

Neue Ziele für die Sanierung des Hallwilersees

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

Der Zustand des Hallwilersees hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Dennoch sind heute – nach über 30 Jahren erfolgreicher Sanierungsbemühungen – noch nicht alle Ziele erreicht. Neue Erkenntnisse aus Forschung und langjähriger Seeüberwachung zeigen die Notwendigkeit einer Anpassung der Sanierungsziele und damit weiterer erforderlicher Massnahmen. Um ein nachhaltig gesundes Ökosystem Hallwilersee zu erreichen, sind tiefere Phosphorkonzentrationen und tiefere Phosphoreinträge in den See anzustreben. Die Diskussion der Sanierungsziele und der zusätzlichen Massnahmen verleihen der Sanierung des Hallwilersees neuen Schub.

Der Hallwilersee lockt heutzutage viele Besucherinnen und Besucher zum Spazieren und Verweilen am Ufer, zum Schifffahren auf dem See und im Sommer zum Baden im kühlen Nass an. Der Hallwilersee hat heute eine gute Wasserqualität. Dies war jedoch nicht immer so. Die jahrzehntelange Überdüngung des Sees mit Phosphor aus Siedlungen und Landwirtschaft (Eutrophierung) 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 schränkte ihren Lebensraum auf die obere, erwärmte Wasserschicht ein. Der Sauerstoffmangel in der Tiefe sowie die Veralgung und Verschlammlung der Laichplätze in der Uferzone hatten fatale Folgen für die Felchen: Eine natürliche Fortpflanzung war kaum mehr möglich. Nur durch die Aufzucht von Felcheneiern in Fischzuchten konnte der Bestand erhalten werden. Noch überdüngter war zu dieser Zeit der Baldeggersee, der über den Aabach in den Hallwilersee entwässert und für einen grossen Teil von dessen Phosphorfracht verantwortlich ist.

Die bisherigen Ziele der Seesanie rung

In der Hochphase der Eutrophierung der 1980er-Jahre wurden die Sanierungsbemühungen am Hallwilersee und am Baldeggersee von den beiden Kantonen Aargau und Luzern intensiviert, und es wurden erstmals Sanierungsziele festgelegt. Verschiedenste Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und der Landwirtschaft sowie die seeinternen Belüftungen halfen, den Phosphor-Gehalt der Seen stark zu reduzieren und den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser, die Wasserqualität

und die Lebensbedingungen für eine vielfältige Flora und Fauna zu verbessern.

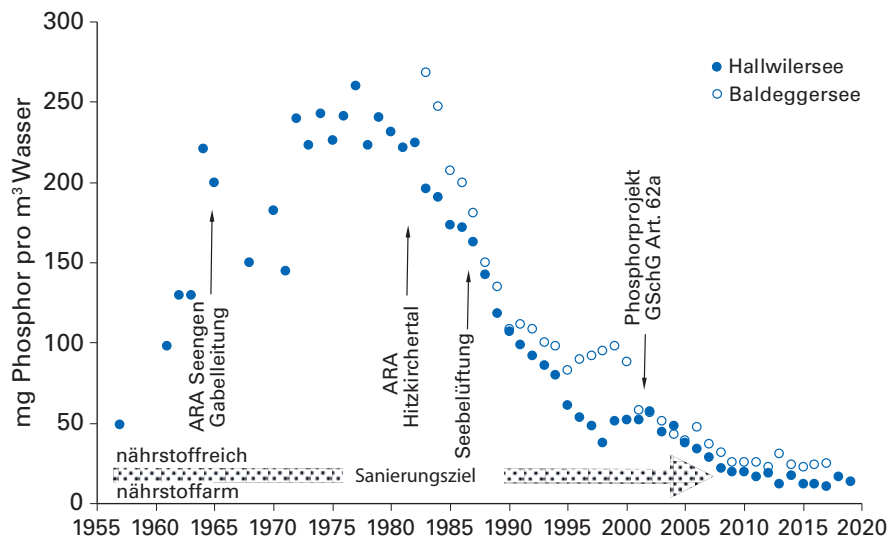
Der Seezustand heute

Seit den 1980er-Jahren wurde der Phosphorgehalt im Hallwilersee von über 200 auf unter 20 Milligramm pro Kubikmeter reduziert. Die einst festgelegten Ziele für die Phosphorkonzentration werden schon seit einigen Jahren erreicht. Ein Vergleich mit dem heutigen Zustand zeigt aber, dass die jährliche Phosphorfracht in den Hallwilersee noch zu hoch ist und sich in den letzten 15 Jahren kaum verringert hat. Die Algenproduktion ist weiterhin übermässig und hat aufgrund des resultierenden biologischen Abbaus eine zu starke Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser über die Sommermonate zur Folge. Die Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser sind in den Spätsommer- und Herbstmonaten unterhalb der gesetzlich geforderten vier Milligramm pro Liter. Ohne Belüftung dürften am Seegrund im Spätsommer/Herbst sauerstofffreie Bedingungen zu erwarten

Bisherige Sanierungsziele und aktueller Zustand des Hallwilersees

Zielebene	Bisherige Ziele	Seezustand 2019	Ziele erreicht?
Naturverlaichung der Felchen	möglich (>50%)	zirka 10%	nein
Sauerstoffgehalt (Herbst)	>4 mg/l im Tiefenwasser	<4 mg/l im Tiefenwasser 0,1 mg/l am Seegrund	nein
Algenproduktion	mässige Produktion, wenig Burgunderblutalgen	Burgunderblutalgen seit 2006 abnehmend, aber immer noch stark dominant	nein
Phosphorkonzentration	10 bis 20 mg/m ³	11 bis 17 mg/m ³	ja
Phosphorfracht	2,5 t/j	zirka 2,8 t/j	nein

Phosphorkonzentration im Hallwiler- und Baldeggersee



Die Abbildung zeigt die Phosphorkonzentrationen (in mg/m³) von Baldeggersee und Hallwilersee gemessen bei der Vollzirkulation im Frühling. Die Phosphorkonzentration gilt als Leitindikator für den Zustand der Seen. Viel Phosphor führt zu übermässigem Algenwachstum. Das bisherige Sanierungsziel lag bei 10 bis 20 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter Seewasser.

sein. Durch die ungenügenden Sauerstoffgehalte im Sediment sind die Voraussetzungen für die natürliche Verlaichung der Felchen weiterhin nicht ausreichend gegeben. Der Phosphoreintrag stammt hauptsächlich aus der Abwasserreinigung und der Landwirtschaft.

Neue Sanierungsziele für den Hallwilersee

Die bisherigen Sanierungsziele wurden für den Hallwilersee vor über 30 Jahren aufgrund des damaligen Wissensstandes und kaum Erfahrungen mit Seesanierungen festgelegt. Neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft und der langjährigen Seeüberwachung zeigen die Notwendigkeit einer Anpassung. Beispielsweise zeigen die Daten aus der Seeüberwachung, dass sich bei den Algen das Verhältnis zwischen Biomasse und Phosphor über die Jahre verändert hat. Algen haben sich den geringeren Phosphorkonzentrationen angepasst und können nun mit weniger Phosphor verhältnismässig mehr Biomasse aufbauen. Mit den neuen Erkenntnissen wurden die Zusammenhänge zwischen Phosphoreintrag, Algenproduktion, Sauerstoffzehrung und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser durch

das Wasserforschungsinstitut Eawag kürzlich neu modelliert. Um nach heutigem Wissensstand eine mässige Algenproduktion zu erreichen, sollte die Phosphorkonzentration 10 Milligramm pro Kubikmeter nicht überschreiten (bisheriges Ziel: 10 bis 20 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter). Der jährliche Phosphoreintrag ist dementsprechend auf zwei

Tonnen zu reduzieren. Eine höchstens mittlere Algenproduktion ist die Voraussetzung, dass die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser auch im Herbst ohne künstliche Belüftung mindestens vier Milligramm pro Liter beträgt. Durch eine genügende Sauerstoffversorgung der Sedimente kann langfristig die Voraussetzung für eine natürliche Verlaichung der Felchen in den Seen geschaffen werden. Ebenfalls dürfte mit weiter sinkenden Nährstoffgehalten auch die Dominanz der unerwünschten Burgunderblutalgen (*Planktothrix rubescens*, eine toxische Blaualge) im See abnehmen.

Die neuen Sanierungsziele für die drei Mittellandseen Hallwiler-, Baldegger- und Sempachersee wurden im Rahmen von zwei Workshops der Arbeitsgruppe Seesanie rung (ASSAN) in enger Zusammenarbeit der Fachstellen Gewässerüberwachung, Landwirtschaft, Fischerei der Kantone Aargau und Luzern sowie der Forschung, der Gemeindeverbände (Kanton Luzern) und Pro Natura erarbeitet und gutgeheissen. Die Sanierungsziele und somit ein intaktes Ökosystem Hallwilersee sollen bis Mitte der 2030-er Jahre erreicht werden. Als nächste Sanierungsetappe wurden daraus Zwischenziele bis 2026 abgeleitet. Die Sanierung des Hallwilersees kann ohne eine Sanierung des Baldegger-

Neue Sanierungsziele für den Hallwilersee

Zielebene	Zwischenziele (2026)	Langfristige Ziele 2019 (Mitte 2030er-Jahre)
Naturverlaichung der Felchen	Anteil Naturverlaichung > 25%	Voraussetzungen für den natürlichen Erhalt des Felchenbestands sind gewährleistet
Sauerstoffgehalt	>1 mg/l in 43 m Tiefe, Belüftung ohne Einsatz von Reinsauerstoff	> 4 mg/l im Tiefenwasser und 1 mg/l am Seegrund, ohne Belüftung im Sommer
Algenproduktion	mittlere Algenproduktion, signifikanter Rückgang der Burgunderblutalgen seit 2019	mittlere Algenproduktion, starker Rückgang der Burgunderblutalgen seit 2019
Phosphorkonzentration	12 mg/m ³	12 mg/m ³
Phosphorfracht	2,2 t/j	2 t/j

sees und den dadurch reduzierten Phosphoreintrag in den Hallwilersee nicht restlos erfolgen. Entsprechend wurden für den Baldeggersee vergleichbare Ziele festgelegt.

Richtung Ziel mit neuen Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge

Um die Sanierungsziele zu erreichen, müssen einerseits bestehende Massnahmen weitergeführt werden. Andererseits braucht es zusätzliche Anstrengungen, um vorrangig die Phosphoreinträge in die Seen weiter zu

reduzieren. Heute stammt etwa ein Drittel der Phosphorbelastung des Hallwilersees aus dem Baldeggersee mit seinem durch intensive Landwirtschaft geprägten Einzugsgebiet. Ein Forschungsprojekt des Kantons Luzern zur Evaluation der stark zur Phosphorbelastung des Baldeggersees beitragenden Flächen zeigt Lage und Verteilung der wichtigsten Phosphorquellen auf. Die konkreten aus der Studie abgeleiteten Massnahmen werden im Phosphorprojekt Phase III ab 2020 festgelegt und zielen vor allem auf die «Abreicherung» der mit Phosphor

übersättigten Böden und auf die Reduktion der Phosphoreinträge aus diesen Böden ab. Eine weitere daraus abgeleitete Massnahme ist die Sanierung von belasteten Einleitungen, Drainagen und Hofentwässerungen ab dem Jahr 2022. Eine geringere Phosphorbelastung des Baldeggersees hat auch einen reduzierten Eintrag von Phosphor in den Hallwilersee zur Folge und leistet dadurch einen wichtigen Beitrag zur Sanierung des Hallwilersees. Im Kanton Aargau stehen als Massnahmen zur Reduktion der Phosphoreinträge die Elimination von Phosphor-Punktquellen (beispielsweise drainierte Flächen in Birwil), Verbesserungen in der Siedlungsentwässerung und bei der Entwässerung von Strassen, Flur- und Feldwegen im Fokus. In beiden Kantonen werden die Grundkontrollen im Gewässerschutz und die Umsetzung des Gewässerraumes konkretisiert und vorangetrieben.

Zudem ist das «Generationenprojekt ARA Seetal» der beiden Kantone Aargau und Luzern und der betroffenen Gemeinden in Planung. Sie soll bis Anfang der 2030er-Jahre gebaut werden und die Abwässer des gesamten Seetals reinigen, womit keine gereinigten Abwässer mehr Phosphor in den Baldegger- und den Hallwilersee eintragen würden.

Szenario 2035 für einen gesunden See

Gemäss den neuen Sanierungszielen muss der Phosphoreintrag in den Hallwilersee bis Mitte der 2030er-Jahre von rund 2,9 auf 2 Tonnen jährlich reduziert werden. Werden die Ziele für den Baldeggersee erreicht, reduziert sich der Phosphoreintrag um eine halbe Tonne jährlich auf 0,6 Tonnen pro Jahr. Eine Umsetzung des Generationenprojektes ARA Seetal würde zudem bedeuten, dass das gereinigte Abwasser der ARA Hitzkirchertal nicht mehr in den Hallwilersee gelangt und somit ein Phosphoreintrag von rund 0,25 Tonnen pro Jahr wegfällt. Die direkte Phosphordeposition auf der Seeoberfläche durch Auswaschung von Feinpartikeln aus der Luft bei Regen wird auf 0,9 Tonnen pro Jahr geschätzt und kann nicht durch Massnahmen

Vielfältige Massnahmen für eine positive Entwicklung des Hallwilersees

Reduktion der Phosphor-Einträge:

- Bau von Kläranlagen (Seengen 1964, Hochdorf 1967, Mosen 1983) und Bau von Regenbecken
- Verbesserungen bei den Hofdüngeranlagen (Beratungen seit den 1980er-Jahren)
- Pufferstreifen zum Schutz des Sees und seiner Zuflüsse vor Nährstoff- und Pestizideinträgen
- Förderung von Direkt- und Streifenfrässaaten zum Schutz vor Erosion
- Kompensationszahlungen für reduzierte Phosphordüngung (Phosphorprojekt 2001 bis 2010)
- Düngebeschränkung auf 100 Prozent des Phosphorbedarfs (Kanton Aargau: § 29 Verordnung zum Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässer, seit 2012)
- Seit 2017 Ablösung der Massnahme «Pufferstreifen» durch die Umsetzung «Gewässerraum»: Ein gesetzlich festgelegter Gewässerraum von 15 Metern ab Seeufer sowie einer bei den Zuflüssen, dessen Breite von der Gewässerbreite abhängt, schützen vor Nährstoff- und Schadstoffeinträgen. Der Gewässerraum darf landwirtschaftlich nur noch mit Einschränkungen, d. h. als Biodiversitätsförderflächen, bewirtschaftet werden.

Seebelüftung (seit 1985)

- Die grobblasige Zirkulationshilfe mit Druckluft unterstützt die Umwälzung des Hallwilersees und damit das Auffüllen seiner Sauerstoffreserven aus der Atmosphäre über den Winter.
- Die feinblasige Belüftung mit Reinsauerstoff und Druckluft im Sommerhalbjahr hilft, die kritische Sauerstoffsituation im Tiefenwasser im Herbst zu überbrücken.
- Als Folge des fortschreitenden Gesundungsprozesses wird seit 2016 auf den Eintrag von Reinsauerstoff verzichtet. Der Betrieb mit Druckluft allein (Eintrag: 100 Tonnen pro Jahr) hat jeweils ausgereicht, um die Phase mit kritischen Sauerstoffkonzentrationen im Herbst zu überbrücken. Für die Gesamtbilanz des Sauerstoffgehaltes im See ist die Belüftung im Sommer jedoch weniger wichtig, da mit der Winterzirkulation jährlich rund 3000 Tonnen Sauerstoff aus der Atmosphäre in den See eingetragen werden.

Weitere Informationen rund um die Hallwilerseesanieierung finden Sie unter www.ag.ch/umwelt > Oberflächengewässer > Hallwilersee.

reduziert werden. Zur Erreichung des langfristigen Sanierungsziels fehlt somit noch eine Eintragsreduktion von rund 0,25 Tonnen pro Jahr, die durch Massnahmen im direkten Einzugsgebiet des Hallwilersees eingespart werden muss. Welchen Beitrag dabei die Massnahmen in der Siedlungsentwässerung oder in der Landwirtschaft leisten, ist Gegenstand von Abklärungen. In Anbetracht der bereits erreichten Fortschritte der letzten 30 Jahre scheint die Erreichung der Sanierungsziele in greifbarer Nähe. Die Belüftungen und Zirkulationshilfen müssen im Hallwilersee bis zur Erreichung der Phosphor- und Sauerstoffziele aber weiter betrieben werden.



Foto: AfU

Regelmässig werden auf dem Hallwilersee Proben zur Untersuchung der Sauerstoff- und der Nährstoffkonzentrationen und des Planktons entnommen.

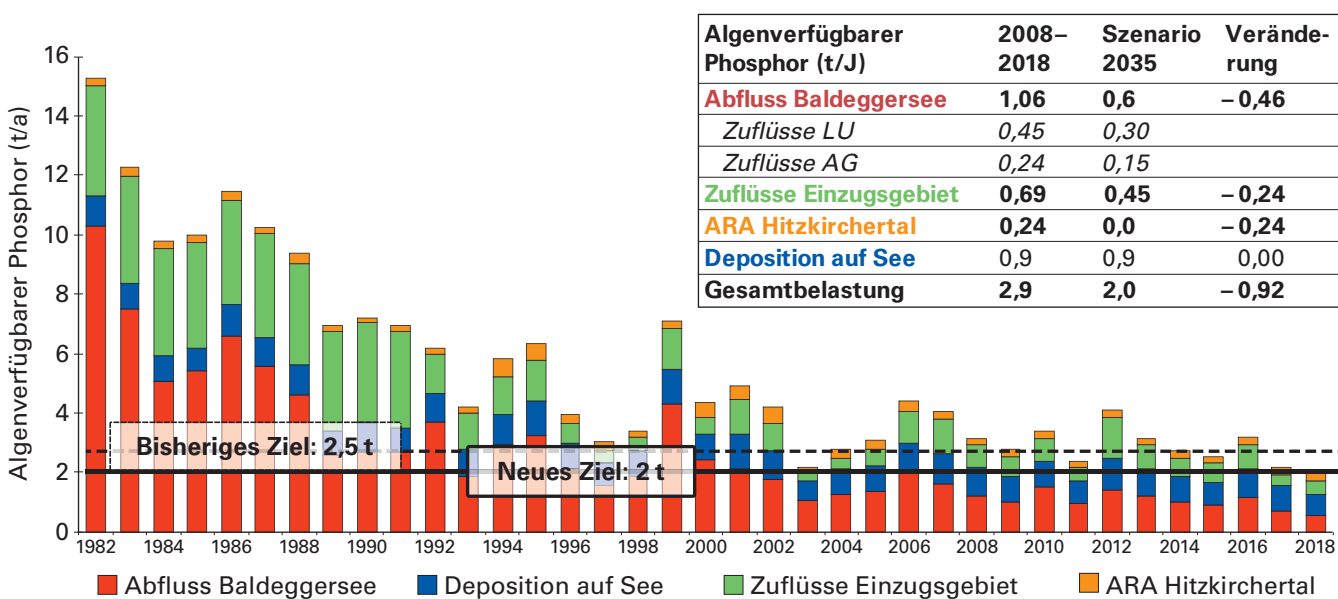
Die Seeüberwachung wird weitergeführt

Ein weiteres wichtiges Element der Seesanieung ist die Seeüberwachung. Am Hallwilersee werden einerseits die physikalisch-chemischen Parameter, aber auch die biologischen Indikatoren regelmässig untersucht (Plankton, Würmer im Sediment, Fische). Mit einer hinreichenden regelmässigen Untersuchung der Seen werden die Fortschritte bei der Erreichung der Ziele

überprüft, Massnahmen (beispielsweise die Belüftung) gesteuert, nachteilige Entwicklungen frühzeitig erkannt und die Prozesse im See besser verstanden. Mit der Weiterführung der Untersuchungen wird auch die Datengrundlage für die exaktere Berechnung

der Nährstoffflüsse und Modelle verbessert. Zudem werden am Hallwilersee Untersuchungen der Auswirkungen invasiver Arten (insbesondere der Wandermuscheln) und des Klimawandels auf die Entwicklung der Seen angestrebt.

Phosphoreinträge in den Hallwilersee seit den 1980er-Jahren bis heute in Tonnen pro Jahr



Sollen die neuen Sanierungsziele 2035 erreicht werden, müssen die Phosphoreinträge reduziert werden. Eine plausible Verteilung der Einträge ist in der Tabelle als Szenario 2035 dargestellt. Für den aktuellen Zustand wird in der Tabelle jeweils der durchschnittliche Phosphoreintrag in Tonnen pro Jahr über die Jahre 2008 bis 2018 angegeben, weil die Genauigkeit der Abschätzungen für ein einzelnes Jahr beschränkt ist.