



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Wasser
Tel.: +41 58 46 269 69
Fax: +41 58 46 303 71
wasser@bafu.admin.ch
<http://www.bafu.admin.ch>

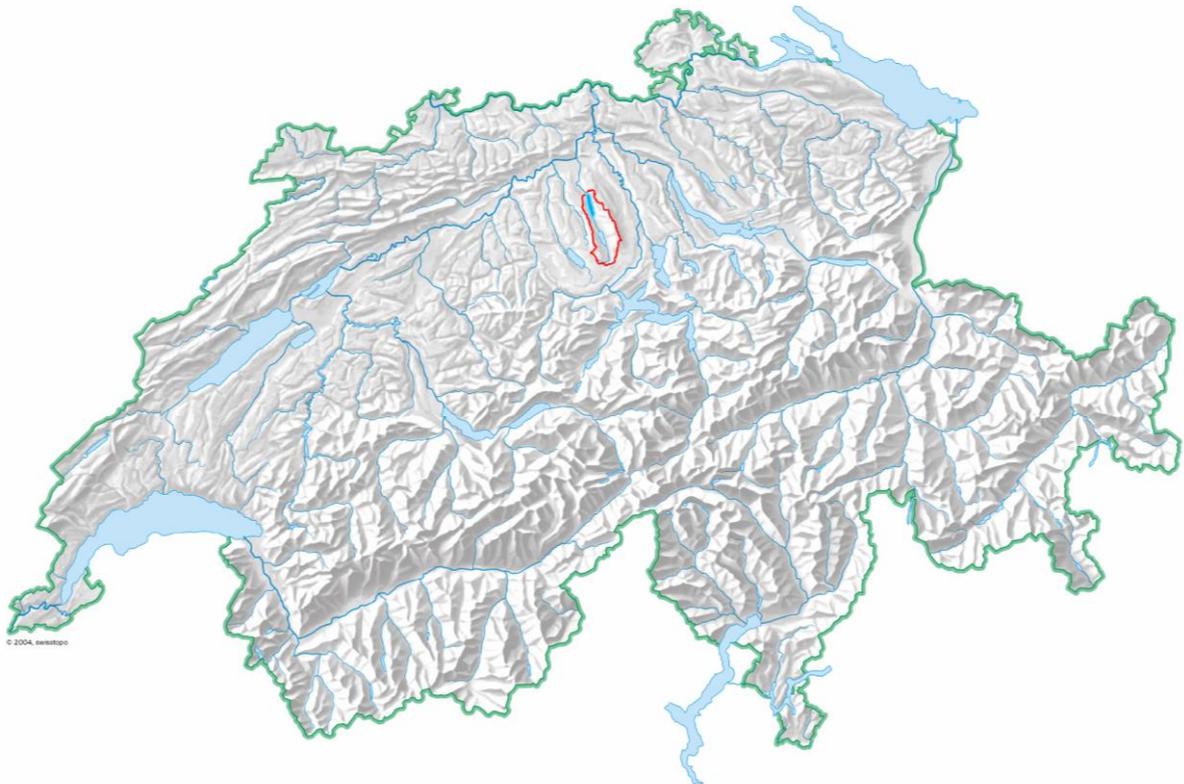
Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Hallwilersee

Zustand bezüglich Wasserqualität



Lage des Hallwilersees (blau) und seines Einzugsgebiets (rot)

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Der Hallwilersee ist nach der Würm-Eiszeit vor rund 15'000 Jahren entstanden. Ein Arm des verästelten Reussgletschers folgte vom heutigen Luzern aus nordwärts einer im weichen, horizontal gelagerten Molassegestein bereits schwach vorgezeichneten Rinne und verbreiterte und vertiefte diese durch mehrere Vorstösse zum heutigen Seetal. Nach seinem Rückzug füllte sich die Talmulde mit Wasser und bildete einen See. Als der Wasserspiegel sank, tauchten weitere Endmoränen aus dem See auf. Die Moräne bei Ermensee-Hitzkirch teilt das ursprüngliche Seebecken in zwei Teile, den Baldeggersee und den Hallwilersee.

Wegen der Nord-Süd-Lage des Sees und der im Verhältnis zu seiner Breite recht hohen Hügelzüge am Ost- und Westufer, fehlen die für die Vollzirkulation nötigen Winde oft vollständig. Nur Winde aus Süden und Norden finden die für eine Zirkulation nötige Angriffsfläche. Deshalb findet natürlicherweise nur ein- bis zweimal in zehn Jahren eine Vollzirkulation im Hallwilersee statt.

Das hydrologische Einzugsgebiet des Hallwilersees umfasst 129 km² inkl. bzw. 61 km² exkl. Baldeggersee und wird landwirtschaftlich intensiv genutzt (Abbildung 1). Das Einzugsgebiet weist zusammen mit denjenigen des Sempacher- und Baldeggersees den höchsten Viehbestand aller grossen Seeinzugsgebiete auf.

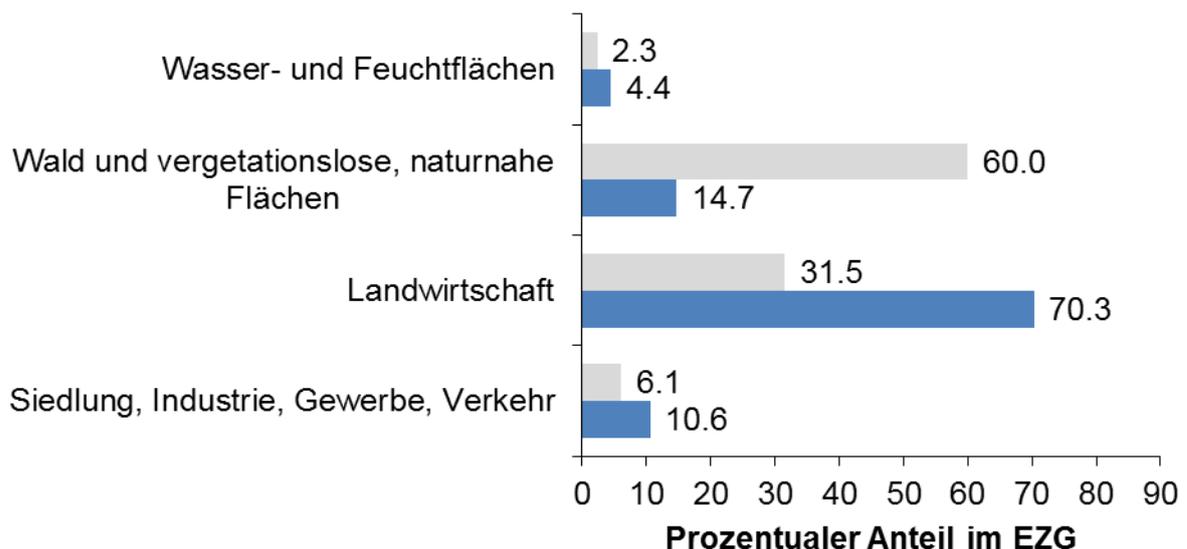


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Hallwilersees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

Eine Tabelle mit detaillierten Angaben zur Seenmorphologie und zu den Einzugsgebietsparametern befindet sich im Anhang.

2 Die Entwicklung des Seezustandes

2.1 Phosphorgehalt und -frachten

Sedimentuntersuchungen belegten, dass die Burgunderblutalge, welche eine beginnende Eutrophierung des Sees anzeigt, bereits Ende des 19. Jahrhundert in grösseren Mengen im Hallwilersee auftrat (Züllig 1982). Die erste beschriebene Blüte der Burgunderblutalge stammt aus dem Jahre 1898. Brutschy (1911) erwähnte, dass die Burgunderblutalge den grössten Teil der gesamten Planktonmenge ausmachte. Demnach war der Hallwilersee vor ca. 100 Jahren ein meso- bis eutrophes Gewässer mit einer P-Konzentration von ca. 20 – 30 µg/l.

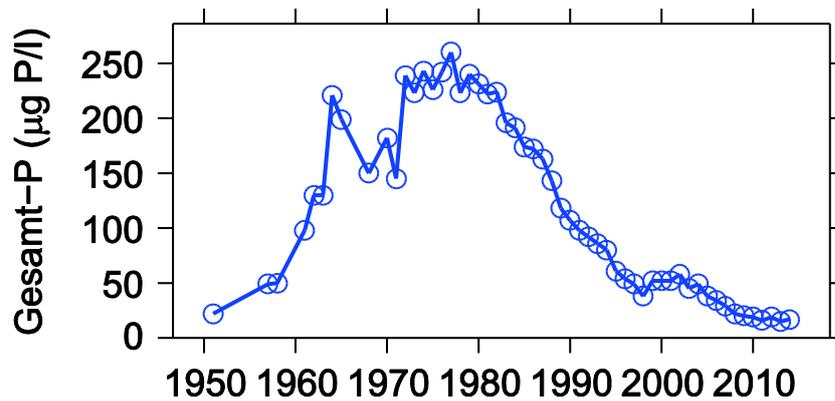


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Hallwilersee.

Seit den ersten P-Messungen im Jahr 1958 nahm die P-Konzentration im Hallwilersee von 50 µg/l bis auf rund 250 µg/l in den 1970er Jahren zu (Abbildung 2). Ursache dafür waren die Einleitung von Siedlungsabwässern, hohe Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft und der Nährstoffeintrag aus dem Baldeggersee. Die P-Belastung lag im Jahre 1958 bei 5.6 t/a und stieg bis Ende der 1970er Jahre auf mindestens 16 t/a an (Stöckli 2010). Die Folgen waren Algenblüten und Sauerstoffschwund in tieferen Wasserschichten. Verschiedene Messungen der Algenproduktion im Zeitraum 1978 – 1988 ergaben Werte zwischen 300 – 500 gC/m²a, d.h. zwei- bis dreimal mehr als in mässig belasteten Seen (Bernier 1980; Uehlinger & Bloesch 1986). In den 1960er Jahren wurde die Burgunderblutalge aufgrund der stark zunehmenden Eutrophierung von anderen schnell wachsenden Algenarten verdrängt (Stöckli 2012).

Ab Ende der 1980er Jahre nahmen die P-Konzentrationen im Hallwilersee wieder ab. Als Folge davon traten ab Mitte der 1990er Jahre auch wieder Burgunderblutalgen auf, was zu einer kurzfristigen Stagnation der P-Konzentrationen zwischen 1999 – 2002 führte (Abbildung 2), jedoch als positive Entwicklung im Gesundheitsprozess des Hallwilersees gewertet wurde (Stöckli 2010). Seit 2009 liegen die P-Konzentrationen im Zielbereich von 10 – 20 µg/l (Abbildung 2, Tabelle 3). Die externe P-Belastung konnte ebenfalls stark reduziert werden und betrug im Jahr 2012 noch rund 2.5 t/a (Stöckli 2012). Diese Trendumkehr kann auf folgende Gewässerschutzmassnahmen zurückgeführt werden:

1. Abwassersanierung im Einzugsgebiet

Seit 1963 wurden die Abwässer der Anliegergemeinden durch eine Gabelleitung der ARA Hallwilersee in Seengen zugeführt, gereinigt und in den Seeabfluss geleitet. Seit den 1990er Jahren sind 100% der Einwohner auf Aargauer Gebiet (mündl. Mitt. AfU AG) und 97% der Einwohner auf Luzerner Gebiet (mündl. Mitt. uwe LU) an eine ARA angeschlossen. Alle ARAs im Einzugsgebiet beider Seen sind bezüglich P-Elimination auf dem neuesten technischen Stand (Suter & Herzog 2007). Nur bei Regenwetter gelangt noch Abwasser über Hochwasserentlastungen in den See (Suter und Herzog 2007). Diese Entlastungen werden heute durch Regenwasserbehandlungsanlagen zusätzlich gereinigt (Stöckli & Lovas 2007).

2. Inbetriebnahme der Zirkulationshilfe und Belüftungsanlage:

Seit dem Betrieb der Zirkulationshilfe und der Belüftungsanlage 1985/86 hat die P-Rücklösung aus dem Sediment während der Stagnationsphase aufgrund der verbesserten Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser von rund 18 t Mitte der 1980er Jahre auf rund 3 – 4 t im Jahr 2007 abgenommen (Stöckli & Märki 2007).

3. Zustandsverbesserung Baldeggersee:

Zuflussuntersuchungen von 1988 – 1990 belegten die ersten Erfolge der Abwassersanierung im Kanton Luzern und der Sanierung des Baldeggersees (Stöckli & Lovas 2007). Die P-Belastung aus dem Baldeggersee lag damals bei rund 2.6 t/a und damit bei rund 40% der Gesamt-P-Belastung des Hallwilersees von 6.5 t/a (Stöckli & Lovas 2007). In den Jahren 2004 – 2010 betrug die durchschnittliche P-Belastung aus dem Baldeggersee noch rund die Hälfte, nämlich 1.4 t/a (

Tabelle 1). Vor dem Jahr 2000 lagen die P-Konzentrationen im Baldeggersee bei rund 100 µg/l und im Jahr 2007 bei rund 50 µg/l (Stöckli & Lovas 2007).

4. Massnahmen in der Landwirtschaft:

Von 2001 – 2010 wurden im Rahmen eines Phosphorprojekts nach Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes in den Einzugsgebieten von Baldegger- und Hallwilersee gezielte Leistungen der Landwirtschaft zugunsten der P-Reduktion in beiden Seen abgegolten. Weil die Aargauer Landwirtschaft mit einer P-Fracht von 900 kg/a nur zu einem kleinen Teil zur geschätzten P-Belastung des Hallwilersees von 5.5 t/a landwirtschaftlichen Ursprungs beitrug, drängten sich in den beiden Kantonen Aargau und Luzern unterschiedliche Massnahmen auf (Ziltener 2007). Die wichtigsten Massnahmen in der Aargauer Landwirtschaft lagen beim Ausscheiden von Pufferstreifen entlang der Gewässer und im reduzierten Einsatz von Phosphatdüngern.

In der luzernischen Landwirtschaft beteiligten sich die Landwirte entweder am Seevertrag, der mehrere gesamtbetriebliche Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung umfasst oder sie leisteten mit Einzelmassnahmen einen Beitrag zur Sanierung. So waren im Jahr 2007 bereits 75% der landwirtschaftlichen Nutzfläche im luzernischen Einzugsgebiet des Hallwilersees unter Seevertrag (Falconi-Bürgi 2007).

Diese Massnahmen bewirkten nochmals eine massive Reduktion der P-Belastung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (Tabelle 1).

Seit dem 1. Januar 2011 sind im Einzugsgebiet des Hallwilersees besondere Vorschriften bezüglich der Düngung mit Phosphor in Kraft, welche darauf abzielen, das bisher erreichte Niveau der P-Abschwemmungen in den Hallwilersee weiterhin zu erhalten, auch wenn ab 2011 keine Abgeltungen mehr im Rahmen des Phosphorprojektes gezahlt werden (Baltzer 2012).

Tabelle 1: Eintrag von algenverfügbarem Phosphor in den Hallwilersee (schriftl. Mitt. AfU AG).

P algenverfügbar (t/a)	2000	2004-2010	2011/2012	Sanierungsziel
Abfluss Baldeggersee	2.8	1.43	1.31	0.8
<i>Zuflüsse Hallwilersee LU</i>	<i>1.01</i>	<i>0.50</i>	<i>0.56</i>	<i>0.45</i>
<i>Zuflüsse Hallwilersee AG</i>	<i>0.50</i>	<i>0.26</i>	<i>0.30</i>	<i>0.22</i>
Zuflüsse Einzugsgebiet	1.51	0.76	0.86	0.67
ARA Hitzkirchertal	0.3	0.28	0.24	0.1
Deposition auf See	0.9	0.92	0.95	0.9
Gesamtbelastung Hallwilersee	5.5	3.38	3.36	2.5

2.2 Sauerstoffgehalt

Sedimentuntersuchungen zeigten, dass der Hallwilersee ab ca. 1900 sauerstofffreie Zonen aufwies (Märki 2007, AquaPlus 2001). Güntert (1920) und Keller (1945) erwähnten Sauerstoffmangel unterhalb von 10 m Tiefe und das Auftreten von reduzierten Substanzen, was die Folge einer hohen Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser aufgrund der hohen Algenproduktion und der mangelnden Zirkulation des Hallwilersees war. Die sauerstofflosen Bedingungen im Tiefenwasser führten zu einem Verschwinden der Würmer in den Sedimenten unterhalb einer Tiefe von 25 m (Zimmermann 2007). Die Hallwilersee-Balchen, eine schnellwüchsige Grossfelchenart, waren in den 1920er Jahren praktisch ausgestorben. Später erholten sich die Bestände dank künstlichem Besatz wieder. In den obersten 10 m traten bis Ende der 1980er Jahre aufgrund dieser hohen Algenproduktion Sauerstoffübersättigungen von 200 – 300% auf (Link allg Teil).

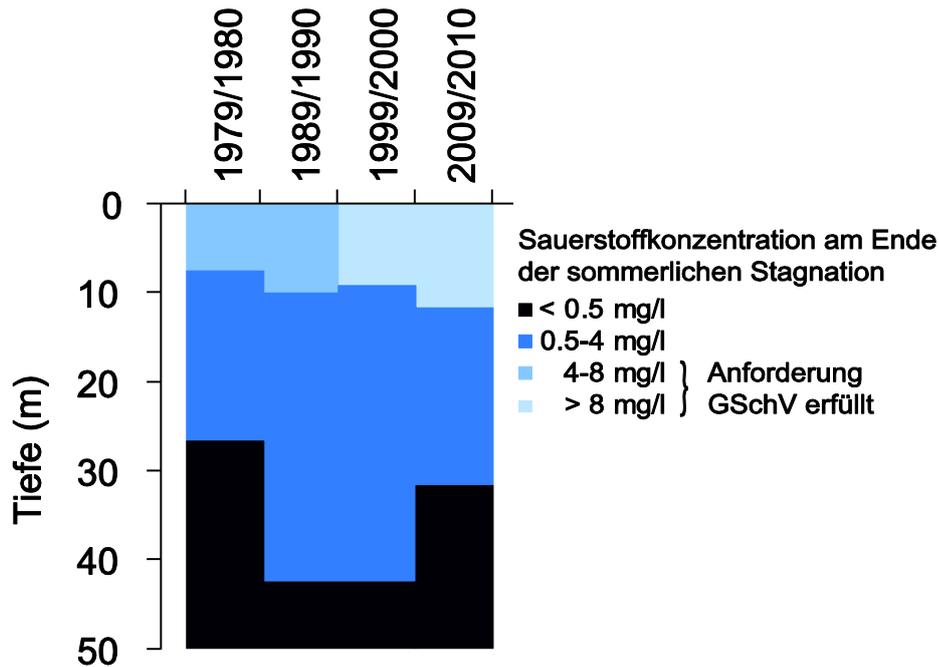


Abbildung 3: Sauerstoffkonzentrationen im Hallwilersee.

Seit der Inbetriebnahme der Zirkulationshilfe und der künstlichen Belüftung in den Jahren 1985/86 sowie der reduzierten P-Belastung des Hallwilersees haben sich die Sauerstoffbedingungen im See wieder verbessert (Moosmann & McGinnis 2007, Abbildung 3). 1991 wurde das erste Mal das ganze Jahr über bis zum Seegrund in 46 m Tiefe Sauerstoff nachgewiesen. Der gesetzlich vorgegebene Zielwert für Sauerstoff von 4 mg/l wurde bis in eine Tiefe von 40 m eingehalten (Abbildung 3).

). Die Würmer im Sediment, welche als Mass für die Sauerstoffversorgung im Zusammenhang mit dem Betrieb der Seebelüftung verwendet werden, besiedelten 1993/94 wieder die gesamte Tiefe des Sees (Zimmermann 2007). Im Zeitraum 1999 – 2002 bewirkte das massenhafte Auftreten der Burgunderblutalge kurzfristig wieder eine erhöhte Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser, welche durch die Belüftung nachgeliefert werden musste (Stöckli 2010) (Link allg. Teil). Durch die besseren Sauerstoffbedingungen im See kommen sichtbare Fischsterben heute nicht mehr vor. Anspruchsvolle Arten, wie z.B. die Hallwilersee-Balchen, können sich jedoch nach wie vor nicht natürlich fortpflanzen und entsprechende Besatzmassnahmen sind immer noch nötig (Müller 2007).

Aufgrund des immer noch hohen Sauerstoffbedarfes der Sedimente kann zum jetzigen Zeitpunkt auf die Belüftung und die Zirkulationshilfe nicht verzichtet werden (Märki 2007, Stöckli 2010).

Tabelle 2: Die Geschichte des Hallwilersees im Überblick.

Chronik	
1898	Erste Algenblüte mit Burgunderblutalgen
1920	Rückgang des Felchenbestandes
1956	Algenblüten als Folge der P-Belastung aus Siedlung und Landwirtschaft
1961	Grosses Fischsterben aufgrund geringer Sauerstoffkonzentrationen
1963	Inbetriebnahme ARA Hallwilersee in Seengen (AG)
Ab 1965	Beginn der Abwassersanierung im Kt. Luzern
1980	Inbetriebnahme der ARA Moosmatten (LU)
1985	Inbetriebnahme der Zirkulationshilfe
1986	Inbetriebnahme der Zirkulationshilfe und Tiefenwasserbelüftung ¹
80er Jahre	Beratungsprogramm für Landwirte betreffend Düngepraxis
2001	Sanierungsprojekt nach Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes zur Verhinderung der Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen
2011	Erlass von Düngevorschriften im Einzugsgebiet des Hallwilersees
In Zukunft geplant	Zusammenschluss der ARA Moosmatten und ARA Hochdorf mit ARA Hallwilersee wird längerfristig geprüft ²
	Düngevorschriften im Einzugsgebiet des Hallwilersees (Baltzer 2012)

¹ Mit der Anlage wurde nach einer Testphase ab 1987 jedes Jahr zwischen April und Oktober jeweils 400 – 600 t Sauerstoff ins Tiefenwasser eingetragen. Seit 2003 wird der Sauerstoff aus Kostengründen vorwiegend vor Ort aus der Umgebungsluft angereichert (Stöckli 2007).

² Mit dieser Massnahme könnte die P-Fracht um weitere ca. 300 kg/Jahr reduziert werden

3 Fazit

Die bisherigen Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung im Einzugsgebiet des Hallwilersees waren erfolgreich. Der See weist alle Voraussetzungen auf, um nachhaltig zu gesunden:

- Die P-Konzentrationen des Hallwilersees erreichen bereits heute die angestrebten Zielwerte (Tabelle 3).
- Die angestrebten Zielwerte für die P-Belastung und die Algenproduktion werden zurzeit nahezu erreicht (Stöckli 2010).

Die gesetzliche Anforderung bezüglich Sauerstoffkonzentration wird noch nicht eingehalten, weshalb die Belüftung des Sees im Sommer weiterhin aufrechterhalten werden muss. Dies insbesondere aufgrund der hohen Sauerstoffzehrung der Sedimente, welche zu einem grossen Teil von den organischen Ablagerungen der letzten 30 bis 50 Jahre verursacht wird. Diese wirkt sich verzögernd auf die Gesundung des Hallwilersees aus, wird jedoch mit der weiteren Abnahme der P-Belastung in den nächsten Jahren immer weiter abnehmen.

Die natürliche Fortpflanzung der Felchen wird in den nächsten Jahren höchstens punktuell dort erreicht werden, wo günstige Verhältnisse auftreten wie z.B. im Deltabereich von Bächen (Stucki 2007).

Es ist jedoch klar, dass eine weiter gehende Verbesserung der Situation im Hallwilersee nur durch eine vollständige Sanierung des Baldeggersees zu erreichen ist, welcher ca. zur Hälfte der P-Frachten in den Hallwilersee beiträgt.

Tabelle 3: Für den Hallwilersee gültige Qualitätsziele.

Kriterium	Ziel	Grundlage
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort	Anhang 2 GSchV
P-Eintrag	2.5 t/a	Stöckli (2010)
P-Konzentrationen	10 – 20 µg/l	Stöckli (2010)
Algenproduktion	Mässige Algenproduktion bzw. wenig Burgunderblutalgen und typische Kieselalgen	Stöckli (2010)
Sauerstoffversorgung des Seegrundes	Natürlicherweise ausreichend für Überleben von Würmern	Stöckli (2010)
Fortpflanzung der Felchen	Felcheneier können sich am Sediment entwickeln	Stöckli (2010)

4 Literatur

- AquaPlus, 2001: Entwicklung des Gesamtphosphors im Hallwilersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Bericht zuhanden des Baudepartements des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz.
- BAFU, 2013: Einzugsgebietsgliederung Schweiz EZGG-CH. Bundesamt für Umwelt, Bern.
<http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/11452/index.html>.
- Baltzer P., 2012: Besondere Dünge-Vorschriften im Einzugsgebiet des Hallwilersees. Umwelt Aargau Nr. 58, 9 – 12.
- Berner P., 1980: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee. Diplomarbeit, Zoologisches Institut der Universität Bern.
- BFS, 2010: Betriebszählung 2008. Branchenporträt Landwirtschaft. BFS Aktuell. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, 18 S.:
www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/erhebungen_quellen/blank/blank/bzs1z/01.html
- BFS, 2011: Statistik der Bevölkerung und der Haushalte 2011 (STATPOP2011), Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Bloesch J., Uehlinger U., 1983: Horizontal sedimentation differences in an eutrophic Swiss Lake. *Limnology and Oceanography* 31 (5), 1094 – 1109.
- Brutschy A., 1911: Das Plankton des Hallwilersees. Festschrift der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft 12, 141 – 148.
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991. SR 814.20.
- EEA, 2010: CORINE Land Cover Project, Europäische Kommission, Kopenhagen.
- Falconi-Bürgi I., 2007: Phosphorprojekte an den Luzerner Mittellandseen. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 19 – 20.
- Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998. SR 814.201.
- Güntert A., 1920: Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Hallwilersee und ihre biologische Bedeutung. Festschrift für Zschokke 12, Basel.
- Keller R., 1945: Limnologische Untersuchungen am Hallwilersee. *Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft* 22/1.
- Keller R., 1945: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee, Dissertation ETH Zürich.
- Liechti P., 1994: Der Zustand der Seen in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 237. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 163 S.
- Märki M., 2007: Seesedimente, eine „Altlast“. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 32 – 33.
- Moosmann L., McGinnis D., 2007: Wirkung der Belüftung auf den Sauerstoffhaushalt des Sees. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 30 – 31.
- Müller R., 2007: Warum können sich die Felchen noch nicht natürlich vermehren? Umwelt Aargau Sondernummer 24, 40 – 42.
- Stöckli A., 2010: Dem Hallwilersee geht es immer besser! Umwelt Aargau Nr. 49, 13 – 19.
- Stöckli A., 2012: Das Plankton zeigt die Gesundung des Hallwilersees. Umwelt Aargau Nr. 58, 13 – 20.
- Stöckli A., Lovas R., 2007: Die Phosphorbelastung des Hallwilersees nimmt ab. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 43 – 46.
- Stöckli A., Märki M., 2007: Sanierungsmassnahmen verbessern die Wasserqualität. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 21 – 24.

Stucki T., 2007: Fische und Krebse im Hallwilersee. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 37 – 39.

Suter B., 2007: Sauerstoffanreicherung – neue Technik spart Kosten. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 13 – 14.

Ziltener Ch., 2007: Massnahmen der Aargauer Landwirtschaft. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 17 – 18.

Zimmermann F., 2007: Würmer beleben den Seegrund neu. Umwelt Aargau Sondernummer 24, 34 – 36.

Züllig H., 1982: Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Entfaltungen. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 44 (1).

5 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

6 Internet

<http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13483/14095/index.html>

7 Anhang: Charakterisierung des Hallwilersees und seines Einzugsgebietes.

Morphologie See

Seefläche	10.2	km ²
Volumen	0.285	km ³
Meereshöhe Seespiegel	449.0	m
Uferlänge.....	19.1	km
maximale Länge	8.4	km
maximale Breite.....	1.6	km
maximale Tiefe	47	m
mittlere Tiefe.....	28	m
mittlerer Abfluss.....	2.3	m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit.....	3.9	Jahre
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland	0	%

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe	587	m
Maximale Meereshöhe.....	878	m

Bodenbedeckung und -nutzung im Einzugsgebiet (Stand: 2006, EEA 2010, BAFU 2013)

Gesamtfläche ohne Seefläche	129	km ²
Flächenanteil des EZG in der Schweiz.....	100.0	%
Siedlungsfläche, Städte, Parks	10.3	%
Industrie, Verkehr, Gewerbe	0.3	%
Ackerfähiges Land	66.9	%
Dauergrünland.....	0.0	%
Dauerkulturen, Reben, Obst	3.4	%
Wälder, Strauchvegetation.....	14.7	%
Vegetationslose naturnahe Flächen	0.0	%
Wasser- und Feuchtflächen ³	4.4	%

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend	27.9
-----------------------------------	------

Landwirtschaft (Landw. Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone	72.0	%
Hügelzone	23.9	%
Bergzone I.....	0.0	%
Bergzone II.....	0.0	%
Bergzone III.....	0.0	%
Bergzone IV.....	0.0	%
Sommerungsgebiet.....	0.0	%
GVE im Einzugsgebiet (ohne See).....	0.458	ha ⁻¹

³ Fläche Hallwilersee ausgenommen