

Auch nach 40 Jahren braucht es die Belüftung des Hallwilersees

Lukas de Ventura | Abteilung für Umwelt | 062 835 33 60

Bei der ersten Ausgabe von UMWELT AARGAU 1998 hatte der Phosphorgehalt im Hallwilersee bereits stark abgenommen: von 250 Mitte der 1970er-Jahre auf 49 Milligramm pro Kubikmeter im Jahr 1997. Der Seezustand hat sich in der Zwischenzeit weiter verbessert. Bis heute sind aber die Ziele der Seesanierung nicht erreicht und es sind weitere Massnahmen erforderlich.



Die Seebelüftung wird in Zusammenarbeit mit der Schiffahrtsgesellschaft Hallwilersee (SGH) jährlich einem Routineservice unterzogen. Nach 40 Jahren im Einsatz ist dieses Jahr nun eine Gesamterneuerung geplant.

mit Phosphor aus Siedlung und Landwirtschaft führte bereits ab Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts zur Massentwicklung von Algen. Das Seewasser war häufig trüb und roch unangenehm. Oft bildeten sich an der Wasseroberfläche unschöne Algenblüten. Die Abbauprozesse der Algenbiomasse verbrauchten am Seegrund viel Sauerstoff. Den Felchen fehlte dadurch im Sommer und Herbst der Sauerstoff in der Tiefe des geschichteten Sees und dies schränkte ihren Lebensraum auf die obere, erwärmte Wasserschicht ein. Der Sauerstoffmangel in der Tiefe sowie die Veralgung und Verschlammung der Laichplätze in der Uferzone verunmöglichten eine natürliche Fortpflanzung der Felchen. Nur durch die Aufzucht von Felcheneiern in Fischzuchten konnte der Bestand erhalten werden. Zudem wird der See seit gut 40 Jahren belüftet, um den Lebens-

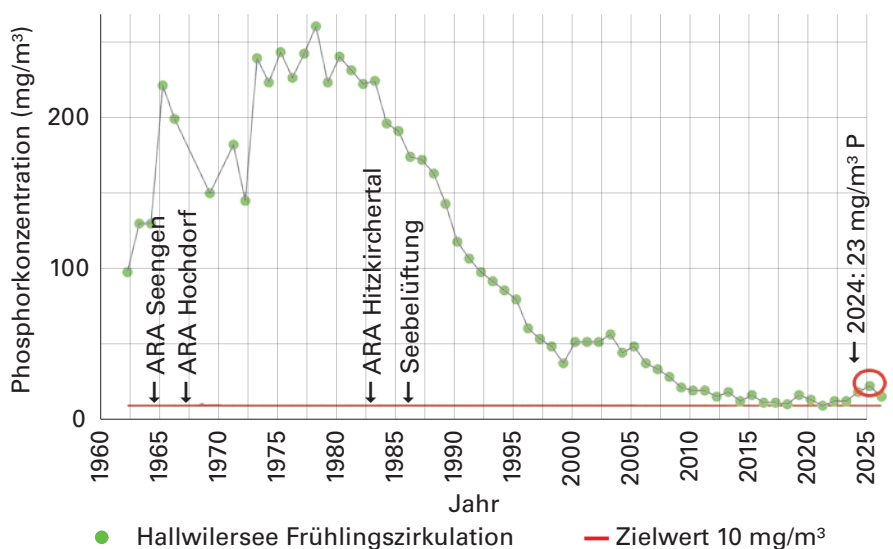
Wasser
Gewässer

Der Phosphoreintrag in den See ist besonders in niederschlagsreichen Jahren zu hoch. Deshalb ist auch der Sauerstoffgehalt im See jeweils im Herbst noch zu gering. Der Klimawandel verschärft das Sauerstoffdefizit im See zusätzlich. Der Hallwilersee braucht die Seebelüftung weiterhin und sie wird nun nach 40 Jahren Betrieb rundum erneuert.

Ein Landschaftsjuwel als Langzeitpatient

Der Hallwilersee ist eines der wichtigsten Ausflugs- und Naherholungsgebiete im Kanton Aargau. Er lockt viele Besuchende an: zum Spazieren und Verweilen, zum Schiffahren und im Sommer zum Baden im kühlen Nass. Dass dem so ist, verdanken wir jahrzehntelangen Anstrengungen zur Sanierung des Sees. Denn der Hallwilersee war nicht immer so einladend wie heute. Die jahrzehntelange Überdüngung des Sees (Eutrophierung)

Phosphorkonzentration im Hallwilersee seit den 1960er-Jahren bis heute



Die angegebene Phosphorkonzentration (P) ist der Durchschnittswert im Frühling jeweils bei vollständiger Mischung des Sees. Die rote Linie stellt den Zielwert dar, bei welchem längerfristig der See auch im Tiefenwasser ganzjährig wieder genügend Sauerstoff enthält und die Felchen sich wieder genügend gut auf natürliche Weise vermehren können. Seit 1980 sank die Phosphorkonzentration stetig, unter anderem dank dem Bau der Abwasseranlagen und der Seebelüftung.

Die langfristigen Ziele der Seesanieung

Zielebene	Langfristige Ziele
Naturverlaichung der Felchen	Voraussetzungen für den natürlichen Erhalt des Felchenbestands sind gewährleistet
Sauerstoffgehalt (ohne Belüftung im Sommer)	mindestens 4 Milligramm pro Liter imTiefenwasser, mindestens 1 Milligramm pro Liter am Seegrund
Algenproduktion	mittlere Algenproduktion (starker Rückgang der Burgunderblotalgen seit 2019)
Phosphorkonzentration	kleiner als 10 Milligramm pro Kubikmeter
Phosphorfracht	kleiner als zwei Tonnen pro Jahr

raum imTiefenwasser für Felchen und Kleinlebewesen zu verbessern und die Gesundung des Sees voranzubringen.

Die Ziele der Seesanieung

Bereits ab den 1960er-Jahren wurde klar, dass der Phosphorgehalt im Hallwilersee gesenkt werden muss. Es wurde ein Ziel von 20 bis 30 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter Wasser angestrebt. Bei einer Neuevaluation der Sanierungsziele in Zusam-

menarbeit mit dem Kanton Luzern und der Eawag 2018 und 2019 zeigte sich aber, dass der Phosphoreintrag in den See und der Phosphorgehalt noch tiefer liegen müssten, damit der Sauerstoffgehalt imTiefenwasser nachhaltig genügend hoch bleibt und eine Naturverlaichung der Felchen wieder möglich wird (siehe UMWELT AARGAU Nr. 81, September 2019, «Neue Ziele für die Sanierung des Hallwilersees», Seiten 11 bis 14).

Langer Schnauf bei den Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge

Seit den 1970er-Jahren wurde der Phosphorgehalt im Hallwilersee von über 250 auf unter 20 Milligramm pro Kubikmeter reduziert. Verschiedene Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und in der Landwirtschaft trugen zur Reduktion der Phosphoreinträge bei:

- Bau von Kläranlagen (Seengen 1964, Hochdorf 1967, Hitzkirchertal 1983) und Bau von Regenbecken
- Verbesserungen bei den Hofdüngeranlagen (Beratungen seit den 1980er-Jahren)
- Verbot von Phosphat in Waschmitteln durch den Bund (1986)
- Förderung von Pufferstreifen zum Schutz des Sees und seiner Zuflüsse vor Nährstoffeinträgen
- Förderung von Direkt- und Streifenfrässaaten zum Schutz vor Erosion
- Kompensationszahlungen für reduzierte Phosphordüngung (Phosphorprojekt 2001 bis 2010)
- Düngebeschränkung auf 100 Prozent des Pflanzenbedarfs an Phosphor (im Kanton Aargau gültig seit 2012 für das Einzugsgebiet Hallwilersee)
- Seit 2017 Ablösung der Massnahme «Pufferstreifen» durch die Umsetzung der Gewässerräume

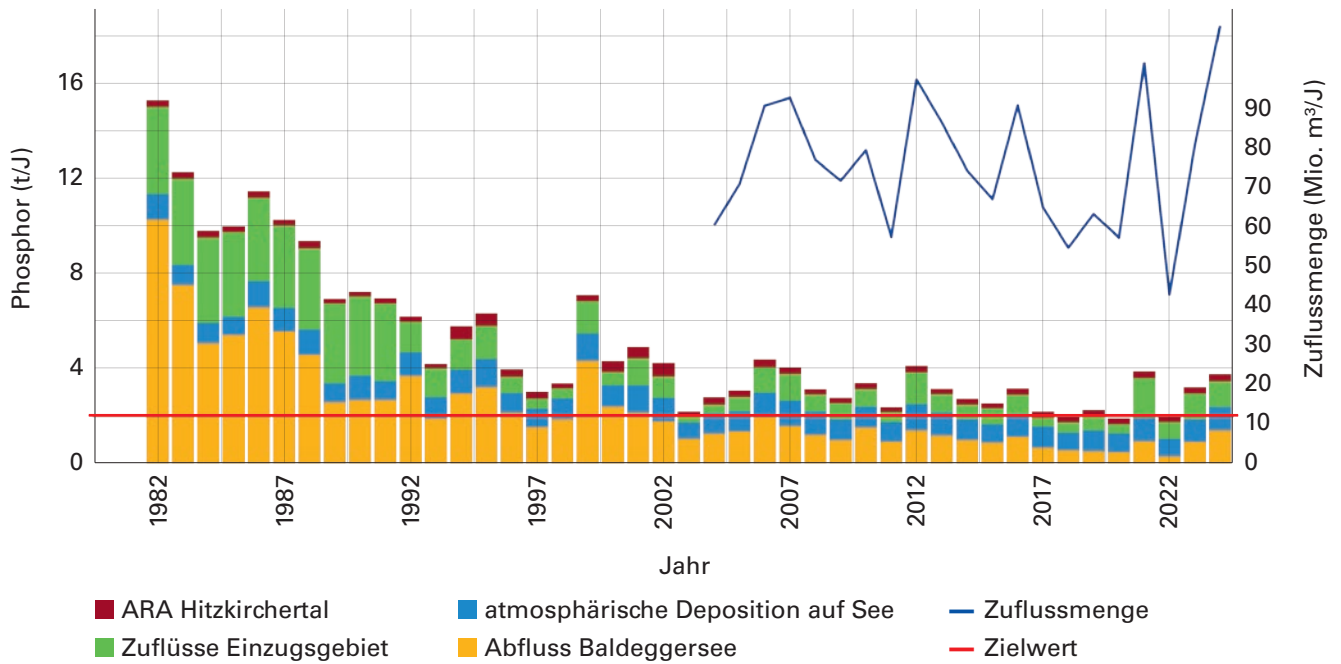
Die Ziele sind noch nicht erreicht

Dank diesen vielseitigen Massnahmen konnte der Phosphoreintrag von über 15 Tonnen pro Jahr (1982) auf rund 3 Tonnen pro Jahr (5-Jahres-Periode



Das in die Jahre gekommene Gestänge mit den 42 Fritten wird nach der jährlichen Reinigung wieder abgetaucht. Unter Wasser bilden die aus den Diffusoren-Fritten aufsteigenden Blasen einen feinen Schleier.

Phosphoreinträge in den Hallwilersee seit den 1980er-Jahren bis heute



Sollen die neuen Sanierungsziele erreicht werden, müssen die Phosphoreinträge weiter reduziert werden. Die Farben geben die verschiedenen Phosphoreintragswege an. Die blaue Linie zeigt die Wasserzuflussmenge in Millionen Kubikmetern pro Jahr und die rote Linie den Zielwert für die gesamten jährlichen Phosphoreinträge.

2020 bis 2024) gesenkt werden. In den Jahren vor 2020 schien das Ziel von zwei Tonnen pro Jahr sogar beinahe erreicht. Die Phosphoreinträge sind jedoch stark abhängig vom Niederschlag. Durch den Regen wird Phosphor aus den landwirtschaftlich genutzten Böden ausgewaschen und bei Entlastungsereignissen der Siedlungsentwässerung vermehrt über die Zuflüsse in den See eingetragen. Somit war der Phosphoreintrag in den regenreichen Jahren 2021, 2023 und 2024 wieder deutlich höher als in den Vorjahren. Die Phosphorkonzentration stieg wieder auf 23 Milligramm pro Kubikmeter an und trug dazu bei, dass die Sauerstoffverhältnisse 2024 so schlecht waren wie seit vielen Jahren nicht mehr.

Vorsicht, Burgunderblutalgen

Mit den höheren Phosphorgehalten wuchs in den letzten beiden Jahren auch die giftige Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) wieder stärker. Die Burgunderblutalge gehört zu den Cyanobakterien und ist im Sommer typischerweise auf rund 12 Metern Wassertiefe eingeschichtet. Damit wird sie im Sommer vom Menschen



Wegen den erhöhten Phosphorkonzentrationen bildeten sich im Frühling 2025 wieder sehr ausgeprägt Blüten der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*).

kaum wahrgenommen und stellt für Badende keine Gefährdung dar. Im Frühling und Herbst jedoch, wenn die Schichtung des Sees instabil wird, kann sie an der Wasseroberfläche «aufrahmen» und dichte rote Schlieren oder Teppiche bilden. Besonders eindrücklich konnte dies im Frühjahr 2025 beobachtet werden. Bei derartigen Algenblüten ist Vorsicht geboten! Die erhöhten Giftstoffkonzentrationen können beim Verschlucken und bei Hautkontakt für Mensch und Tier gesundheitsschädlich sein. Entzündungen, Erbrechen, Durchfall, Atembeschwerden, allergische Reaktionen, Lähmungen und Krämpfe können die Folgen sein. Besonders gefährdet sind Kleinkinder und Hunde. Es wird dringend empfohlen, diese bei auffälligen Algenblüten vom See fernzuhalten.

Die Burgunderblutalge kommt bei mittleren Nährstoffgehalten verstärkt vor. Im Hallwilersee ist sie seit den 1990er-Jahren die klar dominante Alge und ging ab Mitte der 2010er-Jahre

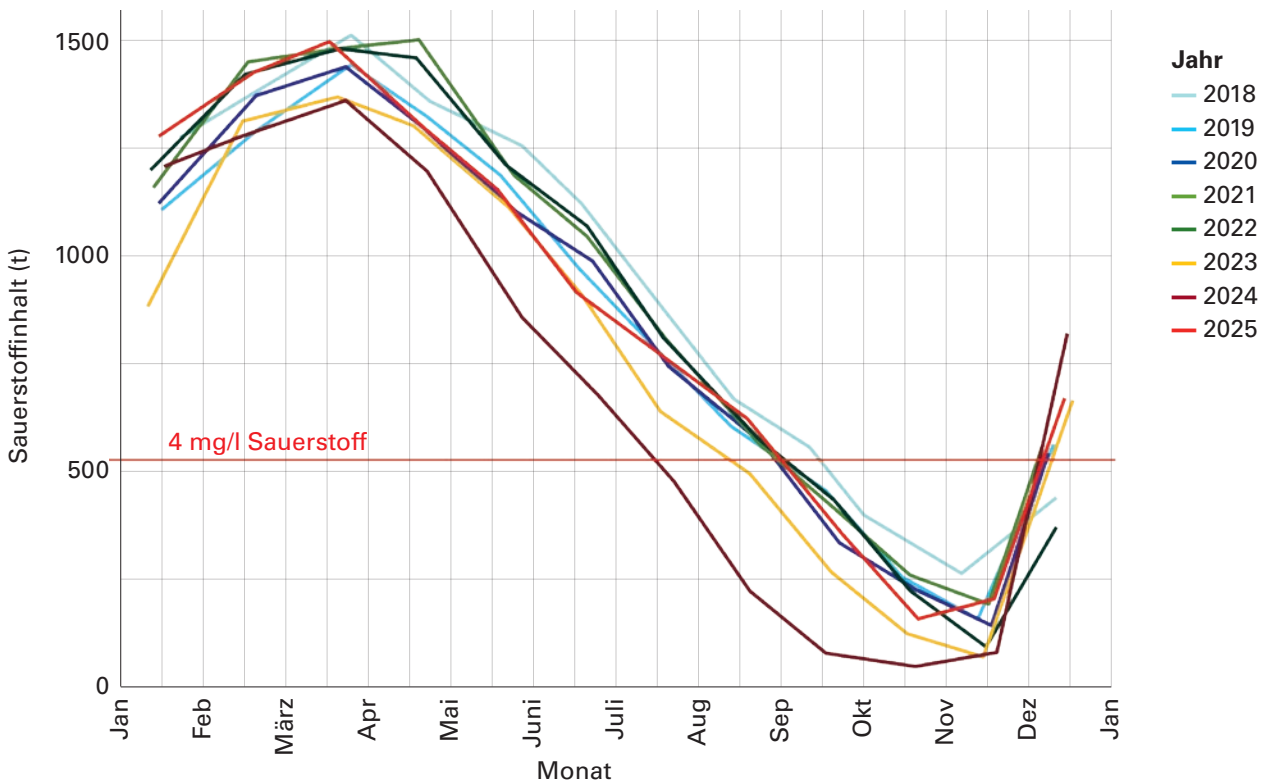
deutlich zurück. Der Anstieg der Phosphorkonzentration ab 2021 führte jedoch wieder zu einem verstärkten Wachstum der Burgunderblutalgen, während die restlichen Algengruppen kaum vom grösseren Nährstoffangebot profitierten. Sinkende Phosphorkonzentrationen dürften dazu führen, dass die Burgunderblutalge wieder zurückgeht. Auch für das Zooplankton, Muscheln oder Fische wäre ihr Rückgang von Vorteil, da die Burgunderblutalgen wegen der filamentösen Struktur und Giftigkeit kaum gefressen oder verwertet werden können.

Auch der Klimawandel macht dem See zu schaffen

Seit der Festlegung der neuen Sanierungsziele 2019 wurden auch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Hallwilersee immer deutlicher. So waren 2024 die Sauerstoffverhältnisse besonders schlecht, weil der Winter 2023/2024 sehr kurz und mild war. Der See mischt sich über die gesamte Wassersäule, sobald die Seetempe-

ratur an der Oberfläche fast gleich kalt ist wie am Seegrund (typischerweise 4°C). Die Mischung dauert so lange an, bis die Temperaturen im Frühling wieder wärmer werden, sich ein deutlicher Temperaturunterschied ausbildet und somit eine stabile Schichtung in der Wassersäule entsteht. Während der Mischungsphase nimmt der See an der Oberfläche viel Sauerstoff aus der Luft auf und der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser steigt. Typischerweise dauert diese Phase rund drei Monate – im Winter 2023/2024 jedoch nur rund 1,5 Monate. Deshalb lag der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser 2024 bereits im Frühling deutlich tiefer als in den Vorjahren und sank wegen dem starken Abbau der reichlich gewachsenen Algen auch schneller als in den Vorjahren. Seit 2022 hilft die neu im Hallwilersee installierte Temperaturmesskette, die Prozesse der Temperaturschichtung besser zu verstehen und die Seebelüftung besser auf die Mischungsverhältnisse abzustimmen.

Sauerstoffinhalt im Tiefenwasser unterhalb von 17,5 Metern Wassertiefe im Jahresverlauf



Der Sauerstoffinhalt (Tonnen) im Tiefenwasser nimmt während der Mischungsphase über den Winter bis im März stark zu. Ab dem Frühling bis in den Herbst fällt er trotz den Bemühungen zur Reduktion der Phosphoreinträge jedes Jahr deutlich unter das angestrebte Ziel, das einer Sauerstoffkonzentration von vier Milligramm pro Liter entspricht (rote Linie).

Mit fortschreitendem Klimawandel müssen wir davon ausgehen, dass auch in Zukunft die Winter eher kürzer und milder werden. Die Durchschnittstemperatur im Wasser steigt an, wobei Wasser bei höheren Temperaturen weniger gut Sauerstoff speichert und auch das Wachstum von Blaualgen begünstigt. Zudem werden die Schwankungen zwischen sehr niederschlagsreichen und niederschlagsarmen Jahren stärker. Der Klimawandel dürfte also insgesamt dazu führen, dass der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser noch stärker sinkt und die Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge umso wichtiger werden.

Die Seebelüftung unterstützt weiterhin den Gesundungsprozess

Die Seebelüftung wurde bereits 1985 im Hallwilersee installiert. Über den Winter werden grobblasig grosse Volumen an Druckluft an der tiefsten Stelle des Sees eingetragen, um die Umwälzung des Hallwilersees und damit das Auffüllen seiner Sauerstoffreserven aus der Atmosphäre zu

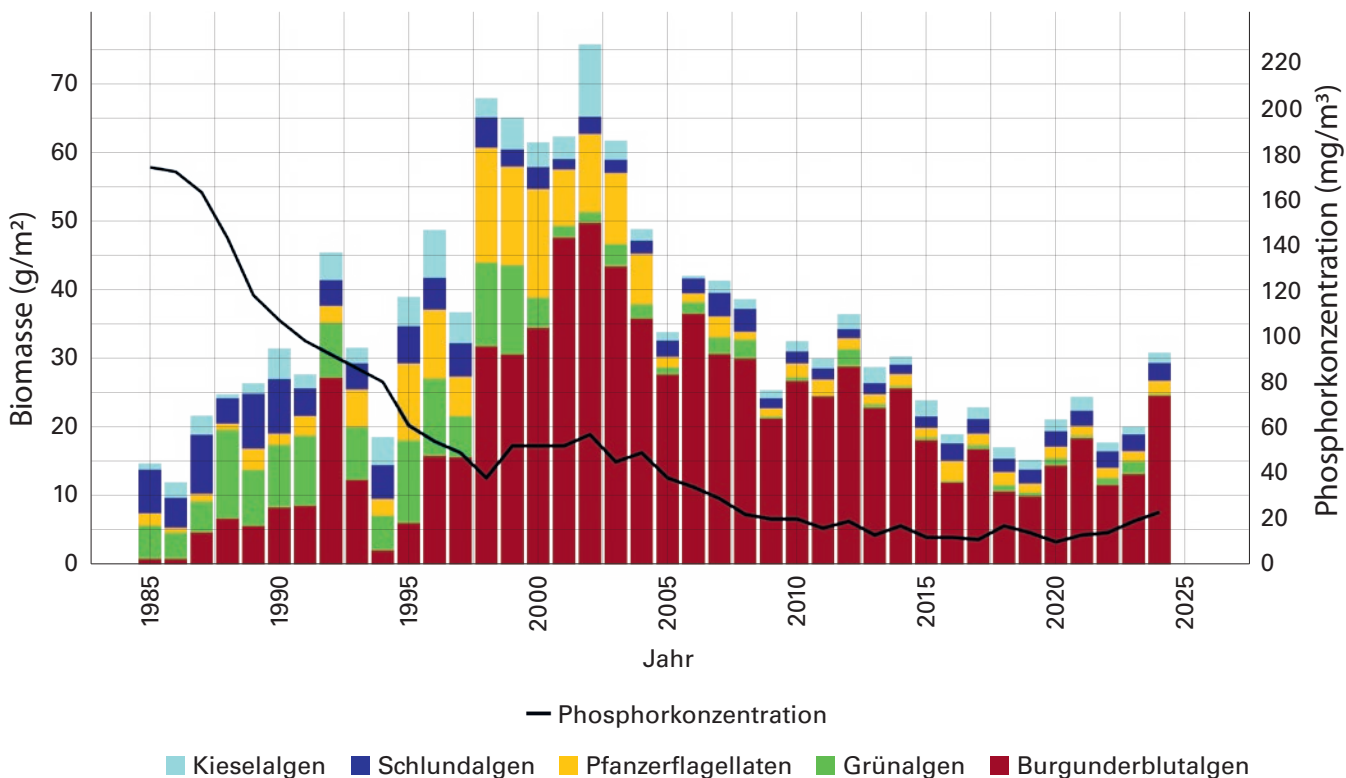
unterstützen. Mit dieser Zirkulationshilfe kann die Phase der vollständigen Mischung im Herbst etwas früher initiiert und im Frühling etwas verlängert werden. Für die Gesamtbilanz des Sauerstoffgehaltes im See ist die Winterzirkulation entscheidend, da über den Winter jährlich rund 2000 Tonnen Sauerstoff aus der Atmosphäre in den See eingetragen werden. Im Sommerhalbjahr trägt eine feinblasige Belüftung mit Druckluft (bis 2016 auch mit Reinsauerstoff) rund 120 Tonnen Sauerstoff jährlich ins Tiefenwasser ein und hilft, die kritische Sauerstoffsituation im Herbst zu überbrücken. Als Folge des fortschreitenden Gesundungsprozesses wird seit 2016 auf den Eintrag von Reinsauerstoff verzichtet und der Sauerstofftank der Seebelüftung wurde 2023 rückgebaut.

Nach 40 Jahren wird die Seebelüftung erneuert

Die gut 40 Jahre alte Seebelüftung ist in die Jahre gekommen und wird nun totalrevidiert, damit der Sauerstoff mit Druckluft während der Sommerbelü-

ftung wieder möglichst effizient eingetragen werden kann. Der Kompressor und die Luftaufbereitung in der Belüftungsstation in Meisterschwanden wurden 2024 erneuert und die Luftleitungen im See gereinigt. Damit steht der Belüftung wieder genügend saubere und trockene Luft zur Verfügung. Vom Seeufer führen sechs Leitungen zur Seemitte in den Bereich der tiefsten Stelle. Dort wird in 45 Metern Tiefe durch sechs Diffusoren Druckluft eingetragen. Diffusoren-Fritten (perforierte Röhren mit sehr feinen Löchern) tragen im Sommerbetrieb einen feinen Luftblasenschleier in die Tiefe des Sees ein, der sich möglichst in den tiefsten Metern des Sees auflöst, bevor die Blasen weiter aufsteigen. Diese Fritten produzieren jedoch seit mehreren Jahren keine genügend feinen Blasen mehr, weil ihre Poren unregelmässig gross geworden sind. Auch die etwa gleich alten und nach dem gleichen Prinzip funktionierenden Belüftungsanlagen im Baldeggersee und im Sempachersee (beide LU) müssen erneuert werden.

Algenwachstum und Phosphorkonzentration



Die Burgunderblutalge wächst vor allem bei mittleren Phosphorkonzentrationen gut. Vor den 1980er-Jahren waren die Phosphorkonzentrationen noch zu hoch und das Wachstum der Grünalgen zu stark, sodass die in rund 12 Metern Tiefe eingeschichtete Burgunderblutalge zu wenig Licht bekam.

Eine Arbeitsgruppe der beiden Gemeindeverbände Sempachersee und Hallwiler-/Baldeggersee sowie der Kantone Aargau und Luzern treibt die Erneuerung der Seebelüftung seit 2021 in einem gemeinsamen Projekt voran. Im Hallwilersee ist für 2026 der Ersatz aller sechs Diffusoren inklusive Gestänge und aller Diffusoren-Fritten geplant.

Herausforderungen für die Zukunft

Für die nächste Etappe der Seesanie- rung von 2026 bis 2033 wurde vom Regierungsrat des Kantons Aargau ein Kredit bewilligt. Somit können der Betrieb der Seebelüftung, die Massnahmen im Bereich Landwirtschaft und das Seemonitoring für die nächsten acht Jahre weitergeführt werden. Innerhalb dieser Sanierungsetappe ist geplant, mit Modellrechnungen das Zusammenspiel von Phosphoreinträ-

gen, Algenwachstum, Mischungsre- gime und Sauerstoffgehalt im See unter dem Aspekt des Klimawandels neu zu beurteilen. Schon jetzt ist klar: Um die Anforderungen an den Sauer- stoffgehalt im See zu erfüllen, müssen die Phosphoreinträge weiter sinken. Eine grosse Hoffnung liegt auf der projektierten ARA Seetal, die in Zu- kunft das gesamte Abwasser des Einzugsgebietes Hallwilersee und Baldeggersee unterhalb der beiden Seen reinigen soll. Damit würde kein gereinigtes phosphorhaltiges Abwas- ser mehr in die beiden Seen gelan- gen und der Phosphoreintrag in den Hallwilersee könnte um rund 0,3 bis 0,5 Tonnen Phosphor pro Jahr ge- senkt werden.

Die neue Seebelüftung wird weiter betrieben, bis die Phosphorziele er- reicht sind. Sollten die Massnahmen ausgesetzt werden, ist damit zu rech-

nen, dass die Phosphorgehalte im See wieder steigen und sich Phosphor- depots im See ablagern. Die Sauer- stoffverhältnisse würden wieder rapi- de schlechter und der Lebensraum für Tiere und Pflanzen wäre gefähr- det. Damit würde der See als Nah- erholungsgebiet stark an Qualität ein- büssen. Mit einer weiteren Reduktion der Phosphoreinträge können wir da- gegen davon ausgehen, dass die gif- tigen Burgunderblutalgen und damit die Gefahr für Erholungssuchende und Hunde abnehmen. Vielleicht sind dann die Sauerstoffverhältnisse wie- der gut genug, damit sich die Felchen natürlich vermehren können.

Weitere Informationen rund um die Hallwilerseesanie rung finden Sie unter www.ag.ch/umwelt > Wasser & Gewässer > Oberflächengewässer > Hallwilersee.

Temperaturmesskette Hallwilersee

Im Rahmen eines vom BAFU finanzierten Pilotprojekts betreibt die Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, in Zusammenarbeit mit dem Kanton Aargau seit September 2022 im Hallwilersee eine Temperaturüberwachungsstation. Die Temperaturmesskette misst die Wassertemperatur kontinuierlich in 18 verschiedenen Tiefen. Anfang 2025 wurde die Temperaturmesskette vom Kanton Aargau übernommen und es wurden bei 43, 40 und 25 Metern Tiefe zusätzlich drei Sauerstoffsonden installiert. Die kontinuierlich gemessenen Temperaturprofile und Sauerstoffwerte können online auf der Plattform für Seedaten der Eawag angesehen werden: www.datalakes-eawag.ch/datadetail/1046.

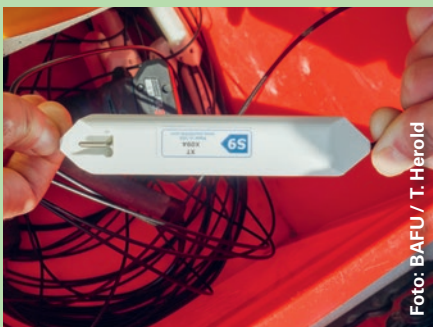


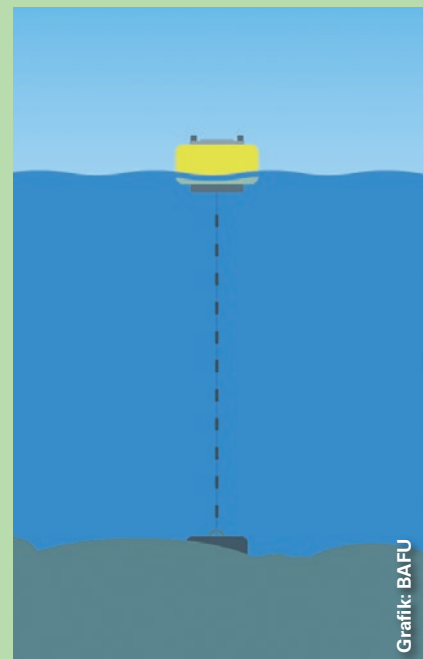
Foto: BAFU / T. Herold



Foto: BAFU / T. Herold



Foto: BAFU / T. Herold



Grafik: BAFU

Die Temperaturmesskette im Hallwilersee erhält Strom von einem eingebauten Solarpanel und sendet die Daten in Echtzeit ins Internet.