

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

Zustandsbericht Mittellandseen

Zustand der Mittellandseen aufgrund aktuellster Gewässerdaten

Ausgabe 2025 zuhanden der Arbeitsgruppe Seesanieung Mittellandseen (ASSAN)
und des Geschäftsberichts der Gemeindeverbände

Bearbeitung:

Kanton Aargau

Abteilung für Umwelt (AfU),

Abteilung Wald (Sektion Jagd- und Fischerei)

Abteilung Landwirtschaft Aargau (LWAG)

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 26.03.2025,
bereinigt AfU AG, uwe LU 15.04.2025.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Ziele der Seesanie rung	6
2 Datengrundlage	6
3 Zustand Baldeggersee	7
3.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	7
3.2 Phosphoreinträge	8
3.3 Phosphorkonzentration im See	9
3.4 Algenwachstum	10
3.5 Sauerstoffverhältnisse mittels künstlicher Belüftung	11
3.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	12
3.7 Naturverlaichung der Felchen und Fischbestand	13
4 Zustand Hallwilersee	14
4.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	14
4.2 Phosphoreinträge	15
4.3 Phosphorkonzentration im See	17
4.4 Algenwachstum	17
4.5 Sauerstoffverhältnisse im See	18
4.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	20
4.7 Besiedlung der Sedimente im Hallwilersee	20
4.8 Naturverlaichung der Felchen	21
4.9 Fischbestand	21
5 Zustand Sempachersee	24
5.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	24
5.2 Phosphoreinträge	24
5.3 Phosphorkonzentration im See	26
5.4 Algenwachstum	27
5.5 Sauerstoffverhältnisse im See	28
5.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	29
5.7 Naturverlaichung der Felchen und Fischbestand	30
6 Klimateffekte auf die Mittellandseen	31
7 Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge	33
7.1 Massnahmen Landwirtschaft	33
7.2 Landwirtschaft Kanton Luzern: Phosphorprojekt	33
7.3 Gewässerraum Kanton Luzern	36
7.4 Landwirtschaft Kanton Aargau	36
7.5 Gewässerraum Kanton Aargau	36
7.6 Massnahmen Siedlungsentwässerung	37
7.7 Siedlungsentwässerung Kanton Luzern	38
7.8 Siedlungsentwässerung Kanton Aargau	38
8 Seeinterne Massnahmen: Erneuerung der Seebelüftungen	40
9 Zusätzliche Untersuchungen	41
9.1 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die Mittellandseen	41
9.2 Organische Mikroverunreinigungen in den drei Seen	41
9.3 Neobiota	43

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 2023 verfügbar. Die Einträge waren im langjährigen Vergleich im 2023 wieder etwas höher, sodass die tolerierbare Menge für den Baldeggersee und Hallwilersee nicht eingehalten und für den Sempachersee knapp eingehalten wurden. Ursache für die gestiegenen Phosphoreinträge waren die höheren Niederschlagsmengen, die zu höheren Abflüssen und somit höheren Phosphormengen in den Zuflüssen führten. Mit den höheren Phosphoreinträgen konnten die angestrebten Phosphorkonzentrationen 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 2024 auch die Algenbiomasse 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 unterschreiten.

Dank der künstlichen Belüftung in den drei Seen konnte das Sauerstoffdefizit im Spätsommer und Herbst im Tiefenwasser verringert werden. Nichtsdestotrotz sank im Sempachersee die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle mit 3.6 mg/L knapp unter die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L. Im Baldegger- und Hallwilersee sank die Sauerstoffkonzentration 2024 deutlich 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 des Sauerstoffmangels im Seesediment nicht stattfindet. 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 die Seen 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 % 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 in die Jahre gekommenen Anlagen müssen erneuert werden. Der Bedarf, mittels Belüftung den Lebensraum im Tiefenwasser der Seen zu verbessern, besteht langfristig.

Die ASSAN hat 2023 und 2024 begleitend zu den See-Daueruntersuchungen Projekte initiiert und durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde die Phosphormenge, die über die Atmosphäre in den See gelangt, erneut untersucht, um eine breitere Datenbasis zu erhalten. 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, wurde im Hallwilersee bereits 2021 eine Schiffsreinigungspflicht mit entsprechenden Kontrollen eingeführt. Mit dem gleichen Ziel trat im Jahr 2024 auch für den Baldegger- und Sempachersee eine Schiffsmelde- und Reinigungspflicht in Kraft. Im Kanton Luzern wurde zudem ab Dezember 2024 für Baldegger- und Sempachersee ein Einwasserungsverbot eingeführt.

1 Ziele der Seesanie rung

Die Sanierung der Mittellandseen orientiert sich an Zielen, welche die wichtigste Steuerungsgrösse (Phosphoreintrag) sowie Kenngrössen des Seezustands (Phosphor-, Sauerstoffkonzentration, Algenproduktion und Fortpflanzung der Felchen) betreffen. Die aktuellen Ziele wurden im Jahr 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 gegenüber 2019		Höchstens mittlere Algenproduktion
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle: mit Zirkulationshilfe und Druckluftbelüftung im Sommer	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle: nur mit Zirkulationshilfe, ohne Sommerbelüftung	
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchenpopulation 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 Aargau erheben die Daten systematisch seit den 1980er Jahren. Der Bericht enthält soweit möglich die aufbereiteten Daten des Vorjahres 2024. Für die berechneten Phosphoreinträge (Frachtberechnungen) werden die Kennzahlen für das Jahr 2023 angegeben, weil bei der Erstellung des Berichtes noch keine aktuelleren Daten vorlagen. Die Kantone publizieren ihre Daten auch online¹.

¹ <https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/> resp. <https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu/umwelt-natur-landschaft/umwelt/oberflaechengewaesser/hallwilersee/zustand-hallwilersee>.

3 Zustand Baldeggersee

3.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2023 resp. 2024 nicht erreicht (Tabelle 2). Aufgrund einer höheren Zuflussmenge wurde 2023 gegenüber 2022 ein höherer Phosphoreintrag festgestellt, der den Zielwert klar überstieg. 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 2024 zu hoch. Der Abbau der abgestorbenen Algen sowie die zu geringe Menge mittels künstlicher Belüftung eingetragenen Reinsauerstoff führten dazu, dass der sauerstofflose Zustand an der tiefsten Stelle ab September 2024 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	3.4 t	nicht erreicht	2023
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	19 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2024
Algenproduktion ³	Höchstens mittel; starker Rückgang Burgunderblutalgen gegenüber 2019	Sehr hoch; kein Rückgang	nicht erreicht	2024
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	0 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht trotz künstlicher Belüftung	Herbst 2024
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2024

Wissenschaftliche und gesetzliche Grundlagen:

¹ Ewaq-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

Die über fünf Jahre gemittelten Phosphoreinträge haben zwischen 2001 und 2020 abgenommen (Abbildung 1), lagen aber über dem Zielwert von 2.2 Tonnen pro Jahr. Der Mittelwert für die aktuelle Fünfjahresperiode 2021 bis 2025 wird erst im Verlaufe des Jahres 2026 vorliegen.

Im Jahr 2023 betrug der Phosphoreintrag in den Baldeggersee 3.4 Tonnen (Abbildung 2). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Niederschlagsmengen zurückzuführen: Nach dem trockensten Jahr 2022 seit Messbeginn war das Jahr 2023 regenreicher. Es resultierte eine durchschnittliche Zuflussmenge bezogen auf die Messperiode 1986-2023. Aufgrund dessen überstieg der Phosphoreintrag 2023 den Zielwert, im Unterschied zum Jahr 2022. Der Phosphoreintrag aus den beiden ARAs Hochdorf (über Ron in Baldeggersee) und Hitzkirchertal (in Hallwilersee) nahm im Jahr 2023 witterungsbedingt deutlich zu.

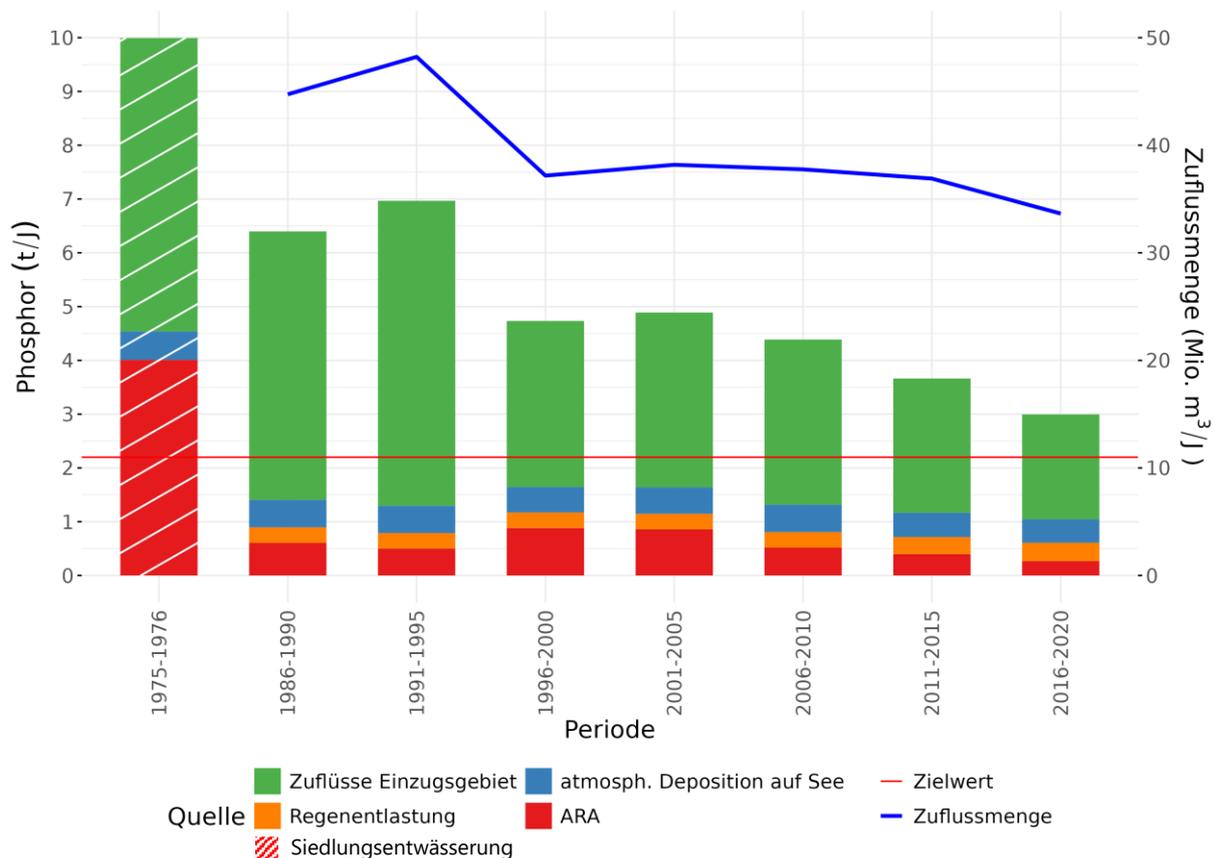


Abbildung 1 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden (Zweijahresperiode 1975–1976 schraffiert dargestellt) in den Baldeggersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

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

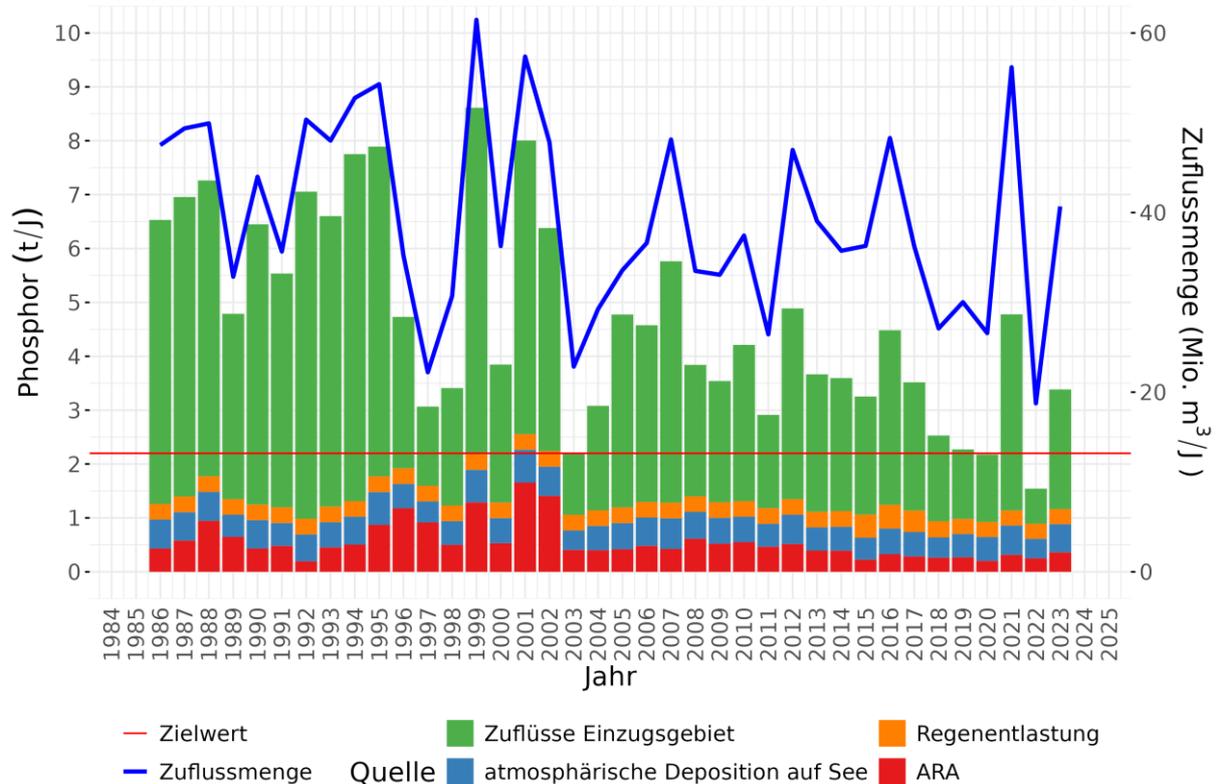


Abbildung 2 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Baldeggensee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

3.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2024 wurden 19 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (im 2023: $17 \text{ mg}/\text{m}^3$, Abbildung 3). Der Zielwert von $15 \text{ mg}/\text{m}^3$ wird nicht eingehalten. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Zielwerte für den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

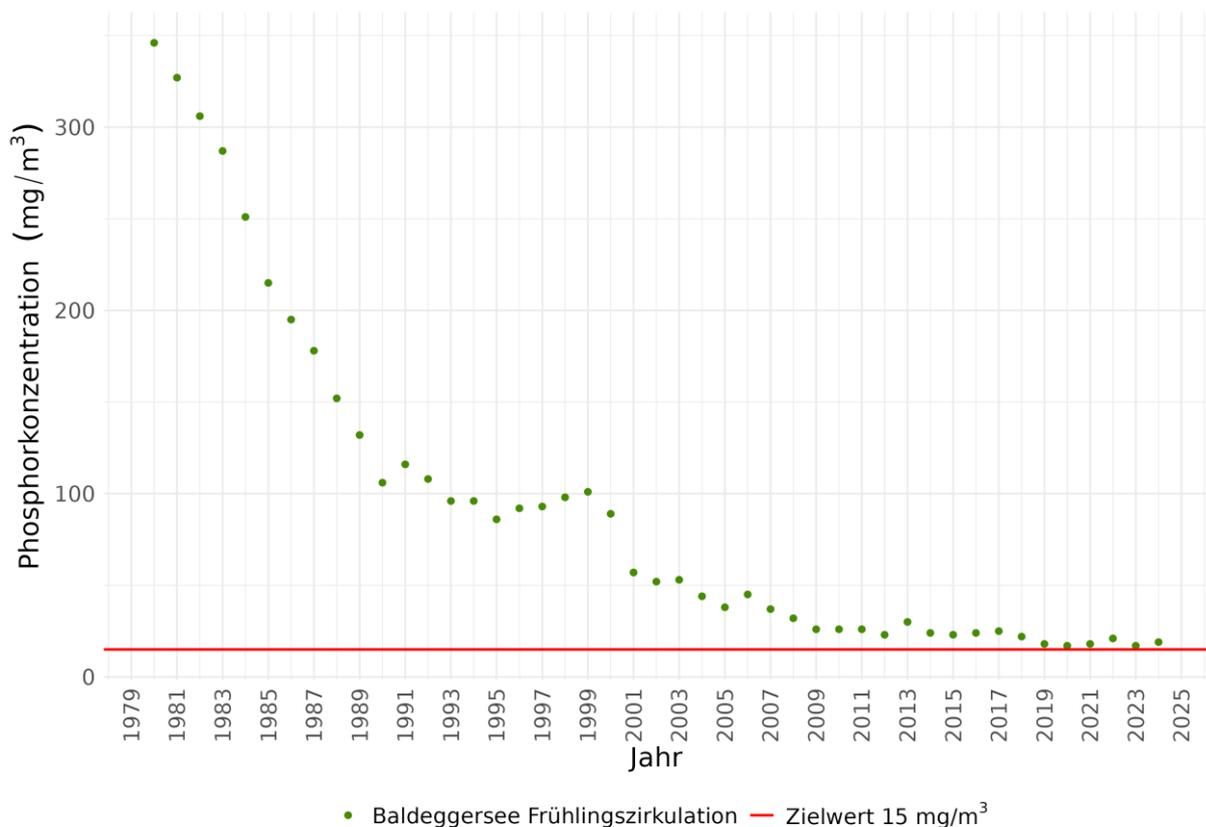


Abbildung 3 Phosphorkonzentration im Baldeggersee für die Jahre 1980 bis 2022 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 65 m)

3.4 Algenwachstum

Seit 2005 schwankte die Algenbiomasse mit einzelnen Ausnahmen in einem Bereich zwischen 30 und 60 Gramm pro Quadratmeter (g/m^2 , Abbildung 4). Mindestens drei Viertel der Algenbiomasse sind Cyanobakterien (umgangssprachlich Blaualgen, hauptsächlich Burgunderblutalgen). Im Jahr 2024 resultierte eine sehr hohe Biomasse von 72 g/m^2 (leicht erhöht zum Vorjahr). Dieser Wert liegt nur knapp unter dem Maximum des Jahres 2019 von 75 g/m^2 . Die Algenproduktion im See ist seit 2019 sehr hoch. Das Ziel einer höchstens mittleren Algenproduktion wurde nicht erreicht. Ebenso wurde das zweite Ziel, ein starker Rückgang der Burgunderblutalgen zu 2019, wurde nicht erreicht. Die Burgunderblutalgen scheinen ideale Wachstumsbe-

dingungen vorzufinden, um die tiefere Phosphorkonzentration kompensieren zu können. Aufgrund von Forschungsergebnissen der Eawag² 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.

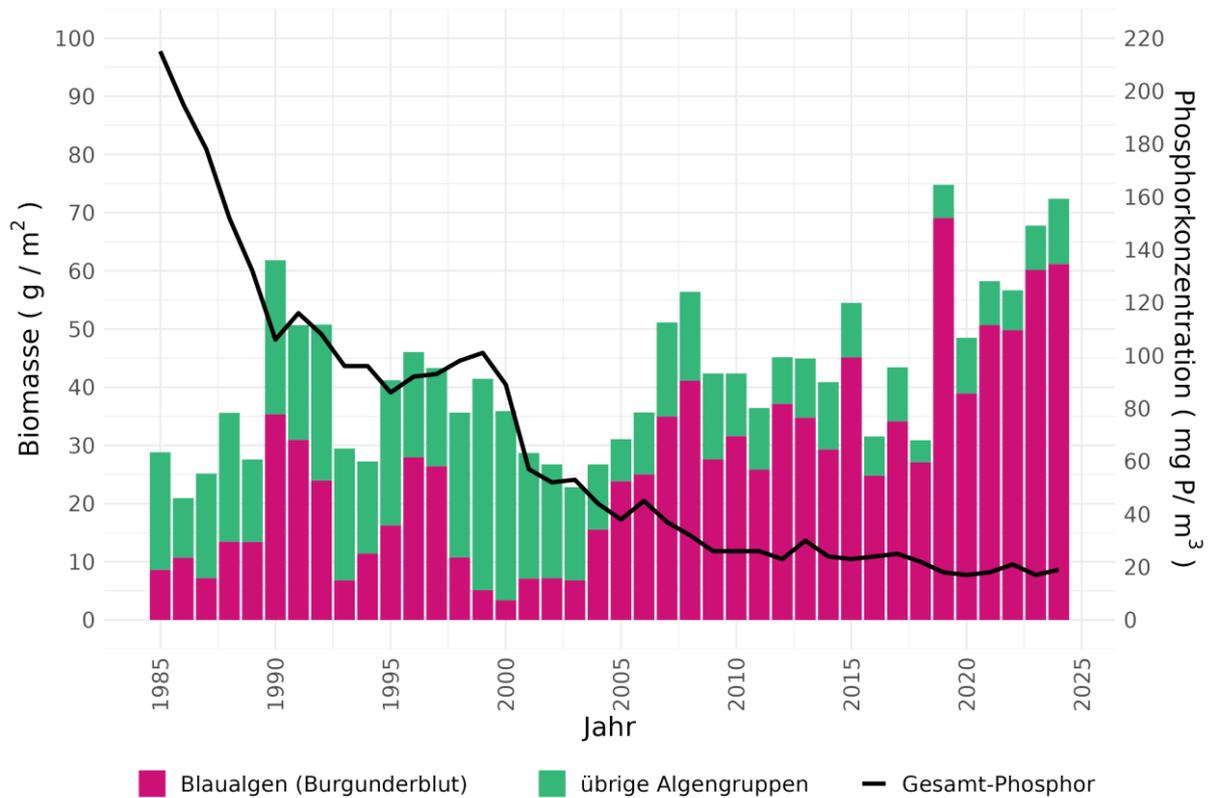


Abbildung 4 Biomasse der Blaualgen (hauptsächlich Burgunderblutalge) und der übrigen Algengruppen im Baldeggersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2024 (Wassertiefe 0 bis 15 m)

3.5 Sauerstoffverhältnisse mittels künstlicher Belüftung

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel gegen Ende Juli 2024 für knapp fünf Monate unter die gesetzliche Anforderung von 4 Milligramm pro Liter (mg/L, Abbildung 5). Im Oktober 2024 erreichte die Konzentration 0 mg/L. Während ca. zwei Wochen wurde der Zielwert von 1 mg/L an der tiefsten Stelle (Tabelle 2) nicht eingehalten. Die Sauerstoffarmut im Tiefenwasser wird durch die künstliche Belüftung zwar vermindert, die Anforderung von 4 mg/L

² Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#)

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 organische Material zurückzuführen sind und heute noch zusätzlich Sauerstoff zehren.

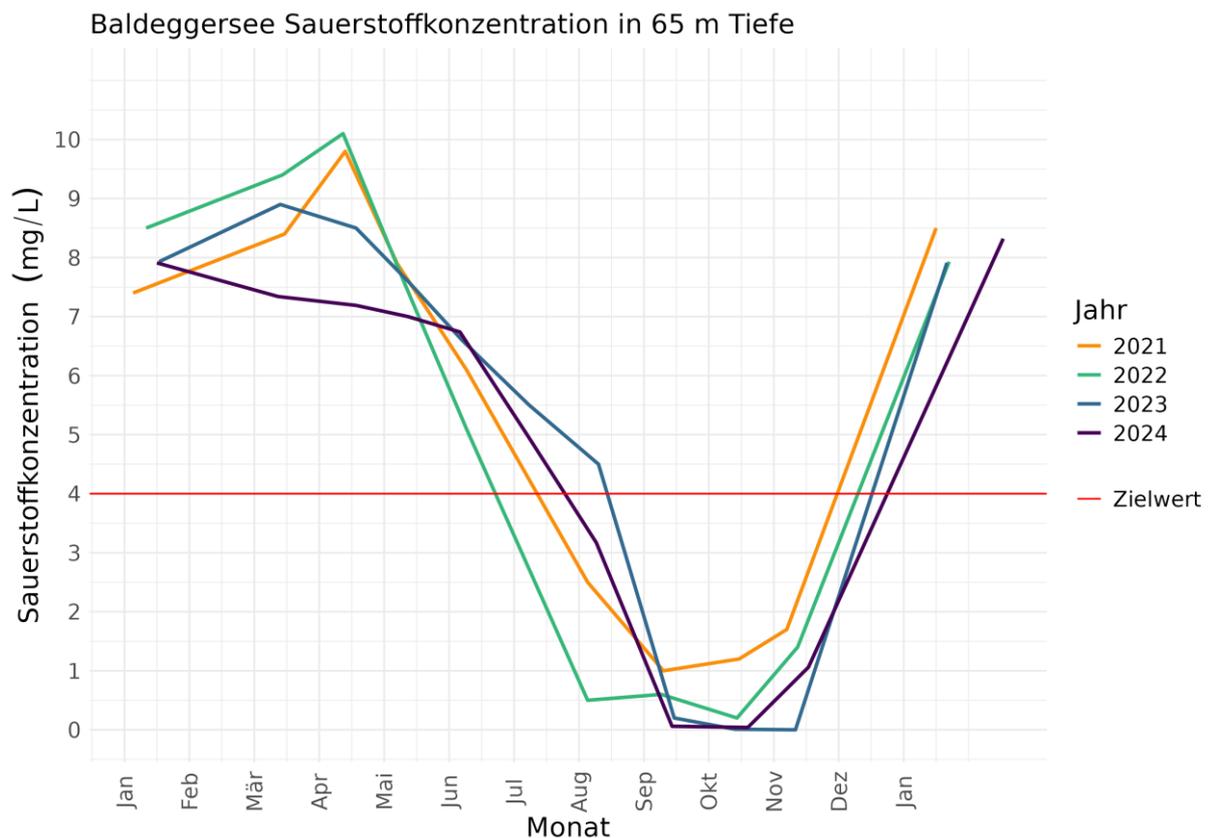


Abbildung 5 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle des Baldeggersee im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

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 8).

3.7 Naturverlaichung der Felchen und Fischbestand

Naturverlaichung der Felchen

Genügend Sauerstoff am Seegrund ist Voraussetzung dafür, dass sich Felcheneier entwickeln können. Zur Überprüfung dieses Sanierungsziels werden Dredgenversuche durchgeführt. Dabei werden Felcheneier vom Seegrund in unterschiedlichen Tiefen aufgesammelt und auf ihre Überlebensfähigkeit untersucht. Untersuchungen im Baldeggersee werden aktuell noch nicht als sinnvoll erachtet, da die Sauerstoffsituation noch zu schlecht ist.

Fischbestand

Mit den standardisierten Befischungen nach der *Projet Lac*-Methode im Herbst 2023 wurden 15 Fischarten nachgewiesen. Die Artenpalette entspricht faktisch jener des Hallwilersees. Die häufigsten Fischarten im Baldeggersee waren Egli, Rotaugen und Felchen. Auch die zwei standortfremden Fischarten Sonnenbarsch und Kaulbarsch kommen häufig vor. Somit ist der Baldeggersee ein Egli-Rotaugen-See. Das relativ häufige Vorkommen von grossen Individuen im Baldeggersee, ist auf den geringen Befischungsdruck zurückzuführen.

Mit Blick auf den Seezustand (ungenügende Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser, Sauerstoffzehrung an der Sediment-Wasser-Grenze) können sich die Felchen noch immer nicht natürlich reproduzieren. Die aktuellen Felchenbestände gehen vermutlich vollumfänglich auf Besatzfische zurück.

Das *Projet Lac* konnte einen deutlich positiven Effekt der Seebelüftung aufzeigen, indem Fische in Tiefen von 20 bis 50 m Tiefe nachgewiesen werden konnten. Diese können dort dank dem genügend vorhandenen Sauerstoff – infolge der Belüftung – leben³. Die jährlichen Fangerträge der Angelfischer sowie Berufsfischerinnen und Berufsfischer sind in der Fischfangstatistik zusammengetragen und online einsehbar⁴.

³ Bericht *Projet Lac* Baldeggersee 2023: <https://lawa.lu.ch/fischerei/grundlagen>

⁴ <https://lawa.lu.ch/fischerei/angelfischerei/Fangstatistik>

4 Zustand Hallwilersee

4.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2023 resp. 2024 nicht erreicht (Tabelle 3). Aufgrund der wieder höheren Zuflussmenge gegenüber den Vorjahren überschritt der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 2023 den Zielwert deutlich. 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 Hallwilersee stammt von den landwirtschaftlich genutzten Flächen – insbesondere via den Zufluss vom Baldeggersee oder aus dem direkten Einzugsgebiet. Der aus den landwirtschaftlichen Flächen stammende Anteil muss für eine erfolgreiche Sanierung langfristig gesenkt werden.

Tabelle 3 Hallwilersee: Stand Erreichung der Sanierungsziele

Zielebene	Sanierungsziel	Stand	Beurteilung	Zeitbezug
Phosphoreintrag ¹	< 2.0 t/Jahr	3.4 t	nicht erreicht	2023
Phosphorkonzentration ²	< 10 mg/m ³	23 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2024
Algenproduktion ³	Höchstens mittlere Algenproduktion; starker Rückgang Burgunderblutalgen gegenüber 2019	Hoch	nicht erreicht	2024
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	0.4 mg/L; 0.1 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht trotz künstlicher Belüftung	Herbst 2024
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchenpopulation sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2024

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

Im Winter 2023/2024 dauerte die Phase der vollständigen Mischung der Wassersäule, wegen des milden und kurzen Winters nur wenig mehr als 1 Monat, im Vergleich zu üblicherweise 3 Monaten in den früheren 2000er und 2010er Jahren. Dies führte dazu, dass der See über den Winter weniger Sauerstoff aufnahm und somit schon im Frühling vergleichsweise tiefe Sauerstoffkonzentrationen aufwies. Infolge der zu hohen Phosphorkonzentrationen war auch die Algenproduktion 2023 und auch 2024 zu hoch. Der Abbau der abgestorbenen Algen und die damit einhergehende erhöhte Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser führten dazu, dass die gegen Null tendierende Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle während den Monaten August

bis November 2024 trotz Belüftung mit Druckluft nicht verhindert werden konnte. Die hohen Phosphorkonzentrationen im See und der milde Winter führten zu den schlechtesten Sauerstoffwerten des Sees seit Jahren. Da die saisonale Sauerstoffarmut mittelfristig andauern wird, muss der See auch in Zukunft weiterhin belüftet werden.

4.2 Phosphoreinträge

Im Mittel der 5-Jahresperiode 2019-2023 gelangten mit 2.7 Tonnen pro Jahr zu viel Phosphor in den Hallwilersee. Dieser Wert ist aufgrund der sehr nassen Jahre 2021 und 2023 in dieser Periode wieder etwas höher als in der vorherigen 5-Jahresperiode 2014-2018 (2.5 Tonnen pro Jahr, Abbildung 6).

Im Jahr 2023 betrug der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 3.4 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 2.0 Tonnen deutlich überschritten (Abbildung 7). 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. Darauf folgte 2023 wieder ein niederschlagsreiches Jahr.

Ein erheblicher Anteil des Phosphoreintrags stammt mit rund 0.6 Tonnen pro Jahr nach wie vor aus dem Baldeggersee-Zufluss (Periode 2019-2023). Mit insgesamt rund 1 Tonne pro Jahr machen die Einträge aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen im direkten Einzugsgebiet des Sees (Kantone Aargau und Luzern) den grössten Anteil aus. Bemerkenswert für den Hallwilersee ist auch 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). Auch der Anteil aus der Kläranlage Hitzkirchertal ist mit 0.27 Tonnen in der Periode 2019-2023 wieder leicht höher als in der Vorperiode.

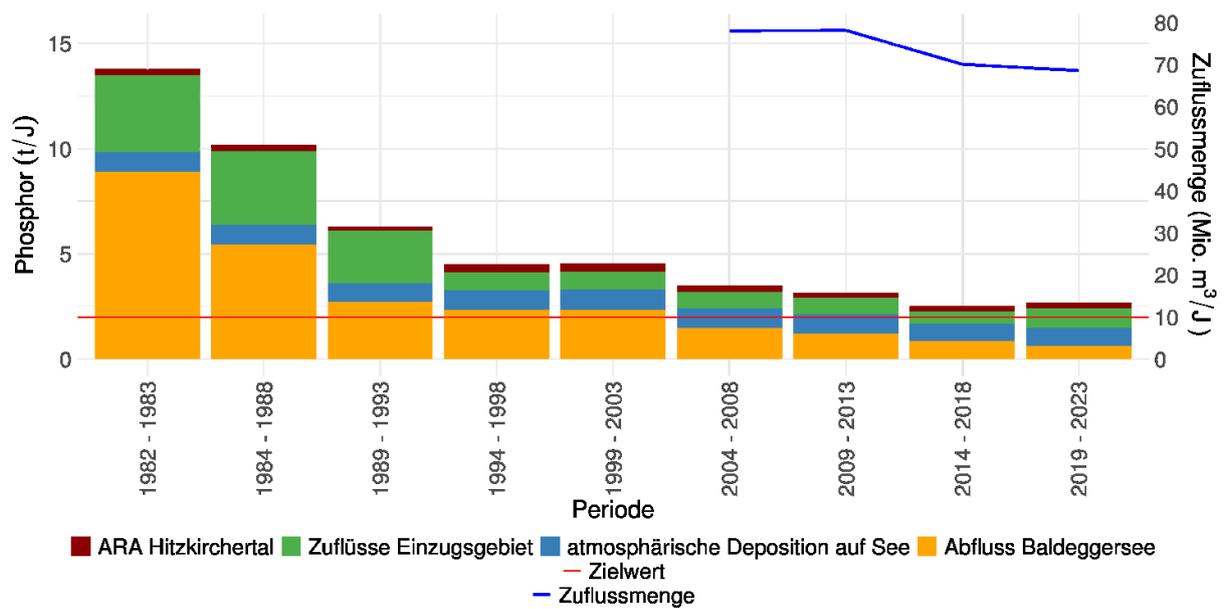


Abbildung 6 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

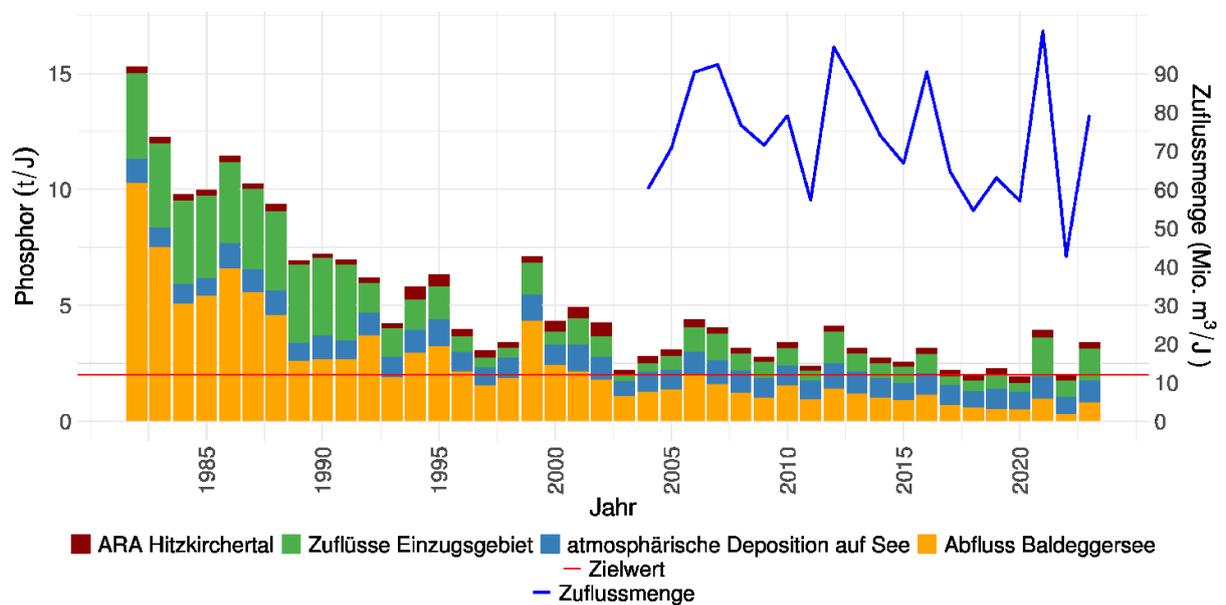


Abbildung 7 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

4.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2024 wurden 23 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (Abbildung 8). Der Zielwert von $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ wird nicht erreicht. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Zielwerte für den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

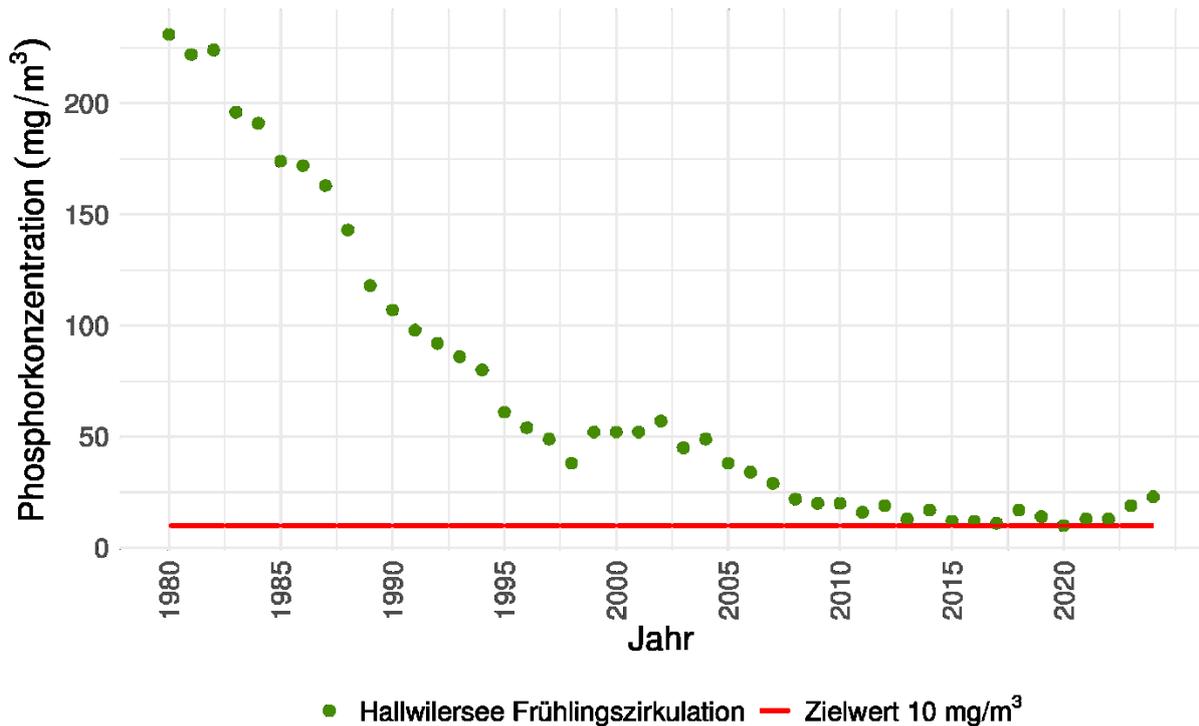


Abbildung 8 Phosphorkonzentration im Hallwilersee für die Jahre 1980 bis 2024 (Mittelwert während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 45 m)

4.4 Algenwachstum

Dank den sinkenden Phosphorkonzentrationen ging das Wachstum der Grün- und Kieselalgen im Hallwilersee seit den 1980er-Jahren stark zurück (Abbildung 9). 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. Seit 2019 hat die Algenbiomasse wieder zugenommen: von unter 20 auf 30 mg/m² im Jahr 2024.

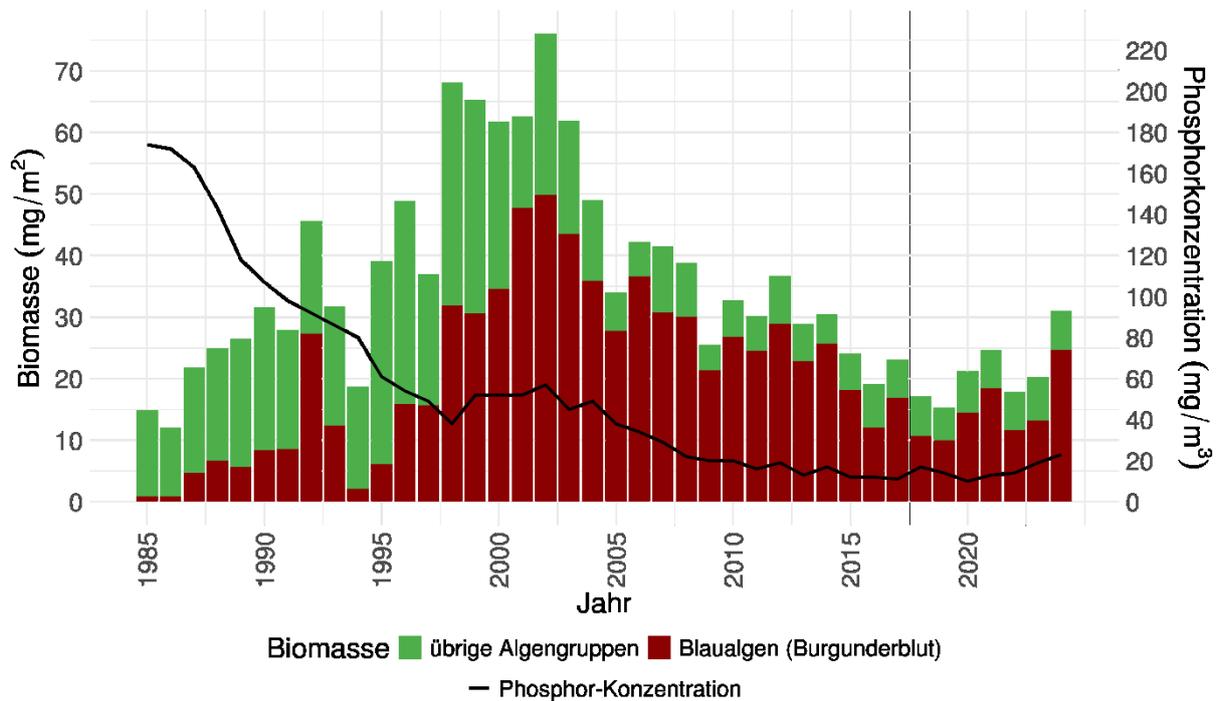


Abbildung 9 Biomasse der wichtigsten Algengruppen im Hallwilersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2024 (Wassertiefe 0 bis 13 m)

4.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel während rund vier Monaten (August bis November) unter das Sanierungsziel von 1 mg/L (Abbildung 10). Im Tiefenwasser sank die Sauerstoffkonzentration im Spätsommer 2024 für fünf Monate unter den Zielwert von 4 mg/L (Abbildung 11). Im Oktober 2024 erreichte die durchschnittliche Konzentration im Tiefenwasser lediglich 0.4 mg/L und somit die schlechtesten Werte der letzten acht Jahre.

Trotz künstlicher Belüftung kann ein sauerstoffloser Zustand an der tiefsten Stelle 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.

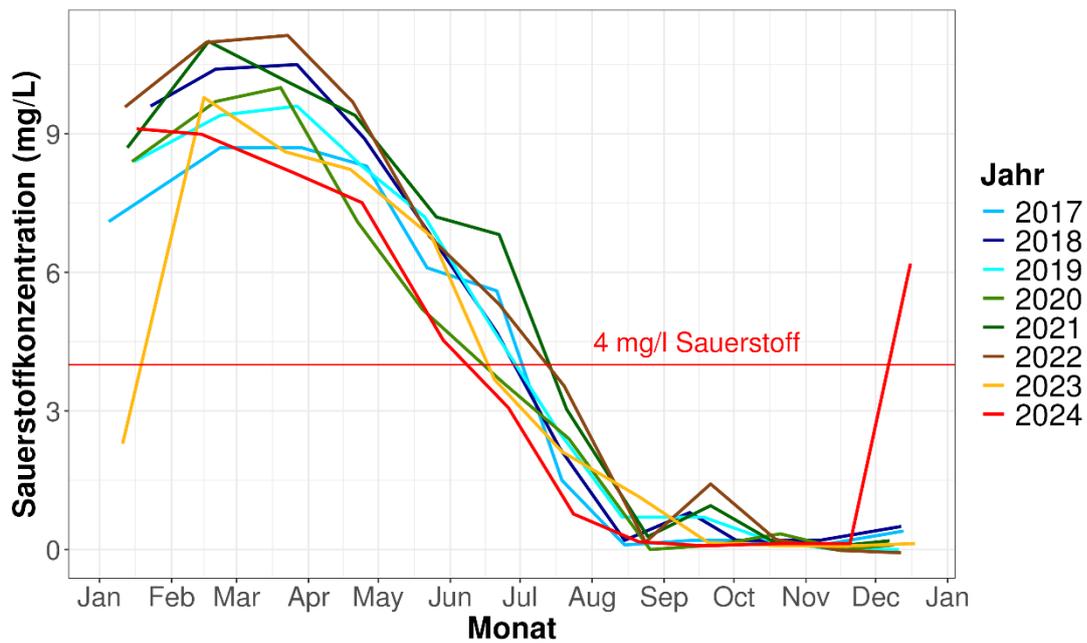


Abbildung 10 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle im Jahresverlauf im Hallwilersee für die Jahre 2017 bis 2024, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

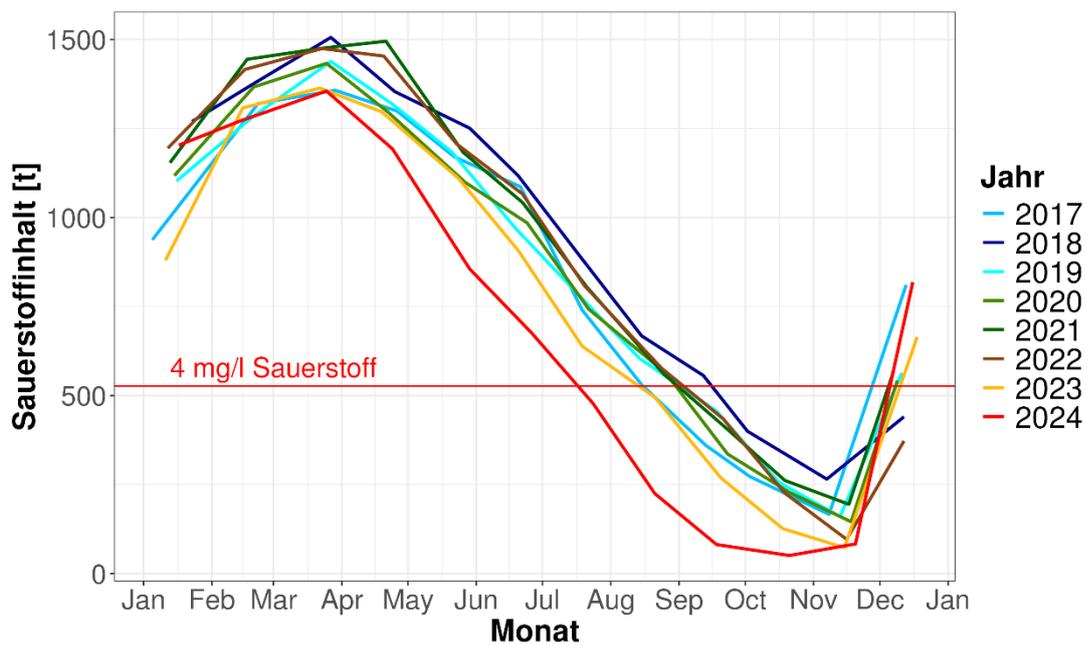


Abbildung 11 Jahresverlauf des mittleren Sauerstoffinhalts im Tiefenwasser (17.5 – 46 m) im Hallwilersee für die Jahre 2017 bis 2024, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

4.6 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. Als Folge des Gesundungsprozesses des Hallwilersees hatte 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 2024 rund 122 Tonnen Sauerstoff ins Tiefenwasser des Sees eingetragen. Im Jahr 2024 wurden somit wieder rund 50 Tonnen Sauerstoff weniger eingetragen als im Vorjahr und ähnlich viel wie in den Jahren vor 2023. Wegen Verzögerungen beim Umbau der Seebelüftungsstation konnte 2024 erst etwas später mit dem feinblasigen Eintrag von Druckluft gestartet werden und dank dem kühleren Wetter im Herbst konnte früher als im Jahr 2023 auf die Zirkulationshilfe umgestellt werden. Der Betrieb mit Druckluft war im Jahr 2024 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

Der Kanton Aargau untersucht die Besiedlung des Seegrunds des Hallwilersees durch Fischnährtiere alle 4 Jahre. Im Kanton Luzern werden die gleichen Untersuchungen alle 8-16 Jahre durchgeführt, harmonisiert mit dem Kanton Aargau. Zur Zeit der stärksten Eutrophierung lebten im Hallwilersee in den Sedimenten unterhalb von 25 Metern Seetiefe keine Würmer oder Insektenlarven mehr (Abbildung 12). Mit den fortlaufenden Sanierungsmassnahmen konnte erreicht werden, dass Würmer und Insektenlarven die Sedimente wieder bis auf 46 m Tiefe besiedeln. Die letzten Untersuchungen im Jahr 2023 zeigten, dass die Besiedlungsdichte der Würmer bis in die tiefliegenden Sedimente hoch ist⁵.

⁵ Zustandsbericht Mittellandseen der ASSAN (2023) https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Gewaesser/Seen_und_Fliessgewaesser/Baldegger_und_Sempachersee/Jahresbericht_ASSAN_2023.pdf?rev=b8f4c28273de45a088a28c71a5d7013b

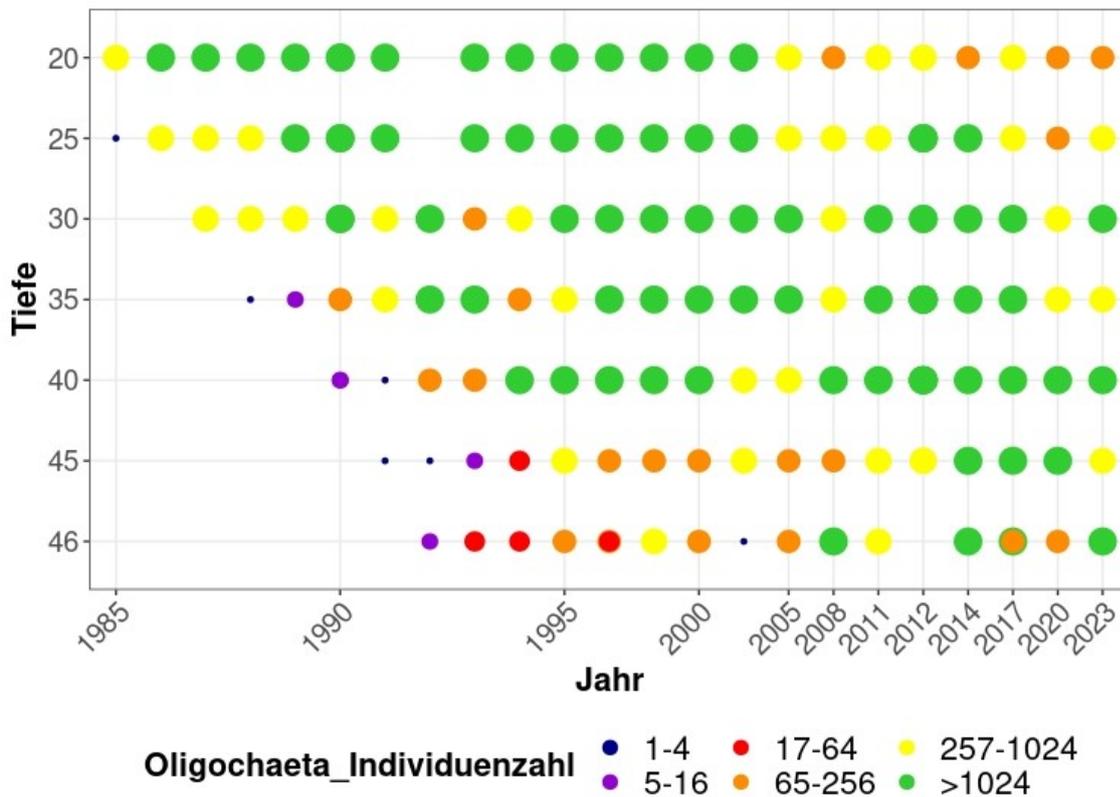


Abbildung 12 Entwicklung der Würmer in den Sedimenten des Hallwilersees in verschiedenen Tiefen von 1985 bis 2023 (Anzahl Würmer pro Dredgenzug)

4.8 Naturverlaichung der Felchen

4.9 Fischbestand

Naturverlaichung der Felchen

Ein Ziel der Seesanieung ist genügend Sauerstoff am Seeboden, so dass sich die Felcheneier, welche auf dem Seegrund zu liegen kommen, entwickeln können. Um dieses Sanierungsziel zu überprüfen, werden regelmässig sogenannte «Dredgenversuche» durchgeführt. Dabei werden mit einer Art Schlitten – der sogenannten Dredge – Felcheneier vom Seegrund in unterschiedlichen Tiefen aufgesammelt und der Anteil lebender Eier überprüft.

Die Ergebnisse von 1989–2024 zeigen, dass der Anteil lebender Eier bis vor rund 10 Jahren zugenommen hatte, in den Jahren 2023 und 2024 jedoch wieder auf unter 20% gefallen ist⁶

⁶ Vonlanthen 2024. Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee – Ergebnisse der Untersuchung vom 23. Februar 2024. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt

(Abbildung 13). Auch im Vergleich mit anderen Felchenseen ist der Erfolg der Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee aktuell sehr gering (Abbildung 14). Daher ist davon auszugehen, dass der Beitrag dieser natürlicherweise aufgekommenen Brütlinge am Felchenbestand heute sehr klein ist. Bereits 2014 zeigte die Markierung der besetzten Felchen, dass ca. 90 % der gefangenen Felchen aus Besatzmassnahmen stammen⁷. Die Aufnahmen wurden in einer Zeit realisiert, als sich die Felcheneier im See noch besser entwickeln konnten.

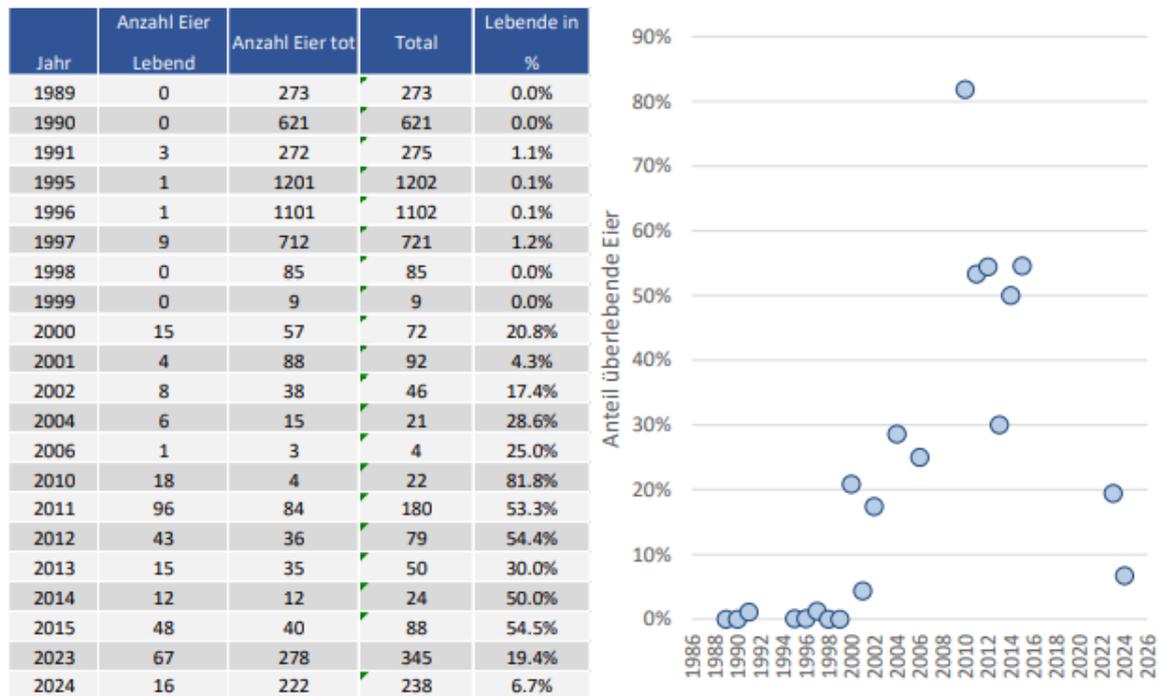


Abbildung 13 Anteil der im Hallwilersee lebenden Felcheneier im Verlauf der letzten 35 Jahre (Quelle: Vonlanthen 2024⁶). Die Stichprobengrösse der einzelnen Jahre ist sehr unterschiedlich, wodurch der prozentuale Anteil überlebender Eier in Jahren mit geringen Ei-Fangzahlen mit Vorsicht zu betrachten ist.

⁷ Aquabios. 2018. Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Markierung 2014 und Erfolgskontrollen 2014-2018 - Schlussbericht: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau. <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/bvu/umwelt-natur/fischerei/informationen-fuer-fischer/felchen-hallwilersee-markierung-aquabios.pdf>

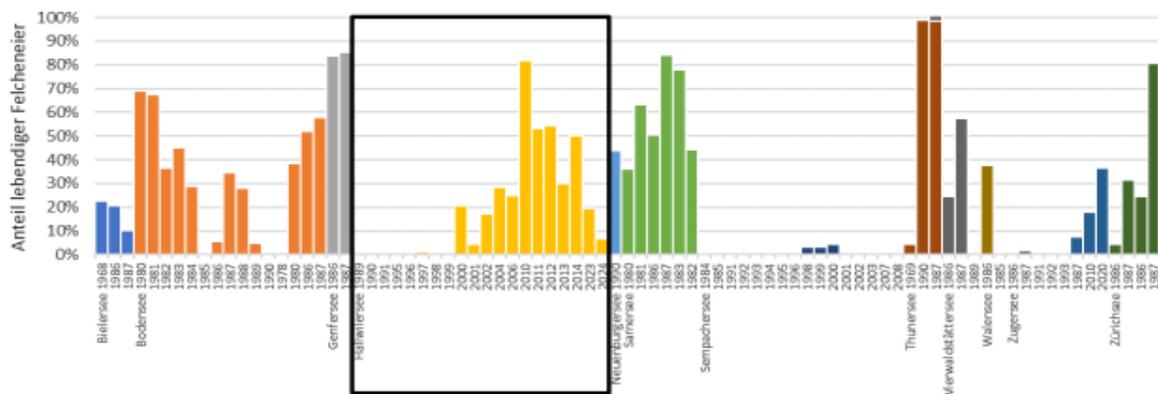


Abbildung 14 Anteil im Hallwilersee überlebender Eier im Vergleich mit anderen Felchenseen (Quelle: Vonlanthen 2024⁶)

Fischbestand

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 drei standortfremde Fischarten nachgewiesen, der Kaulbarsch, der Sonnenbarsch und neu der Wels. Die Artenzusammensetzung hat sich zwischen den Aufnahmen von 2012 und 2022 von einem durch Rotaugen dominierten See in Richtung eines durch Flussbarsche und Felchen dominierten Sees verändert. Der Felchenbestand hat seit 2012 stark zugenommen. Dabei stammen die Felchen zum grössten Teil aus Besatzmassnahmen⁷. Der hohe Felchenbestand im Jahr 2022 unterstützt die Theorie, dass das Wachstum der Felchen in den Vorjahren aufgrund einer hohen Bestandsdichte eingeschränkt war, was die Netzfischerfänge zusammenbrechen liess. Seit 2023 verbessern sich die Felchenfänge im Hallwilersee stetig⁸.

Der Fang sowie die Aufwände der Netz- und Angelfischer werden in der Aargauer Fischereistatistik erfasst und jährlich in einem Bericht online veröffentlicht⁹.

⁸ Vonlanthen 2023: Standardisierte Befischung Hallwilersee, Resultate der Erhebungen von 2022 und Vergleich mit 2012: <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/bvu/umwelt-natur/fischerei/informationen-fuer-fischer/aquabios-2023-standardisierte-befischung-des-hallwilersees-2022-schlussbericht.pdf>

⁹ <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/bvu/umwelt-natur/fischerei/statistiken/auswertung-fischfangdaten-fischereibericht.pdf>

5 Zustand Sempachersee

5.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2023 resp. 2024 grösstenteils nicht erreicht (Tabelle 4). Aufgrund einer höheren Zuflussmenge wurde 2023 gegenüber 2022 ein höherer Phosphoreintrag festgestellt, der nur knapp unterhalb des Zielwerts lag. 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 2024 zu hoch. Auch mit künstlicher Belüftung mit Sauerstoff über Druckluft konnte die gesetzliche Minimalanforderung an die Sauerstoffkonzentration während ca. einen Monat knapp nicht eingehalten werden. 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	3.9 t	erreicht	2023
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	21 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2024
Algenproduktion ³	Höchstens mittel	Hoch	nicht erreicht	2024
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	3.6 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht trotz künstlicher Belüftung	Herbst 2024
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchenpopulation sind gewährleistet	Nicht/kaum gewährleistet	nicht erreicht	2024

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

Die über fünf Jahre gemittelten Phosphoreinträge haben zwischen 2001 und 2020 abgenommen (Abbildung 15). Der Mittelwert für die aktuelle Fünfjahresperiode 2021 bis 2025 wird erst im Verlaufe des Jahres 2026 vorliegen.

Im Jahr 2023 betrug der Phosphoreintrag in den Sempachersee 3.9 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 4.0 Tonnen knapp unterschritten (Abbildung 16). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Niederschlagsmengen zurückzuführen: Nach dem trockensten Jahr 2022 seit Messbeginn war das Jahr 2023 regenreicher. Die resultierende Zuflussmenge lag jedoch immer noch im unteren Drittel der Zuflussmengen in den letzten 40 Jahren.

Der Anteil an der Phosphorfracht aus der Siedlungsentwässerung (ARA und Regenentlastungen) in den Sempachersee konnte seit 2004 auf einem tiefen Niveau gehalten werden. Der Anteil aus der ARA Sempach-Neuenkirch in den Sempachersee nahm im 2023 zu.

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.

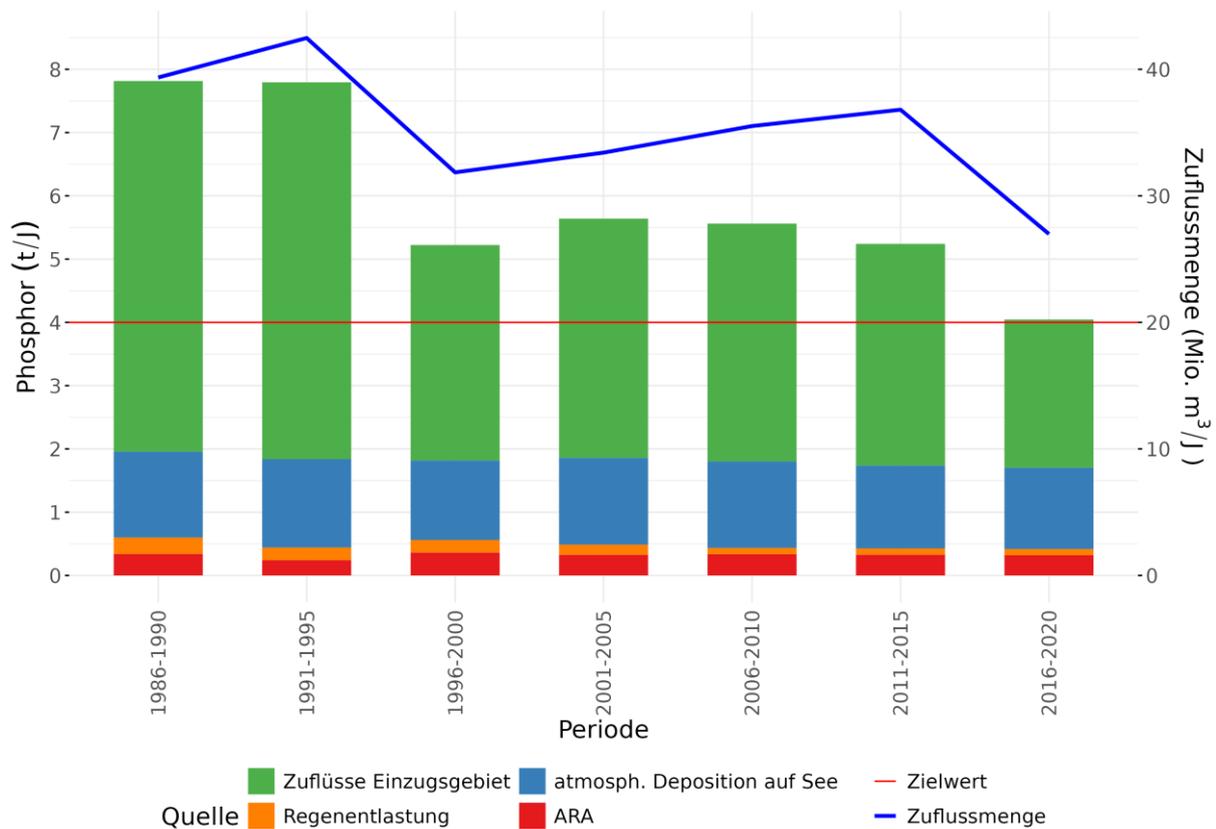


Abbildung 15 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 4.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

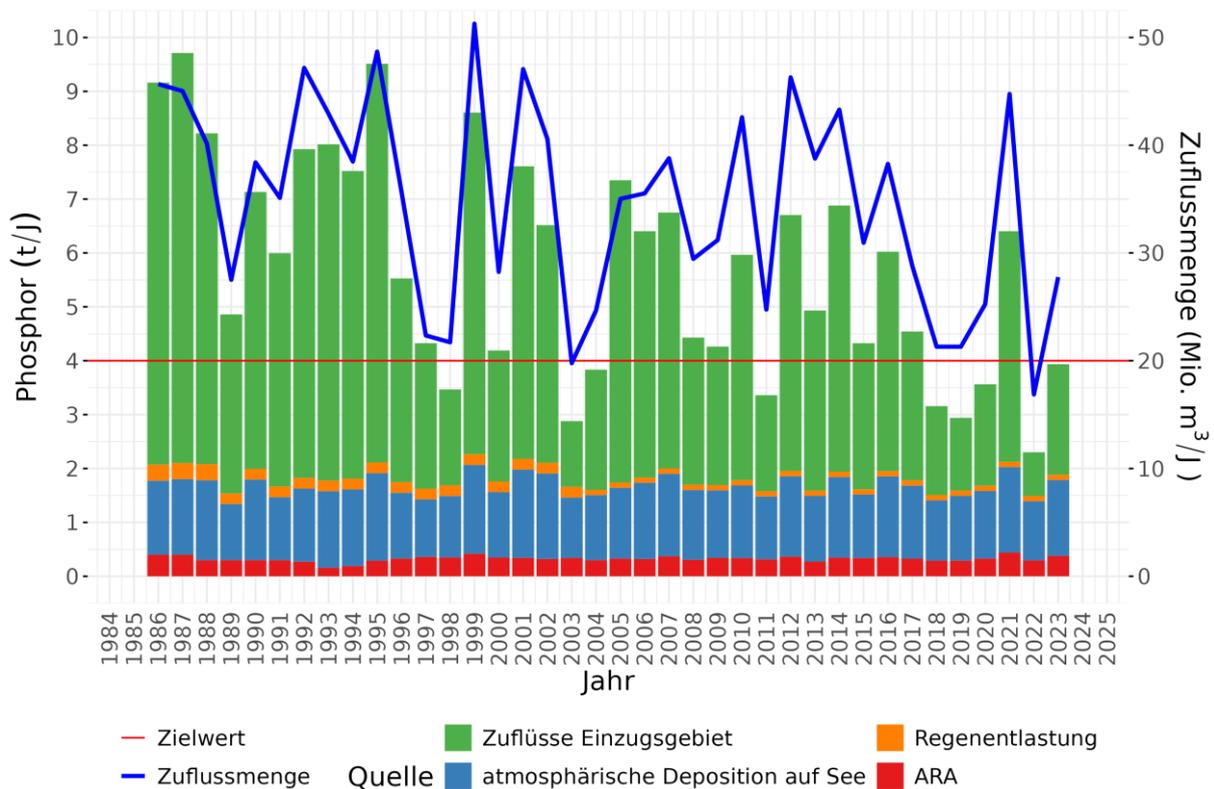


Abbildung 16 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

5.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2024 wurden 21 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (2023: $23 \text{ mg}/\text{m}^3$, Abbildung 17). Der Zielwert von $15 \text{ mg}/\text{m}^3$ wird nicht eingehalten. Erst wenn dieser Zielwert dauerhaft unterschritten wird, ist die Voraussetzung gegeben, dass langfristig die Zielwerte für den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und die höchstens mittlere Algenproduktion erreicht werden können.

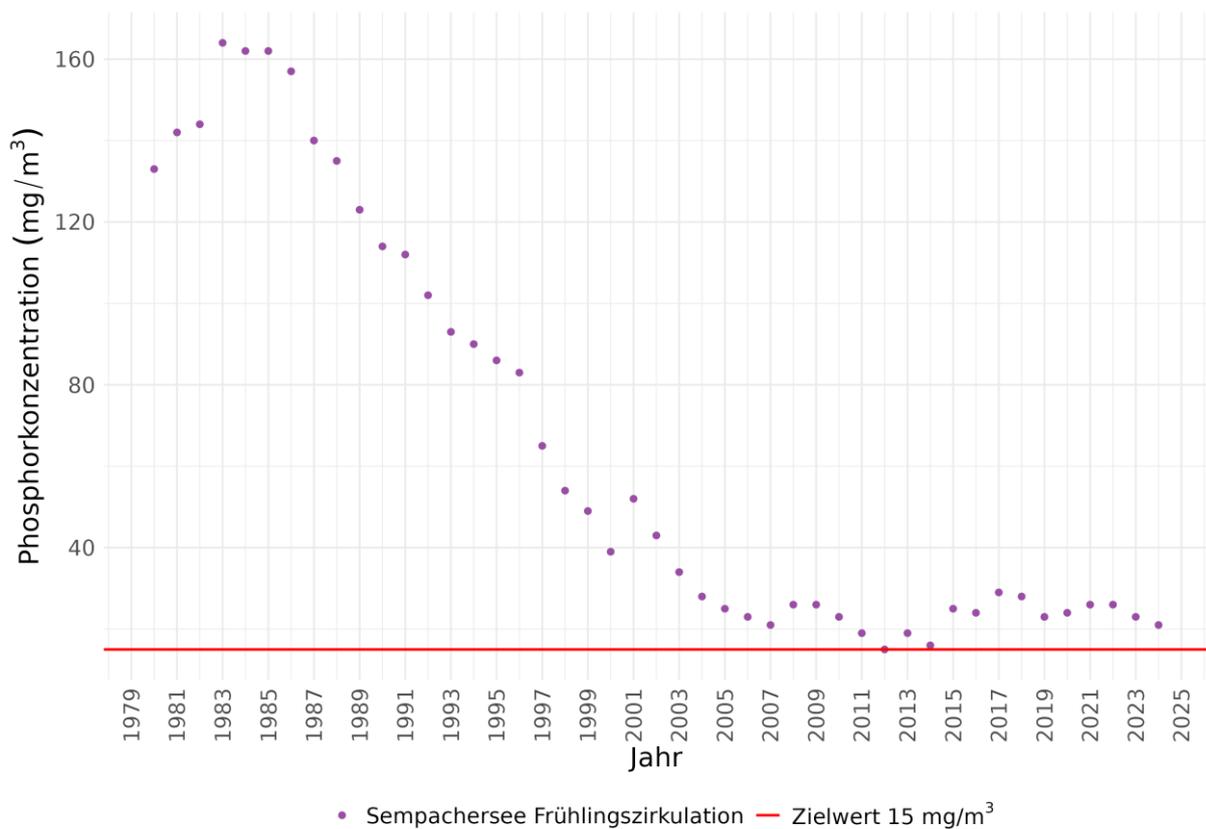


Abbildung 17 Phosphorkonzentration im Sempachersee für die Jahre 1980 bis 2023 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 85 m)

5.4 Algenwachstum

Von 2004 bis 2024 schwankte die Algenbiomasse in einem Bereich zwischen 10 und 20 Gramm pro Quadratmeter (g/m²), mit Ausnahme von vier Jahren, darunter das Jahr 2021 mit einer Biomasseproduktion von 50 g/m² (Abbildung 18). Seither nahm die Biomasse ab und betrug im 2024 noch 16 g/m². Dieser Wert entspricht aber immer noch einer hohen Biomasse. Die Blaualgen (z.B. Burgunderblutalgen) 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 erwarten¹⁰, dass die Algenbiomasse sinken wird, sobald die Phosphorkonzentration weiter sinkt und den Zielwert von 15 mg/m³ unterschreitet.

¹⁰ Müller und Wüest (2018): [Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht zum Hallwilersee](#), Eawag.

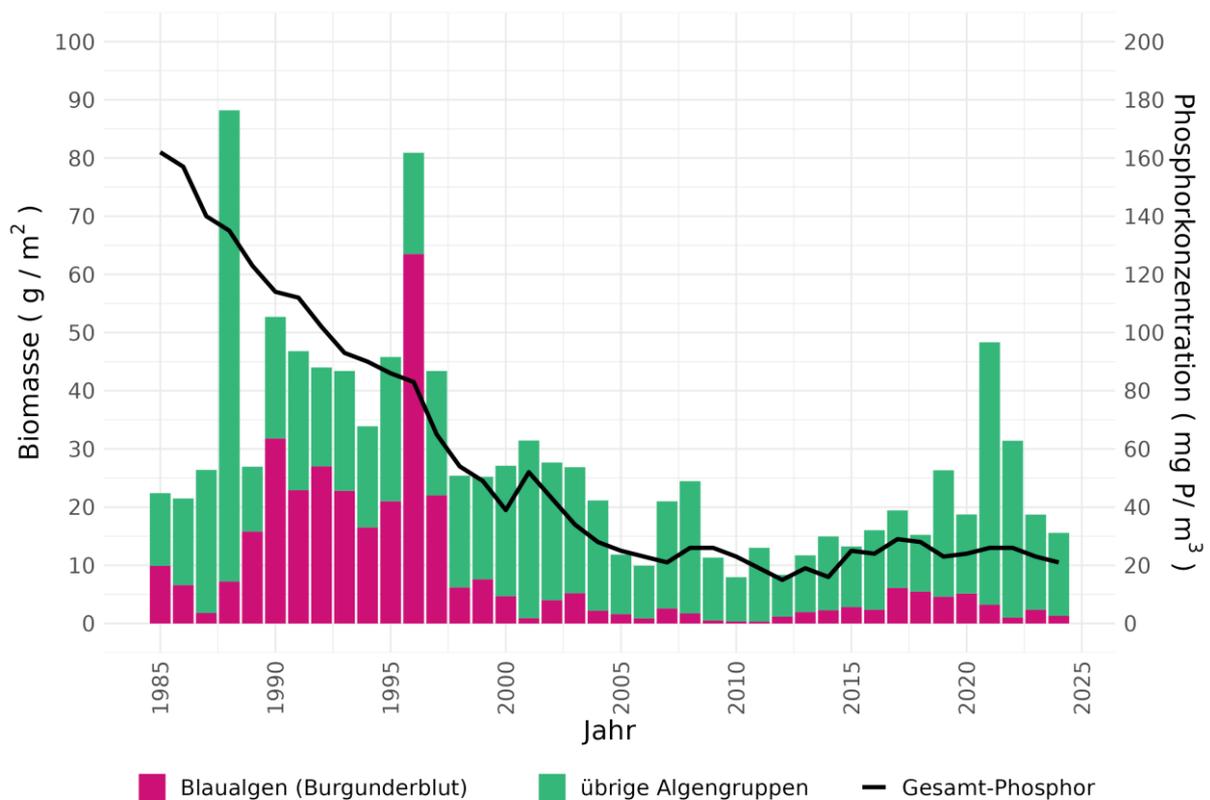


Abbildung 18 Algenbiomasse im Sempachersee (Blaualgen hervorgehoben) sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2024 (Wassertiefe 0 bis 15 m)

5.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel 2023 mit 3.6 Milligramm pro Liter (mg/L) knapp unter die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L (Abbildung 19). Sie konnte damit auch mit künstlicher Belüftung während ca. eines Monats nicht eingehalten werden. Die gesetzliche Anforderung von 4 mg/L muss dauerhaft eingehalten werden, 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.

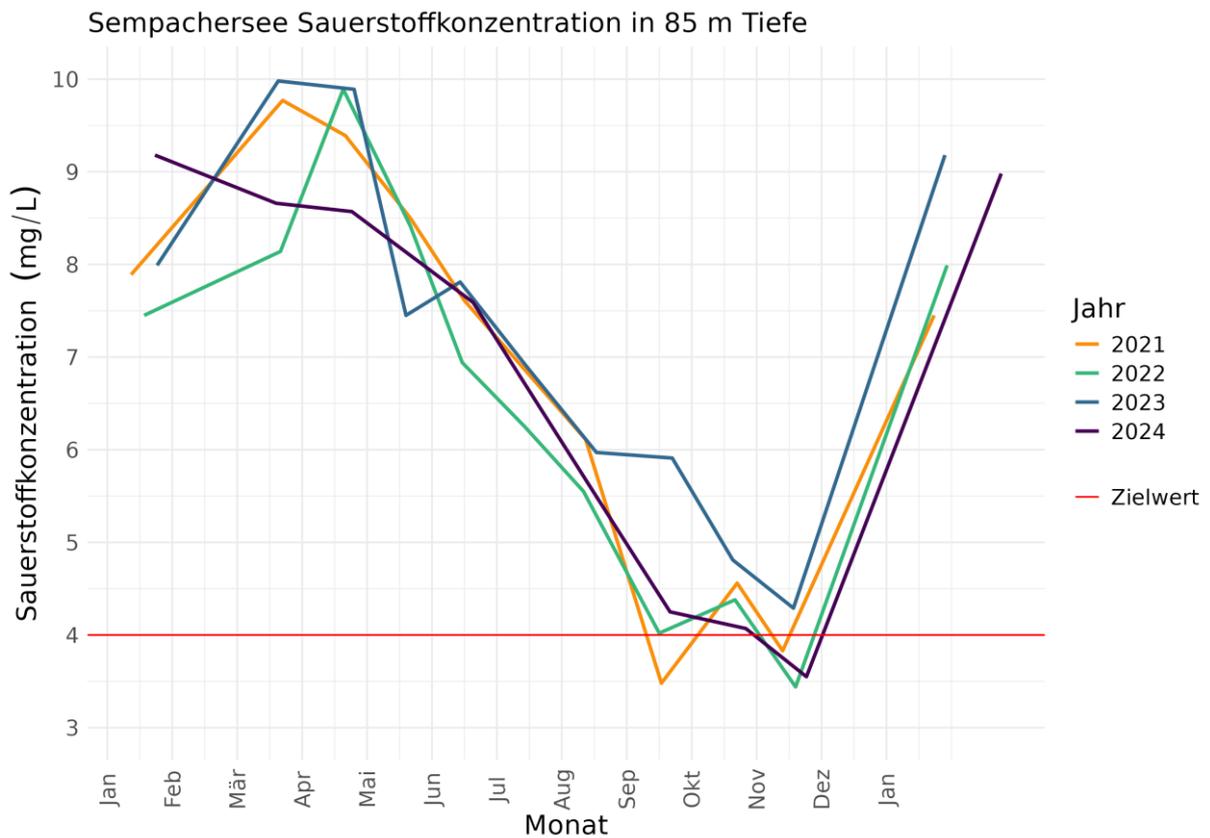


Abbildung 19 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle des Sempachersee im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

5.6 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 Sauerstoff mittels feinblasiger Druckluft zugeführt.

Der feinblasige Eintrag dauerte 2024 vom 12. April bis zum 19. November durchgehend im 24 h-Betrieb. So wurde der Sempachersee 2024 mit 163 Tonnen Sauerstoff mittels Druckluft belüftet (2023: 168 Tonnen). Das ist weniger als für den Sempachersee mindestens erforderlich ist (200 Tonnen), um die gesetzlich 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 Anlagen erneuert werden (siehe Kapitel 8).

5.7 Naturverlaichung der Felchen und Fischbestand

Naturverlaichung der Felchen

Genügend Sauerstoff am Seegrund ist Voraussetzung dafür, dass sich Felcheneier entwickeln können. Zur Überprüfung dieses Sanierungsziels werden Dredgenversuche durchgeführt. Dabei werden Felcheneier vom Seegrund in unterschiedlichen Tiefen aufgesammelt und auf ihre Überlebensfähigkeit untersucht. Im Sempachersee sind die nächsten Dredgenversuche für das Jahr 2026 vorgesehen. Anschliessend sollen diese alle vier Jahre wiederholt werden.

Fischarten

Die häufigsten Fischarten im Sempachersee sind Egli, Rotaugen und Felchen. Somit ist der Sempachersee ein Egli-Rotaugen-See.

Die standardisierte Befischung nach der Proje Lac Methode¹¹ wurde im Sempachersee im Jahr 2018 durchgeführt.

Die jährlichen Fangerträge der Angelfischer sowie Berufsfischerinnen und Berufsfischer sind in der Fischfangstatistik zusammengetragen und online einsehbar¹².

¹¹ Bericht Proje Lac Vonlanthen 2023: <https://lawa.lu.ch/fischerei/grundlagen>

¹² <https://lawa.lu.ch/fischerei/angelfischerei/Fangstatistik>

6 Klimateffekte auf die Mittellandseen

Die Klimaerwärmung führt bei den Mittellandseen zu einer Veränderung der Mischungsdynamik, gepaart mit negativen Folgen für die Sauerstoffversorgung. Exemplarisch wird dies hier anhand des Hallwilersees erläutert.

Bis gegen Ende des 20. Jahrhunderts mischte der Hallwilersee zweimal jährlich vollständig, ein erstes Mal im November/Dezember und dann wieder im Februar/März. Alternierend zu diesen Mischungsphasen war der See im Sommer und im Winter geschichtet. Von 1900 bis 1986 bildete sich zudem in 25 Wintern eine geschlossene Eisdecke aus.

Seit den 1980er Jahren hat die Oberflächentemperatur der meisten Schweizer Seen um etwa 0,4 bis 0,5 °C pro Jahrzehnt zugenommen, so auch beim Hallwilersee. Dadurch beginnt die Sommerschichtung im Frühling früher und endet im Herbst später. Im Mittel hat die Dauer der Sommerschichtung seit Ende der 1980er Jahre um etwa einen Monat zugenommen. Eine Eisdecke konnte sich in den meisten Wintern nicht mehr ausbilden.

Die Temperaturmessungen zeigen, dass der See in den Wintern 2022/2023 und 2023/2024 jeweils nur noch während rund einem Monat vollständig gemischt war und sich bereits anfangs oder Mitte Februar wieder eine Schichtung zu bilden begann. Solche Winter mit sehr kurzer Mischungsdauer sind in Zukunft wohl häufiger zu erwarten, auch wenn im Winter 2024/2025 die Durchmischung wieder länger andauerte (knapp drei Monate). Die Veränderungen bei Baldegger- und Sempachersee sind qualitativ ähnlich, wobei der Sempachersee schon seit 1965 keine geschlossene Eisdecke mehr bildete.

Die Veränderungen in der Mischungsdynamik haben aus mehreren Gründen negative Auswirkungen auf die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser der Seen:

- Wegen der längeren Sommerschichtung steht mehr Zeit zur Verfügung, um den verfügbaren Sauerstoff im Tiefenwasser aufzubauchen. Wenn die Sommerschichtung statt wie früher rund acht Monate neu in den meisten Jahren zehn oder sogar elf Monate dauert, dann kann über den Sommer 20 bis 35 % mehr Sauerstoff gezehrt/verbraucht werden.
- Die Dauer der Mischung genügt nicht mehr, um das ganze Seevolumen mit genügend Sauerstoff zu versorgen. Zudem nimmt das wärmere Wasser weniger Sauerstoff auf. Entsprechend kann die Sauerstoffkonzentration bereits zu Beginn der Sommerschichtung tiefer liegen, als dies früher der Fall war.
- Die Geschwindigkeit biologischer Abbauprozesse nimmt mit steigender Temperatur generell zu. Es ist deshalb davon auszugehen, dass mit der Zunahme der Temperatur

der Abbau von organischem Material beschleunigt und damit der Sauerstoffverbrauch erhöht wird und früher im Jahr zu tieferen Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser führen wird.

Aus diesen Gründen dürfte mit fortschreitendem Klimawandel das Erreichen der Sanierungsziele bezüglich Sauerstoffkonzentrationen erschwert werden.

7 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.

7.1 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 Ökologischen 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. Die Teilnahme am Projekt ist für die Betriebe freiwillig.

7.2 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 umfasst die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) im ausgeschiedenen oberflächlichen Zuströmbereich (Zo) des Sempachersees, des Baldeggersees sowie des luzernischen Teils des Hallwilersees. Ziel ist eine 20 %-Reduktion der P-Frachten im Zuströmbereich bis 2025.

Massnahmen des Phosphorprojekts: Seevertrag

Im Zo der drei Mittellandseen bewirtschaften 609 direktzahlungsberechtigte Betriebe total 11'378 ha Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN). Zusätzlich bewirtschaften 26 nicht direktzahlungsberechtigte Betriebe 245 ha LN. 80 % der direktzahlungsberechtigten Betriebe im Zuströmbereich nehmen am Seevertrag teil (Tabelle 5).

Tabelle 5 Kennzahlen zum Seevertrag nach Zuströmbereichen. Die folgenden Aussagen beziehen sich ausschliesslich auf direktzahlungsberechtigte Betriebe

	Zo Baldeggersee	Zo Hallwilersee	Zo Sempachersee
Landwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	4'853	2'402	4'123
Landwirtschaftliche Betriebe (n)	259	128	222
Betriebe mit Seevertrag (n)	231	107	150
Betriebe mit Seevertrag (%)	89	84	68
GVE / ha	2.49	1.88	2.36

In allen drei Zo der Mittellandseen hat die Teilnahme am Seevertrag, im Vergleich zu 2023, leicht zugenommen oder ist stabil geblieben.

Die Tierbestände sind im Zo der Mittellandseen immer noch hoch und haben sich im Vergleich zum Vorjahr (27'188 GVE) mit 27'018 GVE nur unwesentlich verändert. Der Tierbesatz liegt bei 2.32 GVE / ha LN.

Im Jahr 2024 wurden für die Erfüllung der Seevertragsanforderungen (keine Winterbrache, bauliche Anforderungen Gewässerschutz, Einschränkung Phosphordüngung), total CHF 748'639.- resp. CHF 79.- / ha LN an die Betriebe ausbezahlt.

Die maximal zulässige Phosphor-Düngung der Kulturen unter dem Bedarf wird differenziert nach Zuströmbereich. Dabei unterliegen die Betriebe im Zo des Baldeggersees einer maximalen Phosphorbedarfsdeckung von 80 % und die Betriebe im Zo des Sempacher- und Hallwilersees einer maximalen Phosphorbedarfsdeckung von 90 %.

Die durchschnittliche Phosphorbedarfsdeckung aller Betriebe mit Seevertrag betrug im Zo Baldeggersee 74 %, im Zo Hallwilersee 79 % und im Zo Sempachersee 79 %. Damit liegt die resultierende Phosphordeckung der Betriebe im Seevertrag teilweise deutlich unter den Mindestanforderungen gemäss Phosphorverordnung. Für die reduzierte Phosphordüngung wurden im Jahr 2024 CHF 1'680'182.- an die Betriebe ausbezahlt (zusätzlich zum Seevertrag oben).

Weitere einzelbetriebliche Massnahmen

Wasserrückhalt mit Retentionsweihern: Im Jahr 2024 wurden bei Retentionsweiher Lohn-Unterhaltsarbeiten durchgeführt. Dabei belaufen sich die totalen Kosten auf CHF 42'288.-.

Impulsbeitrag für Einkommensalternativen: Im Jahr 2024 wurde kein Gesuch für Einkommensalternativen gestellt.

Weitergehende Massnahmen: Seevertrag plus

Analog 2023 nahmen auch im Jahr 2024 neun Betriebe am Seevertrag plus teil. 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 die neun Betriebe zu den Ertragsunterschieden zwischen den Null-Phosphor-Parzellen und den Kontroll-Parzellen befragt. Mindestens fünf Betriebe stellten keinen offensichtlichen Unterschied zwischen den Erträgen der beiden Parzellen fest. Grundsätzlich wurden die diesjährigen Erträge auf den meisten Betrieben tendenziell als unterdurchschnittlich im Vergleich zu den Vorjahren beurteilt.

Im Rahmen des Seevertrags plus wurden 2024 total CHF 5'850.- entschädigt. Dabei bekamen die neun Betriebe den zusätzlichen Arbeitsaufwand, die zusätzlichen Düngerkosten wie auch die Lizenz von Barto entschädigt.

Fazit

Die Umsetzung des Phosphorprojektes Phase III ist auf Kurs.

Mit einer Beteiligung von 80 % ist die Anzahl teilnehmender Betriebe am Projekt weiterhin hoch. Zudem ist ersichtlich, dass die geforderte maximale Phosphorbedarfsdeckung teilweise deutlich unterschritten wird. Die Frage, ob das Ziel der 20 % Reduktion der P-Einträge in die Mittellandseen erreicht wird, kann (noch) nicht beantwortet werden.

Im Mai 2024 erhielt die Dienststelle Landwirtschaft und Wald den Projektauftrag zur Ausarbeitung des Phosphorprojektes Phase IV. Im Sommer und Herbst 2024 fanden dazu Besprechungen mit der Begleitgruppe statt. Die Begleitgruppe bestand aus den Bundesämtern für Umwelt (BAFU) und Landwirtschaft (BLW), den kantonalen Dienststellen Landwirtschaft und Wald (lawa) und Umwelt und Energie (uwe), dem Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung (BBZN), den Gemeindeverbänden, der Eawag, den landwirtschaftlichen Branchenvertretern Luzerner Bäuerinnen- und Bauernverband (LBV) und Interessengemeinschaft Mittellandseen sowie den Naturschutzorganisationen Pro Natura und WWF. Die Begleitgruppe kam zum Schluss, dass keine neuen (wissenschaftlichen) Erkenntnisse vorliegen, welche eine Überarbeitung des Projektes erfordern würden. Im Q1 2025 erfolgt die entsprechende Projekteingabe beim Bund. Der Entscheid zu einer beantragten Verordnungsanpassung bezüglich einer zusätzlichen Verminderung der Phosphorausbringung in der Landwirtschaft, erfolgt im Verlauf des Jahres durch den Regierungsrat.

7.3 Gewässerraum Kanton Luzern

Die Kantone müssen basierend auf dem Gewässerschutzgesetz (GSchG) und 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 2025 ist im Zuströmbereich der Mittellandseen in den Gemeinden Hitzkirch und Rain der Gewässerraum noch nicht festgelegt. In den Gemeinden Aesch, Eschenbach, Oberkirch und Ruswil ist der Zonenplan mit dem Gewässerraum öffentlich aufgelegt. In allen anderen Gemeinden im Zuströmbereich der Mittellandseen ist der Gewässerraum festgelegt.

7.4 Landwirtschaft Kanton Aargau

Seit Beendigung des interkantonalen Phosphorprojekts 2010 werden im Einzugsgebiet des Hallwilersees aktuell nur noch die Einzelmassnahmen «Direktsaaten von Wintergetreide» und «Begrünungen» sowie «Streifensaaten bei Mais» weitergeführt und mit kantonalen Beiträgen unterstützt. Die Förderung dieser Anbauverfahren reduziert die Bodenerosion nachweislich und somit auch mögliche Phosphorabschwemmung. Allerdings ist der Flächenumfang in den vergangenen zehn Jahren mit durchschnittlich je 25 Hektaren pro Jahr eher klein. Die Wirkung bezüglich Vermeidung von Phosphorabschwemmung ist daher vermutlich gering.

7.5 Gewässerraum Kanton Aargau

Seit 2017 schützt ein gesetzlich festgelegter Gewässerraum von 15 Metern Breite den Hallwilersee entlang des gesamten Uferbereichs. 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. Bei sechs von den zehn Gemeinden mit landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN) im Einzugsgebiet des Sees haben die Gewässerräume der Bäche aufgrund der jeweiligen kommunalen Nutzungsplanungen ebenfalls Rechtskraft erlangt. In diesen sechs Gemeinden

liegen knapp 750 der insgesamt rund 1'200 Hektaren LN im Einzugsgebiet. Entlang der Bäche ohne ausgeschiedene Gewässerräume und in den restlichen vier Gemeinden, in denen die Revision der Nutzungsplanung noch ausstehend ist, kommen zum Schutz der Bäche die Regelungen des Pufferstreifen-Merkblatts von Agridea¹³ zur Anwendung. Vom breiten Gewässer- raum direkt am See kann eine grosse und zusätzliche Schutzwirkung erwartet werden. Entlang der Bäche ist vermutlich vom bisherigen Schutzniveau auszugehen.

7.6 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

Das Projekt «ARA Seetal» hat zum Ziel, den gesamten Phosphoreintrag aus den ARA von den empfindlichen Baldegger- und Hallwilersee fernzuhalten. Die Realisierung ist auf Kurs und im Zeitplan. Alle für den jetzigen Zeitpunkt geplanten Meilensteine sind erreicht worden. Zudem bestätigen die fortgeschrittenen Projektarbeiten: Mit der ARA Seetal verringern sich die Kosten für die Abwasserreinigung bei allen beteiligten Gemeinden. Aus heutiger Sicht ist ein Baubeginn im Jahr 2028 realistisch, sodass die Inbetriebnahme im Jahr 2031 erfolgen kann.

Mit dem Gemeinschaftsprojekt ARA Seetal sollen 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 CHF 180 Mio. an einem Standort zu bündeln, damit Mensch und Umwelt davon über Generationen profitieren. Im Vergleich mit den einzelnen ARAs verringern sich die Gesamtkosten für die Abwasserreinigung um voraussichtlich CHF 1.6 Mio. pro Jahr.

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. Zudem werden in der neuen ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernt.

¹³ https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/1399_2_D.pdf?xet=1591329787508

Die für den Bau der neuen ARA Seetal erforderliche Richtplanänderung hat der Grosse Rat des Kantons Aargau im November 2023 beschlossen. Die notwendige Teilrevision der Bau- und Nutzungsordnung wurde im März 2024 von der Gemeindeversammlung Möriken-Wildegg einstimmig gutgeheissen. Für die benötigten Landflächen sind Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen erforderlich. Im Rahmen des Bauprojekts und der parallel durchzuführenden Hauptuntersuchung zur Umweltverträglichkeit werden die Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen aufgrund der dann vorliegenden detaillierten Datenlage konkretisiert. Als nächster Schritt der Planungsarbeiten ist das Hydraulikkonzept (Linienführung Abwasserkanäle, Rückhaltevolumen etc.) bis Juli 2025 vorgesehen. Um das Projekt weiter vorantreiben zu können, braucht es den Beitritt aller involvierten Luzerner Gemeinden zum erweiterten Abwasserverband Region Seetal. Die Abstimmungen darüber sollen im Herbst 2025 stattfinden. Die Verbandserweiterung ist für Januar 2026 geplant.

7.7 Siedlungsentwässerung Kanton Luzern

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.

Im Auftrag des Regierungsrates des Kantons Luzern sollen bis ins Jahr 2026 die Phosphoreinträge aus Regenentlastungen in die Gewässer der drei Luzerner Einzugsgebiete der Mittellandseen ermittelt werden.

Die Eawag untersuchte in den Jahren 2012-2013 Einleitungen und Zuflüsse zum Baldeggersee. Über 600 Proben von Einleitungen und Fliessgewässern wurden entnommen, analysiert und mit der Beurteilungsmethode des Bundes bewertet. In sieben Gemeinden wurden an über 50 Stellen zu hohe Werte an gelöstem Phosphor festgestellt. Die mit Phosphor belasteten Einleitungen stammen aus dem Siedlungsgebiet und dem ländlichen Raum. Die Massnahmen zur Sanierung der belasteten Einleitungen sind erst zu einem Teil umgesetzt und in den Gemeinden weiter voranzutreiben.

7.8 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-Bearbeitungen 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.

8 Seeinterne Massnahmen: Erneuerung der Seebelüftungen

Das Vorprojekt zur Erneuerung der seeinternen Anlagen in allen Mittellandseen wurde Ende 2023 abgeschlossen. Dieses hat aufgezeigt, dass sich das Regenerieren der alten Belüftungselemente (Fritten) grösstenteils nicht mehr lohnt. Die Arbeitsgruppe Erneuerung (AGERN) hat danach beschlossen, die Ausschreibung für neue Fritten und neue Diffusorensterne zu starten. Die Ausschreibung ist im April 2024 erfolgt, der Auftrag im Juli 2024 vergeben.

Für weitere Tests wurden 42 Fritten bestellt. Sobald diese eintreffen, werden sie getestet. Wenn die Tests positiv ausfallen, kann mit der Produktion der definitiven Fritten gestartet werden.

Für den Hallwilersee wird die Notwendigkeit eines Ersatzes der Diffusorensterne noch abgeklärt, da die Gestelle grundsätzlich noch intakt sind, aber verschiedene Mängel aufweisen.

Die Beschwerung der Druckluftleitungen im See, wird zu ersetzen sein, da sie infolge Materialverschleiss teilweise nicht mehr intakt ist. Es hat auch eine geknickte Druckluftleitung. Eine Sanierung oder der Ersatz werden geprüft.

Die Finanzierung der Erneuerung der Belüftungsanlagen ist durch die Kantone Luzern (Beitrag von max. 2 Mio. CHF) und Aargau (Finanzierungskredit) sichergestellt. Die AGERN ist für die Koordination der Beschaffung, Test und Einbau zuständig.

Am Hallwilersee wurde im 2024 die in die Jahre gekommene, landseitige Belüftungsanlage saniert, sodass für die Seebelüftung langfristig genügend saubere und trockene Druckluft zur Verfügung steht. Dazu wurde ein neuer Kompressor beschafft sowie die Druckluftaufbereitung und Verrohrung komplett erneuert.

9 Zusätzliche Untersuchungen

9.1 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die Mittellandseen

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

Die Messperiode gehörte 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 3.2, 4.2 und 5.2). Um eine breiter abgestützte Abschätzung der atmosphärischen Phosphordeposition auf die Mittellandseen zu erhalten, welche auch regenreichere Jahre umfasst, wurde die Untersuchung von Januar 2023 bis Januar 2025 wiederholt. Der Abschluss der Untersuchungen mit dem Schlussbericht ist für das erste Quartal 2025 geplant.

9.2 Organische Mikroverunreinigungen in den drei Seen

Seit 2020 werden organische Mikroverunreinigungen in Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee nach gemeinsamem Konzept untersucht. Zu den untersuchten Stoffen gehören eine Vielzahl an Pflanzenschutzmitteln, Arzneimitteln, Industriechemikalien usw. sowie deren Abbauprodukte.

Aktuell überschreitet in allen drei Seen nur das Abbauprodukt R471811 des Fungizids Chlorothalonil den Grenzwert von 0.1 Mikrogramm pro Liter (Abbildung 20). Die Messungen zeigen eine leicht rückläufige Tendenz dieses Abbauprodukts im Baldeggersee und im Sempachersee (2024: 0.27 resp. 0.13 µg/L). Im Hallwilersee schwanken die Konzentrationen im Bereich zwischen 0.2 und 0.3 µg/L, mit einem Wert 0.23 µg/L im 2024. Die konstanten Konzentrationen sind vermutlich auf die lange Aufenthaltszeit im See und den langsamen Abbau zurückzuführen.

Die gemessenen Konzentrationen des Abbauprodukts R471811 sind vergleichbar mit Resultaten aus anderen Seen im Mittelland¹⁴. Es wird seit 2020 auch in zahlreichen Grundwasserträgern des Mittellandes in erhöhten Konzentrationen gefunden. Aufgrund der gemessenen Konzentrationen der Chlorothalonil-Abbauprodukte sowie der weiteren untersuchten organischen

¹⁴ Minkowski et al. 2021: Chlorothalonil-Metaboliten in Berner Oberflächengewässern. AQUA & GAS No 6 [2021-chlorothalonil-metaboliten-in-berner-oberflaechengewassern-gbl-de \(2\).pdf](#)

Mikroverunreinigungen sind keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserlebewesen zu erwarten.

Seit Anfang 2020 ist die Anwendung von Chlorothalonil in der Schweiz verboten. Trotzdem können Rückstände von Chlorothalonil, die in den Böden vorhanden sind, weiterhin in den See gelangen.

Bis im Jahr 2024 wurden die organischen Mikroverunreinigungen in den drei Mittellandseen im März und Oktober untersucht. Ab 2026 werden die Untersuchungen in gemeinsamer Abstimmung nur noch im März und alle zwei Jahre wiederholt (gemäss Beschluss ASSAN 2024). Bei jeder Probenahme werden Proben aus drei unterschiedlichen Tiefen von der Wasseroberfläche bis zum Tiefenwasser entnommen und wie bisher auf maximal 140 Stoffe in Baldegger- und Sempachersee, respektive 370 Stoffe im Hallwilersee analysiert.

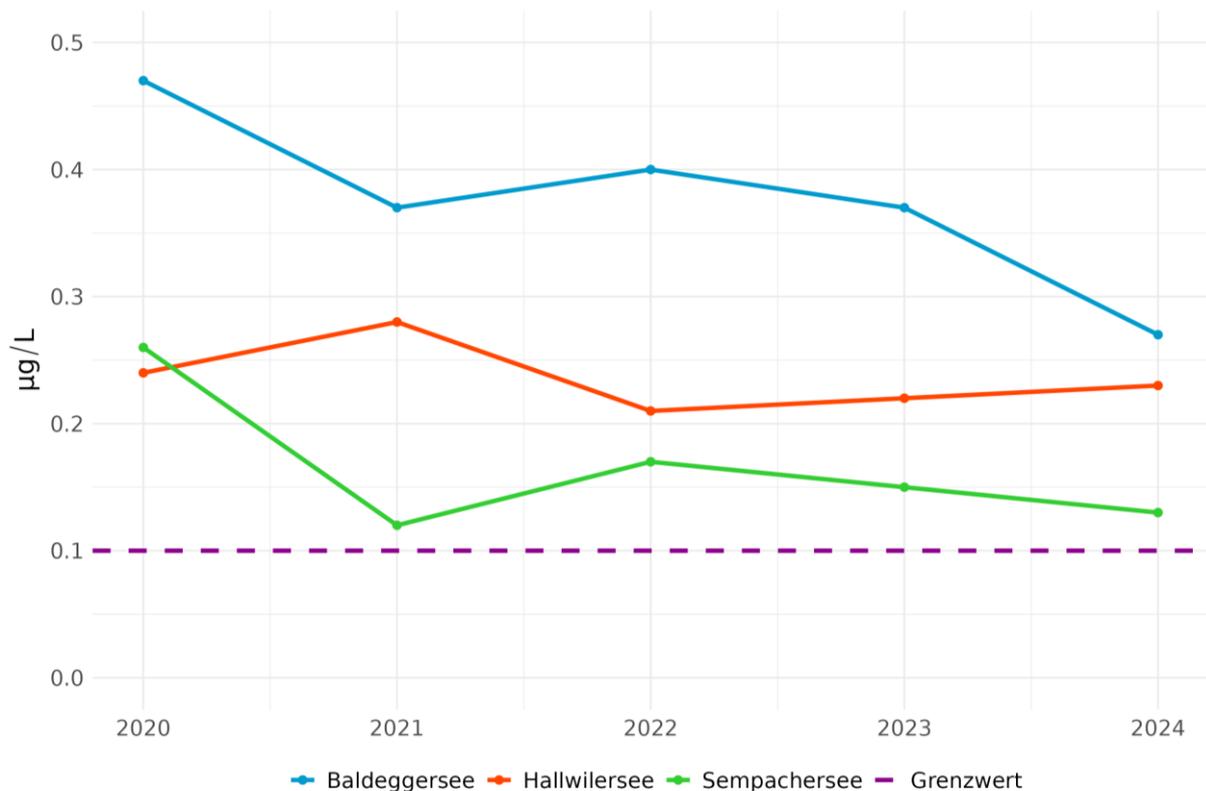


Abbildung 20 Konzentrationen des Chlorothalonil Metaboliten R471811 (µg/L) bei vollständiger Mischung im März in jedem der drei Mittellandseen in den Jahren 2020 bis 2024

9.3 Neobiota

Ausgangslage

Die Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) ist eine aus dem Schwarzmeerraum stammende Süsswassermuschel. Sie breitet sich seit 2014 in den grossen Seen und Fließgewässern aus und wurde 2024 neu auch im Zürichsee, Zugersee und Vierwaldstättersee 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. das Schmalrohr, 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 Freisetzung von Aquarien- oder Gartenteichtieren und -pflanzen sowie 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.

In den Zentralschweizer Kantonen (inklusive Luzern) und im Kanton Bern wurde 2024 eine Schiffsmelde- und Reinigungspflicht (SMRP) eingeführt. Im Kanton Luzern wurde zudem ab Dezember 2024 für den Baldeggersee, Sempachersee und Rotsee ein Einwasserungsverbot für alle kennzeichnungspflichtigen Schiffe, welche nicht am jeweiligen See immatrikuliert sind, eingeführt. Das Einwassern von nicht am Hallwilersee immatrikulierten zeichnungspflichtigen Schiffen ist - unabhängig von der Neobiota-Thematik - nur in wenigen Ausnahmefällen erlaubt.

Die Plakatkampagne «Achtung blinde Passagiere» informierte Bootsbesitzende, WassersportlerInnen, TaucherInnen, FischerInnen und andere Nutzende der Seen über die Gefahren aquatischer invasiver Arten und gibt Handlungsempfehlungen, um deren Verschleppung zu vermeiden. Die Plakate wurden im 2024 zwischen den Deutschschweizer Kantonen bezüglich Layout und Inhalt harmonisiert. Die Informationskampagne von 2023 zum Thema «Kein Freisetzen von Neobiota aus Gartenteichen und Aquarien» wurde im Jahr 2024 in Zusammenarbeit mit 20 Kantonen wiederholt.