

Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement
Umwelt und Energie (uwe)
Gewässer & Boden
Libellenrain 15
Postfach 3439
6002 Luzern
Telefon 041 228 60 60
Telefax 041 228 64 22
uwe@lu.ch
www.uwe.lu.ch

**DEPARTEMENT
BAU, VERKEHR UND UMWELT**
Abteilung für Umwelt (AfU)
Abfallwirtschaft, Altlasten, Umweltlabor und
Oberflächengewässer

Jahresbericht 2023 der Arbeitsgruppe Sanierung Mittellandseen (ASSAN)

Zustand der Mittellandseen aufgrund aktuellster Gewässerdaten

Zuhanden der ASSAN und des Geschäftsberichts der Gemeindeverbände

Bearbeitung: Kanton Aargau
Abteilung für Umwelt (AfU),
Abteilung Wald (Sektion Jagd- und Fischerei)
Landwirtschaft Aargau

Kanton Luzern
Umwelt und Energie (uwe),
Landwirtschaft und Wald (lawa)

Gemeindeverband Sempachersee (GVS)

Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee (GVBH)

Genehmigt mit Ergänzungen von der ASSAN am 15.03.2024,
bereinigt AfU AG, uwe LU 25.04.2024.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Ziele der Seesanie rung	5
2 Datengrundlage	5
3 Zustand Baldeggersee	6
3.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	6
3.2 Phosphoreinträge über die Zuflüsse	7
3.3 Phosphorkonzentration im See	8
3.4 Algenwachstum	9
3.5 Sauerstoffverhältnisse im See	10
3.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	11
3.7 Weiterführung der Modellierung Baldeggersee bis 2022	12
3.8 Fische im Baldeggersee	12
4 Zustand Hallwilersee	14
4.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	14
4.2 Phosphoreinträge in den Hallwilersee	15
4.3 Phosphorkonzentration im See	16
4.4 Algenwachstum	17
4.5 Sauerstoffverhältnisse im See	18
4.6 Sauerstoffeintrag	20
4.7 Besiedlung der Sedimente im Hallwilersee	20
4.8 Fische im Hallwilersee	21
5 Zustand Sempachersee	24
5.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	24
5.2 Phosphoreinträge	25
5.3 Phosphorkonzentration im See	26
5.4 Algenwachstum	27
5.5 Sauerstoffverhältnisse im See	28
5.6 Sauerstoffeintrag	29
5.7 Fischerei im Sempachersee	30
6 Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge	31
6.1 Massnahmen Landwirtschaft	31
6.2 Landwirtschaft Kanton Luzern: Phosphorprojekt	31
6.3 Gewässerraum Kanton Luzern	35
6.4 Landwirtschaft Kanton Aargau	35
6.5 Gewässerraum Kanton Aargau	36
6.6 Massnahmen Siedlungsentwässerung	37
6.7 Siedlungsentwässerung Kanton Luzern	38
6.8 Siedlungsentwässerung Kanton Aargau	38
7 Zusätzliche Untersuchungen und Massnahmen	39
7.1 Seeinterne Massnahmen: Erneuerung der Seebelüftungen	39
7.2 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die 3 Seen	39
7.3 Organische Mikroverunreinigungen in den drei Seen	39
7.4 Neobiota im Hallwilersee und Baldeggersee	42

Zusammenfassung

Die Wasserqualität der Mittellandseen Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee hat sich seit den 1980er Jahren stark verbessert. Dank optimierter Abwasserbehandlung (inkl. Industrie- und Gewerbeabwasser) und Massnahmen in der Landwirtschaft haben die Phosphoreinträge in die Gewässer abgenommen. Trotz dieser Verbesserungen liegen die Phosphorkonzentrationen in den Seen immer noch über den Zielwerten. Im Tiefenwasser der Seen herrscht im Sommerhalbjahr teilweise trotz Belüftung weiterhin Sauerstoffmangel. Aufgrund der sauerstoffarmen Bedingungen am Seegrund ist die Naturverlaichung der Felchen kaum möglich. Um die Sanierungsziele nachhaltig erreichen zu können, sind die seeexternen und -internen Massnahmen weiterhin erforderlich. Diese Massnahmen sind zudem notwendig, weil die Seen vor dem Hintergrund des Klimawandels unter Druck sind.

Die neuesten Daten zu den Phosphoreinträgen sind für das Jahr 2022 verfügbar. Die Einträge waren im langjährigen Vergleich tief, sodass die tolerierbaren Mengen eingehalten wurden. Ursache waren die geringen Niederschlagsmengen, die zu tiefen Abflüssen und somit geringeren Phosphormengen in den Zuflüssen führten. Trotz tiefer Phosphoreinträge konnten die angestrebten Phosphorkonzentrationen 2022 und 2023 in den Seen nicht erreicht werden. Dieses Ziel wird erst in Griffweite kommen, wenn die Phosphoreinträge anhaltend und auch in niederschlagsreichen Jahren unter die tolerierbaren Mengen fallen.

Aufgrund der zu hohen Phosphorkonzentrationen in den drei Seen war 2023 auch die Algenproduktion zu hoch, wie auch in den Vorjahren. Erst ab einer höchstens mittleren Algenproduktion, können die Seen langfristig gesunden. Dies kann aber nur erreicht werden, wenn die Phosphorkonzentrationen die Zielwerte langfristig unterschreiten.

Dank der künstlichen Belüftung in den drei Seen konnte das Sauerstoffdefizit im Spätsommer und Herbst im Tiefenwasser verringert werden. Nichtsdestotrotz sank im Baldegger- und Hallwilersee die Sauerstoffkonzentration 2023 unter die Sanierungsziele. Die tiefen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser beeinträchtigen den Lebensraum, insbesondere von Fischen. Die Untersuchungen der Felcheneier im Hallwilersee zeigen, dass die natürliche Vermehrung der Felchen, welche ihre Eier ins Seesediment ablegen, wegen dem Sauerstoffmangel im Seesediment kaum funktioniert. Der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser hat sich im Hallwilersee (Untersuchungen 1985 bis 2023) in den letzten Jahrzehnten jedoch so weit verbessert, dass Fischnährtiere (Würmer und Mückenlarven) das Sediment bis zu den tiefsten Stellen des Sees bevölkern.

Um den Phosphoreintrag aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen, der den grössten Anteil der Einträge ausmacht, weiter zu reduzieren, werden seit 1999 in den Einzugsgebieten der

Mittellandseen Phosphorprojekte durchgeführt. Hauptziel der Massnahmen ist, den Phosphorgehalt im Boden abzubauen, damit weniger Phosphor ausgewaschen und in den See verfrachtet wird. In der aktuellen Projektphase III des Luzerner Phosphorprojektes soll der Phosphoreintrag, der von den landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Seen stammt, bis 2025 um 20 % gegenüber 2021 sinken. Die Phosphorprojekte müssen weitergeführt werden, um das Reduktionsziel erreichen zu können.

Der schrittweise Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in den Seeinzugsgebieten hat die Phosphoreinträge seit den 1980er Jahren verringert. Zudem werden die Siedlungsentwässerung und insbesondere die Entlastungsbauwerke laufend optimiert, was zu einer weiteren Reduktion dieser Phosphoreinträge führt. So konnte der Anteil an den Gesamteinträgen seit 2004 auf einem tiefen Niveau gehalten werden. Weitere Optimierungsmöglichkeiten werden laufend geprüft und umgesetzt.

Seit fast 40 Jahren kompensieren künstliche Belüftungsanlagen in den drei Mittellandseen die Sauerstoffdefizite. Die Anlagen müssen erneuert werden. Der Bedarf, mittels Belüftung den Lebensraum im Tiefenwasser der Seen zu verbessern, besteht langfristig. Der Grund: auch wenn die Phosphoreinträge unter die tolerierbare Menge sinken, wird die Gesundung der Seen darüber hinaus andauern.

Die ASSAN hat 2023 begleitend zu den See-Daueruntersuchungen Projekte initiiert und durchgeführt. In diesem Zusammenhang wird die Phosphormenge, die über die Atmosphäre in den See gelangt, erneut untersucht, um eine breitere Datenbasis zu erhalten. Das bestehende Baldeggerseeemodell, das den Sauerstoffhaushalt, die Nährstoffkreisläufe und die Algenproduktion simuliert, wurde für die Jahre 2021/2022 aktualisiert. Bezüglich Mikroverunreinigungen wurden die Analysen weitergeführt. Aktuell überschreiten keine Substanzen ihre Grenzwerte. Hinsichtlich Trinkwassernutzung werden insbesondere die Abbauprodukte des Fungizids Chlorothalonil weiterhin untersucht.

Um die Einschleppung invasiver gebietsfremder Arten, vor allem der Quaggamuschel, zu verhindern, wird wie im Hallwilersee bereits 2021, im Baldegger- und Sempachersee eine Bootsreinigungspflicht am 1. Mai 2024 in Kraft treten.

1 Ziele der Seesanie rung

Die Sanierung der Mittellandseen orientiert sich an Zielen, die die wichtigste Steuerungsgrösse (Phosphoreintrag) sowie Kenngrössen des Seezustands (Phosphor-, Sauerstoffkonzentration, Algenproduktion und Fortpflanzung der Felchen) betreffen. Die aktuellen Ziele wurden im Jahre 2019 definiert (Tabelle 1). Sie stützen sich auf die Anforderungen der eidgenössischen Gewässerschutzverordnung (GSchV), die Phosphorverordnung des Kantons Luzern und die aktuellen Erkenntnisse der Forschung. Mittels Sanierungsmassnahmen sollen die Ziele bis 2035 erreicht werden, sodass die Seen langfristig gesunden können.

Tabelle 1 Ziele der Seesanie rung (Zeithorizont 2035)

Zielebene	Baldeggersee	Hallwilersee	Sempachersee
Phosphoreintrag ¹	< 2.2 t/Jahr	< 2.0 t/Jahr	< 4.0 t/Jahr
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	< 10 mg/m ³	< 15 mg/m ³
Algenproduktion ³	Höchstens mittlere Algenproduktion; starker Rückgang Burgunderblutalgen zu 2019		Höchstens mittlere Algenproduktion
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle: mit Zirkulationshilfe und Druckluft-Belüftung im Sommer	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle: nur mit Zirkulationshilfe, ohne Sommer-Belüftung	
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet		

Wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen:

¹ Eawag-Studien: Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#); Müller et al. (2019): [Oxygen consumption in seasonally stratified lakes decreases only below a marginal phosphorus threshold](#)

² Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung der Mittellandseen durch die Landwirtschaft ([SRL 703a](#)): §1 Abs. 2

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV, [SR 814.201](#)): Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 2

⁴ Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 3 Bst. b GSchV

⁵ Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. c GSchV

2 Datengrundlage

Dieser Bericht fasst die aktuellsten Daten zum Zustand der drei Mittellandseen Baldeggersee, Hallwilersee und Sempachersee und zu den laufenden Massnahmen der Seesanie rung zusammen. Die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern resp. die Abteilung für Umwelt (AfU) des Kanton Aargaus erheben die Daten systematisch seit den 1980er Jahren. Der Bericht enthält soweit möglich die aufbereiteten Daten des Vorjahres 2023. Für die berechneten Phosphoreinträge (Frachtberechnungen) und die Fischfangstatistik des Kantons Aargau werden die Kennzahlen für das Jahr 2022 angegeben, weil bei der Erstellung des Berichtes noch keine aktuelleren Daten vorlagen. Die Kantone publizieren ihre Daten auch auf [Gewässer - Kanton Luzern](#) resp. [Zustand Hallwilersee - Kanton Aargau \(ag.ch\)](#).

3 Zustand Baldeggersee

3.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2022 resp. 2023 grösstenteils nicht erreicht (Tabelle 2). Aufgrund der tiefsten Zuflussmenge seit Messbeginn unterschritt der Phosphoreintrag in den Baldeggersee 2022 den Zielwert zum ersten Mal seit Messbeginn 1986. Erst wenn die Phosphoreinträge anhaltend, d.h. auch in niederschlagsreichen Jahren unter die tolerierbare Menge fallen, werden auch Phosphor- und Sauerstoffkonzentrationen langfristig ihre Zielwerte erreichen können. Der überwiegende Anteil der Phosphorfrachten in den Baldeggersee stammt von den landwirtschaftlich genutzten Flächen – er muss weiter reduziert werden.

Infolge der zu hohen Phosphorkonzentrationen war auch die Algenproduktion 2023 zu hoch. Der Abbau der abgestorbenen Algen sowie die zu geringe Menge mittels künstlicher Belüftung eingetragenen Reinsauerstoff führten dazu, dass der sauerstofflose Zustand am Seegrund im September und Oktober 2023 nicht verhindert werden konnte. Da die saisonale Sauerstoffarmut mittelfristig andauern wird, muss der See auch in Zukunft weiterhin belüftet werden.

Tabelle 2 Baldeggersee: Stand Erreichung der Sanierungsziele

Zielebene	Sanierungsziel	Stand	Beurteilung	Zeitbezug
Phosphoreintrag ¹	< 2.2 t/Jahr	1.6 t	erreicht	2022
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	17 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2023
Algenproduktion ³	Höchstens mittel; starker Rückgang Bur-gunderblutalgen zu 2019	Sehr hoch; kein Rückgang	nicht erreicht	2023
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	0 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht	Herbst 2023
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2023

Wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen:

¹ Eawag-Studie: Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#)

² Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung der Mittellandseen durch die Landwirtschaft ([SRL 703a](#)): §1 Abs. 2

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV, [SR 814.201](#)): Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 2

⁴ Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 3 Bst. b GSchV

⁵ Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. c GSchV

3.2 Phosphoreinträge über die Zuflüsse

Im Mittel der beiden Jahre 2021 und 2022 gelangten mit 3.1 Tonnen pro Jahr zu viel Phosphor in den Baldeggersee. Dieser Wert ist vergleichbar mit den Phosphoreinträgen der Periode 2016-2020 (Abbildung 1). Im Mittel der letzten fünf Jahre (2018-2022) gelangten 2.7 Tonnen Phosphor in den Baldeggersee.

Im Jahr 2022 betrug der Phosphoreintrag in den Baldeggersee 1.6 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 2.2 Tonnen unterschritten (Abbildung 1). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Niederschlagsmengen zurückzuführen: Nach dem regenreichen Jahr 2021 folgte das Jahr 2022 mit der tiefsten Niederschlags- und folglich Zuflussmenge seit Messbeginn 1986. Der Zielwert muss auch in niederschlagsreichen Jahren eingehalten werden.



Abbildung 1 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden (Zweijahresperioden 1975–1976 und 2021–2022 schraffiert dargestellt) in den Baldeggersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

Der überwiegende Anteil des Phosphors wird seit den 1980er Jahren über die Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet in den Baldeggersee eingetragen und stammt grösstenteils von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

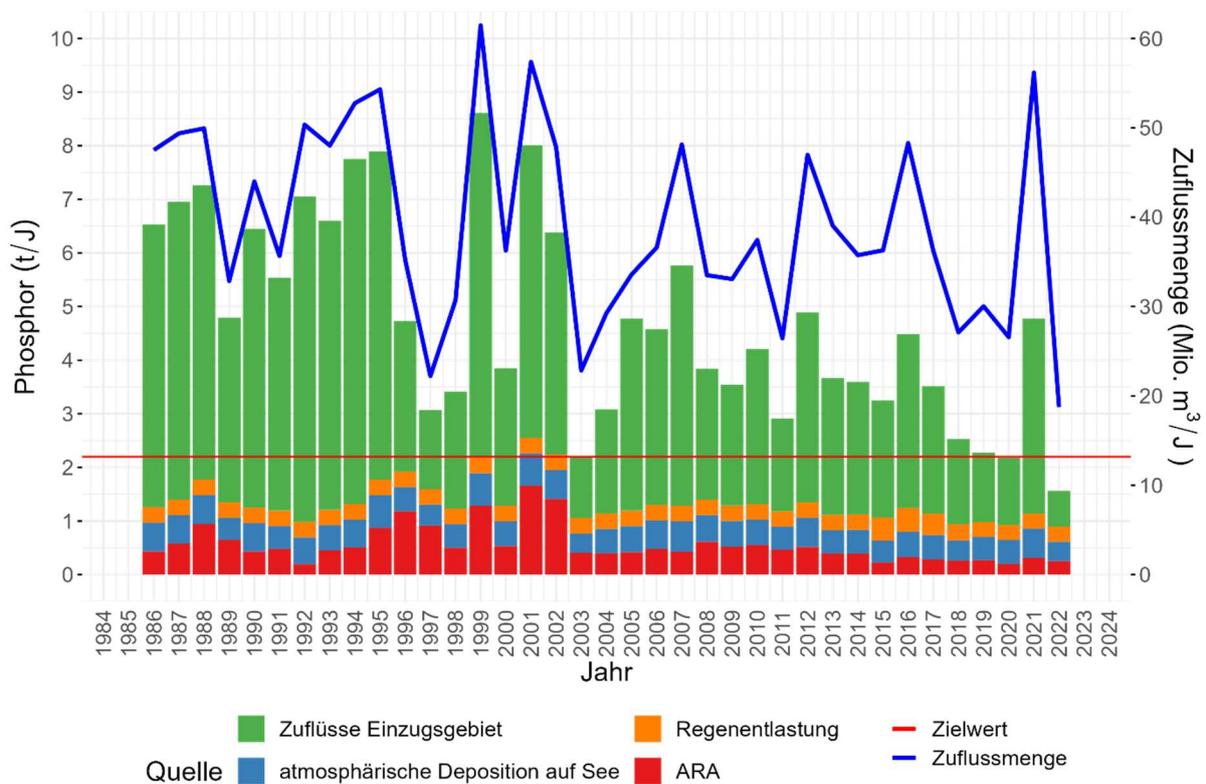


Abbildung 2 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Baldeggersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

3.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2023 wurden 17 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg P / m^3) gemessen (im 2022: 21 mg P / m^3 , Abbildung 3). Der Zielwert von 15 mg P / m^3 wird nicht eingehalten. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Anforderungen an den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und an die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

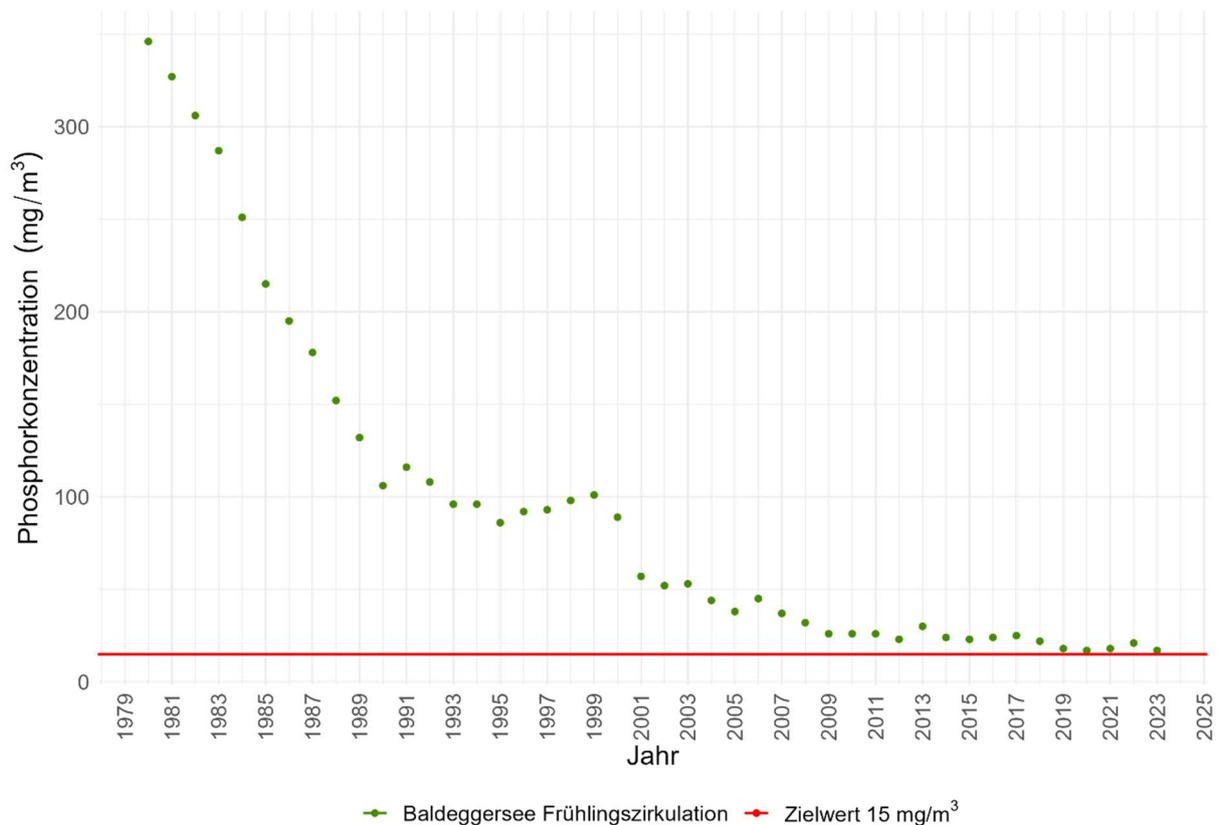


Abbildung 3 Phosphorkonzentration im Baldeggersee für die Jahre 1980 bis 2022 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 65 m

3.4 Algenwachstum

Seit 2005 schwankte die Algenbiomasse mit einzelnen Ausnahmen in einem Bereich zwischen 30 und 60 g/m² (Abbildung 4). Mindestens drei Viertel der Algenbiomasse sind Cyanobakterien, umgangssprachlich Blaualgen (hauptsächlich Burgunderblutalgen). Im Vergleich zum Vorjahr ist die Biomasse 2023 um ca. 10 g/m² auf 68 g/m² gestiegen, lag aber unter dem Maximum des Jahres 2019. Trotz des im Vergleich zu früheren Jahren tieferen Phosphoreintrags in den See war die Algenproduktion im See seit 2019 sehr hoch. Das Ziel einer höchstens mittleren Algenproduktion wurde klar nicht erreicht. Ebenso das zweite Ziel, ein starker Rückgang der Burgunderblutalgen zu 2019, wurde nicht erreicht. Die Burgunderblutalgen schei-

nen ideale Wachstumsbedingungen vorzufinden, um die tiefere Phosphorkonzentration kompensieren zu können. Aufgrund neuester Forschungsergebnisse der Eawag¹ und der Entwicklung im Hallwilersee ist zu erwarten, dass die Algenbiomasse sinken wird, sobald die Phosphorkonzentration weiter sinkt und den Zielwert von 15 mg P /m³ unterschreitet.

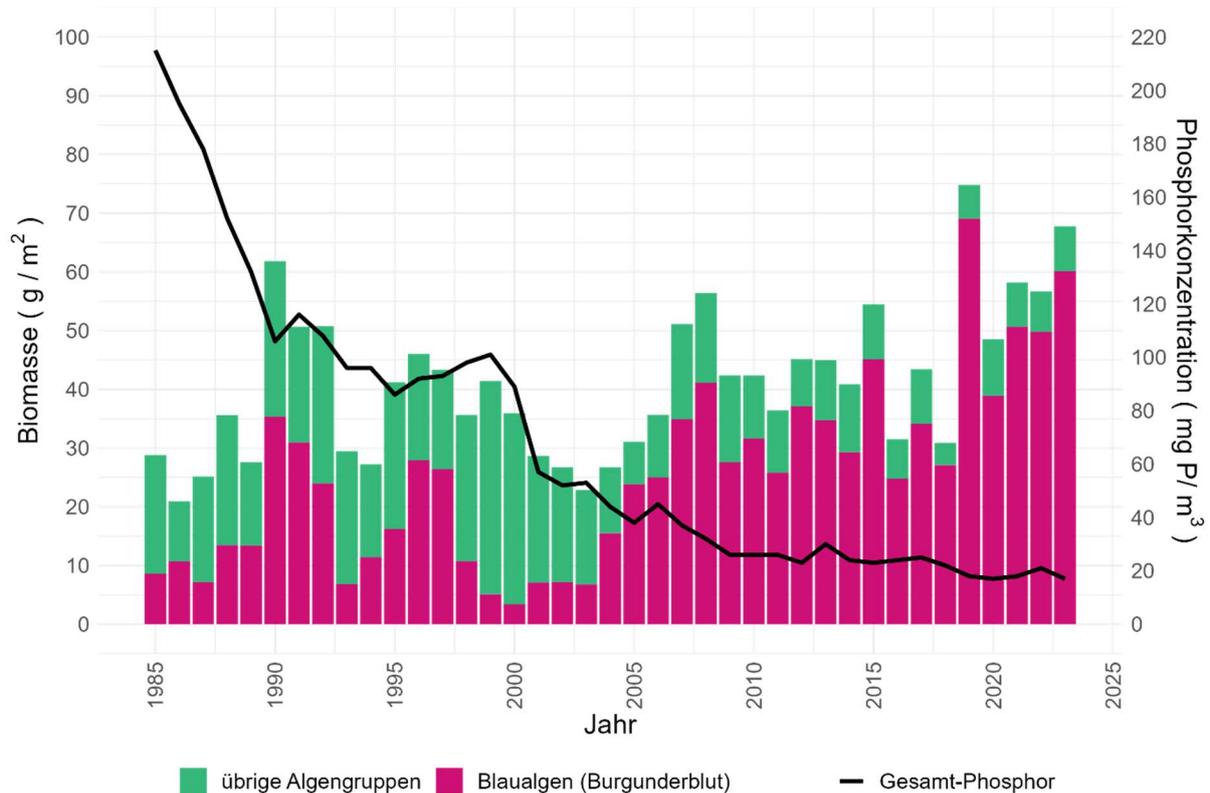


Abbildung 4 Biomasse der Blaualgen (hauptsächlich Burgunderblutalge) und der übrigen Algengruppen im Baldeggersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2022 (Wassertiefe 0 bis 15 m)

3.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration am Seegrund fiel im Spätsommer 2023 für fünf Monate unter die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L (Abbildung 5). Im September 2023 erreichte die Konzentration 0 mg/L. Dieser sauerstofflose Zustand dauerte bis Oktober an. Demnach wurde

¹ Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#);

der Zielwert von 1 mg/L am Seegrund (Tabelle 1) während rund zwei Monaten nicht eingehalten. Die Sauerstoffarmut im Tiefenwasser wird durch die künstliche Belüftung zwar vermindert, die Anforderung von 4 mg/L konnte seit 1991 jedoch nur in Ausnahmejahren eingehalten werden. Der grösste Teil des Sauerstoffs wird durch den Abbau des organischen Materials (v.a. abgestorbene Algen) im Tiefenwasser verbraucht, ein kleinerer Teil durch Abbauprozesse im Sediment, welche auf das früher nicht abgebaute organischen Material zurückzuführen sind und heute noch zusätzlich Sauerstoff zehren.

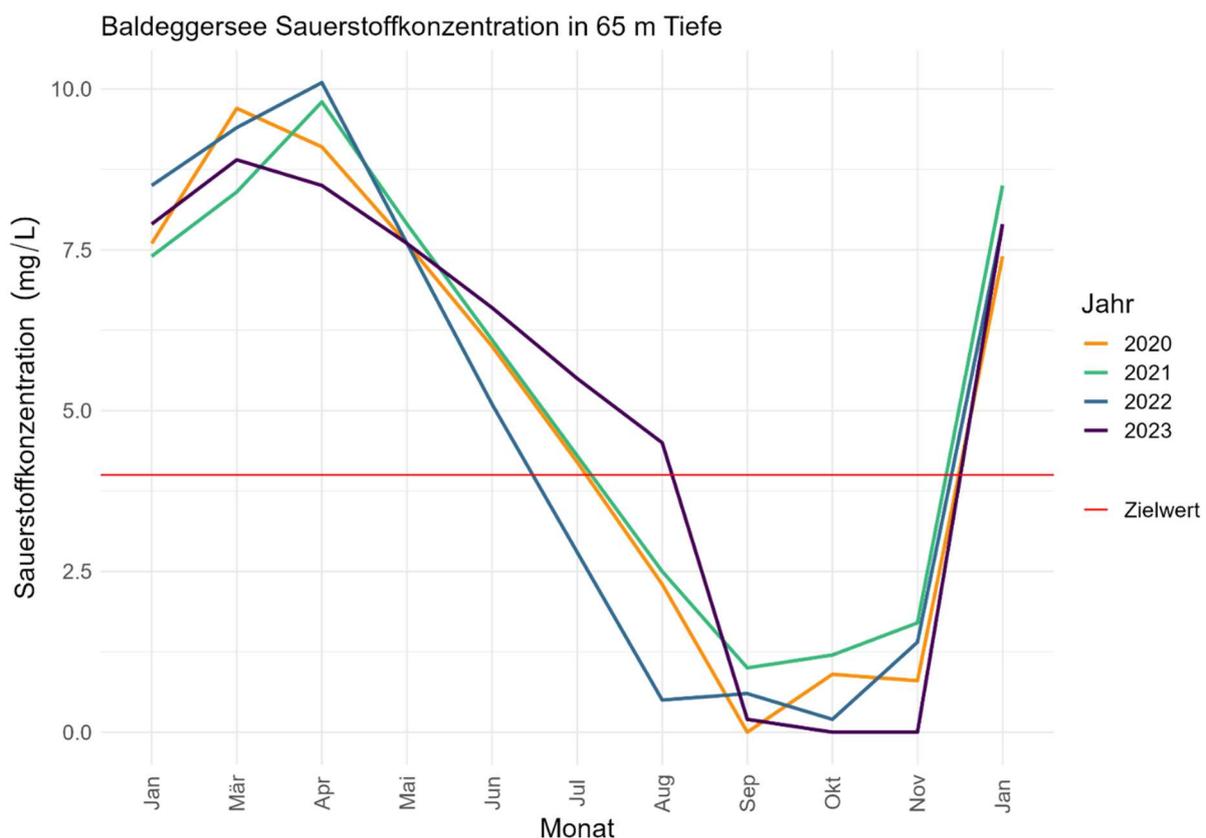


Abbildung 5 Sauerstoffkonzentrationen am Seegrund des Baldeggersee im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

3.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung

Die natürliche Seedurchmischung, die das Tiefenwasser des Sees mit sauerstoffreichem Oberflächenwasser versorgt, wird während des Winterhalbjahres durch die Zirkulationshilfe mit Druckluft unterstützt. Im Sommerhalbjahr, während dem der See geschichtet ist, wird dem Tiefenwasser feinblasig Reinsauerstoff zugeführt. Der Reinsauerstoff-Eintrag dauerte 2023 vom 19. April bis 28. Oktober. So wurde der Baldeggersee im Jahr 2023 mit insgesamt 444

Tonnen Reinsauerstoff belüftet. Im Vorjahr betrug die Menge 461 Tonnen. Die vom zuständigen Gemeindeverband Baldegger-Hallwilersee (GVBH) für 2023 budgetierte Menge konnte damit nicht ausgeschöpft werden, was auf den schlechten Zustand der Belüftungsanlagen zurückzuführen ist. Grundsätzlich müssten mindestens 500 Tonnen Reinsauerstoff eingetragen werden, um die angestrebte Konzentration von 4 mg/L annähernd zu erreichen. Diese Menge garantiert jedoch nicht in jedem Jahr, dass die Konzentration unter 4 mg/L sinkt. Um den Baldeggersee auch in Zukunft ausreichend belüften zu können, müssen die seeinternen Anlagen erneuert werden (siehe Kapitel 9).

3.7 Weiterführung der Modellierung Baldeggersee bis 2022

Das bestehende Modell zur dreidimensionalen Berechnung der Hydrodynamik und Wasserqualität hinsichtlich Nachbildung des Sauerstoffhaushalts, der Nährstoffkreisläufe und der Primärproduktion wurde um die Jahre 2021/2022 aktualisiert². Somit besteht die Modellierung insgesamt für die Jahre 2001 bis 2022. Grundlagen bilden die Messdaten aus den Zuflüssen, zum Belüftungsbetrieb und der meteorologischen Verhältnisse.

Mithilfe des aktualisierten Modells konnten präzisere Aussagen zu den benötigten Sauerstoffeinträgen via künstliche Belüftung gemacht, Auswirkungen eines ausgebauten Belüftungssystems evaluiert und Effekte des Klimawandels auf die Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers abschätzt werden. Das Modell liefert wichtige Grundlagen für die Erneuerung der Belüftungsanlagen.

3.8 Fische im Baldeggersee

Mit den *Projet lac* -Befischungen im Herbst 2023 wurden 15 Fischarten nachgewiesen. Die Artenpalette entspricht faktisch jener des Hallwilersees. Mit Blick auf den Seezustand (Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser, Sauerstoffzehrung an der Sediment-Wasser-Grenze) können sich die Felchen als Hauptfischart noch immer nicht natürlich reproduzieren. Die aktuellen Felchenbestände gehen vollumfänglich auf Besatzfische zurück.

² Kobus und Partner (2023) Modell Baldeggersee: Aktualisierung 2021 und 2022, Bericht im Auftrag der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern.

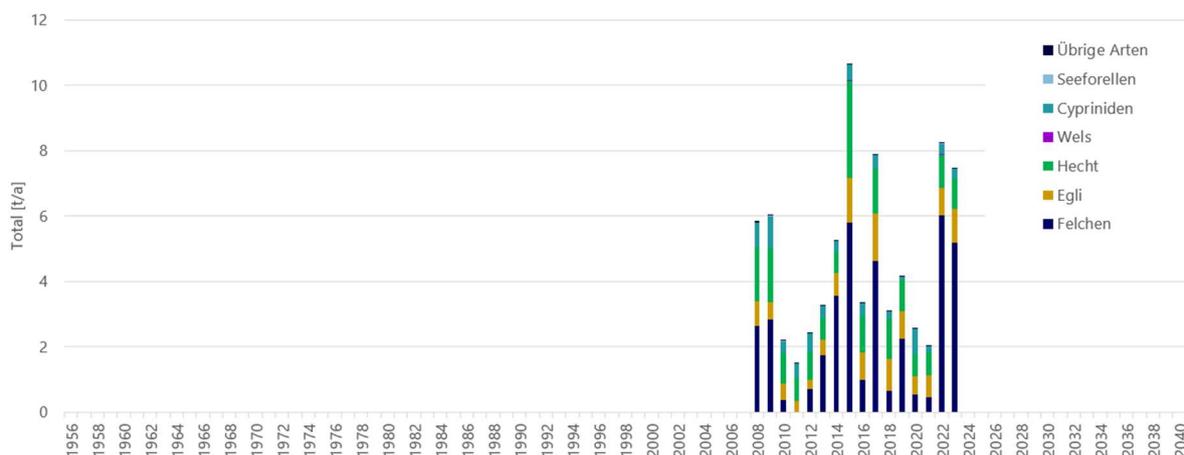


Abbildung 6 Fischfangerträge (Tonnen) der Berufs- und Angelfischerei im Baldeggersee

Die Abbildung 6 zeigt die Summe der Fangerträge der Netz- und Angelfischerei seit Beginn der Statistikführung 2008. Von den insgesamt 7.43 Tonnen Gesamtfangertrag (\bar{x} 4.54 Tonnen) wurden 5.68 Tonnen (\bar{x} 2.64 Tonnen) durch die Netz- und 1.78 Tonnen (\bar{x} 1.87 Tonnen) durch die Angelfischerei erbeutet. Die Summe der Fangerträge und die Fangerträge der Netzfischerei schwanken in Abhängigkeit der Netzfischerei-Intensität sehr markant und vermögen nicht, Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden Fischbestände zu erhalten. Die Ende 2024 vorliegenden Auswertungen der *Projet lac*-Untersuchungen werden bezüglich der relativen Artenvorkommen und der Bestandesstärken detailliertere Einsichten gewähren.

Während 99% der Felchenfänge durch die Netzfischerei gemacht werden (5.17 von 5.19 Tonnen), werden Egli- (0.86 von 0.92 Tonnen) und Hechtfänge (0.76 von 1.04 Tonnen) mehrheitlich durch Angelfischende realisiert.

Am Baldeggersee war 2023 ein Netzfischer fangberechtigt. ProNatura als Eigentümerin des Sees und Inhaberin der fischereilichen Nutzungsrechte hat im Berichtsjahr 281 Jahrespatente (Vorjahr 257) und 289 Tageskarten (Vorjahr 250) an Anglerinnen und Angler ausgegeben.

4 Zustand Hallwilersee

4.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2022 resp. 2023 grösstenteils nicht erreicht (Tabelle 3). Aufgrund der tiefsten Zuflussmenge seit Messbeginn unterschritt der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 2022 den Zielwert zum dritten Mal seit Messbeginn 1986. Erst wenn die Phosphoreinträge anhaltend, d.h. auch in niederschlagsreichen Jahren unter der tolerierbaren Menge fallen, werden auch Phosphor- und Sauerstoffkonzentrationen langfristig ihre Zielwerte erreichen können. Der überwiegende Anteil der Phosphorfrachten in den Hallwilersee stammt von den landwirtschaftlich genutzten Flächen – insbesondere via den Zufluss vom Baldeggersee. Der aus den landwirtschaftlichen Flächen stammende Anteil muss für eine erfolgreiche Sanierung langfristig gesenkt werden.

Infolge der zu hohen Phosphorkonzentrationen war auch die Algenproduktion 2023 zu hoch. Der Abbau der abgestorbenen Algen und die damit einhergehende erhöhte Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser führten dazu, dass die gegen Null tendierende Sauerstoffkonzentration am Seegrund während den Monaten September, Oktober und November 2023 trotz Belüftung mit Druckluft nicht verhindert werden konnte. Da die saisonale Sauerstoffarmut mittelfristig andauern wird, muss der See auch in Zukunft weiterhin belüftet werden.

Tabelle 3 Hallwilersee: Stand Erreichung der Sanierungsziele

Zielebene	Sanierungsziel	Stand	Beurteilung	Zeitbezug
Phosphoreintrag ¹	< 2.0 t/Jahr	2.0 t	erreicht	2022
Phosphorkonzentration ²	< 10 mg/m ³	19 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2023
Algenproduktion ³	Höchstens mittel	Hoch	nicht erreicht	2023
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	0.6 mg/L 0.1 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht	Herbst 2023
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2023

Wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen:

¹ Eawag-Studie: Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#)

² Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung der Mittellandseen durch die Landwirtschaft ([SRL 703a](#)): §1 Abs. 2

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV, [SR 814.201](#)): Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 2

⁴ Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 3 Bst. b GSchV

⁵ Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. c GSchV

4.2 Phosphoreinträge in den Hallwilersee

Im Mittel der 5-Jahresperiode 2018-2022 gelangten mit 2.4 Tonnen pro Jahr zu viel Phosphor in den Hallwilersee. Dieser Wert ist dank einiger trockener Jahre in dieser Periode etwas tiefer als in der vorherigen 5-Jahresperiode 2013 – 2017 (2.8 Tonnen, Abbildung 7).

Im Jahr 2022 betrug der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 2.0 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 2.0 Tonnen in etwa erreicht (Abbildung 8). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind hauptsächlich auf die unterschiedlichen Niederschlagsmengen und witterungsbedingte Einträge zurückzuführen: Nach dem regenreichen Jahr 2021 folgte das Jahr 2022 mit der tiefsten Niederschlags- und folglich Zuflussmenge seit 2004.

Ein erheblicher Anteil des Phosphoreintrags stammt mit rund 0.6 Tonnen pro Jahr nach wie vor aus dem Baldeggersee-Zufluss (Periode 2018 bis 2022). Mit insgesamt 0.8 Tonnen pro Jahr machen auch die Einträge aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen im direkten Einzugsgebiet des Sees (Kantone Aargau und Luzern) einen wesentlichen Anteil aus. Bemerkenswert für den Hallwilersee ist der Anteil der direkten Deposition aus der Luft auf die Seeoberfläche. Dieser verbleibt in gleicher Grössenordnung, wird aber mit abnehmendem gesamten Phosphoreintrag anteilmässig immer bedeutender (rund 0.9 Tonnen pro Jahr).

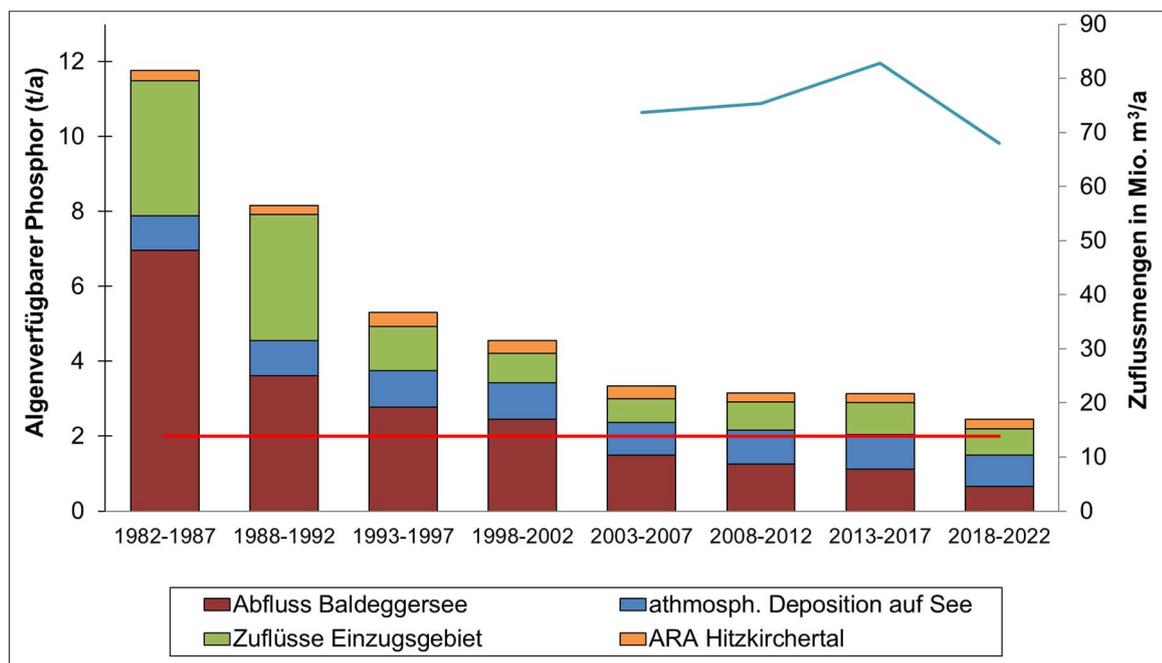


Abbildung 7 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

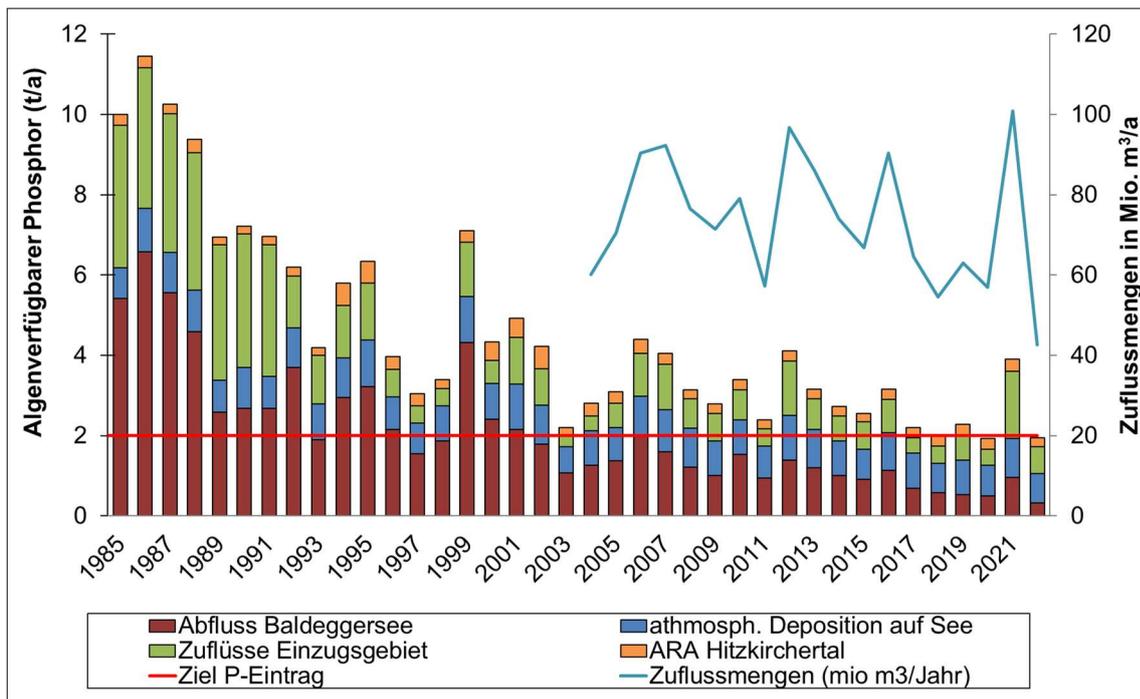


Abbildung 8 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

4.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2023 wurden 19 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg P / m^3) gemessen (im 2022: 13 mg P / m^3 , Abbildung 9). Der Zielwert von 10 mg P / m^3 wird nicht erreicht. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Anforderungen an den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und an die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

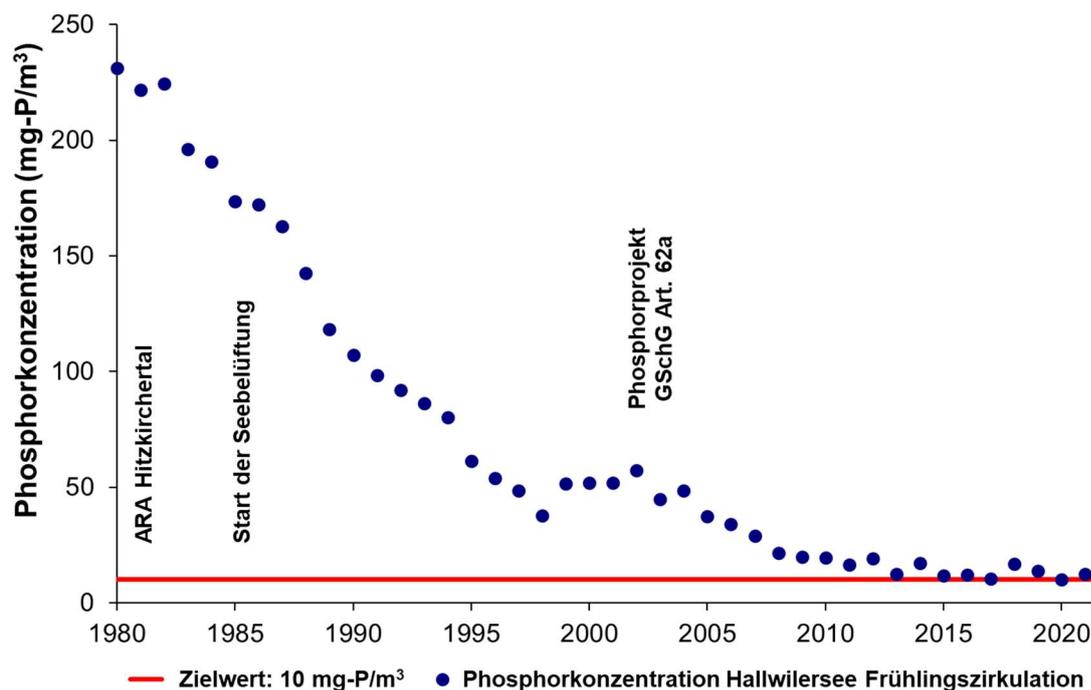


Abbildung 9 Phosphorkonzentration im Hallwilersee für die Jahre 1980 bis 2023 (Mittelwert während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 45 m)

4.4 Algenwachstum

Dank den sinkenden Phosphorkonzentrationen ging das Wachstum der Grünalgen im Hallwilersee seit den 1980er-Jahren stark zurück (Abbildung 10). Dies führte dazu, dass mehr Licht in die etwas tiefer liegenden Wasserschichten eindringen konnte. Davon profitierte die fädige, für Planktontiere schwer verdauliche Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*), eine Blaualge, welche typischerweise in 10 – 15 Meter Wassertiefe eingeschichtet ist. Sie wurde ab Ende der 1990er Jahre zur dominanten Alge im Hallwilersee. Mit der weiteren Reduktion des Phosphorgehaltes ging das Wachstum der Burgunderblutalge wieder etwas zurück. Ein weiterer Rückgang ist anzustreben. Die übrigen Algengruppen machen weiterhin einen eher kleinen Anteil der Gesamt-Algenpopulation aus.

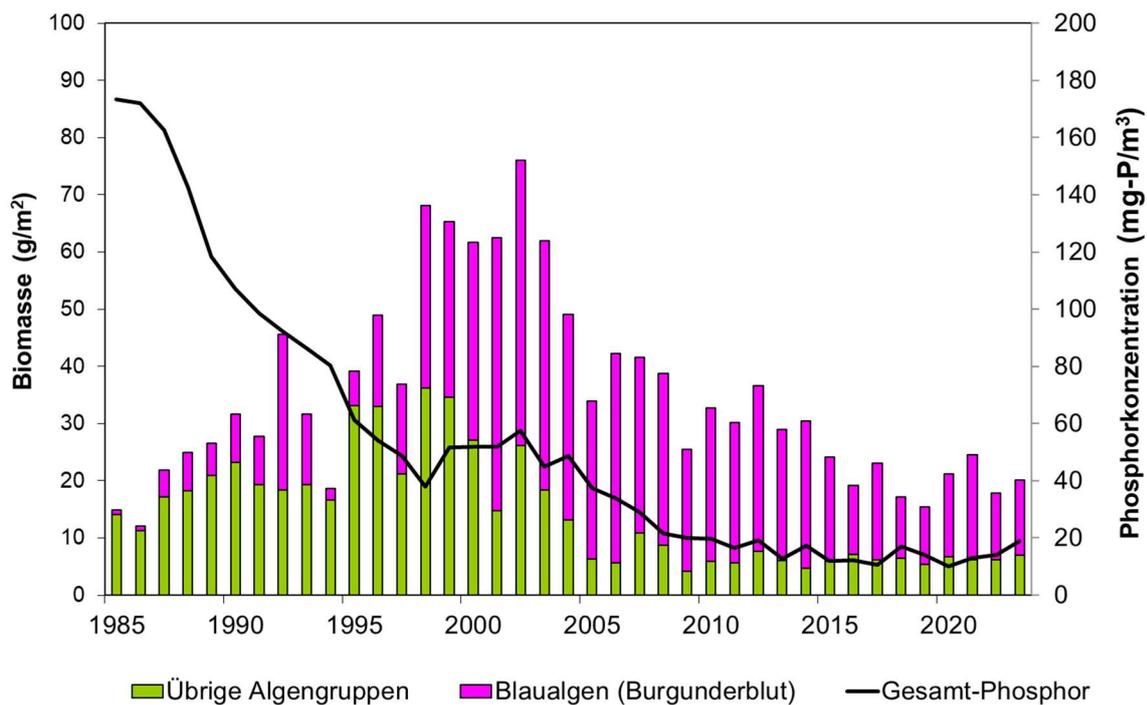


Abbildung 10 Biomasse der wichtigsten Algengruppen im Hallwilersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2023 (Wassertiefe 0 bis 13 m)

4.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration am Seegrund fiel während rund 3 Monaten (September bis November) unter das Sanierungsziel von 1 mg/L (Abbildung 11).

Die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser fiel im Spätsommer 2023 für fünf Monate unter den Zielwert von 4 mg/L (Abbildung 12). Im November 2023 erreichte die durchschnittliche Konzentration im Tiefenwasser 0.6 mg/L.

Trotz künstlicher Belüftung kann ein sauerstoffloser Zustand am Seegrund nicht gänzlich verhindert werden. Die Sauerstoffarmut im Tiefenwasser wird durch die künstliche Belüftung zwar vermindert, das Sanierungsziel von mindestens 4 mg/L im Tiefenwasser konnte seit 1986 jedoch nur in einem Ausnahmejahr (1991) eingehalten werden.

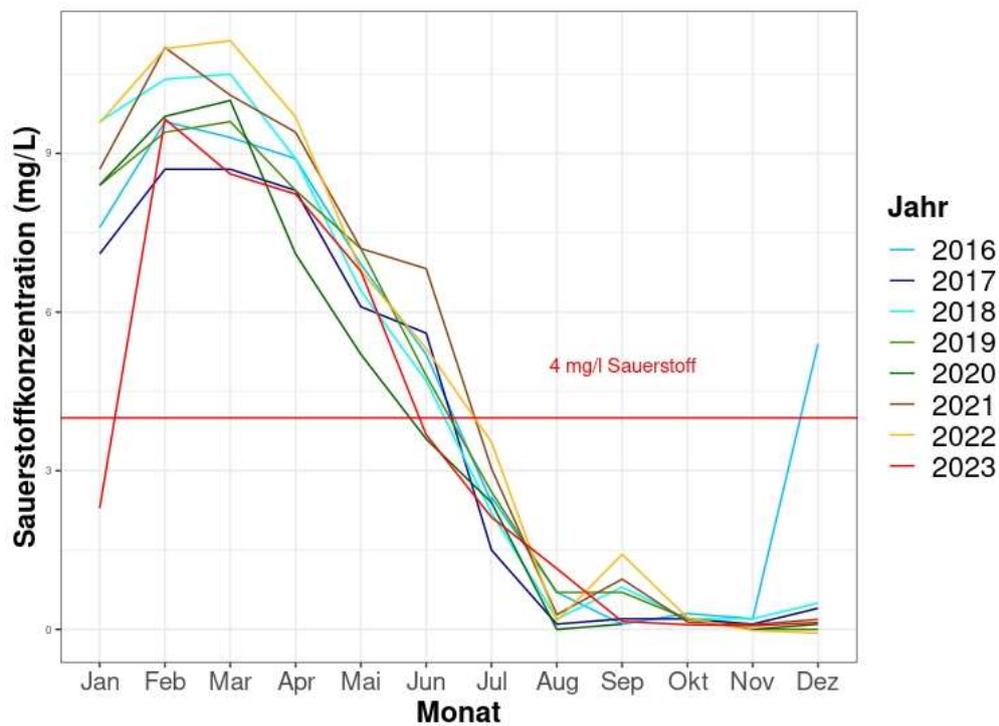


Abbildung 11 Mittlere Sauerstoffkonzentrationen am Seegrund im Jahresverlauf im Hallwilersee für die Jahre 2016 bis 2023, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

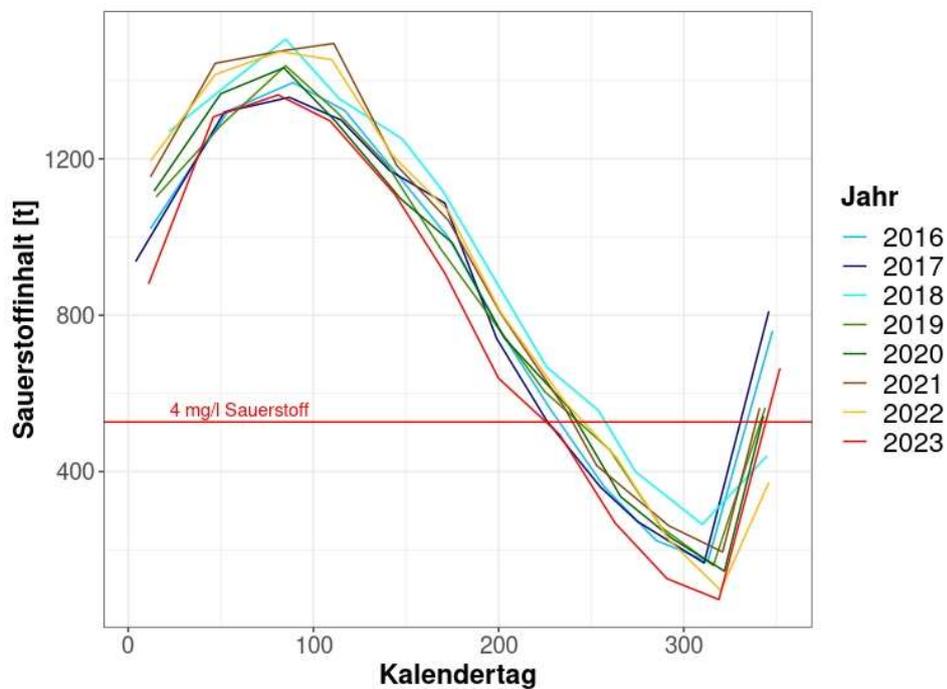


Abbildung 12 Jahresverlauf des Sauerstoffinhalts im Tiefenwasser (17.5 – 46 m) im Hallwilersee für die Jahre 2016 bis 2023, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

4.6 Sauerstoffeintrag

Die natürliche Seedurchmischung, die das Tiefenwasser des Sees mit sauerstoffreichem Oberflächenwasser versorgt, wird während des Winterhalbjahres durch die Zirkulationshilfe mit Druckluft unterstützt. Als Folge des Gesundungsprozesses des Hallwilersees hat die Sauerstoffzehrung derart abgenommen, dass beim Belüftungsbetrieb seit 2016 auf den Eintrag von zusätzlichem Reinsauerstoff verzichtet wird. Im Sommerhalbjahr, während dem der See geschichtet ist, wird dem Tiefenwasser seit 2016 Sauerstoff mittels feinblasiger Druckluft zugeführt.

Über Druckluft wurden im Jahr 2023 rund 183 Tonnen Sauerstoff ins Tiefenwasser des Sees eingetragen. Im 2023 wurde somit rund 50 Tonnen Sauerstoff mehr eingetragen als in den Vorjahren. Grund dafür war eine bessere Reinigung der Diffusorenfritten, der Verzicht auf eine Reduktion des 24 h-Betriebes auf 11 h pro Tag in den Hochsommermonaten und das spätere Umschalten auf den Winterbetrieb (Zirkulationshilfe) gegenüber früheren Jahren. Der Betrieb mit Druckluft war jedoch auch 2023 nicht ausreichend, um annähernd sauerstofflose Verhältnisse am Seegrund in den Herbstmonaten zu vermeiden. Die Belüftung mit Druckluft im Sommer wird in den nächsten Jahren weiterhin notwendig sein. Um den Hallwilersee auch in Zukunft ausreichend belüften zu können, müssen die seeinternen Anlagen erneuert werden (siehe Kapitel 9).

4.7 Besiedlung der Sedimente im Hallwilersee

Zur Zeit der stärksten Eutrophierung lebten im Hallwilersee in den Sedimenten unterhalb von 25 Metern Seetiefe keine Würmer oder Insektenlarven mehr (Abbildung 13). Mit den fortlaufenden Sanierungsmaßnahmen konnte erreicht werden, dass Würmer und Insektenlarven die Sedimente wieder bis auf 46 m Tiefe besiedeln. Die jüngste Untersuchungskampagne im 2023 zeigte, dass die Besiedlungsdichte der Würmer bis in die tiefliegenden Sedimente hoch ist. Die Dichten waren ähnlich wie bei den Untersuchungen im 2020, jedoch etwas geringer als in den Jahren 2012, 2014 und 2017. Besonders sauerstoffsensible Arten konnten unterhalb von 20 m Tiefe noch nicht gefunden werden.

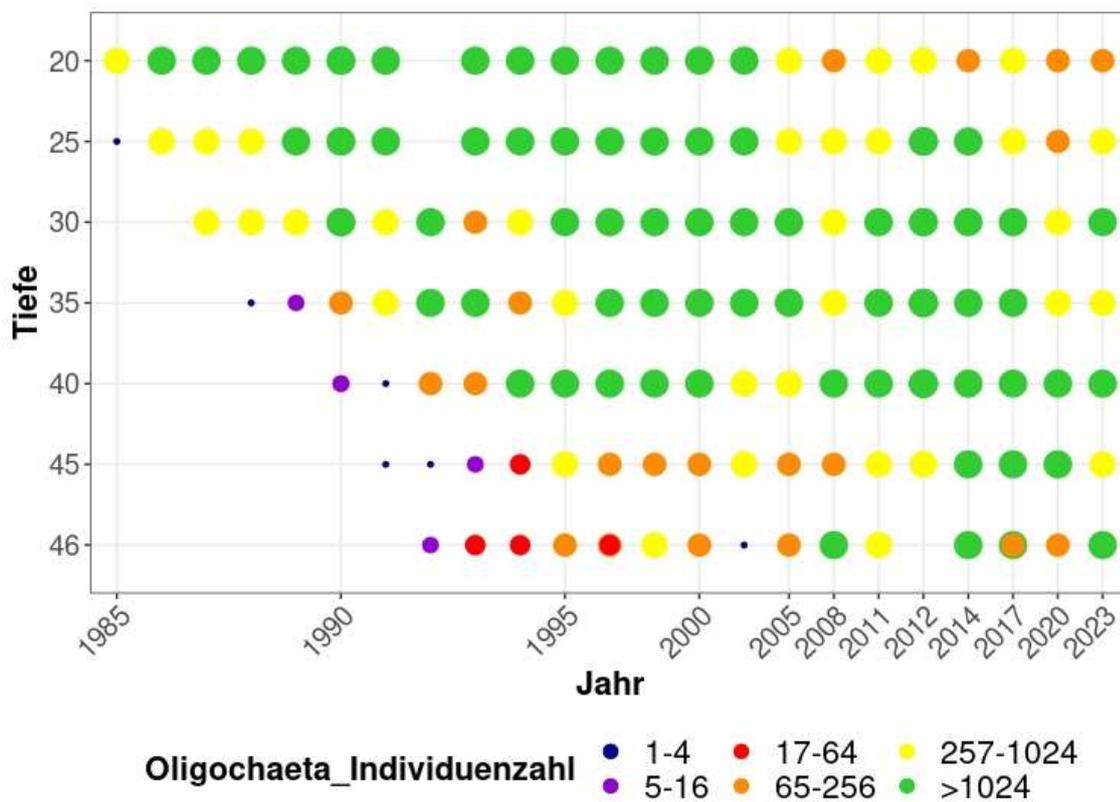


Abbildung 13 Entwicklung der Würmer in den Sedimenten des Hallwilersees in verschiedenen Tiefen von 1985 bis 2023 (Anzahl Würmer pro Dredgenzug)

4.8 Fische im Hallwilersee

Datengrundlage

Der Fang sowie die Aufwände der Netz- und Angelfischer werden in der Aargauer Fischereistatistik erfasst und jährlich in einem Bericht veröffentlicht. Daten, die nach der Veröffentlichung des Berichtes eingehen, werden jeweils im darauffolgenden Jahr nachträglich ergänzt. Auch werden Fehleinträge in der Datenbank laufend über das Jahr korrigiert. Die im vorliegenden Jahresbericht dargestellten Fangerträge der Netzfischer wurden mit einem definierten Faktor von Kilogramm in Anzahl Fische umgerechnet. Die Rohdaten sind beim Kanton Aargau, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei verfügbar. Der vorliegende Jahresbericht enthält die Daten, die am 9. Februar 2024 in der kantonalen Datenbank zur Verfügung standen.

Fischbestand und Bewirtschaftung

Am Hallwilersee wird geangelt und es gibt 3 Netzfischer, welche den See bewirtschaften (Fischbesatz und Netzfischerei). 2022 wurden nach 2012 zum zweiten Mal standardisierte Befischungen durchgeführt. Dabei waren die häufigsten Fischarten im Hallwilersee Felchen, Egli, Rotaugen, Welse und Kaulbarsche. Es wurden 3 standortfremde Fischarten nachgewiesen, der Kaulbarsch, Sonnenbarsch und neu der Wels (Publikation Bericht "Standardisierte Befischung Hallwilersee 2022" im Frühling 2024).

Die hohen Bestandszahlen der Felchen sind auf die Besatzmassnahmen zurückzuführen (rund 90% der Felchen stammen aus dem Besatz). Die natürliche Fortpflanzung wird regelmässig überprüft. Die Ergebnisse der Untersuchungen anhand von sogenannten Dredgenversuchen von 2023 und 2024 weisen darauf hin, dass die Naturverlaichung der Felchen immer noch stark eingeschränkt ist.

Die standardisierten Befischungen des Hallwilersees 2022 ([Projet Lac Hallwilersee 2022 - Schlussbericht](#)) zeigen, dass im Vergleich zur letzten solchen Befischung (Projet Lac 2012) der Felchenbestand stark zugenommen hat. Dies unterstützt die Theorie, dass das Wachstum der Felchen in den letzten Jahren aufgrund einer hohen Bestandsdichte eingeschränkt war. Durch die geringeren Besatzzahlen in den letzten Jahren wurde demnach erwartet, dass die Felchen wieder besser abwachsen sollten. Dies hatte sich bereits im Laichfischfang 2022/2023 gezeigt (fast die doppelte Menge an gefangenen Felchen im Vergleich zum Vorjahr) und dieser Trend setzte sich auch in der zweiten Jahreshälfte 2023 fort (Auskunft Hallwilerseefischer, Fischfangzahlen sind noch nicht komplett erhoben). Neben den besseren Fangzahlen zeigen auch die Schuppenanalysen, dass die Hallwilerseefelchen wieder schneller wachsen (noch nicht publizierte Daten). Bei der Bewirtschaftung sind deshalb keine Änderungen vorgesehen (Befischung weiterhin mit 32mm Netzen, seit 2022/2023 Besatzmengenlimit). Das Felchenmonitoring wird in reduzierter Form weitergeführt, um das Wachstum der Felchen zu dokumentieren und mögliche Veränderungen rasch zu erfassen.

Fischerei im Jahr 2022

Die Netzfischerei am Hallwilersee meldete für das Jahr 2022 einen Gesamtfang von 13'823 Fischen oder 3632 kg (Vorjahr: 16'863 Fische oder 4206 kg; Abbildung 14). Die Angelfischerinnen und Angelfischer meldeten für das Jahr 2022 am Hallwilersee 5369 gefangene Fische (Vorjahr: 5157 Fische; Abbildung 15).

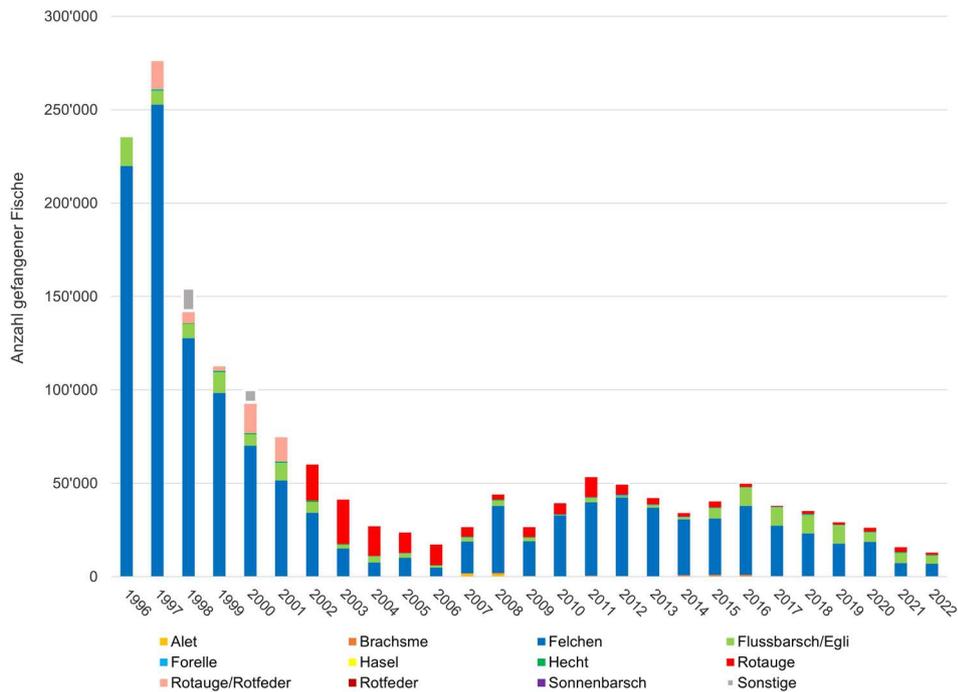


Abbildung 14 Fischfangerträge der Netzfischer am Hallwilersee seit 1996

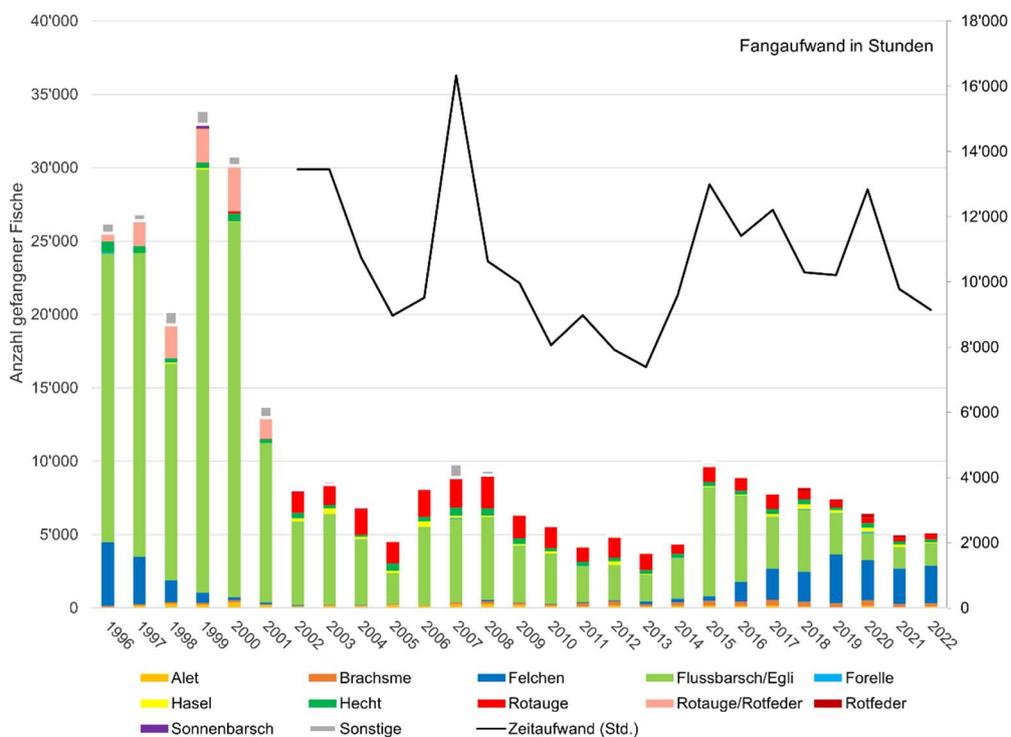


Abbildung 15 Fischfangerträge der Angelfischerei am Hallwilersee seit 1996

5 Zustand Sempachersee

5.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2022 resp. 2023 grösstenteils nicht erreicht (Tabelle 4). Aufgrund der tiefsten Zuflussmenge konnte der bisher niedrigste Phosphoreintrag seit Messbeginn 1986 festgestellt werden, der den auch Zielwert unterschritt. Erst wenn die Phosphoreinträge anhaltend, d.h. auch in niederschlagsreichen Jahren unter die tolerierbare Menge fallen, werden auch Phosphor- und Sauerstoffkonzentrationen langfristig ihre Zielwerte erreichen können. Der überwiegende Anteil der Phosphorfrachten in den Sempachersee stammt von den landwirtschaftlich genutzten Flächen – er muss weiter reduziert werden.

Infolge der zu hohen Phosphorkonzentrationen war auch die Algenproduktion 2023 zu hoch. Die künstliche Belüftung mit Sauerstoff über Druckluft konnte jedoch den Sauerstoffverbrauch beim Abbau der abgestorbenen Algen soweit kompensieren, dass die gesetzliche Minimalanforderung an die Sauerstoffkonzentration das ganze Jahr eingehalten werden konnte. Da ohne künstliche Druckluftzufuhr im Tiefenwasser jedoch der Sauerstoff fehlen würde, muss der See auch in Zukunft weiterhin belüftet werden.

Tabelle 4 Sempachersee: Stand Erreichung der Sanierungsziele

Zielebene	Sanierungsziel	Stand	Beurteilung	Zeitbezug
Phosphoreintrag ¹	< 4.0 t/Jahr	2.3 t	erreicht	2022
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	23 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2023
Algenproduktion ³	Höchstens mittel	Hoch	nicht erreicht	2023
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	4.3 mg/L (Minimalwert)	erreicht (dank künstlicher Belüftung)	Herbst 2023
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet	Nicht/kaum gewährleistet	nicht erreicht	2023

Wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen:

¹ Eawag-Studie: Müller et al. (2019): [Oxygen consumption in seasonally stratified lakes decreases only below a marginal phosphorus threshold](#)

² Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung der Mittellandseen durch die Landwirtschaft (SRL 703a): §1 Abs. 2

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201): Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 2

⁴ Anh. 2 Ziff. 13 Abs. 3 Bst. b GSchV

⁵ Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. c GSchV

5.2 Phosphoreinträge

Im Mittel der beiden Jahre 2021 und 2022 gelangten mit 4.3 Tonnen pro Jahr zu viel Phosphor in den Sempachersee. Dieser Wert ist etwas höher als der Phosphoreintrag der Periode 2016-2020 (Abbildung 16). Im Mittel der letzten fünf Jahre (2018 bis 2022) gelangten 3.7 Tonnen Phosphor pro Jahr in den Sempachersee.

Im Jahr 2022 betrug der Phosphoreintrag in den Sempachersee 2.3 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 4.0 Tonnen zwar deutlich unterschritten (Abbildung 17). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Niederschlagsmengen zurückzuführen: Nach dem regenreichen Jahr 2021 folgte das Jahr 2022 mit der tiefsten Niederschlags- und folglich Zuflussmenge seit Messbeginn 1986.

Der überwiegende Anteil des Phosphors wird seit den 1980er Jahren über die Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet in den Sempachersee eingetragen und stammt grösstenteils von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

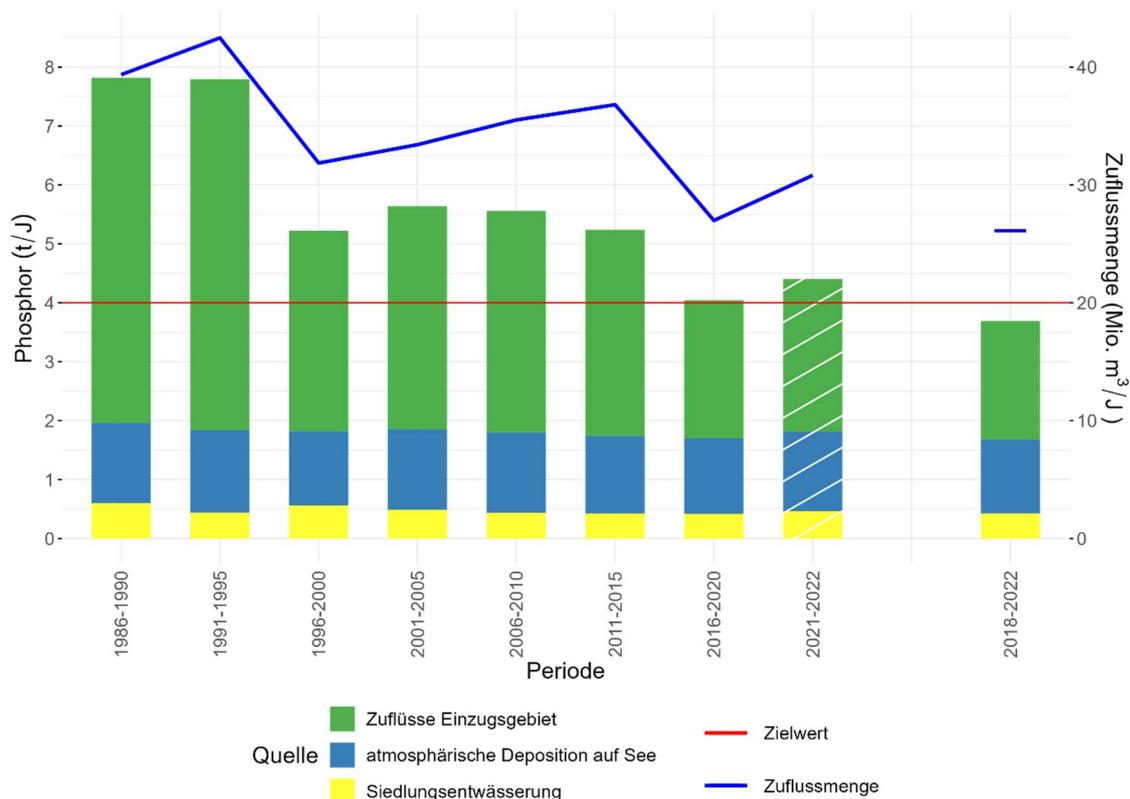


Abbildung 16 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden (aktuelle Periode umfasst nur die Jahre 2021 und 2022, deshalb schraffiert dargestellt) in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 4.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

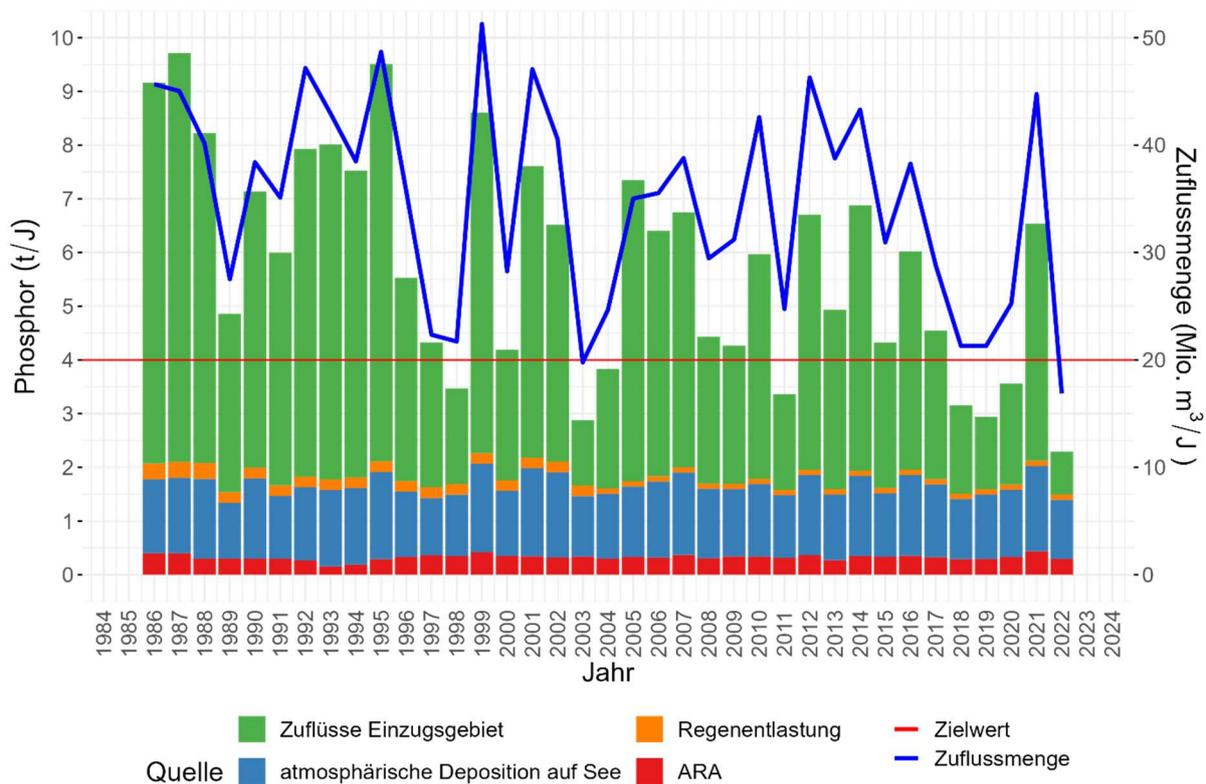


Abbildung 17 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

5.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2023 wurden 23 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg P / m^3) gemessen (im 2022: 26 mg / m^3 , Abbildung 18). Der Zielwert von 15 mg P / m^3 wird nicht eingehalten. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Anforderungen an den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und an die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

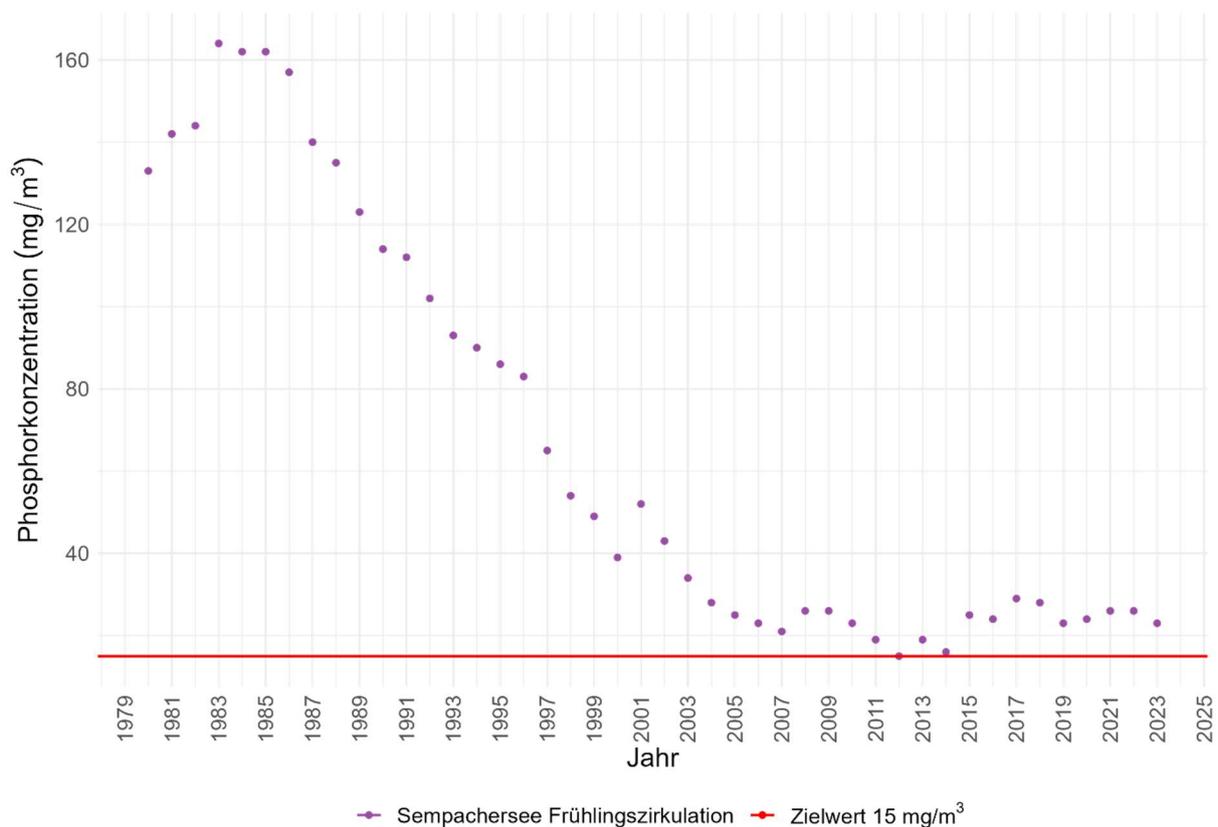


Abbildung 18 Phosphorkonzentration im Sempachersee für die Jahre 1980 bis 2023 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 85 m)

5.4 Algenwachstum

Von 2004 bis 2023 schwankte die Algenbiomasse in einem Bereich zwischen 10 und 20 g/m², mit Ausnahme von 4 Jahren, darunter das Jahr 2021 mit einer Biomasseproduktion von 50 g/m² (Abbildung 19). Seither nahm die Biomasse ab und betrug im 2023 wieder knapp 20 g/m². Dieser Wert entspricht aber immer noch einer hohen Biomasse. Die Blaualgen (z.B. Burgunderblualgen) machen im Sempachersee seit 1998 einen deutlich geringeren Anteil aus als die übrigen Algengruppen und als im Baldegger- oder Hallwilersee. Aufgrund neuester Forschungsergebnisse der Eawag und der Entwicklung im Hallwilersee ist zu erwarten, dass die Algenbiomasse sinken wird, sobald die Phosphorkonzentration weiter sinkt und den Zielwert von 15 mg/m³ unterschreitet.

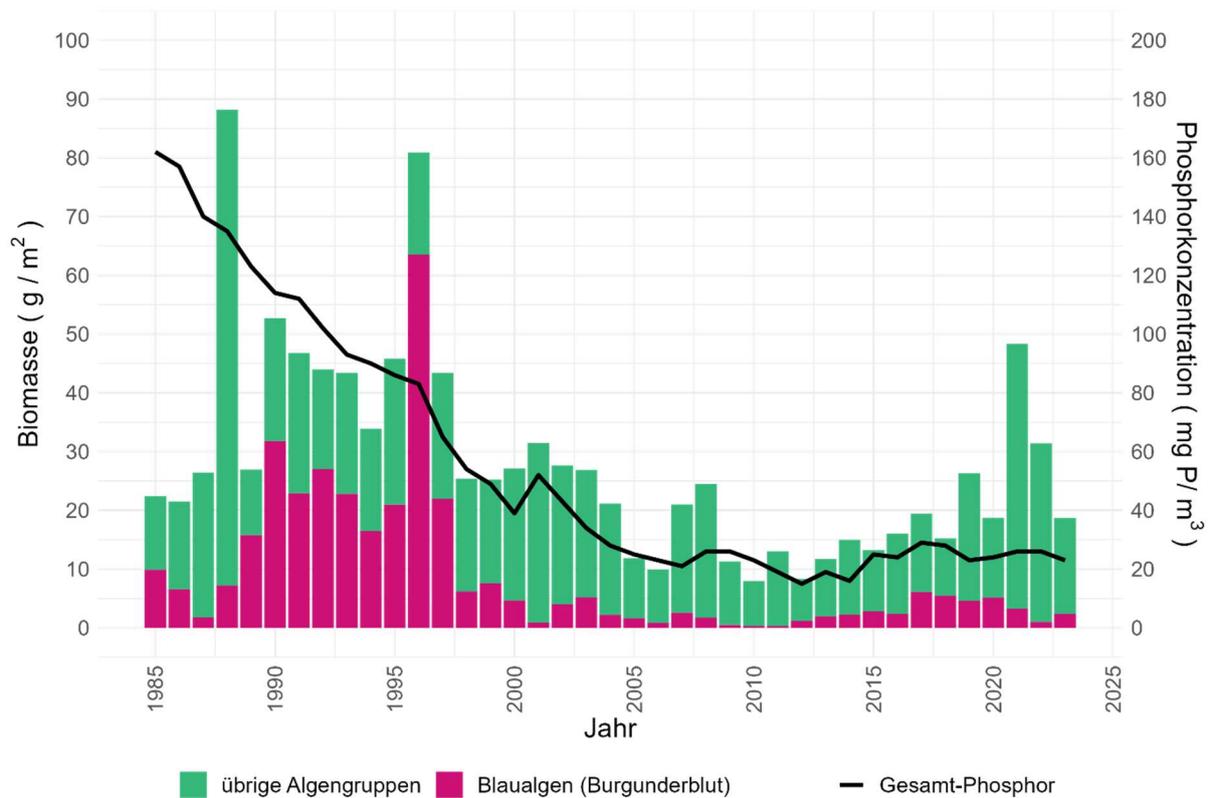


Abbildung 19 Algenbiomasse im Sempachersee (Blaualgen hervorgehoben) sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2022 (Wassertiefe 0 bis 15 m)

5.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration am Seegrund fiel im 2023 mit 4.3 Milligramm pro Liter nicht unter die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L (Abbildung 20). Sie konnte damit dank künstlicher Belüftung ganzjährig eingehalten werden. So gute Verhältnisse konnten letztmals von 2009 bis 2012 gemessen werden. Es ist zu beachten, dass die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L dauerhaft und langfristig eingehalten werden muss, damit der See gesunden kann. Erst wenn die Abbauprozesse im Sediment auf ein Minimum reduziert sind, wird die Voraussetzung für das Überleben der Felcheneier gegeben sein.

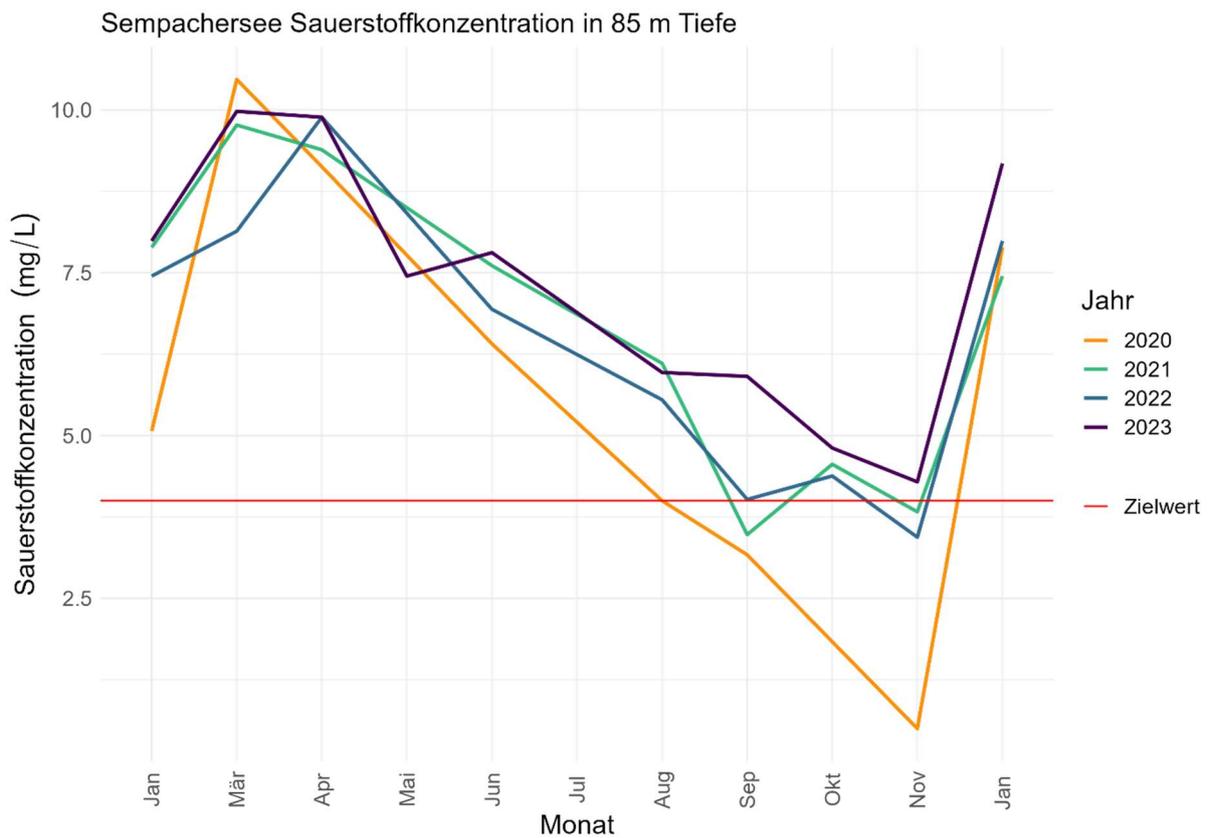


Abbildung 20 Sauerstoffkonzentrationen am Seegrund des Sempachersee im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

5.6 Sauerstoffeintrag

Die natürliche Seedurchmischung, die das Tiefenwasser des Sees mit sauerstoffreichem Oberflächenwasser versorgt, wird während des Winterhalbjahres durch die Zirkulationshilfe mit Druckluft unterstützt. Im Sommerhalbjahr, während dem der See geschichtet ist, wird dem Tiefenwasser Sauerstoff mittels feinblasiger Druckluft zugeführt.

Der feinblasige Eintrag dauerte 2023 vom 25. April bis zum 23. November durchgehend und störungsfrei im 24 h-Betrieb. So wurde der Sempachersee 2023 mit 191 Tonnen Sauerstoff mittels Druckluft belüftet (wie im Jahr 2022: 190 Tonnen). Das entspricht knapp der Menge, die für den Sempachersee mindestens erforderlich ist (200 Tonnen), um die gesetzliche geforderte Anforderung an die Sauerstoffkonzentration zu erreichen. Die 40 Jahre alten Belüftungsanlagen erreichen das Ende ihrer Lebensdauer. Um den Sempachersee auch in Zukunft ausreichend belüften zu können, müssen die seeinternen Anlagen erneuert werden (siehe Kapitel 7).

5.7 Fischerei im Sempachersee

Der Gesamtfangertrag 2023 im Sempachersee ist mit 48.62 Tonnen (Vorjahr 67.88 Tonnen) noch einmal deutlich gesunken (Abbildung 21). Im Mittel der letzten 20 Jahre lag der Fangertrag bei über 85 Tonnen/Jahr. Während der Fangertrag der Angelfischenden mit 9.60 Tonnen rund 22% unter dem langjährigen Durchschnitt von 12.27 Tonnen lag, ist der Fangertrag der drei Berufs-/Netzfischer von 38.81 Tonnen um über 45% unter dem langjährigen Mittel von 73.62 Tonnen.

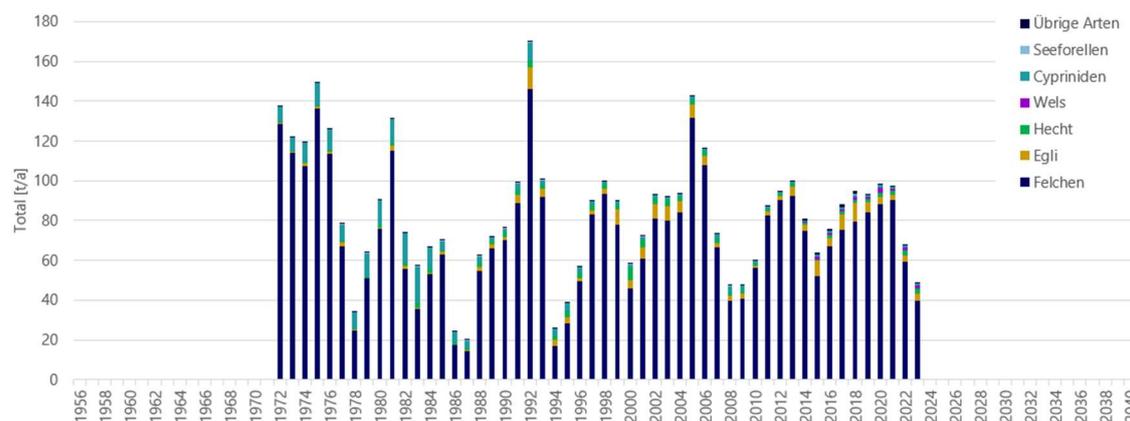


Abbildung 21 Fischfangerträge der Berufs- und Angelfischerei im Sempachersee [in Tonnen]

Mit grosser Sicherheit kann das Fischereijahr 2023 als eher schwach angenommen werden. Dies kann aufgrund der Angelfischereierträge abgeleitet werden. Der anhand der absoluten Zahlen vermutete Einbruch der Fänge ist aber anders zu erklären. Fakt ist, dass aufgrund der weiterhin sehr hohen Felchenfänge im Zugersee weniger im Sempachersee gefischt, sondern mehr im Handel unter Berufsfischern eingekauft wird. Es zeigt sich einmal mehr, dass die klassischen absoluten Fangzahlen der Fischfangstatistiken keine oder kaum Rückschlüsse auf die Fischbestände erlauben.

Neben 39.91 Tonnen der Hauptfischart Felchen (Vorjahr 59.46 Tonnen) wurden im Sempachersee im Fischereijahr 2023 durch Berufs- und Angelfischerei insbesondere auch 2.56 Tonnen Hecht (Vorjahr 2.28 Tonnen) und 3.37 Tonnen Egli (Vorjahr 3.05 Tonnen) gefangen. Bei der standortfremden, eingeschleppten Fischart Wels sind die Fänge von 1.95 Tonnen im Vorjahr auf 1.72 Tonnen zurückgegangen.

Am Sempachersee waren 2023 zwei Netzfischerbetriebe tätig. Von der kantonalen Fischereiverwaltung wurden 2023 1'621 Jahrespatente (Vorjahr 1'664), 14 Monatspatente (Vorjahr 7), 123 Wochenpatente (Vorjahr 45) und 133 Tagespatente (Vorjahr 41) ausgegeben.

6 Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge

Damit die Mittellandseen nachhaltig gesunden, müssen die Einträge von algenverfügbarem Phosphor unter die in Kapitel 1 erwähnten Zielwerte sinken. Dazu sind Massnahmen nötig, die sich auf die relevanten und beeinflussbaren Phosphorquellen auswirken, also in der Landwirtschaft und in der Siedlungsentwässerung.

6.1 Massnahmen Landwirtschaft

Durch die teilweise hohen Phosphorreserven in landwirtschaftlich genutzten Böden, die mehrheitlich aus Zeiten vor 2000 stammen, gelangt Phosphor vor allem durch Auswaschung in die Seen. Mit der Einführung des Ökologische Leistungsnachweis (ÖLN) Mitte der 1990er Jahre wurde eine ausgeglichene Nährstoffbilanz für landwirtschaftliche Betriebe mit Direktzahlungen Pflicht.

Um den Eintrag aus der Landwirtschaft weiter zu reduzieren, starteten die Kantone ab 1999 ein Phosphorprojekt mit dem Sempachersee als Pilotprojekt (im Rahmen von Art. 62a Gewässerschutzgesetz). In der Folge wurde dieses Projekt ab 2000 auf den Baldeggersee und ab 2001 auf den Hallwilersee ausgeweitet. Das gesamte Einzugsgebiet beinhaltet rund 11'656 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, welche von 639 Landwirtschaftsbetrieben bewirtschaftet wird. Die Teilnahme am Projekt ist für die Betriebe freiwillig.

6.2 Landwirtschaft Kanton Luzern: Phosphorprojekt

Der Kanton Luzern setzt Massnahmen gemäss der kantonalen Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung der Mittellandseen durch die Landwirtschaft (SRL Nr. 703a, kantonale Phosphorverordnung) sowie die Massnahmen vom Phosphorprojekt Phase III um. Das Phosphorprojekt Phase III dauert von 2021 - 2025. Der Geltungsbereich der Verordnung wie auch des Projektes umfassen die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) im ausgeschiedenen oberflächlichen Zuströmbereich (Z_o) des Sempachersees, des Baldeggersees sowie des luzernischen Teils des Hallwilersees. Landwirtschaftliche Betriebe sind vom Phosphorprojekt wie auch von der Phosphorverordnung betroffen, wenn sich das Betriebszentrum und mindestens ein Drittel der LN innerhalb des Z_o der Mittellandseen befinden, oder sich das Betriebszentrum zwar ausserhalb des Z_o , jedoch mindestens die Hälfte der LN innerhalb des Z_o der Mittellandseen befinden.

Rund 150 Landwirtinnen und Landwirte im Z_o der Mittellandseen haben beim Kantonsgericht ein Erlassprüfverfahren gegen die angepasste Phosphorverordnung eingereicht. Mit dem Urteil vom 20. August 2021 wurde die Erlassprüfung durch das Kantonsgericht abgewiesen. Am 27. September 2021 wurde durch die Landwirtinnen und Landwirte beim Bundesgericht eine entsprechende Beschwerde in öffentlich-rechtlichen Angelegenheiten eingereicht. Mit dem Entscheid vom 31. August 2023 hat das Bundesgericht die Beschwerde abgewiesen (Urteil: [BGer-Urteil 1C 583/2021](#)).

Massnahmen des Phosphorprojekts: Seevertrag

Im Z_o der drei Mittellandseen bewirtschaften 615 direktzahlungsberechtigte Betriebe total 11'442 ha Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN). Zusätzlich bewirtschaften 24 nicht direktzahlungsberechtigte Betriebe 214 ha LN (Tabelle).

Tabelle 5 Kennzahlen zum Seevertrag nach Zuströmbereichen. Die folgenden Aussagen beziehen sich ausschliesslich auf direktzahlungsberechtigte Betriebe. Die Zahlen in Klammer sind die Vorjahreswerte

	Z _o Baldeggersee	Z _o Hallwilersee	Z _o Sempachersee
Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	4'889 (4'910)	2'411 (2'424)	4'142 (4'169)
Landwirtschaftliche Betriebe (n)	262 (266)	129 (132)	224 (227)
Betriebe mit Seevertrag (n)	232 (234)	108 (106)	148 (149)
Betriebe mit Seevertrag (%)	89% (88%)	84% (80%)	66% (66%)
GVE / ha	2.49 (2.51)	1.88 (1.84)	2.37 (2.35)

In allen drei Z_o hat die Teilnahme am Seevertrag, im Vergleich zu 2022, leicht zugenommen oder ist stabil geblieben.

Die Tierbestände sind im Z_o der Mittellandseen immer noch hoch und haben sich im Vergleich zum Vorjahr (27'277 GVE) mit 27'188 GVE nur unwesentlich verändert. Somit liegt der Tierbesatz unverändert bei 2.33 GVE / ha LN.

Entschädigung

Mit dem Beitrag für den Seevertrag werden folgende Anforderungen entschädigt:

- Keine Winterbrache
- Bauliche Anforderungen Gewässerschutz

- Einschränkung der Phosphordüngung

Dieser flächenbezogene Beitrag wurde flexibel ausgestaltet, damit die Finanzierung der einzelnen Massnahmen auch bei jährlich unterschiedlichem Finanzbedarf sichergestellt werden kann.

Im Jahr 2023 wurden, für die Erfüllung der Seevertragsanforderungen, total CHF 791'712.- resp. CHF 84.- / ha LN an die Betriebe ausbezahlt. Dieser Betrag fällt im Vergleich zum Vorjahr mit CHF 797'927.- leicht tiefer aus.

Maximaler Phosphoreigenversorgungsgrad von 80% resp. 90%

Die Phosphor-Düngung der Kulturen unter dem Bedarf wird differenziert nach Zuströmbereich und Bedarfsdeckung entschädigt. Die wesentliche Unterdeckung des Bedarfs sowie Betriebe im Zo Baldeggersee werden mit einem höheren Beitrag entschädigt (Tabelle).

Tabelle 6 Beiträge in Abhängigkeit der Phosphor-Bedarfsdeckung nach Zuströmbereichen

Bedarfsdeckung	Zo Baldeggersee	Zo Hallwilersee	Zo Sempachersee
80 – 90%	CHF 16.-	CHF 16.-	CHF 16.-
70 – 80%	CHF 20.-	CHF 16.-	CHF 16.-
60 – 70%	CHF 25.-	CHF 20.-	CHF 20.-

Im Jahr 2023 wurden total CHF 1'653'210.- für die reduzierte Phosphordüngung an die Betriebe ausbezahlt. Dieser Betrag fällt im Vergleich zum Vorjahr mit CHF 1'659'178.- leicht tiefer aus. Im Durchschnitt wurden für die Betriebe im Zo Baldeggersee CHF 4'309.-, für die Betriebe im Zo Hallwilersee CHF 2'472.- und für Betriebe im Zo Sempachersee CHF 2'594.- ausbezahlt. Dabei betrug die durchschnittliche Phosphorbedarfsdeckung aller Betriebe mit Seevertrag im Zo Baldeggersee 74%, im Zo Hallwilersee 79% und im Zo Sempachersee 79%.

Weitere einzelbetriebliche Massnahmen

Die zwei folgenden Massnahmen sind einzelbetriebliche Massnahmen, welche nicht Bestandteil des Seevertrages sind und auf Gesuch hin umgesetzt werden können.

Wasserrückhalt mit Retentionsweihern: Im Jahr 2022 wurden nur beim Retentionsweiher Lohn Unterhaltsarbeiten durchgeführt. Dabei belaufen sich die totalen Kosten auf CHF 5'529.-.

Impulsbeitrag für Einkommensalternativen: Im Jahr 2023 wurde kein Gesuch für Einkommensalternativen gestellt.

Weitergehende Massnahmen: Seevertrag plus

Beteiligung

Von den 11 teilnehmenden Betrieben (Stand 2022) haben sich zwei weitere Betrieb vom Seevertrag plus abgemeldet, da für diese der Aufwand für die Erfassung der Daten mit Barto (Digitaler Hofmanager) zu gross ist. Somit nahmen über das gesamte 2023 noch 9 Betriebe am Seevertrag plus teil.

Parzellenscharfe Phosphorbilanzierung

Im laufenden Jahr haben die Betriebsleiter die erforderlichen Daten in Barto (digitalen Hofmanager) erfasst, dabei war der Aufwand für die Landwirte resp. den Umfang an Unterstützung, welche sie beanspruchten, sehr unterschiedlich.

Bei der parzellenscharfen Düngungsplanung ist es wesentlich, den effektiven Nährstoffgehalt der Hofdünger zu kennen. Aus diesem Grund wurden die Hofdünger im Sommer 2023 analysiert. Die mit dem NIRS (Nahinfrarotspektroskopie) gemessenen wie auch im Labor chemisch analysierten Werte zeigen eine grosse Streuung. In der Tendenz sind die Gehalte im Winter (Februar 2022) höher als während der Vegetationszeit. Dies ist auf die reduzierte Zufuhr von Wasser zurückzuführen. Die NIRS-Werte zeigen eine sehr grosse Abweichung zu den analytisch (Prüflabor Ibu) gemessenen Werten.

Parzelle mit Null-Phosphordüngung

Die kantonale Beratung (BBZN Hohenrain) erstellt für jeden Betrieb eine kulturspezifische Düngungsplanung für jede Parzelle. Dabei erfolgt bei der Null-Phosphor-Parzelle eine Düngung ohne Phosphor.

Ende Saison wurden 8 der 9 Betriebe zu den Ertragsunterschieden zwischen der Null-Phosphor-Parzellen und den Kontroll-Parzellen befragt. Mindestens 2 Betriebe stellten einen Unterschied zwischen den Erträgen der beiden Parzellen fest und beurteilten die Bestände der Null-Phosphor-Parzelle als schlechter gegenüber denjenigen der Kontroll-Parzelle. Grundsätzlich wurden die diesjährigen Bestände auf den meisten Betrieben tendenziell als unterdurchschnittlich im Vergleich zu den Vorjahren beurteilt.

Entschädigung

Im Rahmen des Seevertrags plus wurden 2023 total CHF 7'606.40 entschädigt. Dabei bekamen die 9 Betriebe den zusätzlichen Arbeitsaufwand, die zusätzlichen Düngerkosten wie auch die Lizenz von Barto entschädigt.

Die Kosten für die Beratung durch BBZN Hohenrain betragen CHF 6'226.-.

Fazit

Die Umsetzung des Phosphorprojektes Phase III ist auf Kurs.

Die Beteiligung am Projekt, wie auch die Mengen von nicht ausgebrachtem Phosphordünger sind hoch. Die Frage, ob das Ziel der 20% Reduktion erreicht wird, kann (noch) nicht beantwortet werden.

Mit dem Entscheid des Bundesgerichtes vom 31. August 2023 wurde Klarheit geschaffen, dass der eingeschlagene Weg weiterverfolgt werden kann. Somit haben die betroffenen Landwirte nun Planungssicherheit und die Dienststelle Landwirtschaft und Wald kann die Planung des Anschlussprojektes in Angriff nehmen.

6.3 Gewässerraum Kanton Luzern

Die Kantone müssen basierend auf dem Gewässerschutzgesetz (GSchG) der Gewässerschutzverordnung (GSchV) den Raumbedarf der oberirdischen Gewässer festlegen und dafür sorgen, dass der Gewässerraum extensiv gestaltet und bewirtschaftet wird (Art. 36a GSchG). Dadurch trägt der Gewässerraum dazu bei, dass die Oberflächengewässer weniger mit Düngemitteln belastet werden und so auch die Phosphoreinträge sinken.

Im Kanton Luzern wird der Gewässerraum im Rahmen der Nutzungs- und Zonenplanung durch die Gemeinden festgelegt. Gemäss der Arbeitshilfe Gewässerraumfestlegung in der Nutzungsplanung wird im Zuströmbereich der Mittellandseen auch bei sehr kleinen Fliessgewässern (Rinnsale) ein minimaler Gewässerraum mit Bewirtschaftungseinschränkung von 11 m ausgeschieden. Bei rechtskräftig ausgeschiedenen Gewässerräumen mit Bewirtschaftungseinschränkung erfolgt die Deklaration wie auch die Nutzung gemäss der Gewässerschutzverordnung. Per Februar 2024 ist im Zuströmbereich der Mittellandseen bei 80% der Gemeinden der Gewässerraum rechtskräftig ausgeschieden: Ballwil, Beromünster, Eich, Ermensee (ohne Aabach und Gärbibach), Hildisrieden, Hochdorf, Neuenkirch, Hitzkirch nur Ortsteil Altwis (ohne Bosbach), Hohenrain (Genehmigung Aug. 2023), Neuenkirch, Nottwil, Römerswil (Ron zu korrigieren), Ruswil (ist aufgelegt), Rothenburg, Schenkon, Schongau, Sempach, Sursee (nicht festgelegt in Aesch, Eschenbach, Hitzkirch (ohne Altwis), Oberkirch, Rain).

6.4 Landwirtschaft Kanton Aargau

Im Kanton Aargau müssen Landwirte im Spezialgebiet Hallwilersee-Sanierung seit 2014 besondere Vorschriften bezüglich der Phosphor-Düngung einhalten, basierend auf der kantonalen Verordnung zum Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von

Umwelt und Gewässern (V EG UWR). Analog zum Phosphorprojekt des Kantons Luzern gewährte der Kanton Aargau von 2001 bis 2010 im Rahmen eines Phosphorprojektes im Einzugsgebiet des Hallwilersees Beiträge an die Landwirte für Massnahmen zur Verminderung der Auswaschung und Abschwemmung von Phosphor aus den landwirtschaftlich genutzten Böden. Das Projekt wurde 2010 abgeschlossen.

Von den damaligen im Projekt geförderten Massnahmen werden aktuell noch die Einzelmassnahmen Direktsaaten von Wintergetreide und Begrünungen sowie Streifen(fräs)saaten bei Mais mit kantonalen Beiträgen unterstützt (Tabelle). Dies in Ergänzung zum Produktionssystembeitrag (PSB) *schonende Bodenbearbeitung* der Direktzahlungsverordnung. Die Förderung dieser Anbauverfahren reduziert die Bodenerosion und möglichen Phosphorabtrag.

Tabelle 7 Fläche der Aargauer Direkt- und Streifenfrässaat 2017–2023

Massnahme	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	ha						
Direktsaat von Begrünungen	7.43	3.20	6.90	4.96	8.07	3.18	6.28
Direktsaat von Wintergetreide	18.86	19.30	15.33	20.60	12.94	8.79	13.75
Direktsaat von Mais und Mais-Streifenfrässaat	1.00	8.08	1.30	1.39	1.99	1.12	2.30
Total	27.29	30.58	23.53	26.95	23.00	13.09	22.33

Die Saaten der Kulturen 2023 wurden mit Beiträgen von insgesamt 4'886 Franken zusätzlich und nach Berücksichtigung der durch den Bund bereits geleisteten PSB zulasten des Seesanierungskredits abgegolten. Vergleichsweise gute Saatbedingungen führten dazu, dass im Herbst 2022 wieder vermehrt Direktsaaten von Zwischenkulturen und Hauptkulturen des Folgejahres gemacht wurden.

6.5 Gewässerraum Kanton Aargau

Seit 2017 schützt ein gesetzlich festgelegter Gewässerraum von 15 Metern Breite, gemessen ab Uferlinie, den Hallwilersee. Bei Bächen von weniger als 2 Metern Breite wird der Schutz vor Nährstoff- und Schadstoffeinträgen durch einen Gewässerraum von 11 Metern Breite (inklusive mittig liegender Bach) garantiert. Bei grösseren Bächen von mehr als 2 Metern Breite wird der Gewässerraum erst mit der Überarbeitung der jeweiligen kommunalen Nutzungsplanung festgelegt. Die einschränkenden Regelungen bei Bächen werden dann grundeigentümerverschreibend, wenn die kommunalen Nutzungsplanungen Rechtskraft erlangen. Im Gewässerraum ist der Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln verboten. Zudem darf keine Bodenbearbeitung erfolgen. Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in Gewässerräumen ist grundsätzlich nur noch als Biodiversitätsförderfläche möglich. Zugelassen ist die Nutzung als

Uferwiese, extensiv genutzte Wiese, Streufläche, Hecke, Ufergehölz oder extensiv genutzte Weide.

Seit 2022 werden die entsprechenden Bewirtschaftungseinschränkungen in Fahrwangen und Leutwil umgesetzt sowie ab 2023 zusätzlich in Beinwil am See und Meisterschwanden.

6.6 Massnahmen Siedlungsentwässerung

Neben dem flächendeckenden Ausbau der Abwasserreinigung seit den 1980er Jahren hat auch das 1985 national eingeführte Phosphatverbot für Textilwaschmittel zur Reduktion der Phosphorbelastung massgeblich beigetragen.

Stand neue ARA Seetal

Mit dem Gemeinschaftsprojekt ARA Seetal sollen per 2030 die ARAs Moosmatten (Hitzkirchertal, LU), Hochdorf (LU, Anschluss per 2035), Hallwilersee (Seengen, AG) und Falkenmatt (Hendschiken, AG) mit der ARA Langmatt (Region Lenzburg) zusammengelegt werden. Dazu muss die ARA Langmatt in Möriken-Wildegg erweitert und ausgebaut werden. Diese wird künftig das Abwasser aus 38 Gemeinden (davon sieben im Kanton Luzern) mit rund 180'000 Einwohnern reinigen. Die künftige ARA Seetal soll das Abwasser gründlicher reinigen und dabei Kosten sparen. Es ist sinnvoll, die Investitionen von 180 Mio. Franken an einem Standort zu bündeln, damit Mensch und Umwelt davon über Generationen profitieren. Die ARA Seetal nimmt in Bezug auf die interkantonale Zusammenarbeit eine Vorbildfunktion wahr.

Die Realisierung der neuen ARA ermöglicht eine 30 Kilometer lange Gewässerstrecke ohne Einleitung von gereinigtem Abwasser. Der gesamte Phosphoreintrag aus den ARA in den empfindlichen Baldegger- und Hallwilersee wird dann wegfallen. Zudem werden in der neuen ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernt.

Für das Bauvorhaben müssen rund 1.6 ha Land in die Zone für öffentliche Bauten und Anlagen eingezont werden. Dies erfordert eine Teilrevision der Bau- und Nutzungsordnung. Nach einem Mitwirkungsverfahren im Januar/Februar 2023 lief die öffentliche Auflage der Bau- und Zonenordnung mit der Vorprüfung UVP bis zum 27.12.2023. Am 19.3.2024 wurde die für die ARA nötige Teiländerung der Nutzungsplanung von der Gemeindeversammlung Möriken-Wildegg einstimmig gutgeheissen.

Die Vorbereitungs- und Planungsarbeiten sind auf Kurs. Eine Herausforderung für das Seetal wird der Bau und die Führung der neuen Verbindungsleitung mit den notwendigen Pumpwerken sein.

6.7 Siedlungsentwässerung Kanton Luzern

Abwasserfrachten

Durch den Ausbau der ARA Hochdorf gelangt seit 2020 weniger Phosphor aus der Kläranlage in den See. Der Phosphoreintrag aus der ARA Hochdorf nahm im Jahr 2022 witterungsbedingt ab. Das neue Bewirtschaftungskonzept für die Aussenbauwerke seit dem Ausbau der ARA Hochdorf führt zu einer Optimierung des Betriebs der Entlastungsbecken, was zu einer Reduktion der Regenentlastungen führte.

Parallel zur Planung der ARA Seetal läuft in den Gemeinden des Luzerner Seetals gegenwärtig die Überarbeitung der Generellen Entwässerungspläne (GEP). Ein Ziel dieser GEP-Überarbeitungen ist, Meteor- und Schmutzwasser getrennt zu führen und so einerseits bei Starkregen die Entlastungen in die Fliessgewässer und Seen zu minimieren und in Zukunft zu vermeiden, dass Sauberwasser von Hochdorf und Mosen nach Möriken-Wildegg gepumpt werden muss.

Der Anteil an der Phosphorfracht aus der Siedlungsentwässerung (ARA und Regenentlastungen) in den Sempachersee konnte seit 2004 auf einem tiefen Niveau gehalten werden.

Belastete Einleitungen

In 7 Gemeinden im Einzugsgebiet des Baldeggersees wurden von 2012/2013 belastete Einleitungen festgestellt. Die Massnahmen zur Sanierung der belasteten Einleitungen sind erst zu einem Teil umgesetzt und in den Gemeinden weiter voranzutreiben.

6.8 Siedlungsentwässerung Kanton Aargau

Die Siedlungsentwässerung der Aargauer Gemeinden wird im Rahmen der GEP-Bearbeitung laufend optimiert. Damit wird auch der Nährstoffeintrag aus der Siedlungsentwässerung in den Hallwilersee weiter reduziert. Aktuell laufen GEP-Massnahmen im Einzugsgebiet Hallwilersee in den Gemeinden Meisterschwanden, Fahrwangen und Boniswil.

Erste Abschätzungen haben ergeben, dass ca. 0.2 Tonnen Phosphor pro Jahr aus Regenbecken in den See gelangen. Für die Phosphorkonzentrationen im Entlastungswasser aus Regenbecken und Regenüberläufen liegen jedoch nur grobe Schätzungen vor. Das Reduktionspotential aus Regenüberläufen und Regenbecken ist unklar und liegt geschätzt bei 10 bis 30%, also etwa rund 20–60 kg pro Jahr (Schätzung Eawag). Weitere Abklärungen zu Phosphorfrachten aus Regenbecken und Regenüberläufen und entsprechenden Optimierungsmöglichkeiten sind vorgesehen.

7 Zusätzliche Untersuchungen und Massnahmen

7.1 Seeinterne Massnahmen: Erneuerung der Seebelüftungen

Die fast 40 Jahre alten Belüftungsanlagen sind am Ende ihrer Lebensdauer und zu ersetzen. Die Vorabklärungen hierzu laufen. Die Arbeitsgruppe Erneuerung Belüftungsanlagen hat ein Ingenieurbüro beauftragt, die Arbeiten zu koordinieren.

Im Jahr 2023 wurden Vorarbeiten für die Erneuerung der Anlagen durchgeführt. Dabei ging es um Abklärungen, bei welcher Produktionsfirma die Fritten, aus denen die feinen Sauerstoff- resp. Luftblasen ins Tiefenwasser eingetragen werden, hergestellt werden können. Des Weiteren wurden die Kosten abgeschätzt und erste Tests mit neuen sowie regenerierten Fritten im Sempachersee durchgeführt. Die neuen Fritten müssen noch verbessert werden, konnten aber überzeugen.

Ende 2023 haben die zuständigen Gemeindeverbände den Beschaffungsprozess gestartet. Finanziert wird die Erneuerung zu einem grossen Teil von den Kantonen. Die Erneuerung wird von der Arbeitsgruppe Erneuerung koordiniert.

7.2 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die 3 Seen

Die atmosphärische Deposition von Phosphor auf die 3 Seeflächen wurde von August 2019 bis Juli 2020 von der Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG (FUB), Rapperswil, untersucht. Bei Regenmessstationen an je 2 Standorten an den grösseren Seen Sempacher- und Hallwilersee und an einem Standort am Baldeggersee wurden monatlich die Trocken- und Nassdepositionen bestimmt.

Die Messperiode gehört zu den trockensten Jahren seit 1986. Weil es daher sehr fraglich ist, ob die Messperiode repräsentativ war, wurden die Phosphorfrachten durch den Niederschlag auf die Seeoberfläche für diesen Bericht noch mit der bisherigen Abschätzung berechnet (Kapitel 2.2, 3.2 und 4.2). Um eine breiter abgestützte Abschätzung der atmosphärischen Phosphordeposition auf die 3 Seen zu erhalten, welche auch für regenreichere Jahre umfasst, wird die Untersuchung in den Jahren 2023 und 2024 wiederholt.

7.3 Organische Mikroverunreinigungen in den drei Seen

Seit 2020 werden organische Mikroverunreinigungen in Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee nach einem gemeinsamen Konzept untersucht. Zu den untersuchten Stoffen gehören

eine Vielzahl an Pflanzenschutzmitteln, Arzneimitteln, Industriechemikalien usw. sowie Abbauprodukte.

Tabelle 8 Organische Mikroverunreinigungen in den Mittellandseen

		Anzahl unter- suchter Stoffe	Anzahl Nachweise	Anzahl >0.1 µg/L
Baldegger- see	2020: März	94	15	1
	2021: März	140	51	5
	2022: März / Oktober	90 / 95	20 / 20	1 / 1
	2023: März / Oktober	82 / 82	20 / 19	4 / 3
Hallwilersee	2020: März / Mai / Dezember	3 / 63 / 3	1 / 1 / 1	1 / 1 / 1
	2021: März	140	43	7
	2022: März / Oktober	146 / 401	38 / 49	6 / 6
	2023: März / Oktober	371 / 369	66 / 56	7 / 7
Sempacher- see	2020: März	94	7	1
	2021: März	140	43	4
	2022: März / Oktober	93 / 95	21 / 19	2 / 1
	2023: März / Oktober	89 / 86	17 / 16	3 / 2

Im Jahr 2023 wurden die Untersuchung der organischen Mikroverunreinigungen in den drei Mittellandseen im März und Oktober durchgeführt. Proben aus drei unterschiedlichen Tiefen von der Wasseroberfläche bis zum Seegrund wurden entnommen und auf rund 80 respektive 370 Stoffe analysiert.

Durch die analytischen Fortschritte in den letzten Jahren können immer mehr Stoffe in noch geringeren Konzentrationen nachgewiesen werden. Nur wenige Stoffe erreichen eine Konzentration in den untersuchten Seen von grösser als 0.1 Mikrogramm pro Liter (Tabelle). Aktuell überschreiten keine Substanzen ihre Grenzwerte und ökotoxikologischen Kriterien.

Zu den Substanzen mit Konzentrationen grösser als 0.1 Mikrogramm pro Liter gehört das Abbauprodukt R471811 des Fungizids Chlorothalonil. Dieser Metabolit wird seit 2020 in zahlreichen Grundwasserträgern des Mittellandes in erhöhten Konzentrationen gefunden. Ab 1. Januar 2020 wurde die Anwendung dieses Fungizids verboten. Die Überwachung zeigt das Verhalten dieses Abbauprodukts R471811 nach dem Quellenstopp in den drei Seen. Eine leicht rückläufige Tendenz der Konzentrationen ist erkennbar.

Im März 2023 lag der Chlorothalonil-Metabolit R471811 bei 0.37 µg/L im Baldeggersee, 0.22 µg/L im Hallwilersee und 0.15 µg/L Sempachersee (Abbildung 22). Die Konzentrationen liegen im gleichen Rahmen wie in den Vorjahren. Die konstanten Konzentrationen sind vermutlich auf die lange Aufenthaltszeit im See und den langsamen Abbau zurückzuführen. Zudem ist möglich, dass trotz Anwendungsverbot dieser Metabolit weiterhin in den See gelangt. Ein weiterer im Grundwasser verbreitet nachgewiesener Metabolit des Chlorothalonils (R17888) konnte im Baldegger- und Sempachersee in geringeren Konzentrationen nachgewiesen werden.

Die vorliegenden Konzentrationen des Metabolits R471811 liegen im Bereich gemessener Konzentrationen anderer Seen im Mittelland ([2021-chlorothalonil-metaboliten-in-berner-oberflaechengewassern-gbl-de \(2\).pdf](#)).

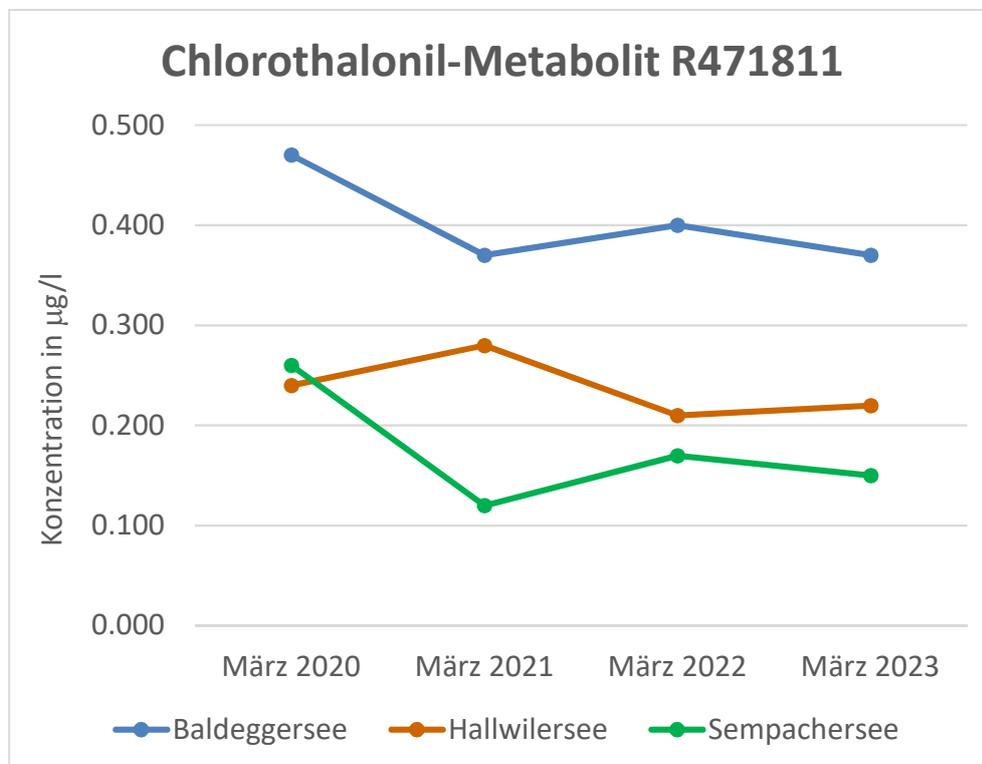


Abbildung 22 Konzentrationen des Chlorothalonil Metaboliten R471811 (µg/L) bei vollständiger Mischung im März in jedem der drei Mittellandseen in den Jahren 2020, 2021 und 2022

Die nachgewiesenen organischen Spurenstoffe in den vorliegenden Konzentrationen dürften keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserlebewesen haben.

7.4 Neobiota im Hallwilersee und Baldeggersee

Ausgangslage

Die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) ist eine aus dem Schwarzmeerraum stammende Süsswassermuschel. Sie besiedelt Seen und Fließgewässer und ist in einigen Schweizer Seen nachgewiesen. Die Mittellandseen sind nicht von der Quaggamuschel befallen. Wenn die Quaggamuschel einmal ein Gewässer erreicht hat, ist sie nicht mehr einzudämmen, und es entstehen bedeutende ökologische und ökonomische Schäden. Es gibt zudem weitere invasive gebietsfremde Arten, deren Einschleppung in die beiden Mittellandseen in naher Zukunft droht (z.B. die Schwarzmeergrundeln, der Stachelflohkrebs u.a.).

Der Transport von invasiven Arten an Rumpf und Aussenhülle von Freizeitbooten wird als wichtigster Verschleppungsmechanismus betrachtet. Auch Wassersportgeräte wie Paddel- oder Schlauchboote, Tauch- sowie Fischereiausrüstung stellen für die Mittellandseen eine Verschleppungsmöglichkeit dar. Zudem besteht das Potenzial von verbotenen Freisetzen von Aquarien- oder Gartenteichtieren und Köderfischen.

Neobiota-Schutzmassnahmen

Um die Einschleppung der Quaggamuschel und weiterer Neobiota in den Hallwilersee zu verhindern, wird im Kanton Aargau seit 2021 ein langfristiges Neobiota Schutzkonzept für den Hallwilersee umgesetzt. Dabei ist eine Zusammenarbeit der Kantone Aargau und Luzern für die Umsetzung der Schutzmassnahmen essentiell.

Als eine wichtige Massnahme wurde für den Hallwilersee und den Zentralschweizer Kantone ausser Luzern im 2023 eine Bootsreinigungspflicht eingeführt. Im Kanton Luzern wird die Bootsreinigungspflicht am 1. Mai 2024 in Kraft treten (SRL 787, Verordnung über die Schifffahrt). Die Umsetzung einer Melde- und Kontrollpflicht von kennzeichnungspflichtigen Schiffen beim Gewässerwechsel erfolgt voraussichtlich ab 1. August 2024 mit einem einheitlichen Konzept aller Zentralschweizer Kantone.

Für die getroffenen Massnahmen ab Mai 2021 verweisen wir auf den Jahresbericht 2022 der ASSAN.

Im 2023 wurden die Massnahmen um eine Informationskampagne zum Thema «Kein Freisetzen von Neobiota aus Gartenteichen und Aquarien» erweitert. Dazu wurde in Zusammenarbeit mit dem Kanton Zürich Informationen auf den Kantonalen Webseiten zusammengestellt und die Informationen mittels Medienmitteilung und Flyern (via Fachhandel und Gemeinden) verbreitet. An der Infokampagne beteiligten sich 19 Kantone. Die Kampagne wird im Sommer 2024 nochmals lanciert.