

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 2026 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)

Eawag- das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs

Genehmigt mit Ergänzungen von der ASSAN am 1.4.2026,
bereinigt AfU AG, uwe LU 17.04.2026.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Ziele der Seesanieung	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	10
3.4 Algenwachstum	11
3.5 Sauerstoffverhältnisse im See	12
3.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	13
3.7 Naturverlaichung der Felchen	14
3.8 Fischbestand	14
4 Zustand Hallwilersee	15
4.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	15
4.2 Phosphoreinträge	16
4.3 Phosphorkonzentration im See	17
4.4 Algenwachstum	18
4.5 Sauerstoffverhältnisse im See	19
4.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	21
4.7 Besiedlung der Sedimente im Hallwilersee	21
4.8 Naturverlaichung der Felchen	22
4.9 Fischbestand	24
5 Zustand Sempachersee	25
5.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele	25
5.2 Phosphoreinträge	25
5.3 Phosphorkonzentration im See	27
5.4 Algenwachstum	28
5.5 Sauerstoffverhältnisse im See	29
5.6 Sauerstoffeintrag mittels künstlicher Belüftung	30
5.7 Naturverlaichung der Felchen	31
5.8 Fischbestand	31
6 Klimateffekte auf die Mittellandseen	32
7 Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge	34
7.1 Massnahmen Landwirtschaft	34
7.2 Landwirtschaft Kanton Luzern: Phosphorprojekt und -verordnung	34
7.3 Gewässerraum Kanton Luzern	36
7.4 Landwirtschaft Kanton Aargau	37
7.5 Gewässerraum Kanton Aargau	37
7.6 Massnahmen Siedlungsentwässerung	38
7.7 Siedlungsentwässerung Kanton Luzern	39
7.8 Siedlungsentwässerung Kanton Aargau	39
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	44

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 durch den Klimawandel die winterlichen Zirkulationsphasen in den Mittellandseen kürzer werden und die Seen somit weniger Sauerstoff aufnehmen.

Die neuesten Daten zu den Phosphoreinträgen sind für das Jahr 2024 verfügbar. Die Einträge waren 2024 im langjährigen Vergleich sehr hoch, sodass die tolerierbare Menge für alle drei Seen, Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee, deutlich überschritten wurde. Ursache für die gestiegenen Phosphoreinträge waren die hohen Niederschlagsmengen, die zu sehr hohen Abflüssen und somit höheren Phosphormengen in den Zuflüssen führten. Wegen den höheren Phosphoreinträgen wurden auch die angestrebten Phosphorkonzentrationen in den Seen überschritten. 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 im Jahr 2025 war auch die Algenbiomasse zu hoch, wie schon in den Vorjahren. Erst ab einer höchstens mittleren Algenproduktion können die Seen langfristig gesund sein. 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. Im Sempachersee konnte das Sanierungsziel von mind. 1 mg/l an der tiefsten Stelle erreicht werden. Im Hallwilersee sank die Sauerstoffkonzentration 2025 deutlich und im Baldeggersee knapp unter das Sanierungsziel von 1 mg/L am Seegrund. 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 in den letzten Jahrzehnten jedoch so weit verbessert, dass

Fischnährtiere (Würmer und Mückenlarven) das Sediment bis zu den tiefsten Stellen des Sees bevölkern (Untersuchungen 1985 bis 2023).

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 Projektphase III des Luzerner Phosphorprojektes, die im Jahr 2025 abgeschlossen wurde, soll der Phosphoreintrag, der von den landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Seen stammt, gegenüber der Phase II um 20 % sinken. Um die Zielwerte der maximalen Phosphoreinträge in die Seen bis 2035 zu erreichen, müssen die Phosphorprojekte weitergeführt werden. Ab 2026 läuft das Phosphorprojekt mit der Phase IV weiter – in den Grundzügen unverändert.

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 werden aktuell in allen drei Seen erneuert. Der Bedarf, mittels Belüftung den Lebensraum im Tiefenwasser der Seen zu verbessern und die Sedimente zu sanieren, besteht langfristig.

Die ASSAN hat von 2019 bis 2024 begleitend zu den See-Daueruntersuchungen Projekte initiiert und durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde die Phosphormenge, die über die Atmosphäre in den See gelangt, untersucht, um eine breitere Datenbasis zu erhalten. Bezüglich Mikroverunreinigungen wurden die Analysen weitergeführt. Der Grenzwert von 0.1 Mikrogramm pro Liter des Abbauproduktes R471811 des Fungizids Chlorothalonil gilt nur für Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen, und ist in allen drei Seen überschritten. Allerdings wird der Sempachersee zur Trinkwassergewinnung genutzt. Im Hallwilersee ist eine solche geplant. Ansonsten überschritten keine der untersuchten Substanzen ihre Grenzwerte. Hinsichtlich Trinkwassernutzung werden insbesondere die Abbauprodukte des Fungizids Chlorothalonil ab 2026 weiterhin alle 2 Jahre untersucht.

Um die Einschleppung invasiver gebietsfremder Arten, vor allem der Quaggamuschel, zu verhindern, wurde im Hallwilersee 2021 eine Schiffsreinigungspflicht mit entsprechenden Kontrollen eingeführt. Die Quaggamuschel konnte bis 2025 im Hallwilersee nicht nachgewiesen werden. Im Kanton Luzern gilt seit 2024 ebenfalls eine Schiffsmelde- und Reinigungspflicht, die per 1.4. 2026 in der neuen Schiffsmelde- und Reinigungsverordnung (SRL Nr. 787a) verankert wurde. Diese Regelung ersetzt das Einwasserungsverbot, das ab Dezember 2024 für den Baldegger- und Sempachersee galt.

1 Ziele der Seesanieung

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 Seesanieung (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 Burgunderblotalgen 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 Seesanieung zusammen. Die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern resp. die Abteilung für Umwelt (AfU) des Kantons Aargau erheben die Daten systematisch seit den 1980er Jahren. Der Bericht enthält soweit möglich die aufbereiteten Daten des Vorjahres 2025. Für die berechneten Phosphoreinträge (Frachtberechnungen) werden die Kennzahlen für das Jahr 2024 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/themen/umwelt-natur/wasser-gewaesser/oberflaechengewaesser/hallwilersee>

3 Zustand Baldeggersee

3.1 Zusammenfassung und Stand Erreichung der Sanierungsziele

Die Sanierungsziele wurden in den Bezugsjahren 2024 resp. 2025 nicht erreicht (Tabelle 2). Aufgrund der zweithöchsten Zuflussmenge seit 1986 resultierte 2024 ein noch höherer Phosphoreintrag als ein Jahr zuvor. Damit wurde der Zielwert deutlich überschritten. 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 2025 zu hoch. Der Abbau der abgestorbenen Algen sowie die zu geringe Menge an künstlich eingetragenem Reinsauerstoff führten dazu, dass die Minimumkonzentration an Sauerstoff im Oktober 2025 an der tiefsten Stelle 0.7 mg/L betrug. Somit konnte ein sauerstoffloser Zustand knapp verhindert werden. Der See muss auch in Zukunft weiterhin belüftet werden. Mit der Erneuerung der Belüftungsanlage sollte eine höhere Sauerstoffkonzentrationen erreicht werden können.

Tabelle 2 Baldeggersee: Stand Erreichung der Sanierungsziele

Zielebene	Sanierungsziel	Stand	Beurteilung	Zeitbezug
Phosphoreintrag ¹	< 2.2 t/Jahr	4.7 t	nicht erreicht	2024
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	23 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2025
Algenproduktion ³	Höchstens mittel; starker Rückgang Burgunderblutalgen gegenüber 2019	Sehr hoch; kein Rückgang	nicht erreicht	2025
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	3.3 mg/L 0.7 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht nicht erreicht trotz künstlicher Belüftung	Herbst 2025
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchen-Population sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2025

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

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 2024 betrug der Phosphoreintrag in den Baldeggersee 4.7 Tonnen (

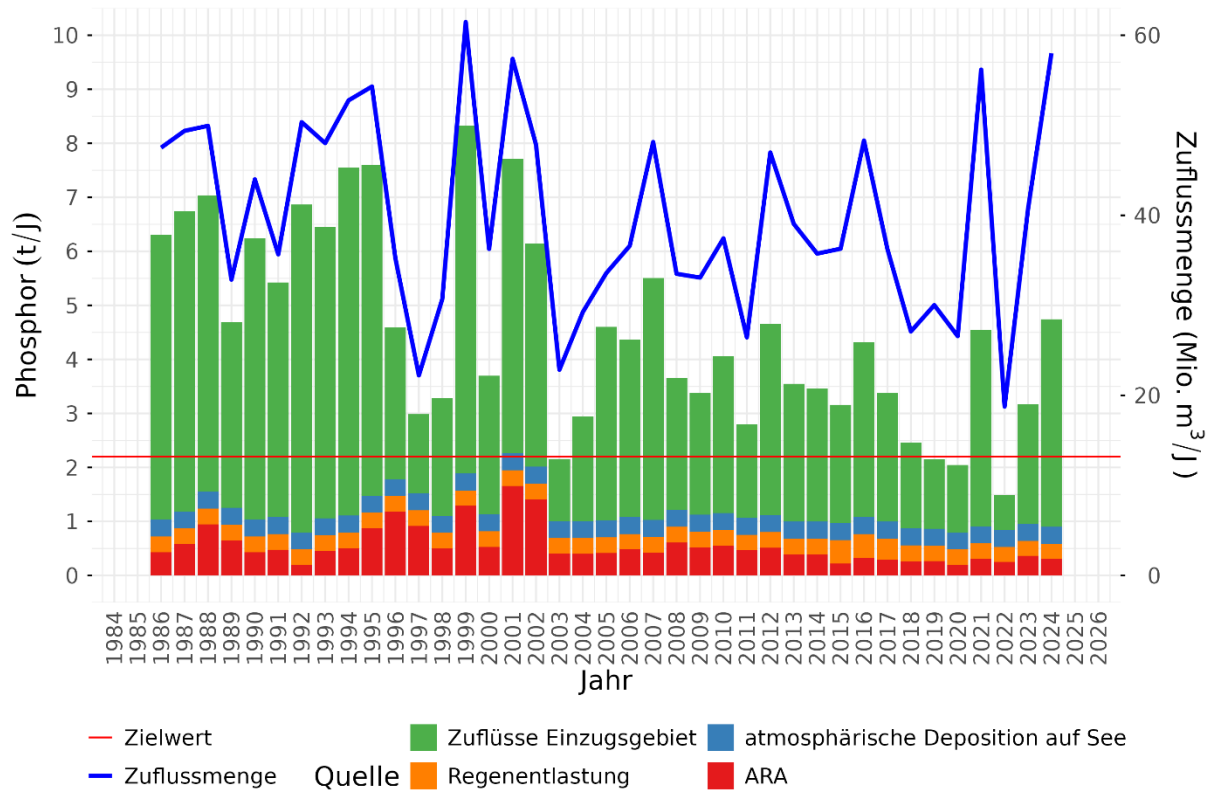


Abbildung 2). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Zuflussmengen zurückzuführen, die von den Niederschlagsmengen abhängen. Nach dem Jahr 2023 mit einer durchschnittlichen Zuflussmenge brachte das Jahr 2024 die seit Messbeginn zweitgrößte Zuflussmenge. Daher wurde beim Phosphoreintrag 2024 der Zielwert um mehr als das Doppelte überschritten. Der Phosphoreintrag aus der ARA Hochdorf über die Ron in den Baldeggersee war etwas tiefer als 2023. Ein konstanter Wert von jährlich 0.3 Tonnen Phosphor wird über die atmosphärische Deposition auf die Seeoberfläche eingetragen, wie die aktuellen Untersuchungen von 2023 und 2024 zeigten (siehe Kap. 9.1 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die Mittellandseen).

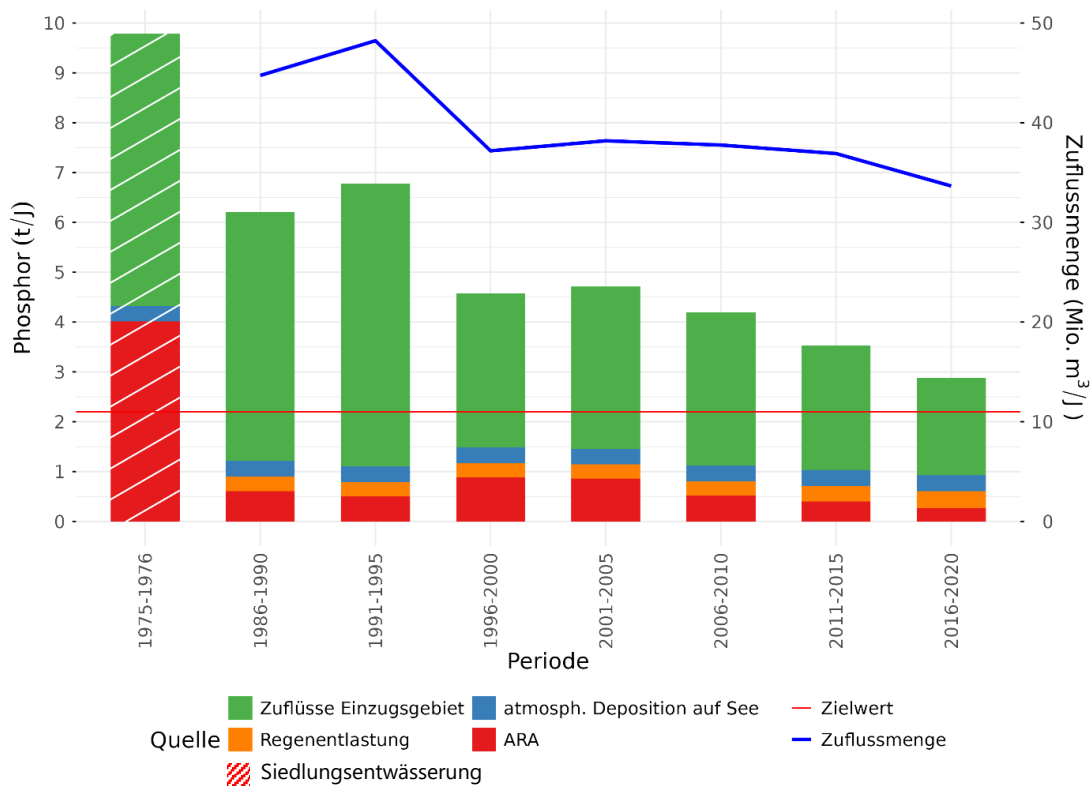


Abbildung 1 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden (Zweijahresperiode 1975–1976 schraffiert dargestellt) in den Baldeggersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

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

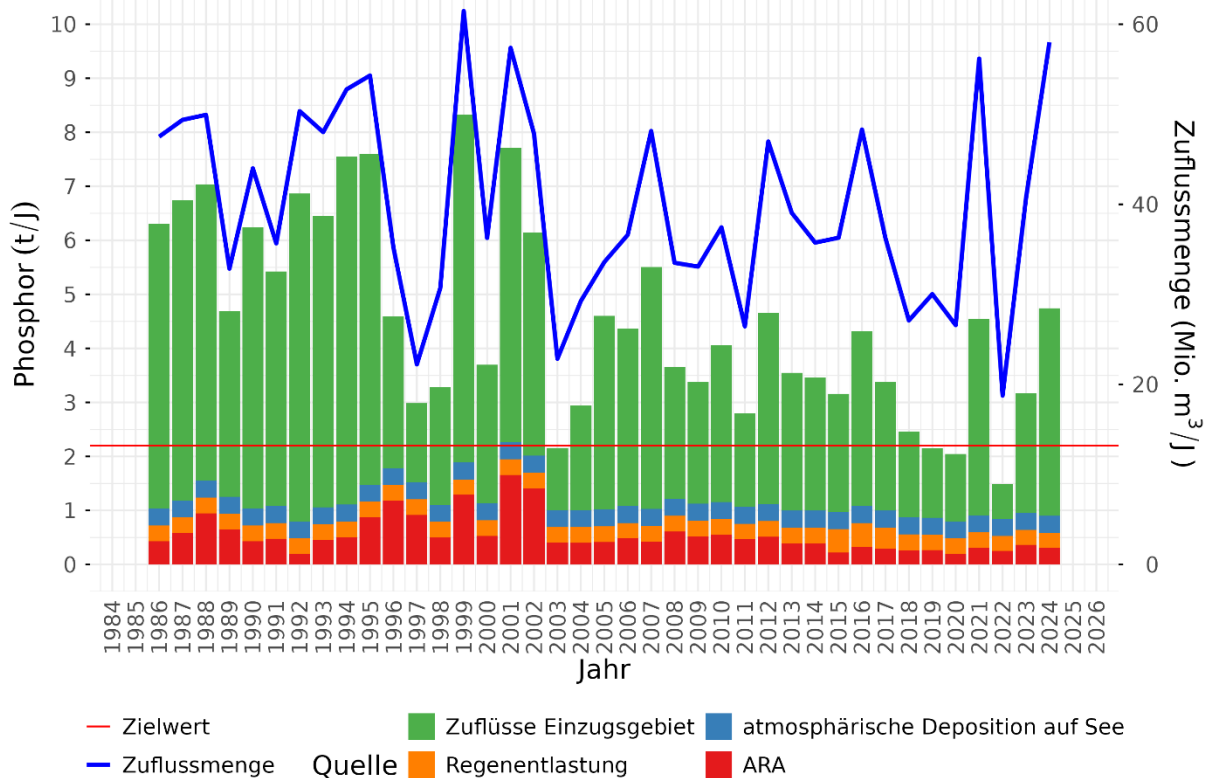


Abbildung 2 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Baldeggersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.2 Tonnen Phosphor pro Jahr

3.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2025 wurden 23 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (2024: $19 \text{ mg}/\text{m}^3$, 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.

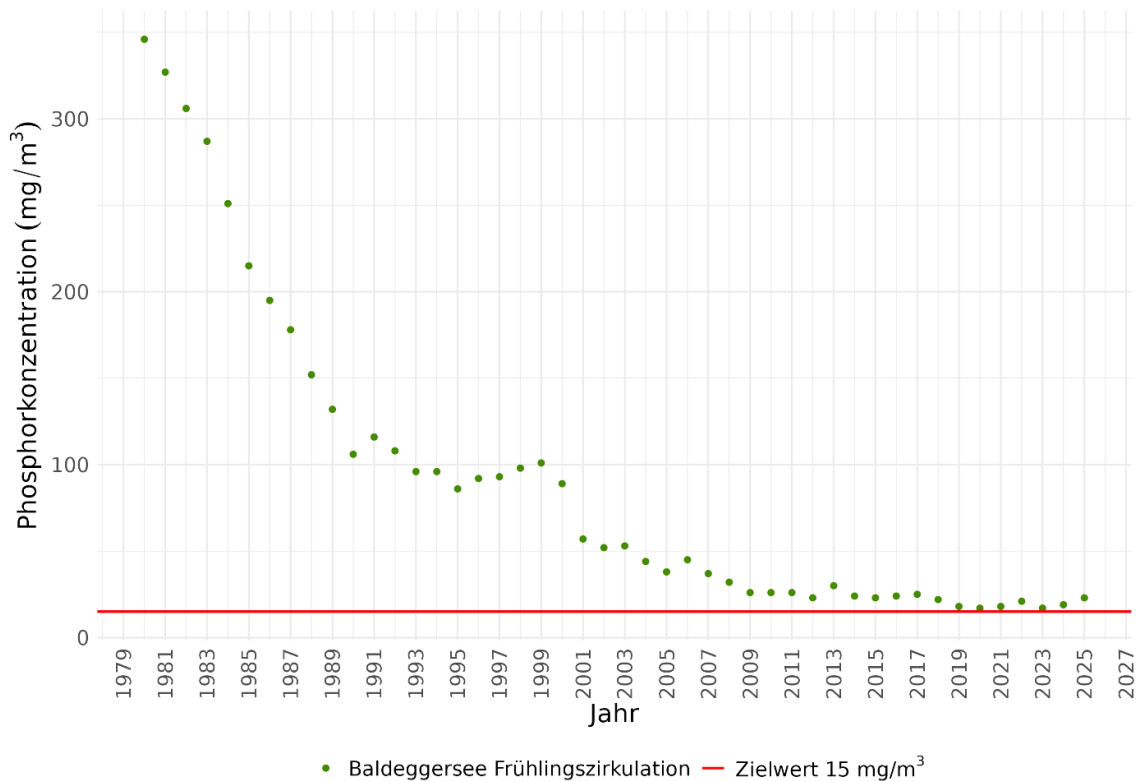
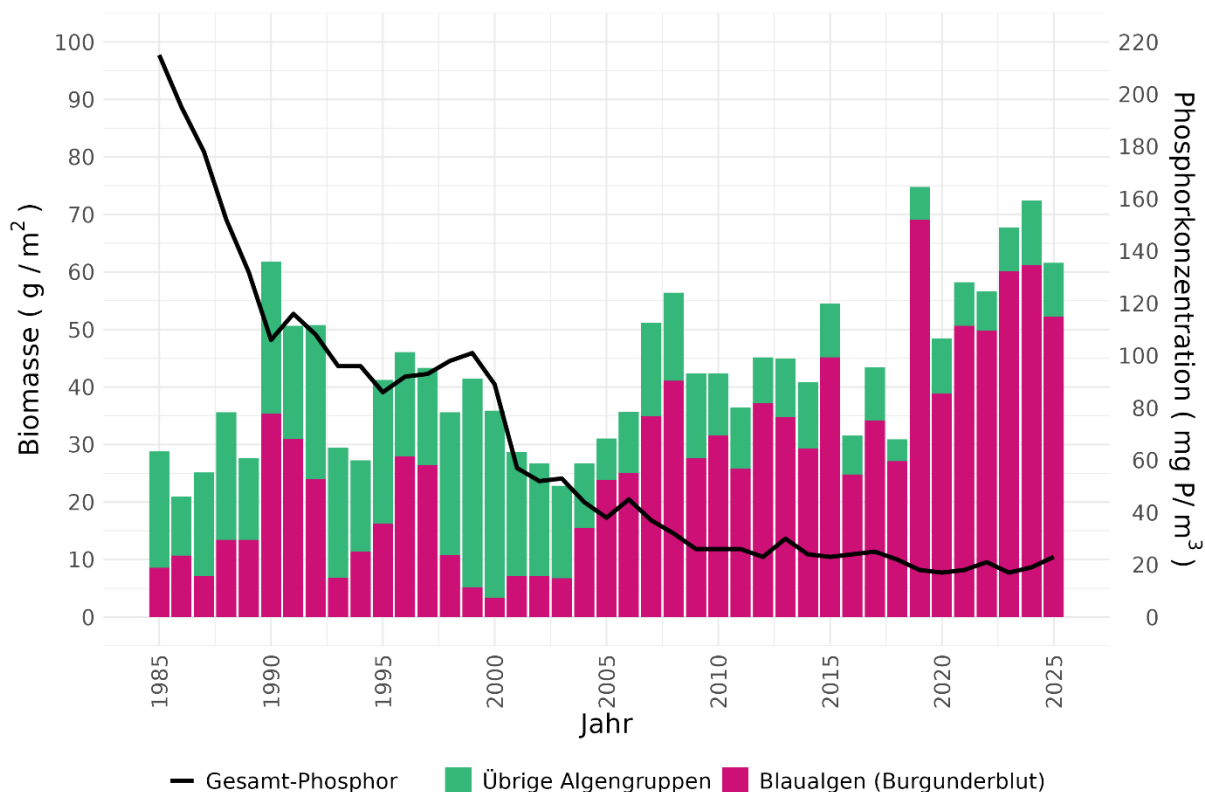


Abbildung 3 Phosphorkonzentration im Baldeggersee für die Jahre 1980 bis 2025 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 65 m

3.4 Algenwachstum

Seit 2018 wird ein Anstieg der Algenbiomasse beobachtet, der sich in den letzten drei Jahren bei ca. 60 bis 70 Gramm pro Quadratmeter eingependelt hat (Abbildung 4). Über 80% der Algenbiomasse sind Cyanobakterien (umgangssprachlich Blaualgen, hauptsächlich Burgunderblutalgen). Im Jahr 2025 resultierte eine im Vergleich zum Vorjahr tiefere, jedoch sehr hohe Biomasse von 62 g/m². Das Ziel einer höchstens mittleren Algenproduktion wurde nicht erreicht. Ebenso wurde das zweite Ziel, ein starker Rückgang der Burgunderblutalgen zu 2019, nicht erreicht. Die Burgunderblutalgen scheinen ideale Wachstumsbedingungen 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 den Zielwert von 15 mg/m³ unterschreitet.

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



**Abbildung 4 Biomasse der Blaualgen (hauptsächlich Burgunderblutalge) und der übrigen Algen-
gruppen im Baldeggersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2025
(Wassertiefe 0 bis 15 m)**

3.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel von August bis Dezember 2025 für ca. fünf Monate unter die gesetzliche Anforderung von 4 Milligramm pro Liter (mg/L, Abbildung 5). Im Oktober 2025 erreichte die Konzentration 0.7 mg/L. Kurzzeitig 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 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.

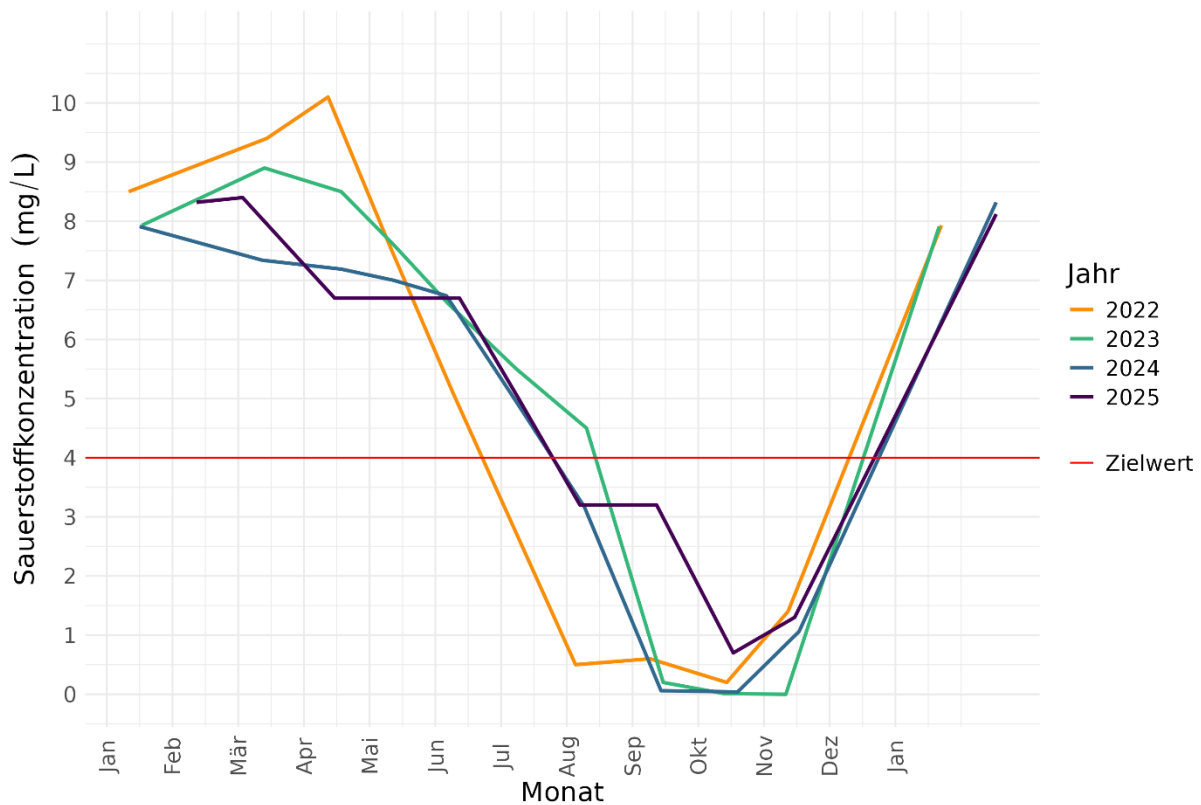


Abbildung 5 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle des Baldeggersee (65 m) im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

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 2025 von anfangs April bis anfangs November. So wurde der Baldeggersee im Jahr 2025 mit insgesamt 428 Tonnen Reinsauerstoff belüftet. Im Vorjahr betrug die Menge 501 Tonnen. Die vom zuständigen Gemeindeverband Baldegger-/Hallwilersee (GVBH) für 2025 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. Um den Baldeggersee auch in Zukunft ausreichend belüften zu können, müssen die seeinternen Anlagen erneuert werden (siehe Kapitel 8).

3.7 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.

3.8 Fischbestand

Mit den standardisierten Befischungen nach der Proje Lac-Methode im Herbst 2023 wurden 15 Fischarten nachgewiesen. Die negativen Auswirkungen der Eutrophierung wurden im Laufe des 20. Jahrhunderts durch eine Verbesserung der Wasserqualität, insbesondere durch eine stark verringerte Nährstoffzufuhr, deutlich verbessert. So konnten im Rahmen der Befischung Fische bis in Tiefen von 50 Metern nachgewiesen werden. Die tiefsten Stellen des Sees und ein Bereich zwischen 12-25 Metern im Metalimnion werden aber nach wie vor von Fischen gemieden. Die Fischartenzusammensetzung kann jedoch nicht als naturnah bezeichnet werden. Felchen überleben heute im See mit grosser Wahrscheinlichkeit wegen den getätigten Besatzmassnahmen und der künstlichen Belüftung. Zudem kommen standortfremde Fischarten im See zahlreich vor. Insgesamt ist der fischökologische Zustand des Sees deshalb als mässig beeinträchtigt einzustufen, dies auch wegen dem Fehlen von Fischen in sauerstofffreien Tiefenbereichen³.

Die jährlichen Fangträge der Angelfischer sowie Berufsfischerinnen und Berufsfischer sind in der Fischfangstatistik zusammengetragen und online einsehbar⁴.

³ Bericht Proje 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 2024 resp. 2025 nicht erreicht (Tabelle 3). Aufgrund der wieder höheren Zuflussmenge gegenüber den Vorjahren überschritt der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 2024 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	3.8 t	nicht erreicht	2024
Phosphorkonzentration ²	< 10 mg/m ³	16 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2025
Algenproduktion ³	Höchstens mittlere Algenproduktion; starker Rückgang Burgunderblutalgen gegenüber 2019	Hoch	nicht erreicht	2025
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	1.2 mg/L; 0.1 mg/L (Minimalwert)	nicht erreicht nicht erreicht trotz künstlicher Belüftung	Herbst 2025
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchenpopulation sind gewährleistet	Nicht gewährleistet	nicht erreicht	2025

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

Infolge der zu hohen Phosphorkonzentrationen war die Algenproduktion 2024 und auch 2025 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 September bis November 2025 trotz Belüftung mit Druckluft nicht verhindert werden konnte. Da die saisonale Sauerstoffarmut mittelfristig andauern wird, muss der See auch in Zukunft weiterhin belüftet werden.

4.2 Phosphoreinträge

Im Mittel der 5-Jahresperiode 2020-2024 gelangte mit rund 3 Tonnen pro Jahr zu viel Phosphor in den Hallwilersee. Dieser Wert ist aufgrund der sehr nassen Jahre 2021, 2023 und 2024 in dieser Periode deutlich höher als in der vorherigen 5-Jahresperiode 2014–2018 (2.4 Tonnen pro Jahr, Abbildung 6).

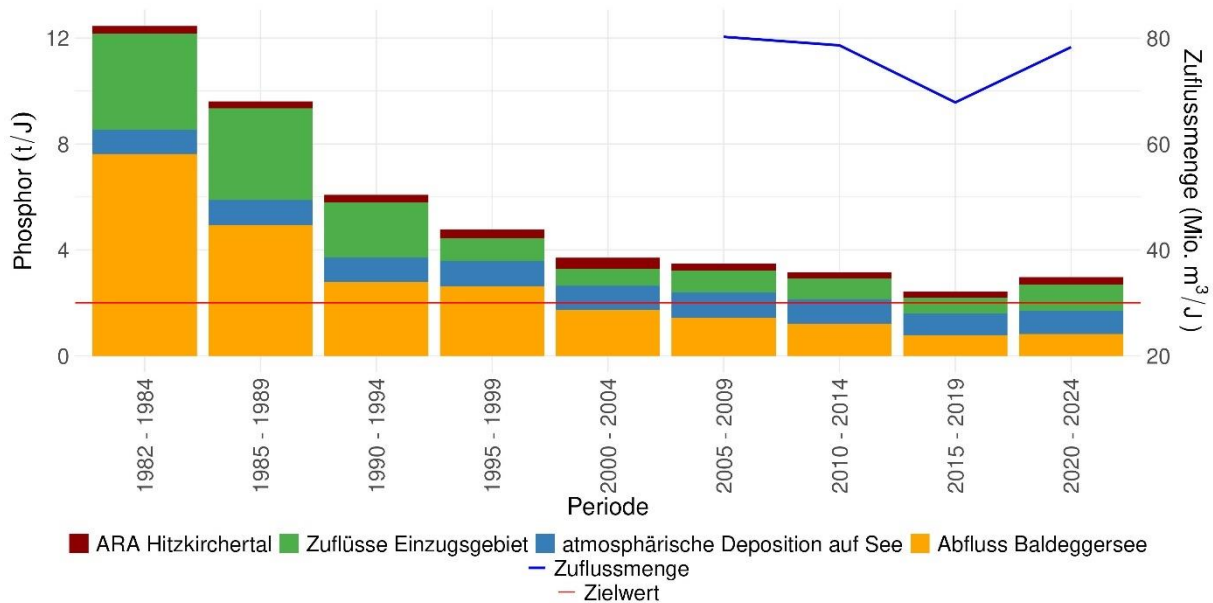


Abbildung 6 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

Im Jahr 2024 betrug der Phosphoreintrag in den Hallwilersee 3.8 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 folgten 2023 und 2024 wieder zwei sehr niederschlagsreiche Jahre.

Ein erheblicher Anteil des Phosphoreintrags stammt mit rund 0.8 Tonnen pro Jahr nach wie vor aus dem Baldeggersee-Zufluss (Periode 2020-2024). Mit insgesamt rund 1 Tonne pro Jahr machen die beiden Einträge aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen und den Entlastungen der Siedlungsentwässerung in die Zuflüsse im direkten Einzugsgebiet des Sees (Kantone Aar-

gau und Luzern) den grössten Anteil aus. Bemerkenswert für den Hallwilersee ist auch der konstant hohe Anteil der direkten Deposition aus der Luft auf die Seeoberfläche von jährlich 0.7 Tonnen pro Jahr (siehe auch Kapitel 9.1 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die Mittellandseen). Auch der Anteil aus der Kläranlage Hitzkirchertal ist mit 0.3 Tonnen in der Periode 2020-2024 wieder leicht höher als in der Vorperiode.

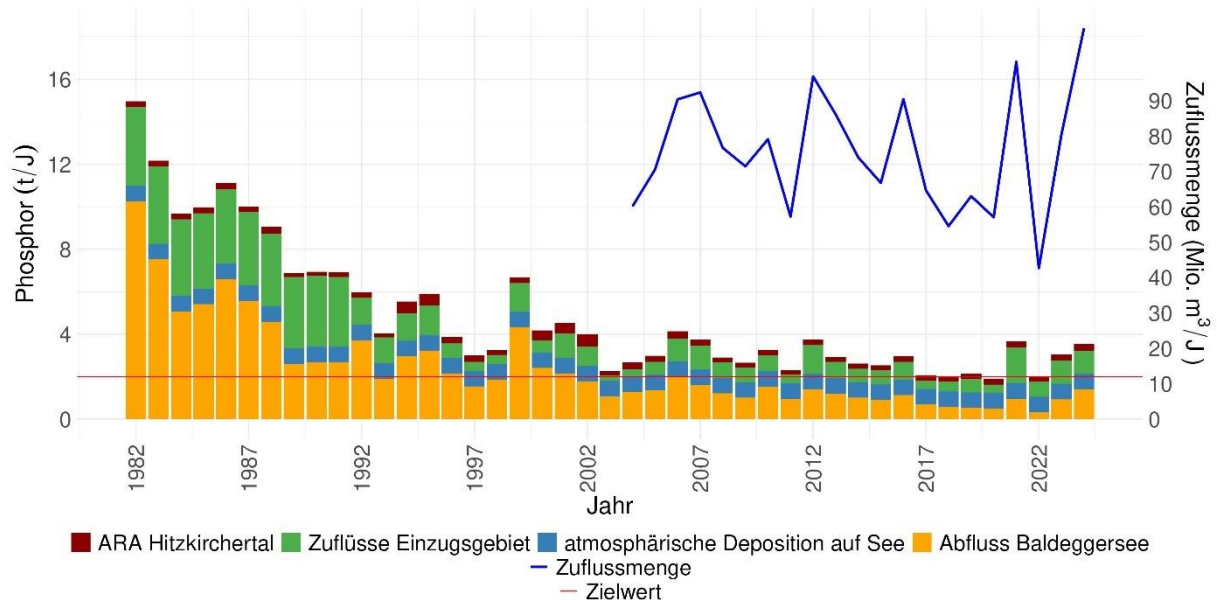


Abbildung 7 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Hallwilersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 2.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

4.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2025 wurden 16 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (Abbildung 8). Der Zielwert von $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ wird nicht erreicht. Die deutlich geringere Phosphorkonzentration im Jahr 2025 dürfte durch die deutlich geringeren Niederschläge ab dem Spätsommer 2024 und dem damit kleineren Phosphoreintrag begründet sein.

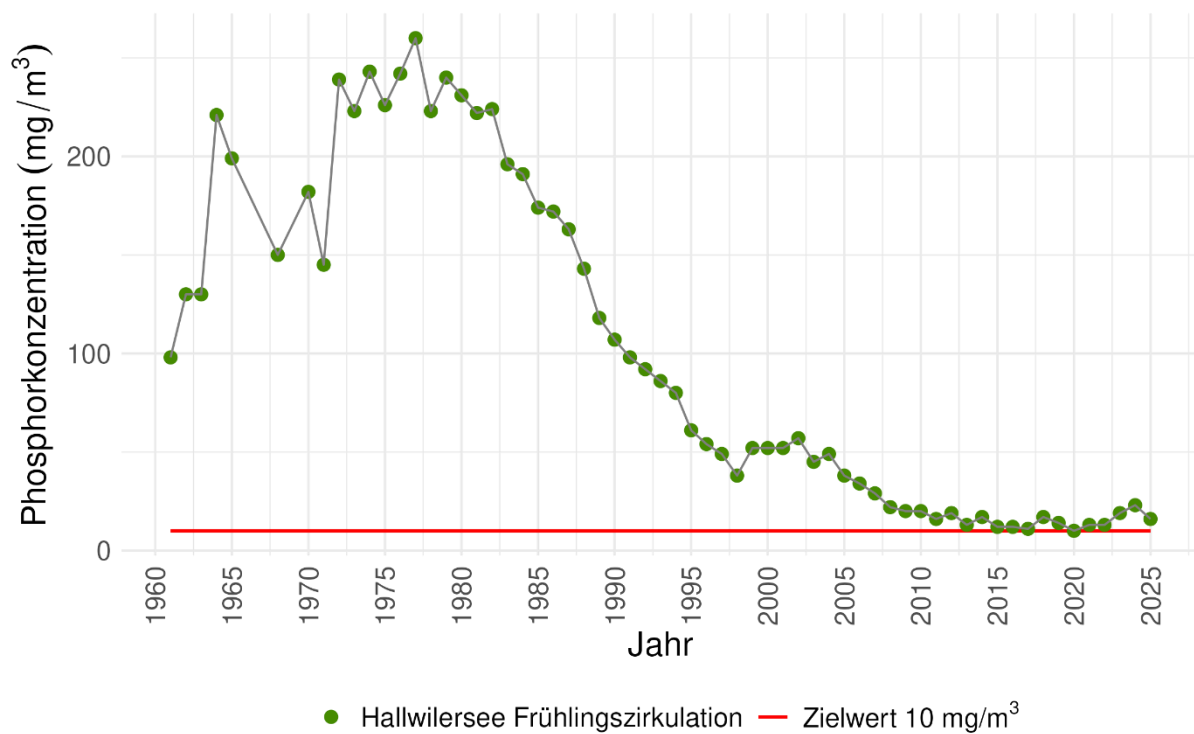


Abbildung 8 Phosphorkonzentration im Hallwilersee für die Jahre 1980 bis 2025 (Mittelwert während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 45 m)

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. Mit der weiteren Reduktion des Phosphorgehaltes ging ihr Wachstum wieder etwas zurück. Ein weiterer Rückgang ist anzustreben. Die übrigen Algengruppen machen weiterhin einen eher kleinen Anteil der Gesamt-Algenpopulation aus. Seit 2015 schwankt die Gesamt-Algenbiomasse zwischen 15 und 30 g/m², wobei diese vor allem durch die Burgunderblutalge bestimmt wird.

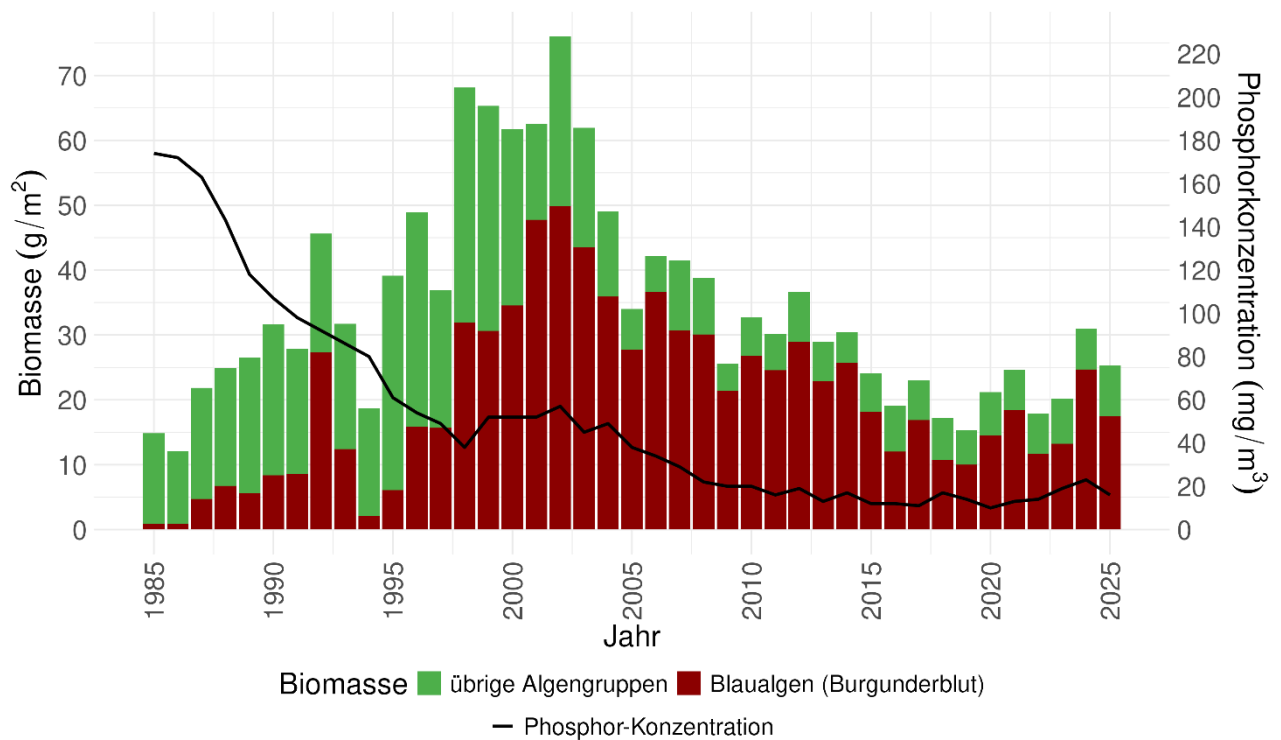


Abbildung 9 Biomasse der wichtigsten Algengruppen im Hallwilersee sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2025 (Wassertiefe 0 bis 13 m)

4.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel während rund drei Monaten (September bis November) unter das Sanierungsziel von 1 mg/L (Abbildung 10). Im Tiefenwasser sank die Sauerstoffkonzentration im Spätsommer 2025 für vier Monate unter den Zielwert von 4 mg/L (Abbildung 11). Im Oktober 2025 erreichte die durchschnittliche Konzentration im Tiefenwasser 1.2 mg/L und somit wieder einen besseren Wert als noch 2024 mit 0.4 mg/L.

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.

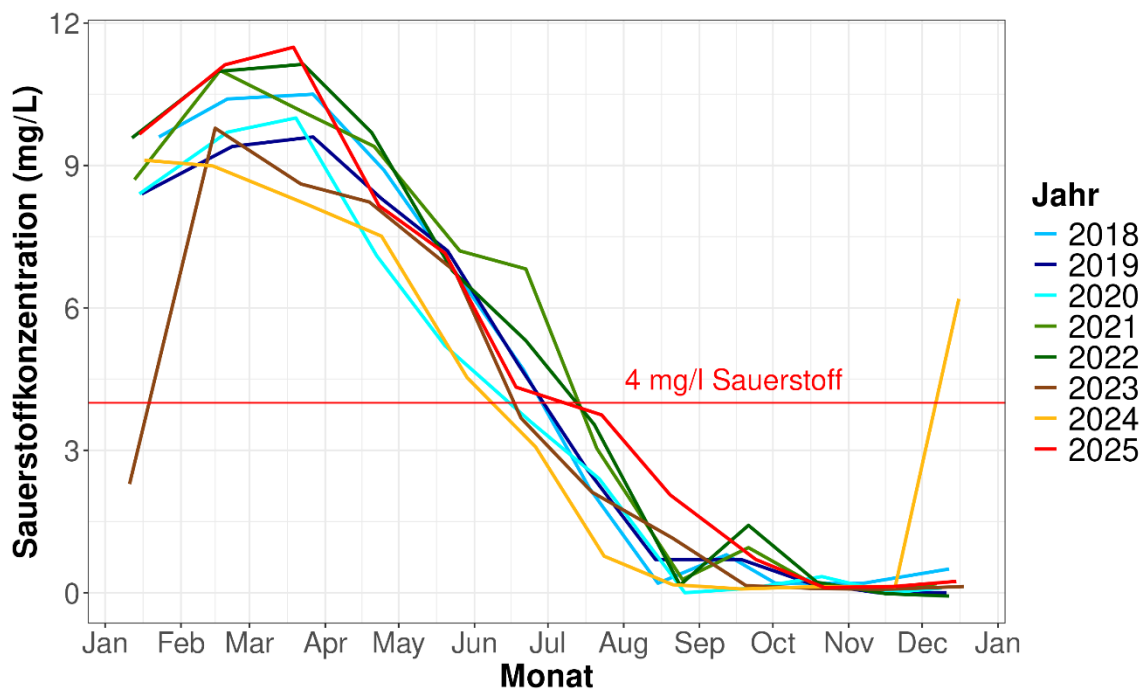


Abbildung 10 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle im Jahresverlauf im Hallwilersee für die Jahre 2017 bis 2025, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

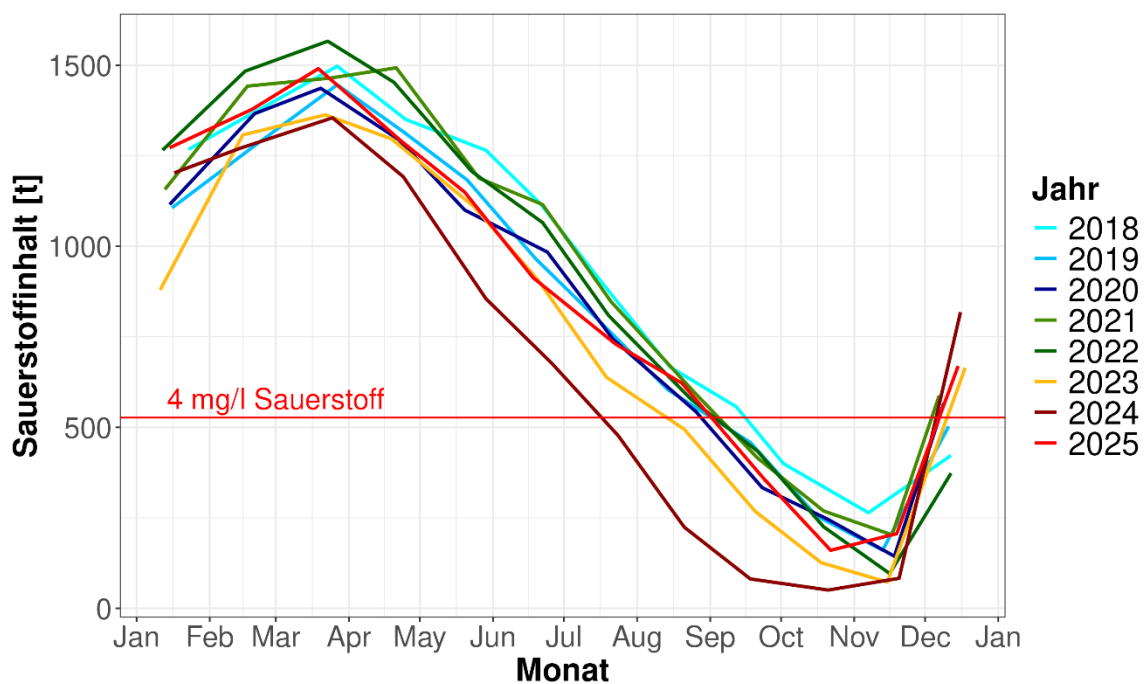


Abbildung 11 Jahresverlauf des mittleren Sauerstoffinhalts im Tiefenwasser (17.5 – 46 m) im Hallwilersee für die Jahre 2017 bis 2025, in welchen im Sommer nur noch mit Druckluft belüftet wurde

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 2025 im Sommerbetrieb rund 203 Tonnen Sauerstoff ins Tiefenwasser des Sees eingetragen. Im Jahr 2025 wurden somit wieder fast 80 Tonnen Sauerstoff mehr eingetragen als im Vorjahr. Weil sich die Schichtung des Sees bereits Mitte März einstellte, wurde früher als sonst auf die feinblasige Belüftung umgeschaltet. Zudem wurde fast über den ganzen Sommer im 24 Stundenbetrieb belüftet, während früher in den heissesten Monaten Juli und August auf den 11h-Nachtbetrieb zurückgefahren wurde. 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. 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

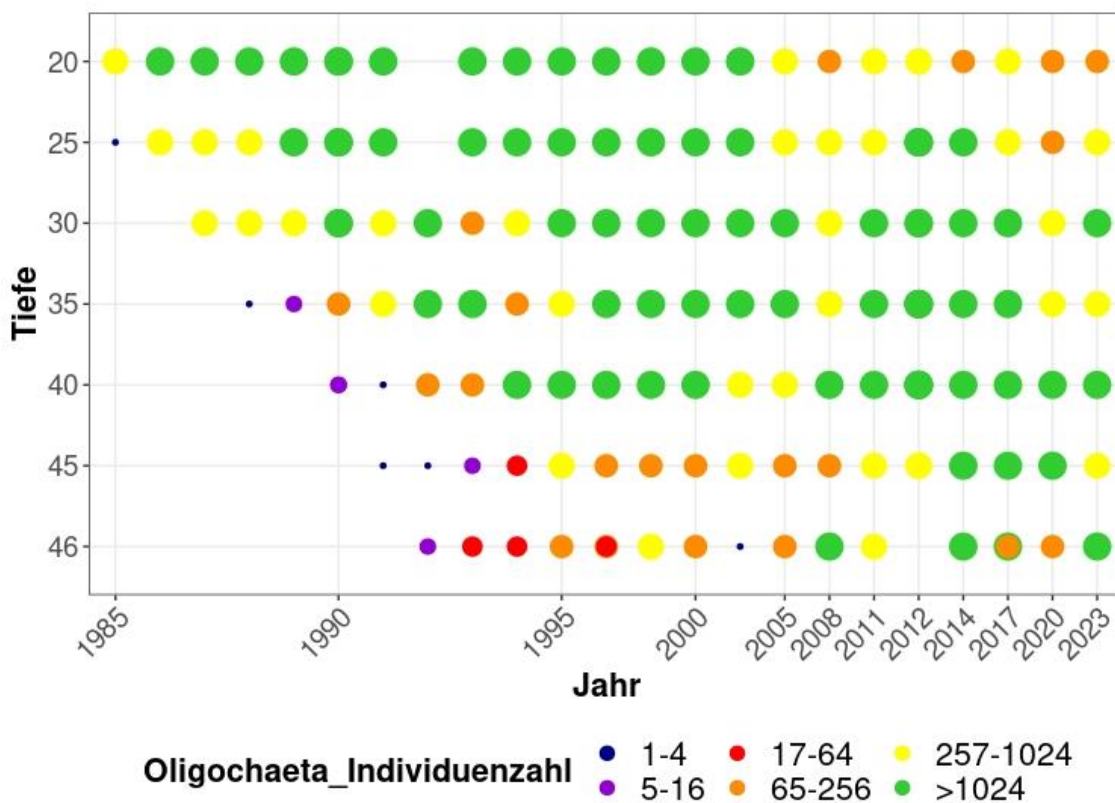


Abbildung 12 Entwicklung der Würmer in den Sedimenten des Hallwilersees in verschiedenen Tiefen von 1985 bis 2023 (Anzahl Würmer pro Dredgenzug)

4.8 Naturverlaichung der Felchen

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

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

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. Die Ursache für die rückläufige Überlebensrate ist unklar. Die nächsten Untersuchungen werden im März 2026 durchgeführt.

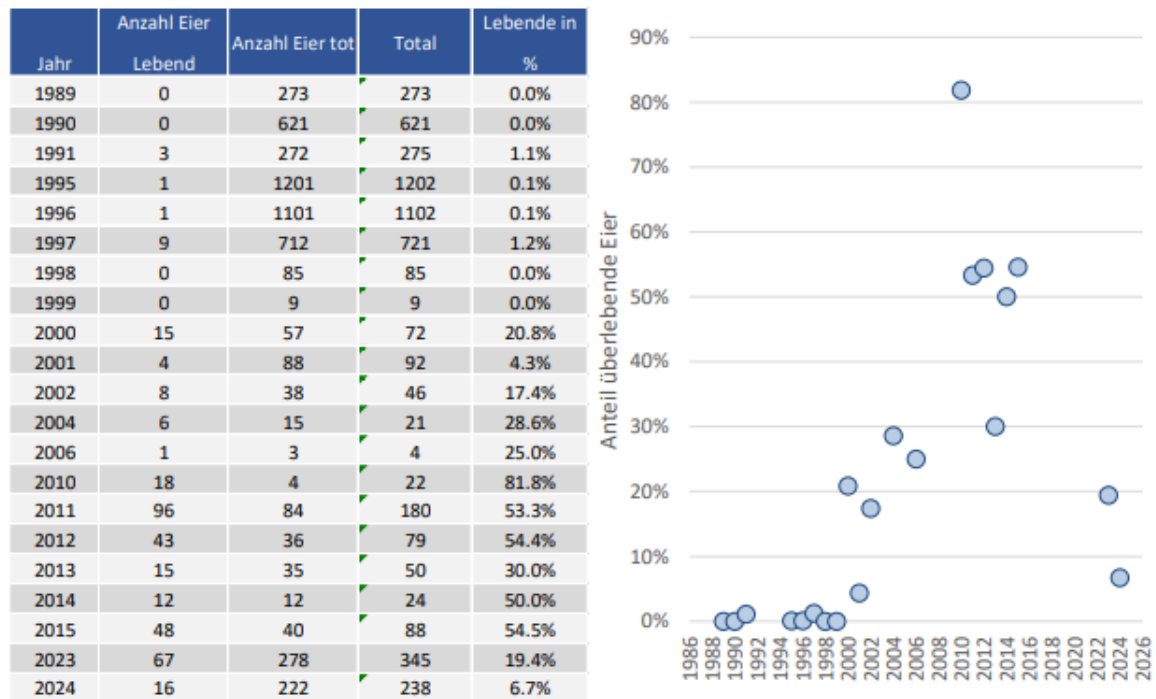


Abbildung 13 Anteil der im Hallwilersee lebenden Felcheneier im Verlauf der letzten 35 Jahre (Quelle: Vonlanthen 2024⁶). Die Stichprobengrösse der einzelnen Jahre ist sehr unterschiedlich, wodurch der prozentuale Anteil überlebender Eier in Jahren mit geringen Ei-Fangzahlen mit Vorsicht zu betrachten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

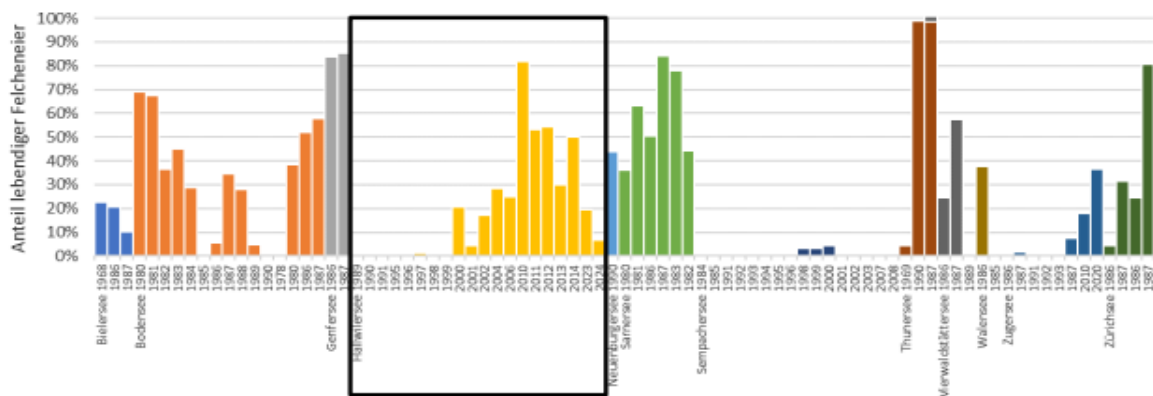


Abbildung 14 Anteil im Hallwilersee überlebender Eier im Vergleich mit anderen Felchenseen (Quelle: Vonlanthen 2024⁶)

4.9 Fischbestand

2022 wurden nach 2012 zum zweiten Mal standardisierte Befischungen im Hallwilersee durchgeführt. Dabei waren die häufigsten Fischarten 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. Die Felchenfänge haben sich im Hallwilersee seit 2023 stark verbessert, sowohl bei den Netzfischern als auch bei den Hobbyanglern – sie zogen im Jahr 2024 so viele Felchen aus dem Hallwilersee wie nie zuvor⁸. Eine weitere Zunahme der Felchenfänge durch die Netzfischer zeichnet sich auch fürs 2025 ab.

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 Aargauer Fischfangstatistik: <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 2024 resp. 2025 nicht erreicht (Tabelle 4). Aufgrund der höchsten Zuflussmenge seit 1986 wurde 2024 ein hoher Phosphoreintrag festgestellt, der deutlich über dem Zielwert lag. Erst wenn die Phosphoreinträge auch in niederschlagsreichen Jahren unter die tolerierbare Menge fallen und dies anhaltend, 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 2025 zu hoch. Auch mit künstlicher Belüftung mit Sauerstoff über Druckluft konnte die gesetzliche Minimalanforderung an die Sauerstoffkonzentration während ca. einem 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	5.6 t	nicht erreicht	2024
Phosphorkonzentration ²	< 15 mg/m ³	23 mg/m ³	nicht erreicht	Frühling 2025
Algenproduktion ³	Höchstens mittel	Hoch	nicht erreicht	2025
Sauerstoffkonzentration (Herbst) ⁴	> 4 mg/L im Tiefenwasser; > 1 mg/L an tiefster Stelle	5.3 mg/L 3.4 mg/L (Minimalwert)	erreicht erreicht mit künstlicher Belüftung	Herbst 2025
Natürliche Verlaichung der Felchen ⁵	Voraussetzungen für natürlichen Erhalt der Felchenpopulation sind gewährleistet	Nicht/kaum gewährleistet	nicht erreicht	2025

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 2024 betrug der Phosphoreintrag in den Sempachersee 5.6 Tonnen. Damit wurde der Zielwert von 4.0 Tonnen deutlich überschritten (Abbildung 16). Die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind auf die unterschiedlichen Zuflussmengen zurückzuführen, die von den Niederschlagsmengen abhängen. Nach dem Jahr 2023 mit einer durchschnittlichen Zuflussmenge brachte das Jahr 2024 die seit Messbeginn zweitgrößte Zuflussmenge.

Der Anteil an der Phosphorfracht aus der Siedlungsentwässerung (ARA und Regenentlastungen) in den Sempachersee konnte seit 2004 auf einem tiefen Niveau gehalten werden. Der Phosphoreintrag aus der ARA Sempach-Neuenkirch blieb praktisch gleich wie im Vorjahr. Ein konstanter Wert von jährlich knapp 1 Tonne Phosphor wird über die atmosphärische Deposition auf die Seeoberfläche eingetragen, wie die aktuellen Untersuchungen von 2023 und 2024 zeigten (siehe Kap. 9.1). 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.

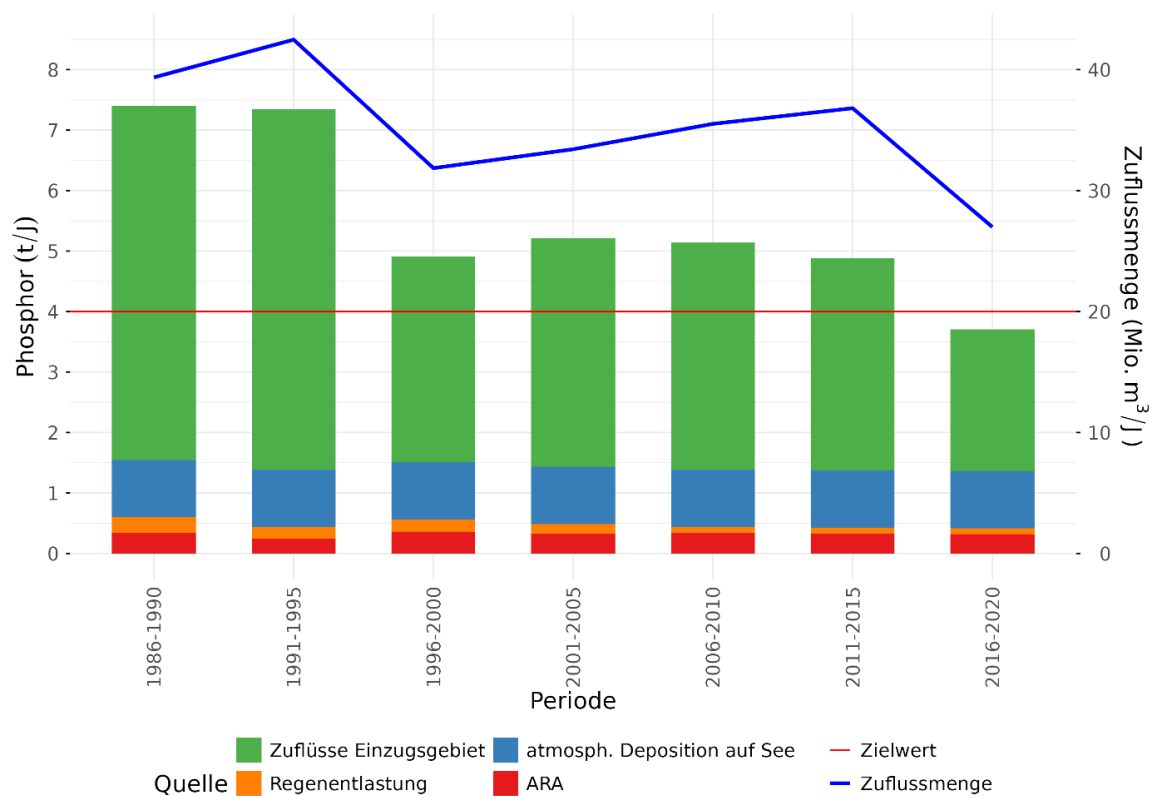


Abbildung 15 Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in 5-Jahres-Perioden in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 4.0 Tonnen Phosphor pro Jahr

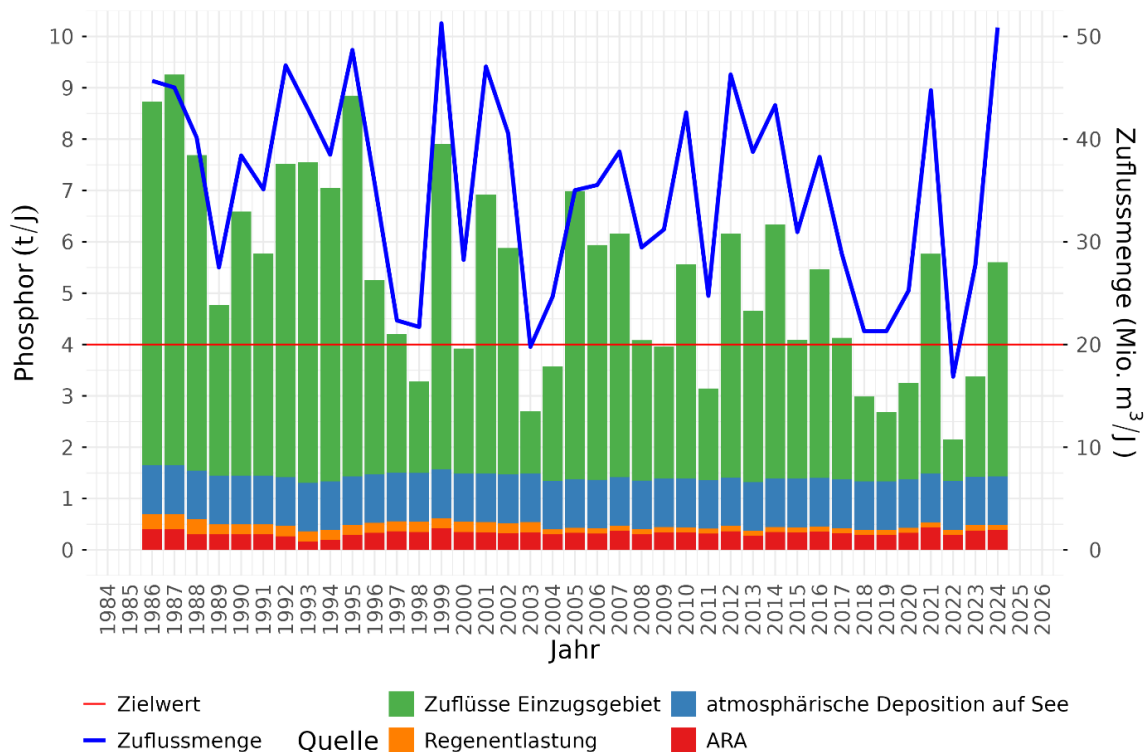


Abbildung 16 Jährliche Einträge des algenverfügbaren Phosphors nach Quellen und die jährliche Wasserzuflussmenge (blaue Linie) in den Sempachersee. Die rote Linie symbolisiert den Sanierungszielwert von 4 Tonnen Phosphor pro Jahr

5.3 Phosphorkonzentration im See

Im Frühjahr 2025 wurden 23 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter (mg/m^3) gemessen (2024: $21 \text{ mg}/\text{m}^3$, 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.

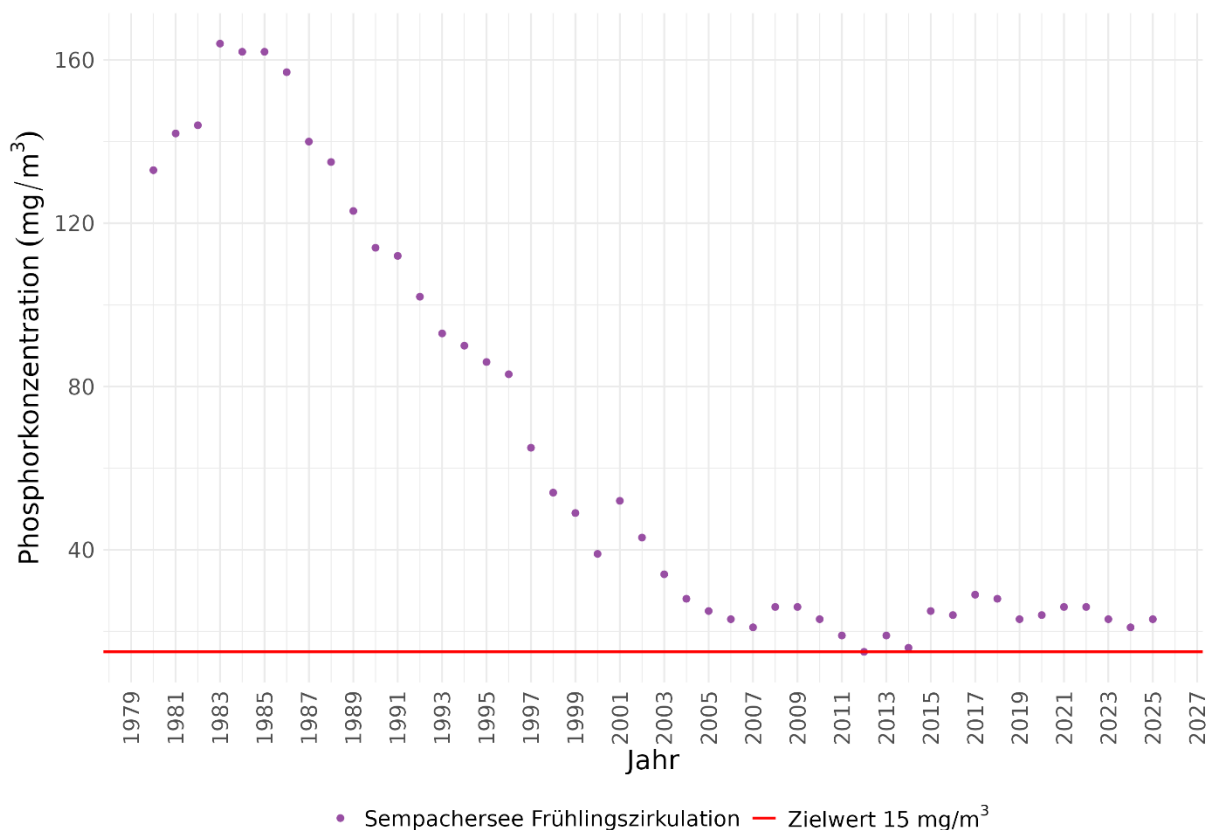


Abbildung 17 Phosphorkonzentration im Sempachersee für die Jahre 1980 bis 2025 (während der Frühlingszirkulation, gesamte Wassersäule 0 bis 85 m)

5.4 Algenwachstum

Seit 2004 schwankt die Algenbiomasse – mit wenigen Ausnahmen – in einem Bereich zwischen 10 und 20 Gramm pro Quadratmeter (g/m²). Die seither höchste Biomasse wurde im Jahr 2021 mit einer Biomasseproduktion von 50 g/m² (Abbildung 18) festgestellt. Im Jahr 2025 betrug die Algenbiomasse 20 g/m², was einen Anstieg zum Vorjahr bedeutet. Dieser Wert entspricht 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.

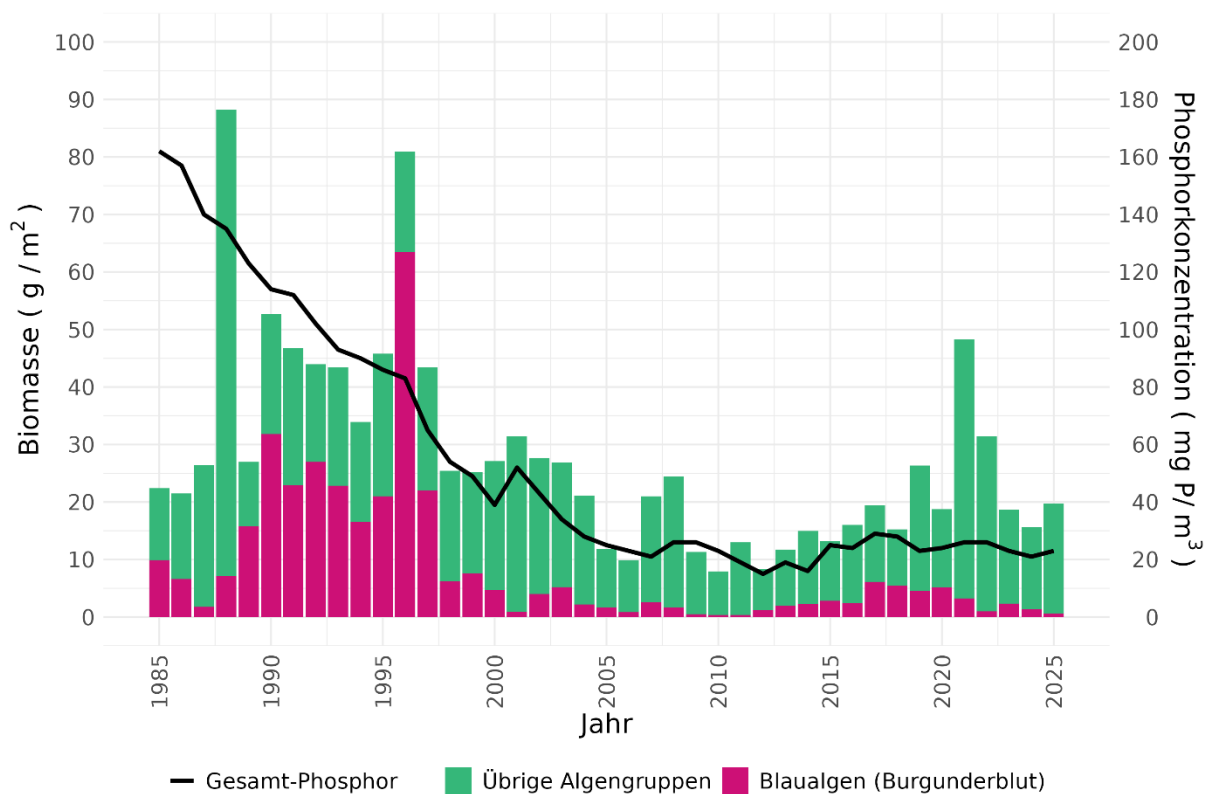


Abbildung 18 Algenbiomasse im Sempachersee (Blaualg hervorgehoben) sowie die mittlere Phosphorkonzentration für die Jahre 1985 bis 2025 (Wassertiefe 0 bis 15 m)

5.5 Sauerstoffverhältnisse im See

Die Sauerstoffkonzentration an der tiefsten Stelle fiel 2025 mit 3.4 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.

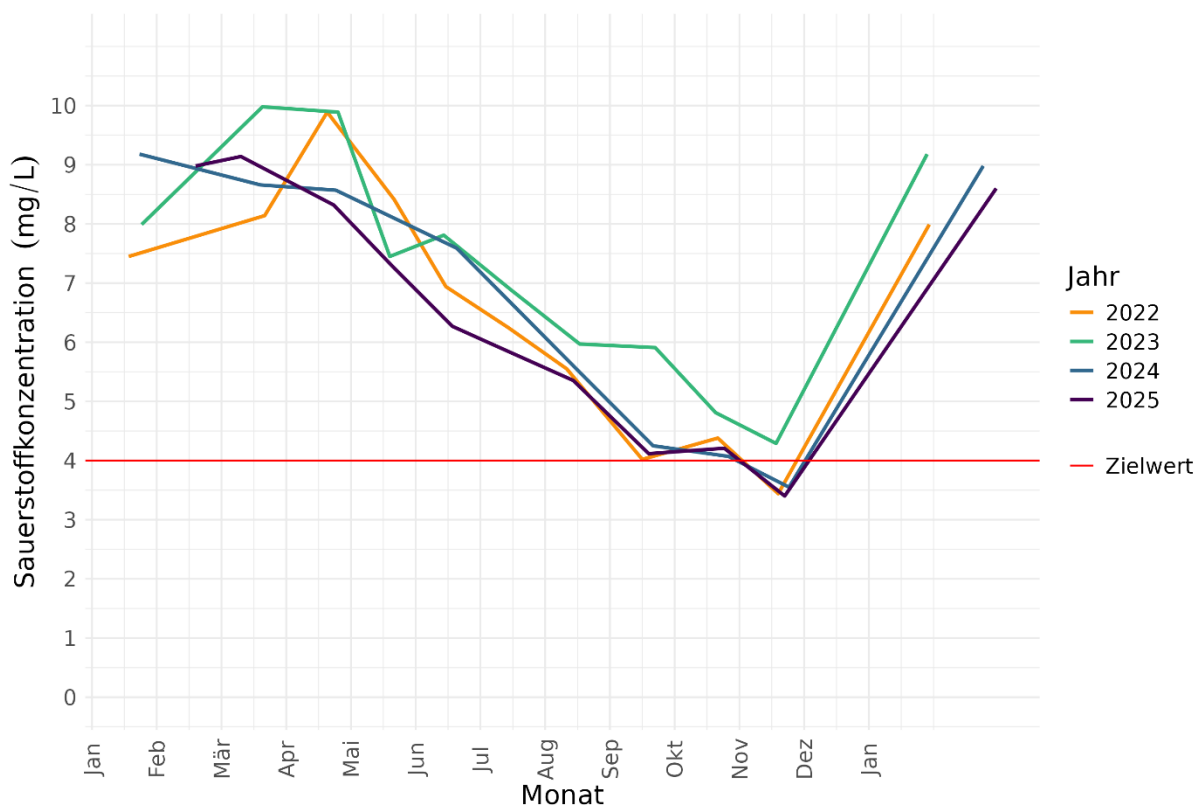


Abbildung 19 Sauerstoffkonzentrationen an der tiefsten Stelle (85 m Tiefe) des Sempachersee im Jahresverlauf. Die rote Linie symbolisiert den gesetzlichen Anforderungswert von 4 mg/L

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 2025 vom 24. April bis zum 11. November durchgehend im 24 h-Betrieb. So wurde der Sempachersee 2025 mit 155 Tonnen Sauerstoff mittels Druckluft belüftet (2024: 163 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

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 werden 2026 Dredgenversuche durchgeführt und anschliessend alle vier Jahre wiederholt. Die Ergebnisse folgen im nächsten Zustandsbericht.

5.8 Fischbestand

Die standardisierte Befischung nach der Projet Lac Methode¹¹ wurde im Sempachersee im Jahr 2018 durchgeführt. Die häufigsten Fischarten im Sempachersee sind Egli und Felchen. Der Seetyp des Sempachersee liegt somit zwischen einem Flussbarsch- und einem Felchensee.

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

¹¹ Bericht Projet 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 in den Wintern 2024/2025 (knapp drei Monate) und 2025/2026 (gut zwei Monate) die Durchmischung wieder länger andauerte. 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.

7.2 Landwirtschaft Kanton Luzern: Phosphorprojekt und -verordnung

Seit dem Jahr 2015 ist im Kanton Luzern die kantonale Phosphorverordnung (SRL 703a) in Kraft. Seit der Revision im Jahr 2021 ist für alle Betriebe im Zuströmbereich der Mittellandseen die reduzierte Phosphorbedarfsdeckung von maximal 80 % (Baldeggersee) respektive 90 % (Luzerner Teil des Hallwilersees und Sempachersee) verpflichtend.

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. Die Teilnahme am Phosphorprojekt ist für die Betriebe freiwillig. 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 604 direktzahlungsberechtigte Betriebe total 11'468 ha Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN). Zusätzlich bewirtschaften 30 nicht direktzahlungsberechtigte Betriebe 186 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)	4'902	2'385	4'178
Landwirtschaftliche Betriebe (n)	261	124	220
Betriebe mit Seevertrag (n)	232	105	149
Betriebe mit Seevertrag	89 %	85 %	68 %

In allen drei Zo der Mittellandseen hat die Teilnahme am Seevertrag, im Vergleich zu 2024, leicht zugenommen oder ist stabil geblieben.

Die Tierbestände (inkl. nicht DZ Betriebe) sind im Zo der Mittellandseen immer noch hoch und haben sich im Vergleich zum Vorjahr (27'018 GVE) mit 27'402 GVE leicht erhöht. Der Tierbesatz liegt bei 2.35 (2.32) GVE / ha LN.

Im Jahr 2025 wurden für die Erfüllung der Seevertragsanforderungen (keine Winterbrache, bauliche Anforderungen Gewässerschutz, Einschränkung Phosphordüngung), total CHF 756'662.- 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 2025 CHF 1'688'435.- an die Betriebe ausbezahlt (zusätzlich zum Seevertrag oben).

Weitere einzelbetriebliche Massnahmen

Wasserrückhalt mit Retentionsweihern: Im Jahr 2025 wurden bei Retentionsweihern Lohn-Unterhaltsarbeiten durchgeführt. Dabei beliefen sich die totalen Kosten auf CHF 3'308.-.

Impulsbeitrag für Einkommensalternativen: Im Jahr 2025 wurde kein Gesuch für Einkommensalternativen gestellt.

Weitergehende Massnahmen: Seevertrag plus

Analog 2024 nahmen auch im Jahr 2025 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. Im Bewirtschaftungsjahr 2025 konnte durch drei Betriebe auf der Parzelle mit Null-Phosphordüngung wesentliche Ertragseinbussen festgestellt werden. Auf zwei weiteren Betrieben wurde ein minimaler Minderertrag festgestellt.

Im Rahmen des Seevertrags plus wurden 2025 total CHF 7'636.- entschädigt. Dabei bekamen die neun Betriebe den zusätzlichen Arbeitsaufwand, die zusätzlichen Düngerkosten, allfällige Ertragsausfälle wie auch die Lizenz für den digitalen Hofmanager (Barto) entschädigt.

Fazit

Das Phosphorprojekt Phase III wurde im Jahr 2025 offiziell abgeschlossen. Die Überprüfung der Zielerreichung erfolgt mit dem Vorliegen der Daten über die Phosphorfrachten für das Jahr 2025, welche für Mitte 2026 zu erwarten sind. Per 1. Januar 2026 konnte das Phosphorprojekt nahtlos in die Phase IV überführt werden. Bis auf den Seevertrag Plus ist das Folgeprojekt identisch mit der Phase III. Der Seevertrag Plus wird nicht weitergeführt.

Mit einer Beteiligung von rund 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.

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. 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 GSchV. Per Februar 2026 ist im Zuströmbereich der Mittellandseen in den Gemeinden Hitzkirch, Rain, Oberkirch und Aesch ausserhalb der Bauzonen der Gewässerraum noch nicht festgelegt. 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 Gewässerraum direkt am See kann eine grosse und zusätzliche Schutzwirkung erwartet werden. Entlang der Bäche ist vermutlich vom bisherigen Schutzniveau auszugehen.

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

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, aber auch sehr aufwändig und zeitintensiv. 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 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 ab der 2. ARA-Generation deutlich.

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 (MV) aus dem Abwasser entfernt. 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. Das Hydraulikkonzept (Linienführung Abwasserkanäle ausserhalb der Seen, Rückhaltevolumen etc.) steht. Die genaue Kostenschätzung ist für April 2026 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 2026 stattfinden.

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 werden bis 2027 im Massnahmenplan Siedlungsentwässerung die Phosphoreinträge aus Regenentlastungen in die Gewässer der Einzugsgebiete der drei Mittellandseen im Kanton Luzern ermittelt und Massnahmen für die Verminderung der Einträge vorgeschlagen.

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. Danach wurden die Aufträge für neue Fritten und Diffusorensterne ausgeschrieben und von den beiden Gemeindeverbänden Sempachersee und Baldegger- und Hallwilersee sowie der AfU des Kantons Aargau mit Beschluss der Arbeitsgruppe Erneuerung der Seebelüftungen (AGERN) vergeben.

Die Finanzierung der Erneuerung der Belüftungsanlagen ist durch die Kantone Luzern (Beitrag von max. 2 Mio. CHF) und Aargau (Finanzierungskredit vom Juni 2023 über 855'000.- CHF) sichergestellt. Die AGERN berät die Auftraggeber bei Beschaffung, Tests und Einbau.

Nach dreimaligen Tests von neuen Fritten im Jahr 2025, wurde im Februar 2026 eine weitere Testserie von Fritten geliefert. Diese wurden im Sempachersee geprüft und mit Tauchrobotern gefilmt. Diese Prüfung erbrachte nicht das gewünschte Resultat und es ist mindestens eine weitere Serie von Testfritten notwendig.

Im Baldeggersee wurden im November 2025 die 6 Diffusorensterne, die Seile, die Auftriebsbojen und die Gewichte ersetzt. Bei einer blockierten Druckluftleitung konnte das Problem behoben werden. Gleichzeitig wurde die Beschwerung der Druckluftleitung ersetzt.

Im Hallwilersee sollen ebenfalls alle Diffusorensterne und alle Fritten ersetzt werden. Abklärungen im Jahr 2025 haben ergeben, dass die Revision der bisherigen Diffusorensterne schwieriger würde als ursprünglich angenommen. Zudem zeigten die Frittentests, dass die neuen Fritten mit grosser Wahrscheinlichkeit bessere Leistungen bezüglich Sauerstoff-Eintrag haben werden als revidierte bisherige Fritten aus dem Hallwilersee.

9 Zusätzliche Untersuchungen

9.1 Untersuchung der atmosphärischen Deposition auf die Mittellandseen

Die atmosphärische Deposition von Phosphor auf die Oberflächen der drei Seen wurde erstmals von August 2019 bis Juli 2020 von der Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG (FUB) untersucht. Da diese Messperiode zu den trockensten Jahren seit 1986 gehörte und daher nicht repräsentativ war, wurde vom Januar 2023 bis Ende 2024 eine zweite Messkampagne durchgeführt¹⁴. An fünf Standorten (je zwei am Sempacher- und Hallwilersee und einem am Baldeggersee) wurde monatlich die Trocken- und Nassdeposition aufgefangen und gemessen.

Die Mittelwerte der Phosphorfrachten aller Standorte für die erwähnten Untersuchungsperioden lagen zwischen 0.63 und 0.69 Kilogramm pro Hektare und Jahr. Diese Mittelwerte lagen über alle drei Jahre betrachtet in einem ähnlichen Bereich, unabhängig von der Niederschlagsmenge. Über die Mittelwerte der Standorte des jeweiligen Sees und der entsprechenden Seefläche kann der Eintrag für den Gesamtphosphor während des Messjahres ermittelt werden. Dieser lag für die drei Untersuchungsjahre 2019/20, 2023 und 2024 für den Sempachersee bei 946 kg, für den Baldeggersee bei 314 kg und für den Hallwilersee bei 730 kg.

Im Vergleich zu früheren Messungen und Annahmen, zeigen die neueren Untersuchungen von 2019 bis 2024, dass die jährliche Deposition von Phosphor aus der Atmosphäre auf Seen unabhängig von der jährlichen Niederschlagsmenge ist. Daher werden in den Bilanzen der Phosphoreinträge (Kapitel 3.2, 4.2 und 5.2) für die atmosphärische Phosphor-Deposition neu die ermittelten seespezifischen Mittelwerte als jährliche Konstante eingesetzt.

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.

Das Abbauprodukt R471811 des Fungizids Chlorothalonil ist in allen drei Seen weiterhin auffällig. Für dieses Abbauprodukt R471811 gilt ein Grenzwert von 0.1 Mikrogramm pro Liter – für Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen. In allen drei Seen werden höhere Werte als 0.1

¹⁴ Meier und Ehrenmann, FUB, 2025: Phosphordepotion in Mittellandseen der Kantone Luzern und Aargau - Schlussbericht: Phosphorgehalt in Bulksammlern und Charakterisierung von phosphorhaltigen Partikeln im Zeitraum 2019-2024

Mikrogramm pro Liter gefunden (Abbildung 20), wobei nur der Sempachersee der Trinkwassernutzung dient. Am Hallwilersee ist eine Trinkwasseraufbereitung von Seewasser geplant. Die Messungen zeigen eine leicht rückläufige Tendenz von R471811 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 (2024: 0.23 µg/L). Die konstanten Konzentrationen sind vermutlich auf die lange Aufenthaltszeit in den Seen und den langsamen Abbau zurückzuführen. Alle anderen untersuchten Mikroverunreinigungen führten in keinem der drei Seen zu Grenzwertüberschreitungen. 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.

Die gemessenen Konzentrationen des Abbauprodukts R471811 sind vergleichbar mit Resultaten aus anderen Seen im Mittelland¹⁵. 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 Mikroverunreinigungen sind keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserlebewesen zu erwarten.

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 Februar 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.

¹⁵ Minkowski et al. 2021: Chlorothalonil-Metaboliten in Berner Oberflächengewässern. AQUA & GAS No 6 [2021-chlorothalonil-metaboliten-in-berner-oberflaechengewassern-gbl-de \(2\).pdf](#)

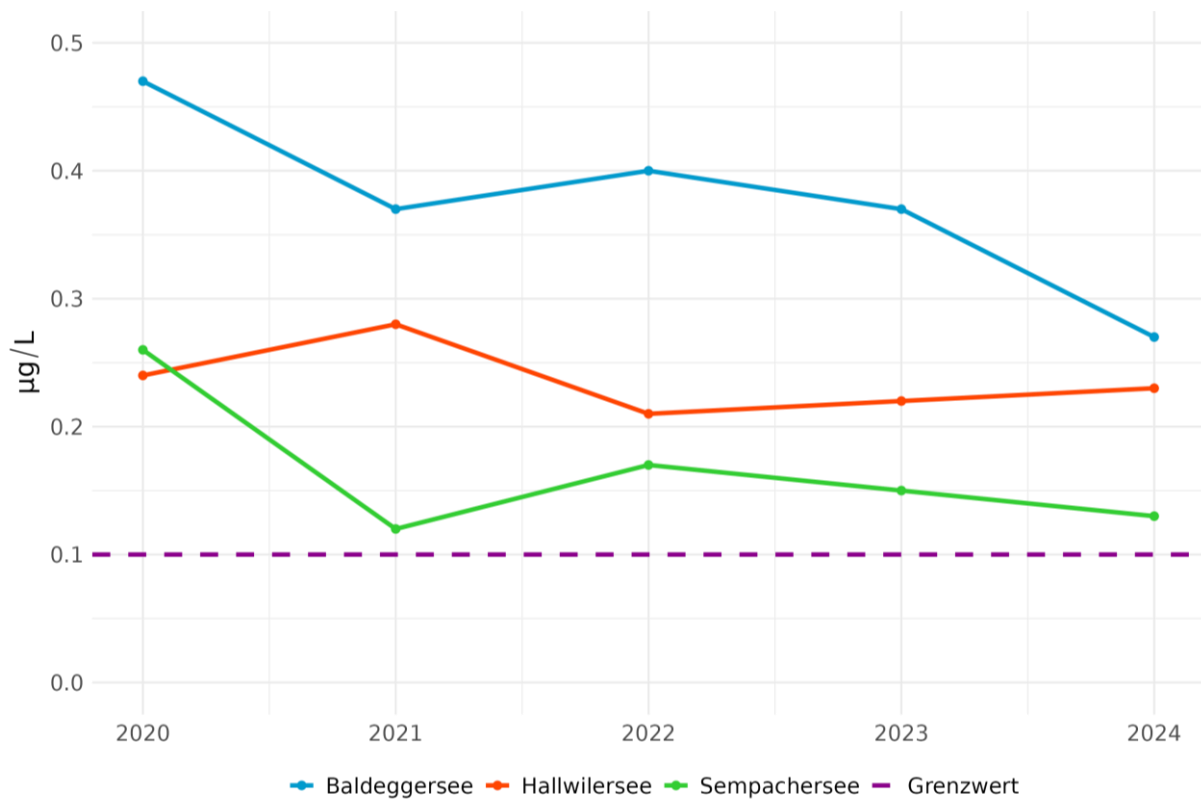


Abbildung 20 Konzentrationen des Chlorothalonil Metaboliten R471811 (µg/L) bei vollständiger Mischung im März in jedem der drei Mittellandseen in den Jahren 2020 bis 2024. Der Grenzwert gilt für Gewässer, die der Trinkwassernutzung dienen

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 essenziell.

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. Im Kanton Luzern tritt die neue Schiffsmelde- und Reinigungsverordnung am 1. April 2026 in Kraft. Mit der neuen Verordnung werden die Einwasserungsverbote für den Baldeggersee und Sempachersee aufgehoben.

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.