee von August bis Oktober 2022 die Grünalge Sphaerocystis verstärkt nachgewiesen werden. Vergleichbar mit den anderen Seeteilen trat im Juni 2023 eine Blüte von Cyclotella costei auf. Als Besonderheit konnte im November 2023 die Kieselalge Asterionella formosa verstärkt nachgewiesen werden. Die Jahresmittel der Chlorophyll a-Konzentrationen von 2022 und 2023 folgten dem Trend der mittleren Phytoplankton-Biomassen. 2022 entsprach die mittlere Chlorophyll a-Konzentration

mit 2,16 μ g/L dem Niveau der Station Fischbach-Uttwil. 2023 war der Wert auf 1,48 μ g/L gesunken und damit im Mittel niedriger als in den restlichen Seeteilen. Die Jahresmaxima traten in beiden Untersuchungsjahren im Oktober mit 3,7 μ g/L (2022) bzw. 2,2 μ g/L (2023) auf.

Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil) in 0-20 m

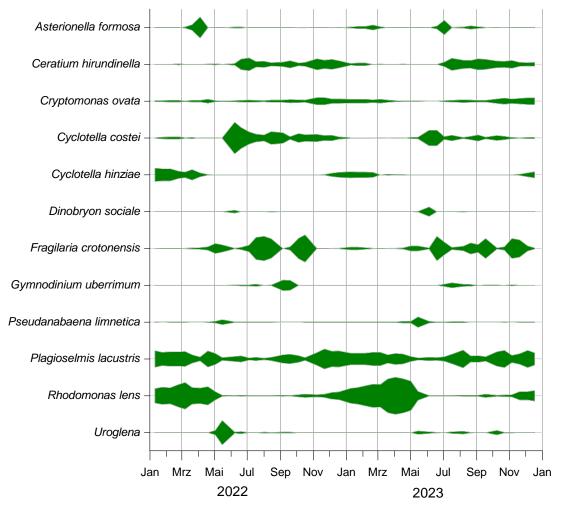


Abb. 38: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil).

Als Hauptarten werden hier Taxa detailliert betrachtet, die im Berichtszeitraum mindestens einmal 15 % der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons ausmachten. Die für oligotrophe Gewässer typischen Vertreter der Kieselalgengattung *Cyclotella* traten mit zwei Arten in nennenswerten Anteilen über den gesamten Untersuchungszeitraum auf (Abb. 38). *Cyclotella costei* bildete im Juni 2022 über 50 % und im Juni 2023 fast 30 % des Phytoplanktons. Hingegen trat *Cyclotella hinziae* vorwiegend in den kühleren Monaten zwischen Dezember und März auf. Im April 2022 kam es zu einer Blüte der pennaten Kieselalge *Asterionella formosa*, während 2023 eine starke Entwicklung erst im Juli stattfand. Wie auch in den vergangenen Jahren dominierte *Fragilaria crotonensis* die Zusammensetzung des sommerlichen Phytoplanktons und nochmals die Kieselalgenblüte im Herbst, mit einem Biomasseanteil von 48 % im Oktober 2022 und 35 % im September 2023.

Schlundalgen (Cryptophyceen) der Gattung *Cryptomonas* und *Plagioselmis*, die ein breites Spektrum hinsichtlich Trophie abdecken, waren das ganze Jahr über vertreten,

während *Rhodomonas lens* vor allem in den Wintermonaten einen Großteil der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons bildete: 2022 bis zu 40 % und 2023 bis zu 65 %.

Ceratium hirundinella, ein Panzerflagellat, der als typisch für meso- bis eutrophe Verhältnisse eingestuft wird, erreichte in beiden Jahren vor allem in der zweiten Jahreshälfte ab Juli größere Anteile an der Gesamtbiomasse. Viele Panzerflagellaten sind zur mixotrophen Ernährung befähigt, d. h. sie können Nährstoffe auch über gelöste organische Substanzen oder in Form von Bakterien und kleineren Einzellern aufnehmen. Zu den Dinophyceen gehört auch die Art *Gymnodinium uberrimum*, welche als Referenzindikator für nährstoffarme Gewässer gilt und im September 2022 mit bis zu 18 % bzw. im Juli 2022 mit 9 % nachweisbar war.

Die begeißelte Goldalge (Chrysophyceen) *Dinobryon sociale* stellte im Juni 2022 5 % und 2023 17 % der Phytoplankton-Biomasse. Arten der Gattung *Dinobryon* treten vorwiegend in oligotrophen bis mäßig eutrophen Gewässern auf, sie sind ebenso wie *C. hirundinella* zu mixotropher Ernährung befähigt und profitieren von phosphorarmen Bedingungen. Eine weitere begeißelte Goldalge der Gattung *Uroglena*, die sich auch mixotroph ernähren kann, war im Mai 2022 kurzzeitig in relativ hohen Anteilen (40 %) vertreten.

Die Blaualge *Pseudanabaena limnetica* war fast über den gesamten Zeitraum 2022/2023 in geringen Anteilen von unter 1 % vertreten. In beiden Jahren kam es im Mai zu einer kurz anhaltenden Zunahme auf 8 %-Anteil an der Phytoplankton-Biomasse 2022 und auf 18 % 2023. *Pseudanabaena limnetica* kann nicht eindeutig einem bestimmten Trophiegrad zugeordnet werden.

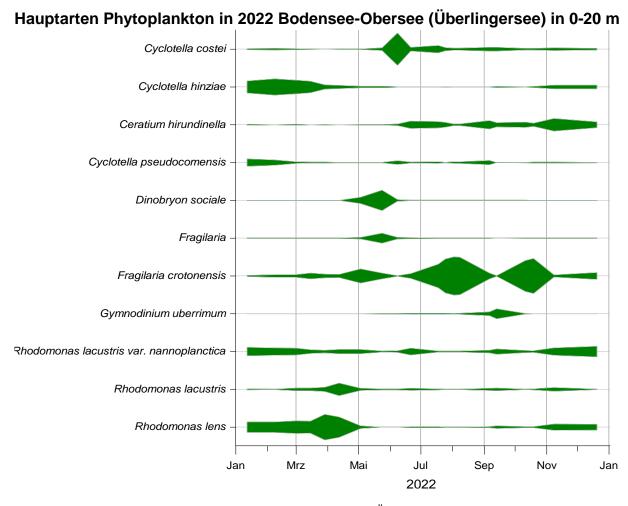


Abb. 39: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Obersee (Überlingersee). Daten erhoben von der BWV.

2022 waren die identifizierten Hauptarten des Überlingersees und deren saisonale Muster weitgehend mit denen des Obersees vergleichbar. Kieselalgen der Gattung Fragilaria dominierten die Zusammensetzung des Phytoplanktons von Mai bis Oktober und bildeten während der Kieselalgenblüte Ende Juli/Anfang August über 70 % des Phytoplanktons. Ähnlich wie an der Station Fischbach-Uttwil waren verschiedene Cyclotella-Arten das ganze Jahr über zu beobachten, wobei Cyclotella hinziae und Cyclotella pseudocomensis vorwiegend in der kalten Jahreszeit und Cyclotella costei während der Sommermonate bis zu 30 % der Phytoplankton-Biomasse ausmachten. Schlundalgen (Cryptophyceen) der Gattung Rhodomonas, die ein breites Spektrum hinsichtlich der Trophie abdecken, bildeten v. a. in den Wintermonaten mehr als 50 % an der Phytoplankton-Biomasse, waren aber über den gesamten Zeitraum nachweisbar. Während im Obersee die Chrysophyceenart Dinobryon sociale (oligo- bis mesotraphent) nur knapp 5 % des Phytoplanktons ausmachte, trug die Art im Überlingersee gut ein Drittel zur Biomasse im Juni 2022 bei. Wie im Obersee erreichte der Panzerflagellat Ceratium hirundinella vor allem in der zweiten Jahreshälfte größere Anteile an der Gesamtbiomasse und die Art Gymnodinium uberrimum war im September 2022 mit knapp 20 % nachweisbar.

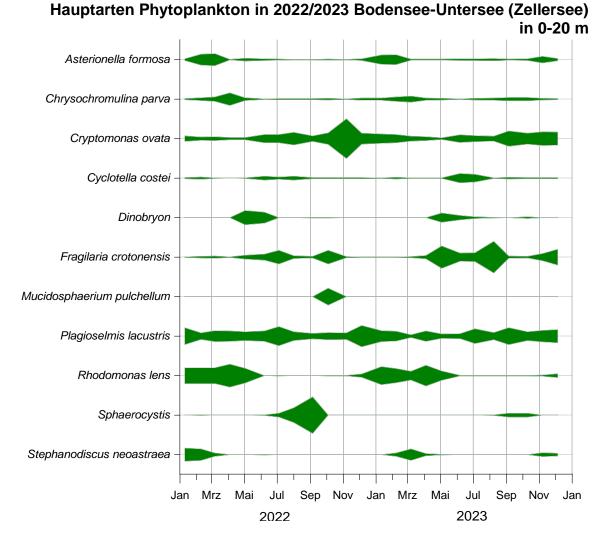


Abb. 40: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Untersee (Zellersee).

Im Zellersee wurde die Entwicklung der Hauptarten in beiden Jahren durch Schlundalgen (Cryptophyceen) und Kieselalgen dominiert. *Cryptomonas ovata* und *Plagioselmis lacustris* bildeten über den gesamten Jahresverlauf stabile Populationen, während *Rhodomonas lens* in beiden Jahren zwischen Januar und Mai in größeren Mengen auftrat. Bei den Kieselalgen waren *Stephanodiscus neoastraea* und *Asterionella formosa* in beiden Jahren zwischen Januar und März in Biomassen mit bis zu 15 bzw. 20 % vertreten. *Fragilaria crotonensis* erreichte erst in der zweiten Jahreshälfte höhere Anteile an der Biomasse, die im Juli und Oktober 2022 knapp 23 % und im August 2023 über die Hälfte des Phytoplanktons ausmachten. Eine Auffälligkeit im Zellersee war die Grünalgenalgenblüte 2022, die im August und September durch *Sphaerocystis* und im Oktober durch *Mucidosphaerium pulchellum* dominiert wurde. Weiterhin als Hauptart mit Vorkommen fast über den gesamten Berichtszeitraum trat im Zellersee die Haptophycee *Chrysochromulina parva* auf, die im März 2022 fast 20 % der Phytoplankton-Biomasse bildete. Die Goldalge *Dinobryon* war in beiden Jahren im Mai und Juni kurzzeitig in relativ hohen Anteilen zwischen 24 % und 15 % vertreten.

Hauptarten Phytoplankton in 2022/2023 Bodensee-Untersee (Rheinsee) in 0-20 m

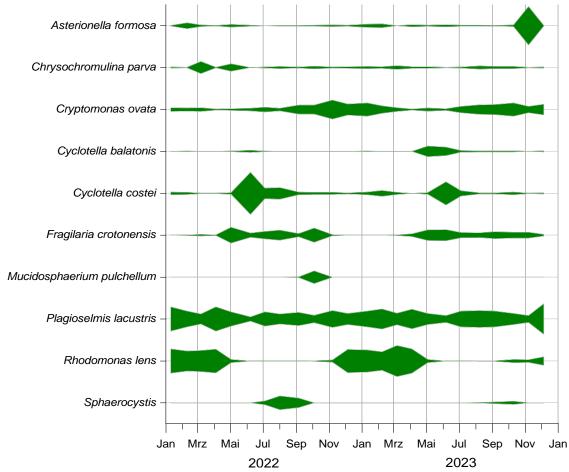


Abb. 41: Biomasseanteile der Hauptarten im Bodensee-Untersee (Rheinsee).

Die Entwicklung der Hauptarten im Rheinsee verlief ähnlich wie im Zellersee mit einer ganzjährig hohen Dominanz der Cryptophyceen Plagioselmis lacustris (7-48 %) und Cryptomonas ovata (2-29 %). Rhodomonas lens bildete von Dezember bis Mai in beiden Jahre deutlich hohe Biomasseanteile mit bis zu 37 % im April 2022 und fast 50 % im März 2023. Die zentrischen Kieselalgen der Gattung Cyclotella erreichten in den Sommermonaten höhere Anteile an der Phytoplankton-Biomasse. Dabei war Cyclotella costei der wichtigste Biomasseproduzent während der Sommerblüte 2022 mit 65 % Anteil und 2023 mit 35 % Anteil. Anders als in den anderen Seeteilen, trat Cyclotella balatonis im Mai (17 %) und Juni (14 %) 2023 mit nennenswerten Anteilen am Biovolumen auf. Asterionella formosa erreichte erst zum Ende des Jahres 2023 höhere Anteile an der Biomasse, die im November knapp 60 % ausmachten. Ähnlich wie in den anderen Bodenseeteilen bildete Fragilaria crotonensis in der zweiten Jahreshälfte beider Untersuchungsjahre höhere Biomasseanteile zwischen 10 % und 25 %. Chrysochromulina parva war im Untersuchungszeitraum mit eher niedrigen Biomassen vertreten, entwickelte aber im März und Mai 2022 eine Blüte mit 20 % bzw. 12 % Anteil am Phytoplankton.

Pigmente Langzeitentwicklung Chlorophyll a

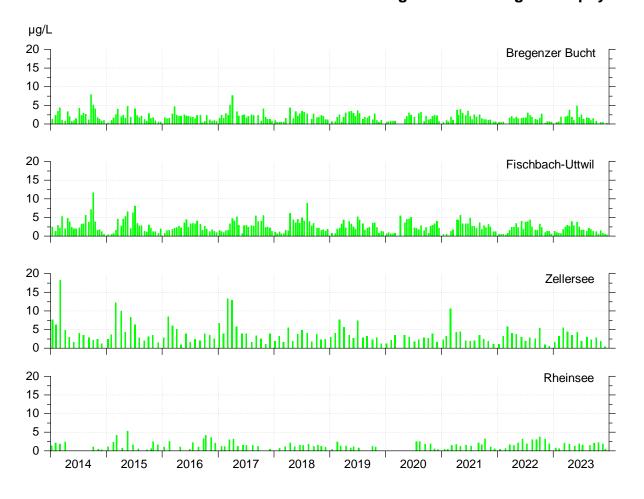


Abb. 42: Langfristige Chlorophyll a Entwicklung in 0-20 m.

Chlorophyll a stellt als das Photosynthese-Pigment, das in allen Algenklassen vorkommt, einen Summenparameter für Algenwachstum dar. Die Chlorophyll a-Konzentrationen werden mittels HPLC in Integralproben aus 0-20 m Wassertiefe bestimmt. Abb. 42 stellt die an den einzelnen Probenahmenterminen gemessenen Konzentration dar.

An den Messstellen des Obersees (Bregenzer Bucht und Fischbach-Uttwil) bewegten sich die Chlorophyll a-Konzentrationen in den letzten Jahren auf gleichbleibend niedrigem Niveau. Die Jahresmittel für Fischbach-Uttwil lagen mit 2,0 μ g/L für 2022 und 1,7 μ g/L für das Jahr 2023 leicht unter den Werten der Vorjahre. In der Bregenzer Bucht waren die Werte mit 1,4 μ g/L und 1,5 μ g/L insgesamt etwas niedriger als an der Station Fischbach-Uttwil.

An der Messstelle Zellersee zeigten die Messwerte vor allem bei den jüngeren Messungen eine abnehmende Tendenz. Auffällig ist die stark gesunkene Zahl der Peaks seit 2018, die deutlich 5 μ g/L überschritten. Das Jahresmittel für 2022 lag bei 2,9 μ g/L, das für 2023 bei 3,0 μ g/L. Trotz der Abnahme der Werte sind die Chlorophyll a-Konzentrationen des Zellersees die höchsten unter den hier dargestellten Seeteilen.

Die Werte des Rheinsees wurden vom Amt für Umwelt (AFU) des Kantons Thurgau gemessen. Ein langjähriger Trend zur Abnahme der Chlorophyll a-Konzentration wurde 2022 kurzfristig unterbrochen. Zwar spiegelte sich die ausgeprägte Kieselalgenblüte mit März nicht in den Chlorophyll a-Werten wider, jedoch war das Jahresmittel mit 2,2 μg/L auf das Niveau der Station Fischbach-Uttwil angestiegen. 2023 waren die Chlorophyll a-Konzentrationen wieder gesunken und das Jahresmittel von 1,5 μg/L des Rheinsees war mit den Werten der Messstelle Bregenzer Bucht vergleichbar.

Zooplankton



Abb. 43: Daphnia cucullata männlich.



Abb. 44: *Thermocyclops oithonoides* oben, *Mesocyclops leuckarti* unten.



Abb. 45: Cyclops abyssorum weiblich.

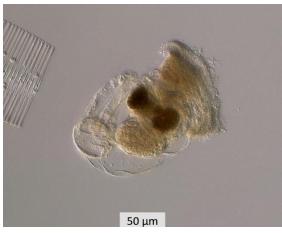


Abb. 47: Conochillus.



Abb. 46: Collotheca.



Abb. 48: Eudiaptomus gracilis männlich.

Bildrechte: LUBW

Langzeitentwicklung Crustaceen

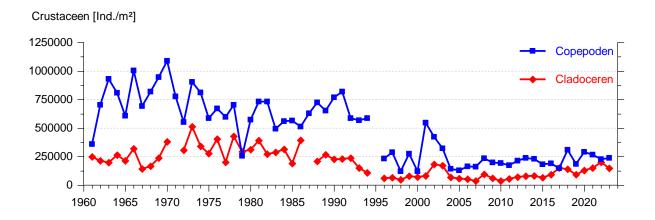


Abb. 49: Langzeitentwicklung der Crustaceen in Seemitte in 0-100 m (Fischbach-Uttwil). Bis 1985 wurde mit einem Nansen-Netz beprobt (666 cm² Fläche). Ab 1986 wurde ein Schließ-Netz mit Aufsatzkegel verwendet (213 cm² Öffnungsfläche).

Bei der langjährigen Entwicklung des Crustaceenplanktons scheinen sich die Zahlen auf niedrigem Niveau zu stabilisieren. Die Jahresmittelwerte der Copepodenabundanz ist in den letzten beiden Jahren gleichgeblieben. Die Cladocerenabundanz ist nach einem kontinuierlichen leichten Anstieg in den Jahren 2019-2022 im Jahr 2023 wieder leicht zurückgegangen (Abb. 49).

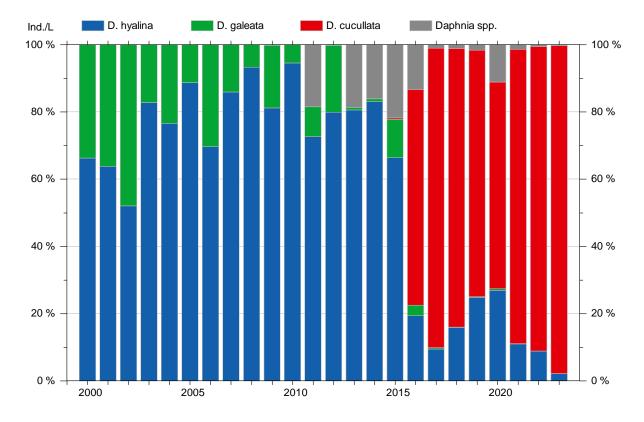


Abb. 50: Langjährige Zusammensetzung der Daphnienabundanz an der Messstelle Fischbach-Uttwil (FU).

Vergleicht man die langjährige Zusammensetzung des Daphnien-Zooplanktons (Abb. 50) 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 dominiert *D. cucullata* den Sommeraspekt, wohingegen *D. galeata* deutlich zurückgegangen ist und in den letzten beiden Jahren nur noch an zwei (2022) und einem (2023) Probenahmetermin 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, 1980³). 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. Derzeit sieht es so aus, als ob sich D. cucullata dauerhaft im Obersee etabliert hat. Im Jahr 2023 waren 95 % aller Daphnien Daphnia cucullata.

³ 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

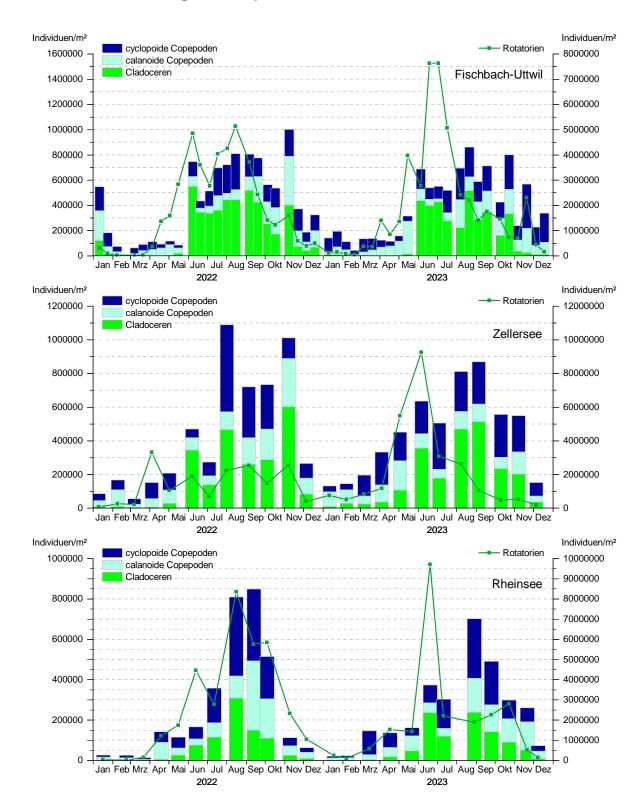


Abb. 51: Saisonale Entwicklung des Zooplanktons 2022/2023. Fischbach-Uttwil 0-100 m (oben), Zellersee 0-20 m (Mitte), Rheinsee 0-30 m (unten). Individuen/m² berechnet zur beprobten Netzöffnung.

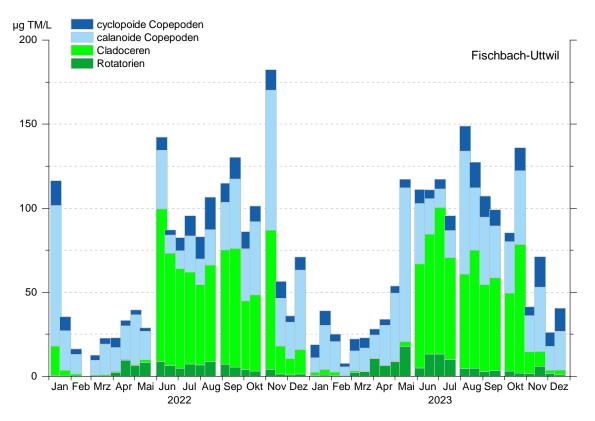
Die Entwicklung der Cladoceren im Obersee begann in den Jahren 2022 und 2023 Anfang Juni (Abb. 51). Die Individuendichte blieb 2022 von Juni bis Anfang November bei Zahlen um die 400 000 Ind./m², während die Zahlen im Jahr 2023 Ende Juni/Anfang August deutlich niedriger waren als im Jahr 2022 (Abb. 51). Die durchschnittliche Gesamtabundanz im Obersee lag daher 2022 auch deutlich höher als 2023 (20,09 *10⁴ vs. 14,79 *10⁴ Ind./m²), war aber 2023 auf einem ähnlichen Niveau wie in den Jahren 2020/2021. An den Unterseestationen zeigte sich ein anderes Bild. Im Zellersee blieben die durchschnittlichen Cladocerenabundanzen 2022/23 auf einem stabilen Niveau (18,73 bzw. 18,34 *10⁴ Ind./m²), wobei die maximalen Individuenzahlen 2022 im August und November, im Jahr 2023 im August und September zu beobachten waren (Abb. 51). Im Rheinsee war eine leichte Zunahme der Zahlen von 2022 zu 2023 zu beobachten, bedingt durch relativ viele Individuen im Juni 2023 (Abb. 51).

Im Frühjahr und Herbst wurde die Zooplanktonzusammensetzung in allen Seeteilen von den Copepoden dominiert (Abb. 51). Die Ruderfußkrebse werden im Obersee durch drei Arten dominiert: *Mesocyclops leuckarti* und *Thermocyclops oithonoides* bestimmen in der warmen Jahreszeit das Bild und *Eudiaptomus gracilis* kommt vor allem im Frühjahr und Spätherbst stark auf. *Thermocyclops oithonoides* scheint sich im Obersee zu etablieren, nachdem er im Jahr 2017 erstmals in Erscheinung trat. Im Zellersee und Rheinsee dominieren in der kühlen Jahreszeit (Januar bis Mai und wieder im November) Vertreter der Gattung Cyclops (insbesondere *C. strenuus*). Das Sommer-Ruderfußplankton wird durch die kleineren Arten *Thermocyclops oithonoides* bzw. durch *Mesocyclops leuckarti* bestimmt. Calanoide Ruderfußkrebse (*Eudiaptomus gracilis und E. graciloides*) sind ganzjährig stark vertreten, wobei *Eudiaptomus graciloides* im Zellersee häufiger auftritt als im Rheinsee.

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. 51). Die Hauptarten unter den Rotatorien waren im Obersee Flossenrädertiere (*Polyarthra spp.*), Synchaeten sowie *Keratella cochlearis*, wobei Synchaeten vor allem im Frühjahr vorherrschten. Im Sommer war *Kellicottia longispina* stark
vertreten - eine Art, die oligotrophe Bedingungen anzeigt. Im Zellersee und Rheinsee
waren ebenfalls Flossenrädertiere vorherrschend.

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 μ m – Schritten aufgeteilt, während die Copepoden nach Stadien (Nauplien, Copepodite C1 bis C5, Männchen, Weibchen) gezählt werden (ca. 100 bis 200 μ m – Schritte zwischen den Stadien). Jeder Größenklasse bzw. jedem Stadium wird ein Trockengewicht bzw. eine Biomasse zugeordnet.



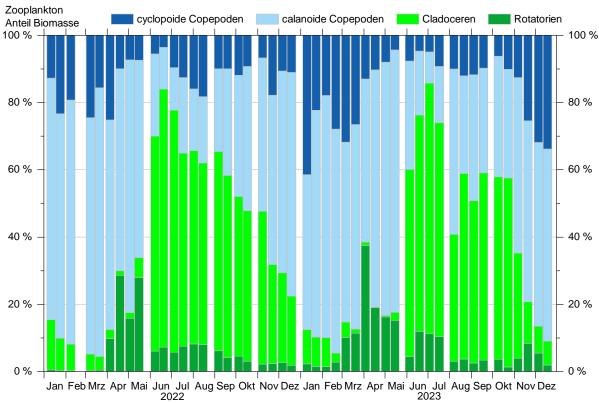
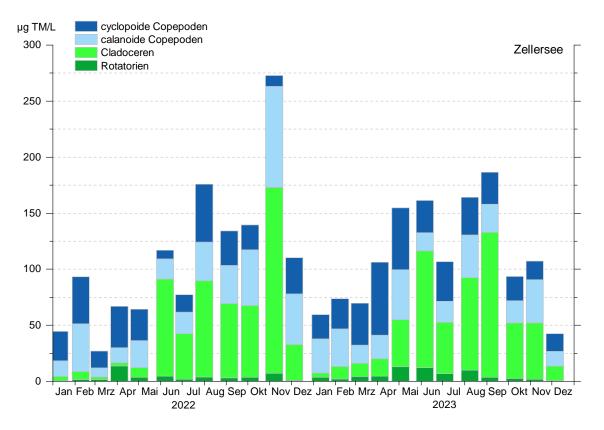


Abb. 52: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Fischbach-Uttwil (2022/2023) bezogen auf 20 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.

Die Biomasse im Obersee (bezogen auf 0-20 m) lag in den Jahren 2022 und 2023 quasi auf gleichem Niveau (Mittelwert: 74 resp. 70 µg TM/L) und damit im oligotrophen Bereich (Abb. 52). Im Vergleich zu den Vorjahren ist die Biomasse jedoch zurückgegangen. Im Frühjahr dominierten die Ruderfußkrebse, im Sommer stellten die Cladoceren die Hauptmasse des Metazooplanktons. Der Anteil der Rotatorien lag im Jahr 2022 im Mittel nur bei ca. 6 %, erreichte aber Mitte April und Mitte Mai jeweils ca. 30 % der Gesamtbiomasse. Im Jahr 2023 lag der Anteil der Rotatorien im Durchschnitt bei ca. 12%, wobei Anfang April ein Anteil von knapp 38% ermittelt werden konnte.

Die Biomasse im Zellersee lag in den Jahren 2022 und 2023 im Durchschnitt (Mittelwert) bei 110 µg TM/L und damit im Übergangsbereich von meso- zu oligotrophen Bedingungen. Starke Massenbildner waren zu Jahresbeginn die cyclopoiden und calanoiden Ruderfußkrebse, im Sommer die Cladoceren (Abb. 53). Zum Jahresende hin wurden die omnivoren, cyclopoiden sowie die herbivoren calanoiden Ruderfußkrebse wieder wichtig. Der Anteil der Rotatorien blieb im Jahr 2022 mit Ausnahme des Monats April (20,8 %) meist unter 5 % und lag im Mittel nur bei ca. 3,4 %. Im Jahr 2023 erreichten die Biomassen zwischen 1 % und 8 %, im Mittel 4,8 %.

Die Biomasse im Rheinsee indiziert mit Mittelwerten von 41 μ g TM/L (2022) bzw. 38 μ g TM/L (2023) deutlich oligotrophe Verhältnisse. Starke Massenbildner waren im Winter bzw. zeitigen Frühjahr und Herbst die calanoiden Ruderfußkrebse (Abb. 54). Im Sommer bestimmten Cladoceren das Bild. Der Anteil der Rotatorien stieg im Jahr 2022 im Juni auf bis zu 34 % an, im Mittel stellten die Rädertiere 12,4 % der Biomasse. Im Jahr 2023 erreichten die Rädertiere im Mittel lediglich 8 % der Metazooplankton-Masse. Ihr Biomassen-Anteil blieb ganzjährig deutlich unter 20 %.



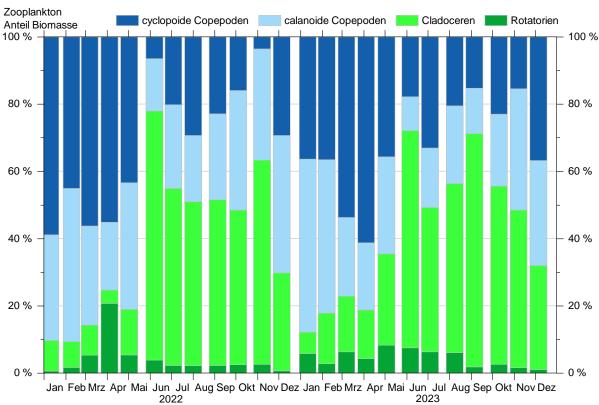
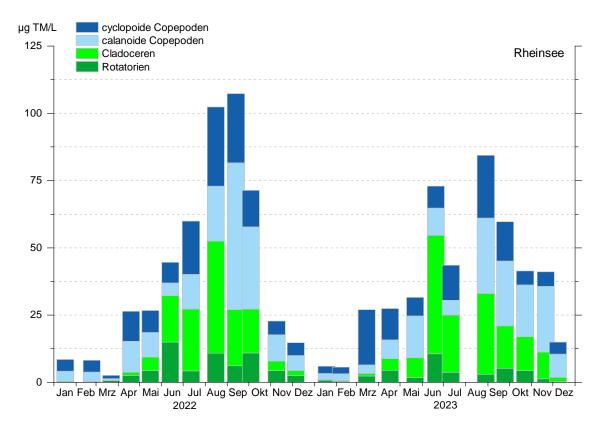


Abb. 53: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Zellersee (2022/2023) im Untersee bezogen auf 20 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.



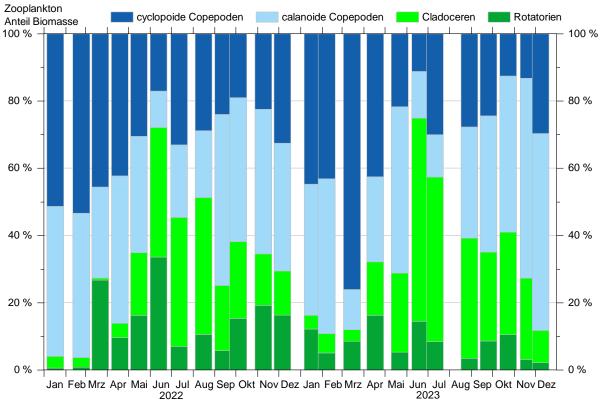


Abb. 54: Biomassen des Zooplanktons (Trockenmasse) an der Station Rheinsee in den Jahren 2022 und 2023 bezogen auf 30 m Wassersäule. Oben: Absolute Biomassen, unten: Prozentanteile der taxonomischen Großgruppen.

Bakterien

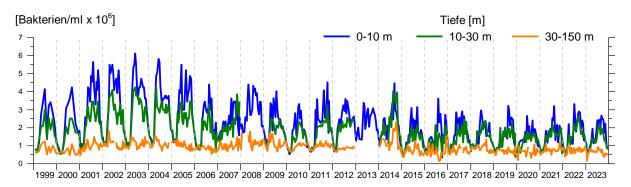


Abb. 55: Zelldichten des Bakterienplanktons, Entwicklung in Seemitte (Station Fischbach-Uttwil). Im Juni 2008 Methodenwechsel in Fluoreszenzmikroskopie, Proben aus Schicht 10-30 m wurden 2008 nur unvollständig erfasst und sind daher nicht dargestellt. Ebenso entfiel 2013 die Erfassung der Tiefenstufen 10-30 m und 30-150 m.

Bakterienplankton ist ein wichtiger Teil des heterotrophen Planktons im See. Es ist maßgeblich am Abbau organischer Substanz beteiligt bildet durch seine Sekundärproduktion eine wichtige Nahrungsquelle für filtrierende tierische Planktonorganismen. Die Zelldichten des Bakterienplanktons (Abb. 55) wurde mittels DAPI-Färbung und automatisierter Zählung ermittelt. Für die Zählungen wurden Integralproben in den Tiefenstufen 0-10 m, 10-30 m und 30-150 m ausgewertet.

Im langjährigen Überblick ist neben den regelmäßig auftretenden Winterminima eine Abnahme der Werte bis etwa 2015 erkennbar. In der Tiefenstufe 0-10 m lag in den 2000er Jahren die Zelldichten mitunter fast zwei Größenordnungen über denen der Tiefenstufe 10-30 m. In den Jahren 2015 bis 2017 lagen die Werte noch deutlich über denen von 10-30 m, danach lagen die Werte der beiden oberen Tiefenstufen in der Regel in der gleichen Größenordnung. In der unteren Tiefenstufe fallen die Änderungen am wenigsten deutlich aus.

Das Jahresmittel in der Schicht von 0-10 m lag 2022 bei 1,78 x 10⁶ Zellen/ml, 2023 bei 1,58 x 10⁶ Zellen/ml und bewegt sich damit seit 2015 auf nahezu gleichem Niveau. Werte dieser Größenordnung werden weltweit auch für andere oligotrophe Seen gemessen.

Untersuchungsprogramm Einzugsgebiet

Bericht der Sachverständigen zum Fachbereich Einzugsgebiet

1. Abwasserbeseitigung 2021/2022

Zahlen zur /	Abwasserbeseitigung im Bodensee-Einzugsgebiet	2021 ⁴	2022
Einwohner in ARA-Einzugsgebieten (Anzahl) 1'707'000		1'707'000	1'739'400
Zahl der an die ARA angeschlossen Einwohner (Kategorie I bis III) ⁵ 1'680'500		1'712'100	
Zahl der nicht	an die ARA angeschlossenen Einwohner (Kategorie I bis III)	26'500	27'300
Anschlussgrad an zentrale ARA (in Prozent)		98.4	98.4
Ordnungsgemässe Abwasserentsorgung ⁶ (in Prozent)		> 99.5	> 99.5
Einwohnerwerte an ARA angeschlossen (Anzahl, Basis: CSB, 85%-Wert)		3'860'000	3'770'000
Abwasserreii	nigungsanlagen (ARA) gemäss IGKB-Richtlinie		
	- Kategorie III (> 40'000 EW)	34	35
	- Kategorie II (1'000 - 40'000 EW)	113	112
	- Kategorie I (50 - 1'000 EW)	64	64
Abwasserrei	asserreinigungsanlagen total (Anzahl) 211		211
	- Nitrifikation	180	181
	- Denitrifikation	117	118
davon mit	- Phosphorelimination	153	155
	- weitergehende Reinigung (z.B. Flockungsfiltration)	15	17
	- Spurenstoffbehandlung	7	9
Ablauffrachte	en ARA	·	
	- Jahresabwassermenge (in 1'000 Kubikmeter)	296'375	242'150
	- Gesamtphosphor (in Tonnen)	72.3	65.9
	- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen)	5'661	4'935
	- Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen)	1'482	1'288
	- Anorganischer Stickstoff (Nanorg, in Tonnen)	3'090	2'776
Mit weitergel	nender Reinigung behandelte Abwassermenge		
	- Filtration (ohne Spurenstoffbehandlung, in Prozent)	17.3	12.5
	- Spurenstoffbehandlung (in Prozent)	14.2	23.8
Regen- und M	Mischabwasser		
	- Flächenanteil im Mischsystem (in Prozent) ⁷	77.9	77.9
	- Ausbaugrad Mischsystem (in Prozent)	94.3	94.3

⁴ Einwohnerwerte für einige Kläranlagen in Baden-Württemberg mit Stand 2020

 $^{^{5}}$ Abwasser von ca. weiteren 81'500 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

⁶ Nicht angeschlossene Einwohner: unter 2 %, davon erfolgt bei über 80 % die dezentrale Entsorgung ordnungsgemäss

⁷ ohne Vorarlberg

Ende des Berichtsjahres 2022 waren von den fast 1.74 Millionen Einwohnern in den ARA-Einzugsgebieten des Bodensees rund 1.71 Millionen an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage (ARA) angeschlossen. Daneben wird das Abwasser von etwa **81'500** 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 Kläranlagen nicht ortsteilscharf den Einzugsgebieten "Bodensee" bzw. "Hochrhein" zugeordnet. Der Anschlussgrad an eine zentrale Reinigungsanlage lag 2022 bei 98.4 %. 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. (s. Abb. 1).

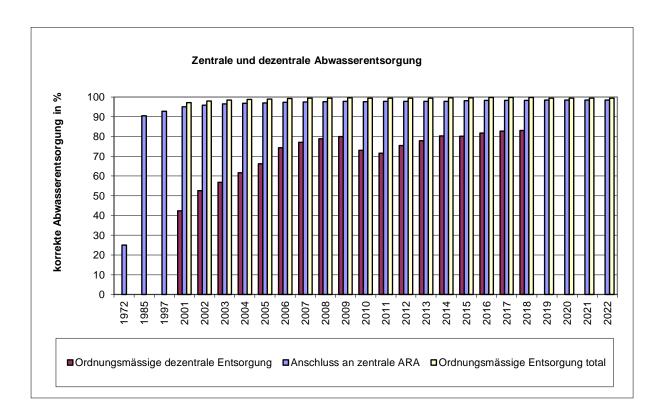


Abb. 1: Entwicklung der Abwasserreinigung: Anschlussgrad an zentrale Abwasserreinigungsanlagen (ARA), ordnungsgemässe dezentrale Entsorgung und totale ordnungsgemässe Abwasserentsorgung. Der Anteil bei der ordnungsmässigen dezentralen Entsorgung hat 2010 abgenommen, weil in Baden-Württemberg und Bayern seit 2010 neue Anforderungen gelten.

Die Jahresabwassermenge aus den insgesamt **211** ARA im Bodensee-Einzugsgebiet betrug im Jahr 2022 rund **242 Mio. m³**. In **17** Anlagen wurden **36.3** % dieses Abwassers einer weitergehenden Reinigung (Flockungsfiltration, Spurenstoffelimination) unterzogen. In weiteren **138** Anlagen wurden **62,8** % der Abwassermenge durch Phosphatfällung behandelt (jahresmittlere Ablaufkonzentration durchschnittlich **0.32** mg/l Pgesamt). Neun ARA (Langwiese, Friedrichshafen, Kressbronn, Aachtal, Steinach-Morgental, St. Gallen-Hofen, Stockacher Aach, Altenrhein, Eriskirch) 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 **23.8** % der gesamten Jahresabwassermenge.

Abb. 2 zeigt die Entwicklung der Abwassermengen sowie der Schmutzstoff- und Nährstoffrestfrachten im Ablauf aller ARA im Bodensee-Einzugsgebiet von 1997 bis 2022. Im Jahr 2022 waren die CSB-, Stickstoff- und Phosphorrestfrachten, nach dem aussergewöhnlich trockenem Jahr 2018 mit entsprechend tiefer Jahresabwassermenge, wieder tiefer.

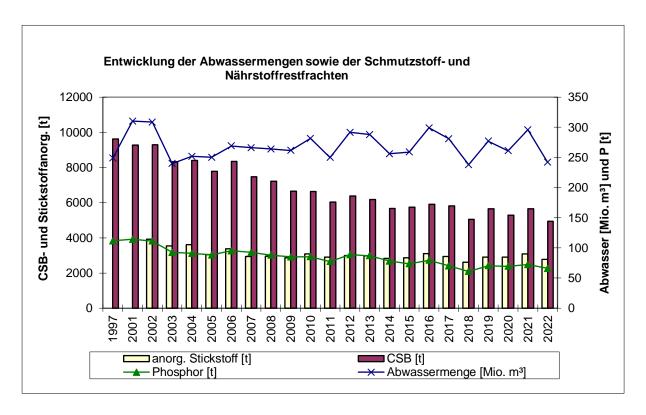


Abb. 2: Entwicklung der Abwassermengen, der Schmutzstoff- (CSB) und der Nährstoffrestfrachten im Ablauf aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees (seit 2010 inkl. Anteile Appenzell Ausserrhoden im Einzugsgebiet).

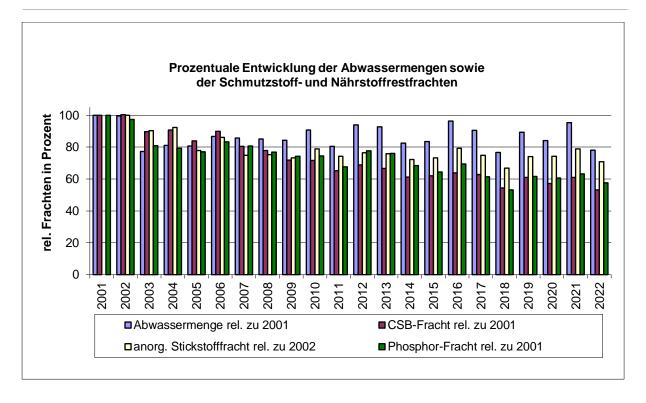


Abb. 3: Prozentualer Verlauf der Abwassermengen, der Schmutzstoff- (CSB) und der Nährstoffrestfrachten aller ARA im Einzugsgebiet des Bodensees bezogen auf das Jahr 2001 bzw. für Stickstoff das Jahr 2002.

2. Übersichtskarten 2022

Die Kläranlagenübersichtskarte und die Karte mit den wichtigen "Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees" (Gewässerbezeichnung, Stellenbezeichnung, Betreiber der Messstelle, Art der Beprobung bzw. Untersuchung sowie deren Häufigkeit) wurden aktualisiert. Weitere Arbeitsunterlagen des Fachbereichs wurden aktualisiert (Abb. 6 - 15).

3. Spezielle Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet

a) Allgemeines

Anpassung der Gewässerschutzgesetzgebung in der Schweiz

Um die Gewässerverunreinigungen durch fehlerhafte Entwässerungen oder Mängel bei der Ausführung von Befüll- und Waschplätzen für Spritzgeräte von Pflanzenschutzmitteln (PSM) zu beseitigen und so einen verbesserten Schutz der Schweizer Gewässer als Trinkwasserressource und als Lebensraum für aquatische Lebewesen zu erzielen, wurde die Gewässerschutzverordnung überarbeitet und neu der Art. 47a eingeführt. Dieser verpflichtet die Kantone, die erforderlichen, bis anhin noch nicht

durchgeführten Kontrollen ein erstes Mal bis spätestens zum 31. Dezember 2026 durchzuführen. Die Frist für notwendige Sanierungen orientiert sich an der Schwere der Gewässergefährdung. Nach Abschluss der erstmaligen Kontrollen und der daraus resultierenden Sanierungen sind die Kantone dafür verantwortlich, diese Kontrollen mindestens einmal innerhalb von vier Jahren zu wiederholen und dem BAFU Bericht zu erstatten. Neben den bereits vielerorts etablierten Gewässerschutz-Grundkontrollen auf Landwirtschaftsbetrieben, ist diese Änderungen insbesondere für alle gewerblichen und beruflichen Anwenderinnen und Anwender von Bedeutung, die keine Landwirtschaftsbetriebe sind und aktuell nicht erfasst werden. Dazu gehören beispielsweise Baumschulen, Gärtnereien, Golfplätze oder Helikopterunternehmen, welche Sprühflüge durchführen. Mit dieser Änderung verfolgt die Schweiz dieselbe Stossrichtung wie die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bzw. die EU-Grundwasserrichtlinie (GWRL). Diese Änderungen erfolgen aber unabhängig von der EU. Aus der WRRL bzw. der GWRL ergeben sich für die Schweiz keine Verpflichtungen. Das Ziel des Bundesgesetzes über die Verminderung der Risiken durch den Einsatz von Pestiziden, die Risiken für Oberflächengewässer bzw. die Belastung des Grundwassers um 50 Prozent zu reduzieren, ist jedoch identisch mit dem Reduktionsziel der Europäische Union im Rahmen des europäischen Aktionsplans Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden.

Weiterhin ist die Motion 20.4261 "Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwassereinigungsanlagen" aktuell in Umsetzung, welche vorsieht, die Stickstoffeinträge aus ARA, welche aktuell sowohl in Bezug auf das Schweizer Umweltrecht als auch im europäischen Vergleich zu hoch sind, zu reduzieren.

Auch in Umsetzung ist die Motion 20.4262, welche vorsieht, die Vorschriften der Gewässerschutzverordnung so anzupassen, dass alle ARA, deren Ausleitungen eine Überschreitung der seit 1. April 2020 erstmals festgelegten Grenzwerte für Arzneimittel im Gewässer zur Folge haben, ebenfalls Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umsetzen müssen.

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

Baden-Württemberg

Die 4. Reinigungsstufen der Kläranlagen Immenstaad und Uhldingen-Mühlhofen befinden sich aktuell im Bau. Bei der Kläranlage Immenstaad wird der bestehenden Sandfilteranlage eine Filteranlage mit granulierter Aktivkohle vorgeschaltet. Die Investitionskosten für dieses Projekt beliefen sich im Jahr 2022 auf 2.17 Millionen Euro, wovon das Land Baden-Württemberg rund 717'000 Euro gefördert hat. Auf der Kläranlage Uhldingen-Mühlhofen kommt eine Kombination aus Ozonung und granulierter

Aktivkohle zum Einsatz. Für dieses Projekt wurden 2,1 Millionen Euro investiert; die Förderung belief sich hier auf 897'000 Euro. Beide Spurenstoffeliminationen sollen im Jahr 2023 in Betrieb gehen.

Bereits Anfang des Jahres 2021 ging die Ozonung mit nachgeschalteter Sandfiltration auf der Kläranlage Friedrichshafen in Betrieb. Im Jahr 2022 befand sich die Anlage in der Optimierungsphase. Im Rahmen dessen wurden weitere Spurenstoffuntersuchungen auch unter Beteiligung des Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg durchgeführt.

Insgesamt sind aktuell fünf Kläranlagen mit Behandlungsstufen zur Spurenstoffelimination im baden-württembergischen Teil des Bodenseeeinzugsgebiets in Betrieb. Etwa 35% des anfallenden Abwassers wird somit durch eine 4. Reinigungsstufe behandelt.

Weiterhin wurden im Jahr 2022 auf den Kläranlagen Berg-Ettishofen und Wangen Spurenstoffuntersuchungen und Machbarkeitsstudien zur Vorbereitung für die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe durchgeführt.

Untersuchungen zur Verbesserung der Abwasserinfrastruktur liegen ebenfalls stark im Fokus des Landes Baden-Württemberg. Ziel ist es, die Anzahl der Kläranlagen im Bodenseeeinzugsgebiet zu reduzieren und sie zu größeren leistungsfähigeren Einheiten zusammenzuführen. Auch im Jahr 2022 wurden Strukturuntersuchungen durchgeführt (z.B. für die Kläranlagen Buggensegel, Frickingen, Grasbeuren und Untersiggingen). Bei zahlreichen weiteren Anlagen steht bereits fest, dass diese im Laufe der nächsten Jahre aufgelassen werden (z.B. Kläranlagen Reute, Apflau, Billafingen, Bonndorf, Taisersdorf, Honstetten).

Bayern

Auf der Kläranlage Lindau wird die 4. Reinigungsstufe 2025/2026 in Betrieb genommen. Die Nachrüstung der Spurenstoffelimination wird für die ARA Lindau mit mindestens 50 % im Rahmen des bayerischen Sonderförderprogrammes AWVIER bezuschusst.

In Bayern sind insgesamt 13 prioritäre Kläranlagen festgelegt worden, die zur Nachrüstung mit einer vierten Reinigungsstufe im Rahmen des Sonderförderprogrammes AWVIER eine Rolle spielen.

St. Gallen

Auf der Kläranlage Morgental wurde die 4. Reinigungsstufe in Betrieb genommen. Diese eliminiert die Spurenstoffe der gereinigten Abwässer der Kläranlagen Steinach-Morgental und St.Gallen-Hofen. Mit dem Bau einer 4. Reinigungsstufe wurde auf der Kläranlage Rosenbergsau begonnen. Die Inbetriebnahme ist im Jahr 2024 geplant.

Die Kläranlage Wartau wird Ende 2023 an die Kläranlage Sargans angeschlossen und somit aufgehoben. Auf der Kläranlage Sargans erfolgt aktuell ein Umbau bzw. Erweiterung. Die Kläranlage Buchs hat im 2023 mit dem Ausbau der biologischen Stufe (Kapazitätserweiterung) begonnen. Der Bau einer 4. Reinigungsstufe ist bis 2028 geplant.

<u>Thurgau</u>

Nach einem erfolgreichen Versuchsbetrieb wurde für die Elimination von organischen Spurenstoffen die bestehende Sandfiltration auf der ARA Moos (Aachtal) in eine Filtrationsstufe mit granulierter Aktivkohle umgerüstet. Der Umbau wurde im August 2021 abgeschlossen.

Die MV-Stufe wurde hydraulisch auf die Kapazität der biologischen Stufe von 310 l/s ausgelegt (Vollstrombehandlung).

Vorarlberg

Die Kläranlagen Ludesch und Bezau wurden umgebaut. Auf den Kläranlagen Hittisau und Krumbach sind Umbauten im Gange.

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

Bayern

In Bayern wurden drei kommunale Kläranlagen auf PFAS untersucht. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Graubünden

Im Einzugsgebiet des Vorderrheins wurden in Ilanz und in Tavanasa Spurenstoffe gemäss der NAWA-Stoffliste von April 2022 bis November 2022 untersucht. Es sind Stoffe festgestellt worden, aber keine Grenzwerte der Gewässerschutzverordnung überschritten worden.

St. Gallen

2021 wurde eine umfangreiche PFAS-Kampagne in Fliessgewässern, Fischen und Zu- und Abläufen von Kläranlagen durchgeführt (Bericht und Publikation: PFAS Belastung im Kanton St Gallen AQUA GAS Ndeg12 2022.pdf (sg.ch)). Im Jahr 2023 soll der Start der Quellensuche im Abwasser (PFAS Passivsampling kombiniert mit Direktbeprobungen von Industrie- und Gewerbebetrieben) erfolgen.

Zudem ist der Start des Projekts «Umweltchemikalien in Gewässern» vorgesehen.

<u>Thurgau</u>

2023 werden an allen 17 öffentlichen ARA im Kanton Thurgau Untersuchungen zu PFAS in den ARA Zu- und Ablauf vorgenommen. Sollten hierbei auffällig hohe PFAS-Konzentrationen festgestellt werden, werden im Folgejahr Abklärungen in den betroffenen Einzugsbieten vorgenommen um die Quelle zu eruieren.

2022 fand zudem eine Analyse des Sickerwassers an mehreren Deponiestandorten im Thurgau bzgl. PFAS statt.

Vorarlberg

Beim diesjährigen Sondermessprogramm an der Dornbirnerach, der Bregenzerach und am Neuen Rhein werden folgende Stoffe untersucht (Stichproben): Silber, Pyrethroide, div. Arzneimittelwirkstoffe, PFAS, PPDs. Zusätzlich wird eine Non-Targetanalytik der Poolproben durchgeführt.

Weiter wird an der Bregenzerach auch noch das Sonnenschutzmittel-Screening durchgeführt.

Diese Messungen werden auch 4-mal im Bodensee durchgeführt (März, Mai, August, Oktober). Im Einzugsgebiet der ARA Hohenems werden an 4 immissionsseitigen (Rheintalbinnen-kanal) und einer emissionsseitigen Stelle (ARA Ablauf) die Parameter PFAS, AZM und Benzotriazole untersucht (Wochenmischproben).

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

Baden-Württemberg

Im Rahmen der Landesgartenschau Wangen 2024 findet aktuell eine umfangreiche Revitalisierung der Oberen Argen auf einer Länge von 3,5 km statt. Die Maßnahme soll bis Ende 2023 fertiggestellt sein. Die Kosten belaufen sich auf 8,5 Millionen Euro, wovon 70% vom Land Baden-Württemberg getragen werden.

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

Am Fachsymposium Pflanzenschutz vom 31. Mai 2022 in Friedrichshafen kam der Wunsch auf, den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässern an einem internationalen Austausch aus der Beratungsperspektive (Befähigung) zu beleuchten. Im Rahmen dieses Projektes wird am 4. Juli 2023 eine internationale Tagung durchgeführt, die sich an Vollzugspersonen, Beratungskräfte und Branchenvertreter aus dem gesamten IBK Gebiet richtet. Die Tagung orientiert sich am Thema Eintrags-

wege mit Beratung unterbinden. Dabei steht der gegenseitige Austausch und Informationen der Schweizer Erfahrungen im Vordergrund. Damit die Zielgruppe erreicht wird, ist die Arbeitsgruppe Landwirtschaft und Umwelt in die Veranstaltung eingebunden.

Liechtenstein

Auf den 1. April 2023 wurde die revidierte Hofdüngerverordnung in Kraft gesetzt. Sie beinhaltet unter anderem eine Erhöhung der Lagerkapazitäten für Gülle auf 5 Monate in den Tallagen und 6 Monate in Lagen über 700 m ü. M..

4. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee

a) Direkt einleitende Abwasserreinigungsanlagen

Der Eintrag von Phosphor in den Obersee aus den 17 seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen (Stockacher Aach, Uhldingen, Immenstaad, Friedrichshafen, Eriskirch, Kressbronn, Lindau, Leiblachtal, Bregenz, Hofsteig, Altenrhein, Morgental, St. Gallen-Hofen, Romanshorn, Kesswil, Münsterlingen und Aachtal) wurde mit Hilfe der durchgeführten Abwasseruntersuchungen ermittelt. Er betrug im Jahr 2022 14.5 Tonnen. Dies entspricht gegenüber dem Vorjahr (2021 17.7 Tonnen) einer Abnahme um 3.2 Tonnen (ca. 20 %). Dies könnte auf die geringe Jahresabwassermenge im Berichtsjahr (Abnahme gegenüber 2021 ca. 18 %) zurückzuführen sein.

b) Gesamtabschätzung der Phosphorfracht

Aufgrund der Abschätzung der Phosphorfrachten aus den Einzugsgebieten von Al-Bregenzerach, Argen und Schussen sowie penrhein, den ARA-Abfluss-Phosphorfrachten kann davon ausgegangen werden, dass sich die dem Obersee zugeführten P-Frachten seit den Zuflussuntersuchungen 1995-1997 wenig verändert haben (s. Abb. 2 und Abb. 4). Die Frachtschwankungen sind vor allem auf Hochwasserereignisse im Einzugsgebiet der Zuflüsse zurückzuführen. Dies zeigt die Abb. 5 für das Jahr 1999 beim Alpenrhein (Messstelle Diepoldsau). Auch in besonders regenreichen Jahren können tendenziell höhere P-Frachten beobachtet werden. Es ist anzumerken, dass die Abfluss- und Messdaten für die Jahre 2020 und 2021 weiterhin nur provisorisch und jene für 2022 als superprovisorisch einzustufen sind. Sie können daher nur für erste Abschätzungen herangezogen werden. Die Daten werden jeweils mit den nächsten Berichten aktualisiert. Man sieht jedoch auch hier eine deutliche Abnahme der Phosphorfrachten im Berichtsjahr.

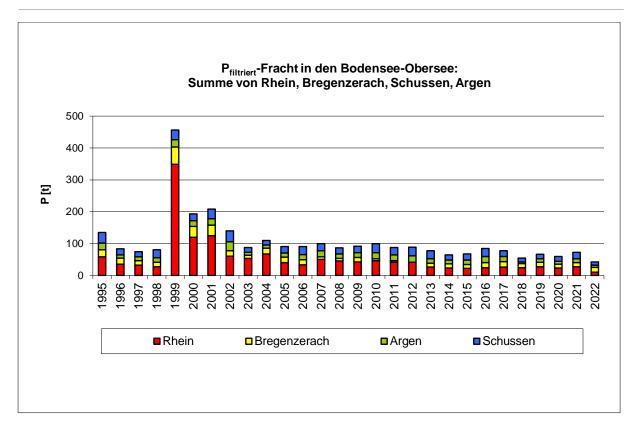


Abb. 4: Entwicklung der P_{filtriert}-Frachten in den Bodensee von Alpenrhein, Bregenzerach, Schussen und Argen von 1995 bis 2016 (Rhein mit BAFU-Daten Diepoldsau, Q ab 1995, Pfiltriert 7-Tage-Sammelproben ab 2012).

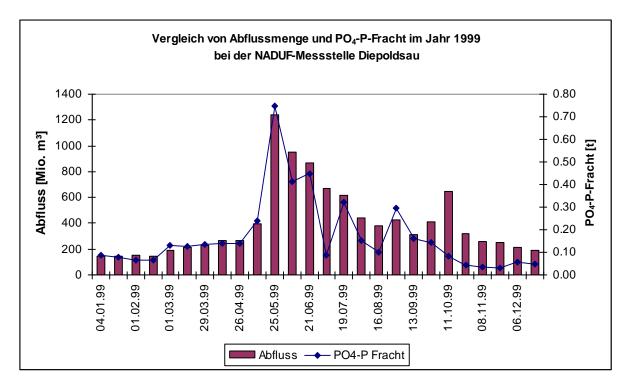


Abb. 5: Vergleich von Abflussmengen und PO₄-P-Frachten des Alpenrheins im Jahr 1999 bei der NADUF-Messstelle Diepoldsau.

5. Organische Spurenstoffe Bodensee und Zuflüsse

Da an einigen Fliessgewässern des Bodenseeeinzugsgebietes bereits im Rahmen von nationalen Untersuchungsprogrammen ein Spurenstoffmonitoring stattfindet, soll das bestehende IGKB Spurenstoffmonitoring in den Zuflüssen evaluiert werden. Abgesehen von einer Umfrage zu Untersuchungen von Mikroverunreinigungen in den Ländern und Kantonen, welche der IGKB Fachbereich Einzugsgebiet alle vier Jahre durchführt, und welche teilweise auch über das Einzugsgebiet hinausgeht, gibt es bisher keine Zusammenstellung der Spurenstoffmessungen in den Fliessgewässern des Bodenseeeinzugsgebietes. Eine Bewertung des IGKB Spurenstoffmonitorings (Zuflüsse) im Hinblick auf andere nationale Messprogramme ist dementsprechend derzeit nicht möglich. Aus vorgenannten Gründen wurde der Fachbereich Einzugsgebiet an der 68. Kommissionstagung beauftragt:

- vorhandene Untersuchungsprogramme und -ergebnisse der Länder und Kantone für Spurenstoffe (incl. PFAS) in den Bodenseezuflüssen in einem Bericht (Spurenstoffbericht) zusammenzuführen,
- einen Vorschlag über eine Weiterführung des IGKB Spurenstoffmonitorings in den Zuflüssen zu erarbeiten.

Die Ergebnisse des Spurenstoffberichts sollten an der 69. Kommissionstagung vorgestellt werden. Die für das Jahr 2023 vorgesehene Wiederholung des bereits 2015 und 2019 durchgeführten IGKB Spurenstoffmonitorings wurde daher verschoben.

Der Fachbereich Einzugsgebiet hat im Berichtsjahr in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich See ein Pflichtenheft erarbeitet und die Arbeiten, unter Berücksichtigung des hier festgehaltenen Arbeitsumfangs, am 17. November 2022 an das Büro HYDRA vergeben. Aufgrund des ambitionierten Terminplans und teils erheblicher Verzögerungen bei der Datenabgabe konnte der Spurenstoffbericht jedoch nicht termingerecht abgeschlossen werden.

Aktuell liegen von allen Anrainern die Dauerprobenahmestellen inklusive Stofflisten und Messergebnisse vor. In einzelnen Fällen fehlen allerdings noch letzte Abstimmungen. Dennoch lässt sich bereits heute feststellen, dass das aktuelle IGKB-Monitoring nicht durch die bestehenden Monitorings der Anrainer ersetzt werden kann. In Baden-Württemberg wurde das nationale Monitoring auf das IGKB Spurenstoffmonitoring abgestimmt. In der Schweiz könnten Stand heute maximal die zukünftigen Daten der Steinach genutzt werden. Auch in Vorarlberg kann das derzeitige GZÜV-Monitoring nicht die Anforderungen des IGKB-Monitorings abdecken.

Das Projekt soll 2022 abgeschlossen und die Ergebnisse an der 70. Kommissionstagung vorgestellt werden.

6. Abwasserbeseitigung 2022/2023

Zahlen zur A	bwasserbeseitigung im Bodensee-Einzugsgebiet	2022	2023
Einwohner in A	ARA-Einzugsgebieten (Anzahl)	1'739'400	1'760'200
Zahl der an die ARA angeschlossen Einwohner (Kategorie I bis III)		1'712'1008	1'733'2009
Zahl der nicht an die ARA angeschlossenen Einwohner (Kategorie I bis III)		27'300	27'000
Anschlussgrad	an zentrale ARA (in Prozent)	98.4	98.5
Ordnungsgemässe Abwasserentsorgung ¹⁰ (in Prozent)		> 99.5	> 99.5
Einwohnerwerte an ARA angeschlossen (Anzahl, Basis: CSB, 85%-Wert)		3'770'000	3'750'000
Abwasserrein	igungsanlagen (ARA) gemäss IGKB-Richtlinie		1
	- Kategorie III (> 40'000 EW) - Kategorie II (1'000 - 40'000 EW) - Kategorie I (50 - 1'000 EW)	35 112 64	35 112 64
Abwasserrein	igungsanlagen total (Anzahl)	211	211
davon mit	 Nitrifikation Denitrifikation Phosphorelimination weitergehende Reinigung (z.B. Flockungsfiltration) Spurenstoffbehandlung 	181 118 155 17 9	192 126 155 17 11
Ablauffrachte	n ARA		
	 Jahresabwassermenge (in 1'000 Kubikmeter) Gesamtphosphor (in Tonnen) Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, in Tonnen) Totaler organischer Kohlenstoff (TOC, in Tonnen) Anorganischer Stickstoff (Nanorg, in Tonnen) 	242'150 65.9 4'935 1'288 2'776	286'275 73.0 5'331 1'372 2'834
Mit weitergeho	ender Reinigung behandelte Abwassermenge		•
	- Filtration (ohne Spurenstoffbehandlung, in Prozent) - Spurenstoffbehandlung (in Prozent)	12.5 23.8	9.3 26.7
Regen- und M	lischabwasser	1	1
	 Flächenanteil im Mischsystem (in Prozent)¹¹ Ausbaugrad Mischsystem (in Prozent) 	77.9 94.3	77.9 95.1

⁸ Abwasser von ca. weiteren 81'500 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

⁹ Abwasser von ca. weiteren 82'200 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

¹⁰ Nicht angeschlossene Einwohner: unter 2 %, davon erfolgt bei über 80 % die dezentrale Entsorgung ordnungsgemäss

¹¹ ohne Vorarlberg

Ende des Berichtsjahres 2023 waren von den annähernd **1.76** Millionen Einwohnern in ARA-Einzugsgebieten des Bodensees **1.73** Millionen an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage (ARA) angeschlossen. Der Anschlussgrad beträgt somit **98.5** %. Die Jahresabwassermenge aus den insgesamt **211** ARA im Bodensee-Einzugsgebiet betrug im Jahr 2023 rund **286** Mio. m³.

192 Anlagen verfügen über eine Nitrifikation. Auf **126** Anlagen erfolgt eine Denitrifikation. Dies entspricht ca. **89** % der behandelten Jahresabwassermenge. Die deutliche Steigerung zum Vorjahr (Nitrifikation + 11 Anlagen und Denitrifikation + 8 Anlagen) ist hauptsächlich auf Änderungen im Einzugsgebiet des Kantons Graubünden zurückzuführen.

Auf **155** Anlagen findet eine Phosphor-Elimination statt. Insgesamt stiegt die Phosphorfracht von **65,9** auf **73,0** Tonnen. Dies ist auf die im Vergleich zu 2022 (**242** Mio. m³) gestiegene Jahresabwassermenge von **286** Mio. m³ zurückzuführen.

36,0 % der Jahresabwassermenge werden auf **17** Anlagen einer weitergehenden Reinigung (z.B. Flockungsfiltration) zugeführt. **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 (Ozonung, Verfahren mit Aktivkohle oder kombiniert Ozonung mit Aktivkohle). Der Fachbereich führt hierzu eine Verfahrensübersicht. Der Anteil des so gereinigten Abwassers beträgt rund 26,7 %. Unter Berücksichtigung der aktuell geplanten Ausbauten wird sich dieser Anteil auf ca. 41 % erhöhen.

7. Übersichtskarten 2023

Die Übersichtskarten (Kläranlagenübersichtskarten und Karte mit den wichtigen "Fließgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees") wurden nachgeführt (Abb. 6-11). Zudem wurden zwei neue Fließgewässerkarten erstellt (Abb. 12-15). Diese stellen die hydrometrischen Stationen mit den Parametern Pegel, Abfluss und Wassertemperatur sowie die Auflösung der Zeitintervalle dar.

8. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee

a) Direkt einleitende Abwasserreinigungsanlagen

Die Ablauffracht der **17** seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen betrug 2023 **16,5** Tonnen. Dies entspricht gegenüber dem Vorjahr (2022: **14,5** Tonnen) einer Zunahme um **2,0** Tonnen.

b) Gesamtabschätzung der Phosphorfracht

Die Auswertung der Zuflüsse Rhein, Bregenzerach, Schussen und Argen ergab, dass die Phosphorfracht in den Bodensee-Obersee im Jahr 2023 mit **56** Tonnen P_{filtriert} in der Größenordnung der Vorjahre lag (2022: **49.1** t P, 2021: **72.3** t P). Es ist anzumerken, dass die Abfluss- und Messdaten für die Jahre 2021, 2022 und 2023 weiterhin nur provisorisch einzustufen sind. Sie können daher nur für erste Abschätzungen herangezogen werden.

9. Weitere Tätigkeiten im Untersuchungsgebiet

Geschriebene Arbeitskarte (GAK)

Der Fachbereich hat im Berichtsjahr die Verfüg- und Vergleichbarkeit der in den Ländern und Kantonen erhobenen Daten zu Gesamtstickstoff als auch zu den Parametern Nitrat und Nitrit in den Ländern und Kantonen erhoben. Aufgrund des hohen Erfassungsgrads (> 97 % der verschiedenen Parameter im Zu- und Ablauf) schlägt der Fachbereich vor, die geschriebene Arbeitskarte (GAK) um Frachtangaben zu Gesamtstickstoff (Zulauf) und Nitrat-Stickstoff (Ablauf), sowie um den Reinigungseffekt beim Gesamtstickstoff (Denitrifikationsleistung) zu erweitern.

Lachgasemissionen aus Kläranlagen

Die Thematik der Lachgasemissionen aus Kläranlagen wurde ebenfalls im Fachbereich diskutiert. Aufgrund des derzeitigen Stands der Forschung ist nach Einschätzung des Fachbereichs eine belastbare Abschätzung zu den im Einzugsgebiet vorhandenen Lachgasemissionen oder deren Reduktionspotenzials aktuell nicht möglich. Es kann nur eine erste grobe Einstufung der Problematik über Anlagentyp und behandelte Jahresabwassermengen erfolgen. Es wird festgehalten, dass fast 89 % des Abwassers über eine Denitrifikationsstufe führt und somit auch bezüglich der Lachgasemissionen optimal behandelt werden.

Chloridkonzentration im Bodensee

Im Weiteren ist der Fachbereich in Abstimmung mit dem Fachbereich See den Chlorideinträgen in den Bodensee nachgegangen. Auch hierzu fand eine Datenerhebung in den Ländern und Kantonen statt. Für die Fließgewässer im Bodenseeeinzugsgebiet wurde im Zeitraum zwischen 2011 bis 2022 eine mittlere Chloridfracht von ca. 93,6 ± 12,3 kt/Jahr ermittelt. Dieser Wert liegt über dem langjährigen Mittel der Bodensee-Studie (60 kt/Jahr) für den Zeitraum von 1995 bis 2007 (Müller & Gächter 2011). Während die Chloridkonzentration im Bodensee im Jahr 2003 noch bei 5 mg/L lag, ist für

das Jahr 2023 eine mittlere Konzentration von 7,3 mg/L belegt. Aufgrund der derzeitigen Chloridkonzentration im Bodensee und deren Bewertung wird derzeit kein weiterer Handlungsbedarf gesehen.

Spurenstoffmonitoring

Der Fachbereich Einzugsgebiet führt seit 2009 in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich See in regelmässigen Abständen ein Spurenstoffmonitoring (35 Substanzen aus den Bereichen Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel, perfluorierte Verbindungen, Benzotriazole und Süßstoffe) in den wichtigsten Zuflüssen des Bodensees durch. Aktuell finden Abklärungen zum künftigen Umfang sowie zur Ausgestaltung dieses Monitorings statt. Bedingt durch Verzögerungen bei der Bearbeitung sind hier noch keine konkreten Aussagen möglich. Auch wird erwogen, die Modellierung von ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen in den Zuflüssen des Bodensees zu wiederholen.

Ergebnisse Spurenstoffbericht

Der überwiegende Teil der Arbeiten konnte durch das Büro Hydra unter enger Mitwirkung einer Begleitgruppe aus Vertretern der Fachbereiche See und Einzugsgebiet abgeschlossen werden. Fest steht, dass die Messstellen der Länder und Kantone in den Zuflüssen zwar örtlich gut mit den IGKB-Messstellen übereinstimmen, die betrachteten Substanzen sowie deren Erhebung zu großen Teilen aber nicht deckungsgleich sind. Das Monitoringprogramm der IGKB kann daher nicht flächendeckend durch die Untersuchungen der Länder und Kantone ersetzt werden (Ausnahme Kanton SG). Auch ist festzuhalten, dass ein großer Teil der eingetragenen Substanzen über das derzeitige Monitoring nicht erfasst wird, da rund 37 % der Abwässer direkt in den Bodensee eingeleitet werden. Es wurden bereits mehrere Vorschläge erarbeitet, wie ein zukünftiges Monitoring aussehen könnte. Da die Ausgangslage differiert und die Zielsetzung noch nicht abschließend geklärt werden konnte, soll der Berichtsentwurf bei der nächsten Sitzung des Sachverständigenkreises besprochen werden.

Einzugsgebietsbezogene Modellierung von Spurenstoffeinträgen

Durch den Fachbereich wurden Kosten und Nutzen einer Wiederholung der 2011 durchgeführten Modellierung von ausgewählten organischen Mikroverunreinigungen in den Zuflüssen des Bodensees überprüft. Auch wenn das 2011 verwendete Stoffflussmodell in seiner ursprünglichen Form nicht mehr zur Verfügung steht, erachtet der Fachbereich die technischen Voraussetzungen für eine Wiederholung der Einzugsgebietssimulation als gegeben, da Modelle mit ähnlicher Funktionalität zur Verfügung stehen. Der größte Aufwand wird in einer Aktualisierung der Input-Parameter gesehen. Diese bieten jedoch die Chance, den in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnissen vor allem in Bezug auf die Eingangsparameter und

die Abbauleistungen sowie den aktuellen Ausbaustand der Kläranlagen Rechnung zu tragen. Auch ohne unmittelbaren Einfluss auf den Vollzug in den Ländern und Kantonen erachtet der Fachbereich Einzugsgebiet es als zielführend, die Zuflussmodellierung zu wiederholen, um für das Einzugsgebiet Maßnahmenempfehlungen für einen vorsorglichen Gewässerschutz aussprechen zu können, jedoch sollte mit der Umsetzung bis zum Vorliegen der Daten des Spurenstoffmonitorings in den Zuflüssen gewartet werden.

Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet

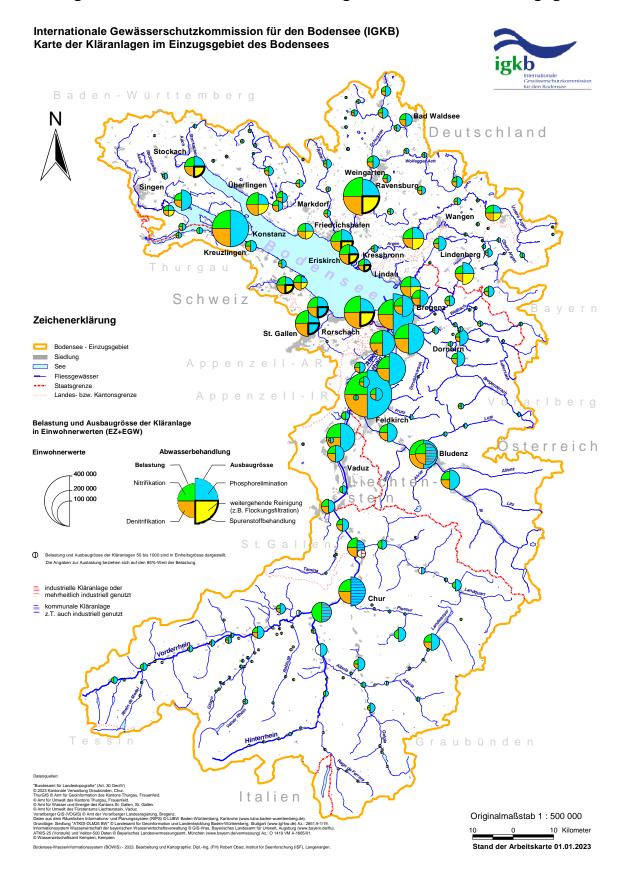


Abb. 6: Kläranlagenkarte: Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees 2022.

Kläranlagenkarte zum Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet

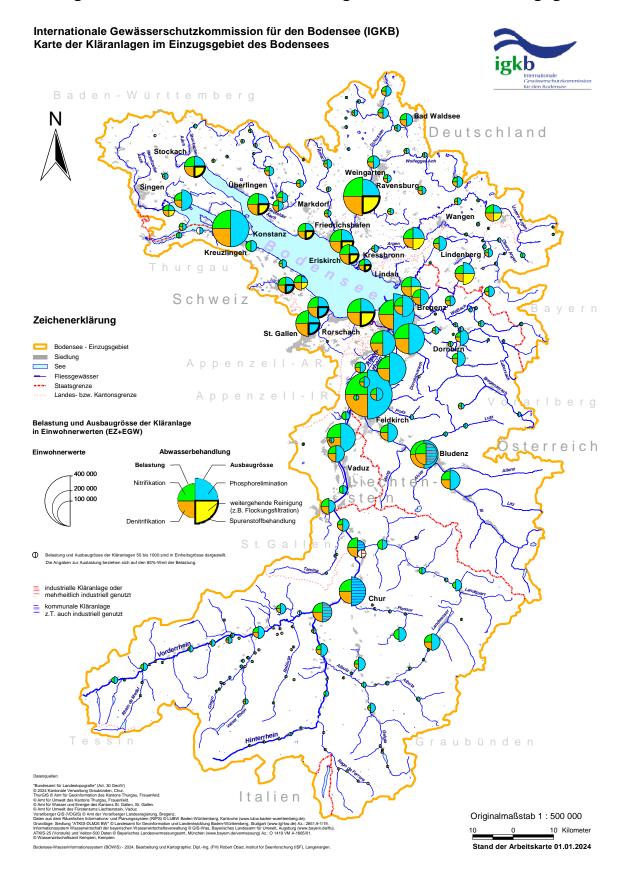


Abb. 7: Kläranlagenkarte: Stand der Reinhaltungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Bodensees 2023.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2019-2022

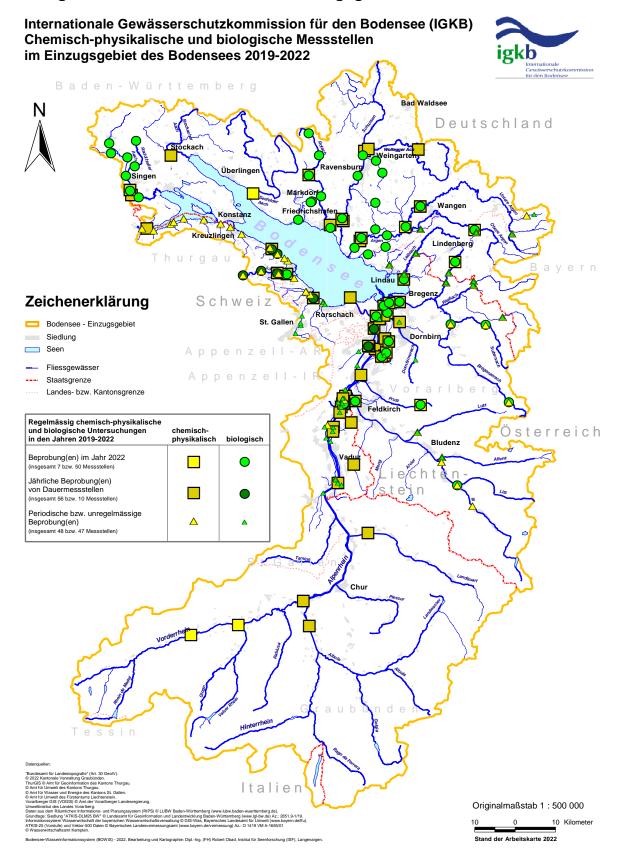


Abb. 8: Karte mit den wichtigen Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2019-2022.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2022

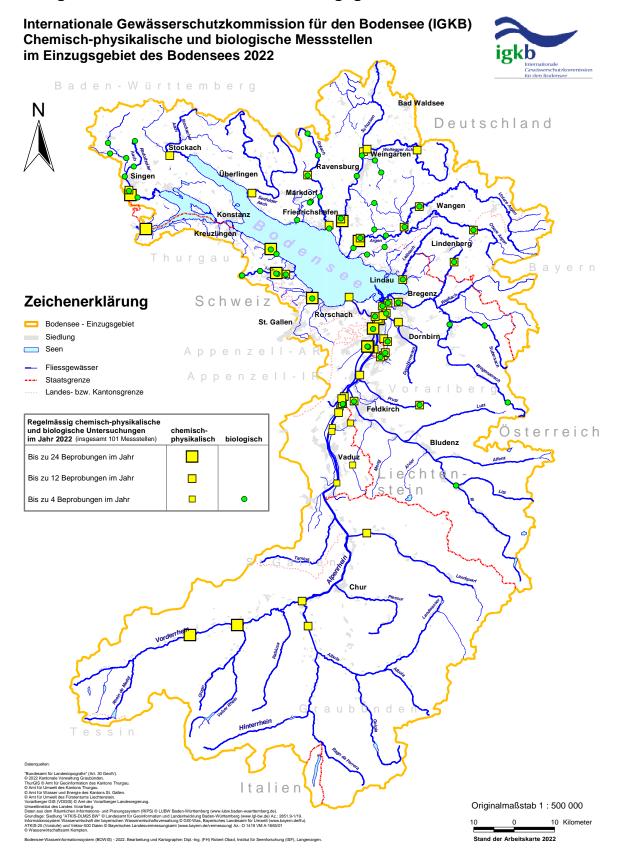


Abb. 9: Karte der Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees, Untersuchungshäufigkeiten im Jahr 2022.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2020-2023

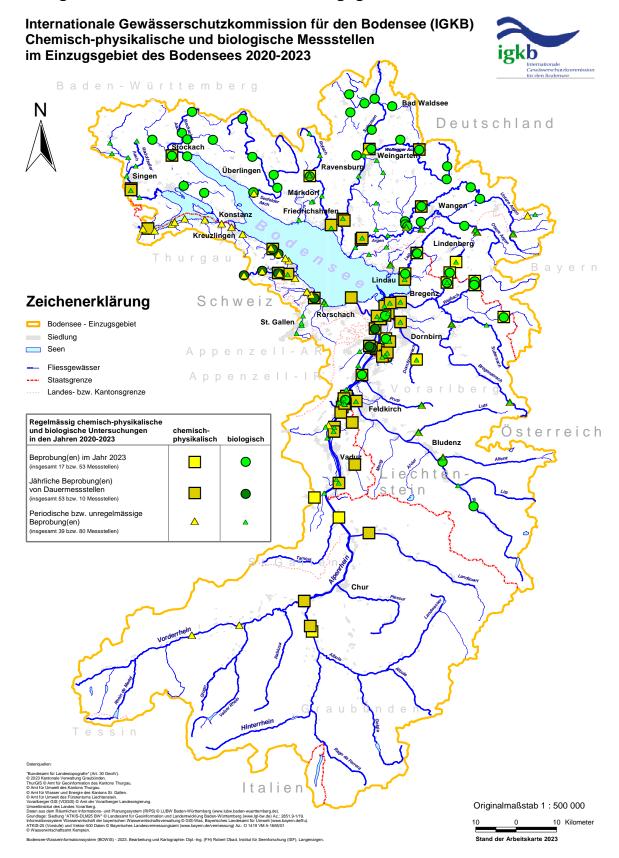


Abb.10: Karte mit den wichtigen Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees 2020-2023.

Fliessgewässer-Messstellenkarte im Einzugsgebiet 2023

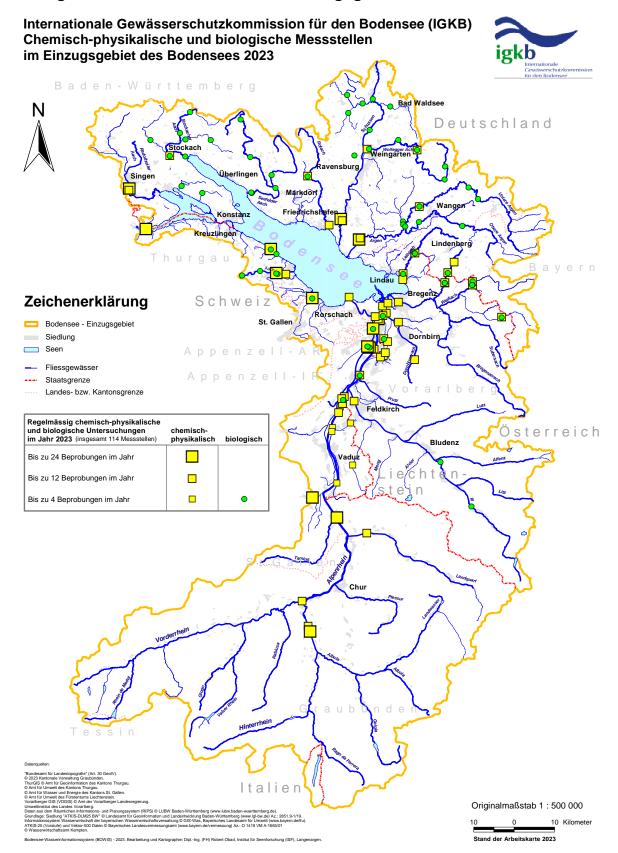


Abb. 11: Karte der Fliessgewässer-Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees, Untersuchungshäufigkeiten im Jahr 2023.

Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2022

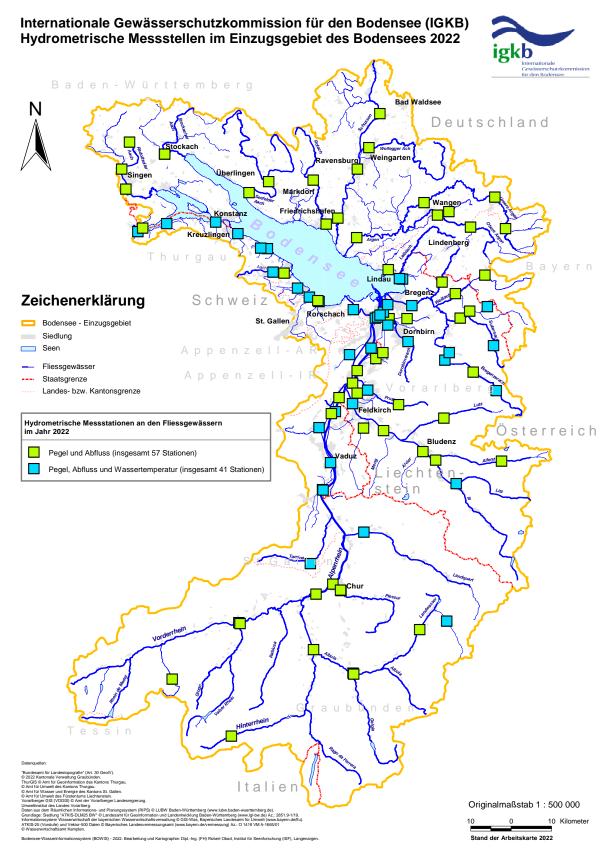


Abb. 12: Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees im Jahr 2022.

Karte hydrometrische Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2022

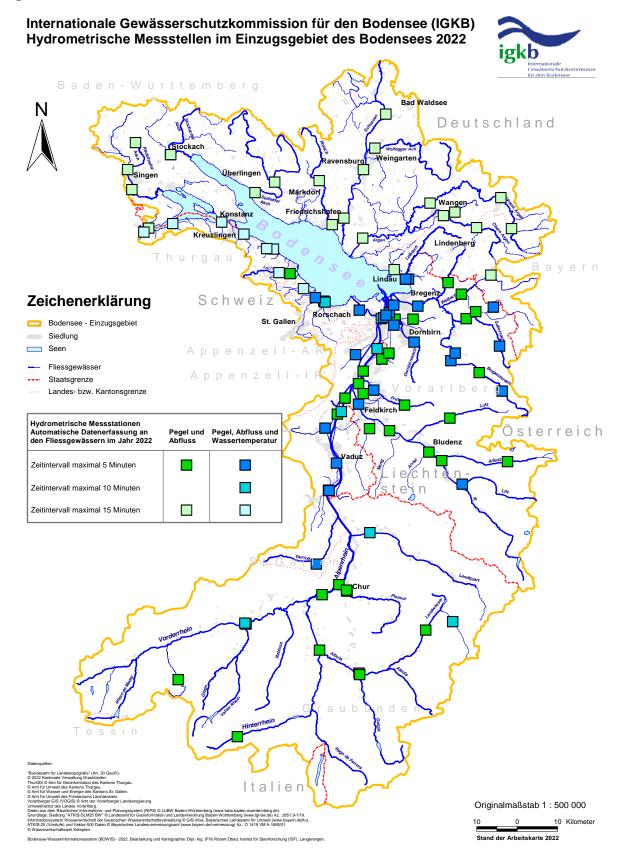


Abb. 13: Karte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees. Untersuchungshäufigkeiten mit Angaben von Zeitintervallen im Jahr 2022.

Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet 2023

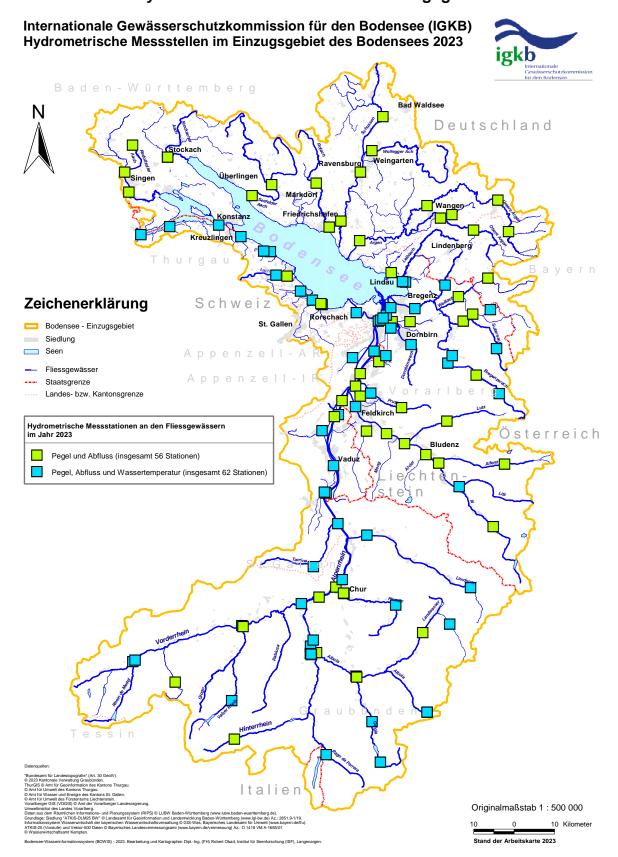


Abb. 14: Übersichtskarte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees im Jahr 2023.

Karte der hydrometrischen Messstellen mit Untersuchungshäufigkeiten im Einzugsgebiet 2023

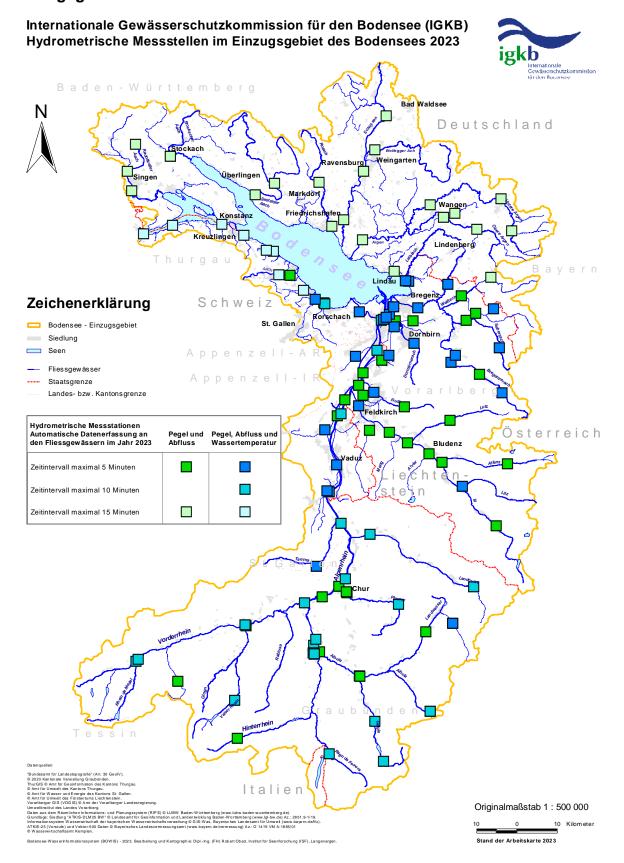


Abb. 15: Karte hydrometrische Messstellen im Einzugsgebiet des Bodensees. Untersuchungshäufigkeiten mit Angaben von Zeitintervallen im Jahr 2023.

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.

