

Der Zustand des Hallwilersees

Autor(en): **Märki, Erwin / Schmid, Marcel**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **75 (1983)**

Heft 4

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941260>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Bild 1. Das Seetal mit dem Hallwilersee als Visitenstube des Kantons Aargau. Luftbild der Swissair Photo + Vermessungen AG vom 11. August 1952.

Der Zustand des Hallwilersees

Erwin Märki und Marcel Schmid

1. Einleitung

Nach *Güntert* ist der Hallwilersee, wie übrigens die meisten Alpenrandseen, glazialen Ursprungs.

«Ein Arm des verästelten Reussgletschers folgte von Luzern aus einer im weichen, horizontal gelagerten Molassensandstein bereits schwach vorgezeichneten Rinne nordwärts und verbreitete diese zum heutigen Seetal.

Hand in Hand mit dieser Verbreiterung ging eine Vertiefung. Nachdem der Gletscherarm sich vollständig aus dem Seetal zurückgezogen hatte, füllte sich die vertiefte Talmulde mit Wasser und bildete einen See. Als der Seespiegel sank, tauchten Endmoränen über demselben empor. Das untere See-Ende zog sich hinter den Wald von Boniswil-Seengen zurück, oben trennte die Moräne Ermensee-Hitzkirch das Becken in zwei völlig selbständige Seen, den Hallwilersee und den Baldeggersee.»

Aus dem Jahre 1911 stammen die beiden ersten Arbeiten über Untersuchungen am Hallwilersee. *Brutschy* beschrieb das pflanzliche (Phyto-) und das tierische (Zoo-) Plankton und erwähnt, dass im Juni 1911 die *Oscillatoria rubescens* (Burgunderblutalge) den grössten Teil der gesamten Planktonmenge ausmachte. Die erste *Oscillatoria*-Algenblüte wird aus dem Jahre 1898 gemeldet, wobei neue Sedimentuntersuchungen von *Züllig* zeigen, dass bis in die Mitte des 15. Jahrhunderts *Oscillaxanthin*, ein Farbstoff der Carotinoiden, anzutreffen ist, welcher auf die An-

wesenheit von *Oscillatoria* schliessen lässt. 1911 beschreibt *Güntert* die Tiefenfauna des Hallwilersees und bemerkt, dass der Hallwilersee sehr arm an profunden Formen sei. Die erste chemische Arbeit «Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Hallwilersee» wurde 1920 von *Güntert* veröffentlicht. Darin wird festgehalten, dass sich im Hallwilersee ein immer rascher werdendes Verschwinden der Coregonen (Felchen) zeigt.

Weitere limnologische Untersuchungen stammen von *Güntert* 1917, *Brutschy* 1922, *Brutschy* und *Güntert* 1923, *Keller* 1945, *Bachofen* 1960, *Berner* 1980, *Uehlinger* 1981. Von 1961–1964 hat das kantonale Laboratorium Aargau den Hallwilersee regelmässig, von 1965–1968 noch sporadisch chemisch untersucht. Ab 1969 führte das Laboratorium der Abteilung Gewässerschutz die Probenahmen und Untersuchungen aus, und zwar je eine Untersuchung im Frühjahr, Sommer und im Herbst. Von Februar 1973 bis April 1974 wurde der See monatlich chemisch untersucht und das Plankton durch einen Biologen bestimmt. Seit März 1982 wird im Zusammenarbeit mit der Limnologischen Abteilung der EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) ein Intensivprogramm durchgeführt, um den status quo (vor dem Eingriff für die interne Sanierung) festhalten zu können. Neben den üblichen Parametern werden auch Methan, Chlorophyll und die Primärproduktion gemessen. In zahlreichen Vorträgen und neueren Publikationen wird zudem der Zustand des Hallwilersees beschrieben (*Jaag* 1949, *Braun* 1955, *Ambühl* 1974, *Ambühl* 1975) und über die Sanierung (Abwasserableitung) orientiert (*Baldinger* 1957, 1959, *Märki* 1969). Aus dem Jahr 1949 stammt ein

Tabelle 2. Temperaturen in °C im Hallwilersee 1973/74.

Tiefe	Datum															
	1973							1974								
	26.2.	12.3.	9.4.	7.5.	4.6.	2.7.	30.7.	27.8.	1.10.	22.10.	26.11.	17.12.	14.1.	11.2.	11.3.	8.4.
0 m	2,9	3,2	4,7	12,6	19,2	22,5	19,45	22,2	15,0	12,45	7,1	4,6	4,4	4,9	4,3	11,0
2,5 m	2,9	3,2	4,7	11,3	18,8	21,8	19,4	22,2	15,0	12,45	7,1	4,6	4,0	4,6	3,9	10,7
5 m	2,8	3,3	4,65	8,0	15,9	18,15	19,3	22,0	15,0	12,45	7,1	4,6	4,0	4,3	3,8	9,75
7,5 m	2,8	3,3	4,6	6,0	9,9	13,9	15,7	16,0	15,0	12,45	7,1	4,6	3,9	4,3	3,8	6,6
10 m	2,9	3,4	4,5	5,7	7,55	9,7	10,7	10,2	10,3	12,45	7,1	4,6	3,8	4,2	3,8	5,2
15 m	3,0	3,6	4,5	5,35	6,0	6,6	5,0	6,4	5,9	6,2	7,1	4,6	3,8	4,1	3,8	4,5
20 m	3,45	3,6	4,4	5,0	5,0	5,3	5,2	5,2	5,0	5,0	5,2	4,6	3,85	4,0	3,8	4,3
30 m	4,05	3,7	4,1	4,8	4,5	4,8	4,7	4,6	4,6	4,55	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	4,15
40 m	4,35	4,4	4,0	4,45	4,3	4,5	4,5	4,45	4,5	4,4	4,3	4,5	4,45	4,4	4,05	4,15

Bericht von *Minder* über die Aussichten und Bedingungen, als Grundlage eines Seewasserversorgungsprojektes für die Gemeinde Beinwil. Über die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee haben *Braun*, und dann vor allem *Ambühl* von 1953–1957 Untersuchungen durchgeführt.

Die Abteilung Gewässerschutz des aargauischen Baudepartementes hat 1974/75 umfangreiche Zuflussuntersuchungen durchgeführt.

An Sanierungsstudien liegt ein Bericht «Die Fernhaltung von Siedlungsabwässern vom Baldegger- und Hallwilersee» des Ingenieurbüros Schröter und Hofer (1976) vor. Dann wurde eine Planungsstudie über die Tiefenwasserableitung aus dem Hallwilersee durch das gleiche Ingenieurbüro (1976) und das Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten für den Baldegger- und Hallwilersee der EAWAG (1979) ausgearbeitet.

1964 konnte die Abwasserreinigungsanlage Hallwilersee bei Seengen in Betrieb genommen werden, der die Abwässer der Gemeinden Fahrwangen, Meisterschwanden, Seengen, Boniswil, Birrwil und Beinwil am See durch Hangleitungen zufließen.

2. Hydrographie

Mit seiner Oberfläche von 10,2 km², einem Volumen von 0,292 km³ und einer mittleren Tiefe von 28,6 m (maximale Tiefe von 48 m) liegt der Hallwilersee bezüglich Morphologie nahe beim Mittel der schweizerischen Seen (Bild 1).

Tabelle 1. Morphologie des Hallwilersees

Mittlere Höhe des Seespiegels	449 m ü.M.
Oberfläche	10,2 km ²
Grösste Länge	8,4 km
Grösste Breite	1,6 km
Maximale Tiefe	48 m
Mittlere Tiefe	28,6 m
Volumen	0,292 km ³
Einzugsgebiet	138 km ²
Einwohner im Einzugsgebiet	14 000
Mittlere Abflussmenge	2,3 m ³ /s
Theoretische Erneuerungszeit	3,9 Jahre

Der Hauptzufluss, der Aabach aus dem Baldeggersee, führt dem Hallwilersee ca. 1,3 m³/s zu. Acht weitere, neben dem Aabach noch in Betracht fallende Zuflüsse liefern im Durchschnitt zusammen 0,3 m³/s Wasser (Messungen 1974/75).

Das Seetal weist einige Kleinindustrien, Rebbau, Landwirtschaft und Gastgewerbe auf. Im See-Einzugsgebiet leben 9300 Einwohner (1981). Die Tierbestände lagen 1978 bei 2098 für Rindvieh und 2724 für Schweine.

3. Temperaturverhältnisse

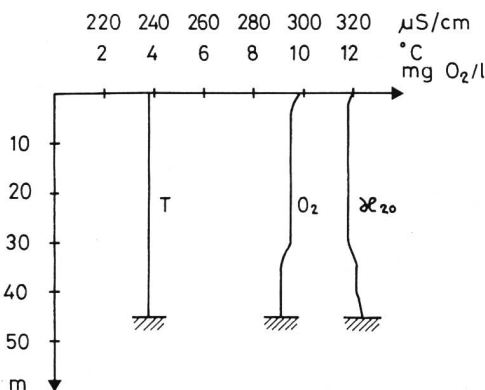
Die Temperaturverhältnisse eines Sees bestimmen indirekt durch die Dichteänderungen des Wassers auch die Schichtungen und Strömungen.

Im Frühjahr erwärmen sich die oberen Schichten. Schwache Winde genügen, um den See umzuwälzen. «Der See tut seinen grossen Schnauf!» Im Sommer wird weiter Wärme aufgenommen, um sie im Herbst wieder abzugeben. Dadurch kühlt sich der See langsam ab, es kommt zur Herbstzirkulation.

Bedingt durch die Nord-Süd-Lage des Hallwilersees fehlen die für die Herbst- und Frühjahrszirkulation erforderlichen Kräfte des Westwindes oft vollständig, da der seitliche Angriff nicht genügt. Zu echten Vollzirkulationen kam es im Hallwilersee unter anderem im April 1970 und im März 1976 (Bilder 2 und 3). Tabelle 2 und die Kulissendarstellung (Bild 4) geben den monatlichen Temperaturverlauf vom Februar 1973 bis zum April 1974 wieder. Zu einer Seegröfni kam es 1981.

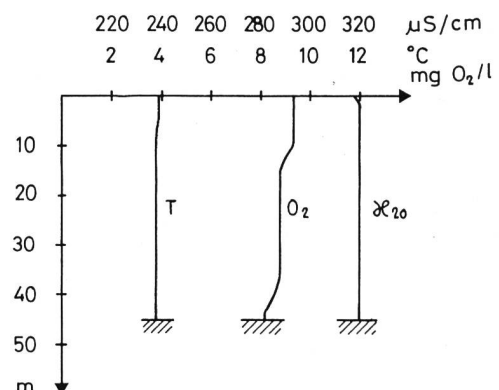
4. Eutrophierung

Das Wachstum der Algen wird vor allem vom Nährstoffangebot beeinflusst. Je mehr ein See mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen gedüngt wird, um so mehr Algen können sich entwickeln. Ein Teil des Zooplanktons und des Phytoplanktons gelangen in die Nahrungskette (Fi-



Bilder 2 und 3. Temperatur, Sauerstoff und Leitfähigkeit im April 1970, links, und im März 1976, rechts.

T = Temperatur
O₂ = Sauerstoff
κ₂₀ = elektr. Leitfähigkeit



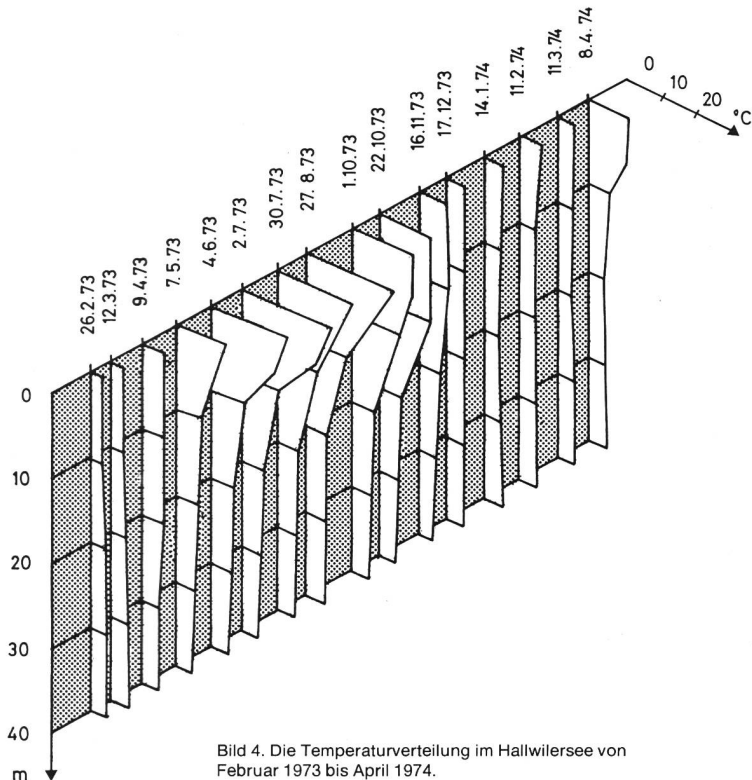
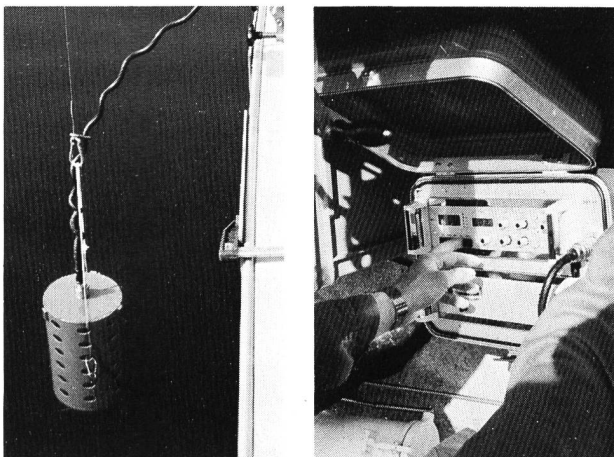


Bild 4. Die Temperaturverteilung im Hallwilersee von Februar 1973 bis April 1974.

Tabelle 3. Sichttiefen in Meter im Hallwilersee von 1957–1982

	Frühjahr	Herbst
1957	—	1,4
1958	1,9	—
1959	1,0	2,3
1960	—	—
1961	1,4	—
1962	7,4	6,5
1963	2,6	5,0
1964	1,5	4,5
1965	—	—
1966	1,1	6,0
1967	—	—
1968	—	—
1969	—	4,8
1970	3,8	4,4
1971	2,4	4,4
1972	1,3	4,4
1973	4,4	2,7
1974	3,1	5,0
1975	6,9	3,4
1976	4,3	4,1
1977	3,3	4,2
1978	3,0	3,2
1979	3,9	5,1
1980	2,9	3,0
1981	3,7	1,7
1982	4,0	2,4



Bilder 5 und 6. Mit dem Hydropolyster, System Züllig, lassen sich der Sauerstoffgehalt, die Temperatur, der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit an Ort und Stelle direkt bestimmen (Foto Abt. Gewässerschutz).

sche). Ein Grossteil stirbt aber ab und sinkt langsam auf den Seegrund. Dabei beginnt ein Abbau, wozu der im Wasser gelöste Sauerstoff verbraucht wird.

Der nährstoffarme sogenannte oligotrophe See steht im Gegensatz zum nährstoffreichen und sauerstoffarmen eutrophen See.

Die Verordnung über Abwassereinleitungen legt fest, dass ein See höchstens dem mesotrophen Produktionstypus zugehören soll, mit einer Primärproduktion von 150 bis 200 g C/m² und Jahr.

Phytoplankton

Betrachtet man die Zusammensetzung des Phytoplanktons in den Jahren 1973 (untersucht durch Dr. W. Kunz im Auftrag der Abteilung Gewässerschutz) und 1982 (untersucht durch das aargauische Gewässerschutzlabor), so fällt die annähernd konstante Artzusammensetzung auf. Der Anteil der einzelnen Arten an der Gesamtalgenmasse

hingegen variiert von Jahr zu Jahr (Bild 7). Die vorliegende Auswertung der Planktonproben ist allerdings nur semi-quantitativ und vom persönlichen Ermessen des Beobachters abhängig, so dass sie deshalb höchstens Tendenzen aufzeigt.

Blualgen kommen im Hallwilersee regelmässig in grossen Mengen vor. Gab es 1973 eine eigentliche Massenvermehrung von *Aphanizomenon flos-aquae* und trat *Oscillatoria sp.* nur im Juni und im Dezember auf, so dominierte 1982 eindeutig letztere, wohingegen *Aphanizomenon flos-aquae* eher selten auftrat. *Microcystis flos-aquae*, die 1982 ebenfalls sehr häufig war, konnte 1973 nicht beobachtet werden.

Sichttiefe

Sofern die Trübung durch anorganische Schwebestoffe klein ist, kann die Sichttiefe als brauchbares Mass für die vorhandene Biomasse herangezogen werden. Nährstoffarme Seen mit geringer Algendichte weisen meistens Sichttiefen von über 3 m auf.

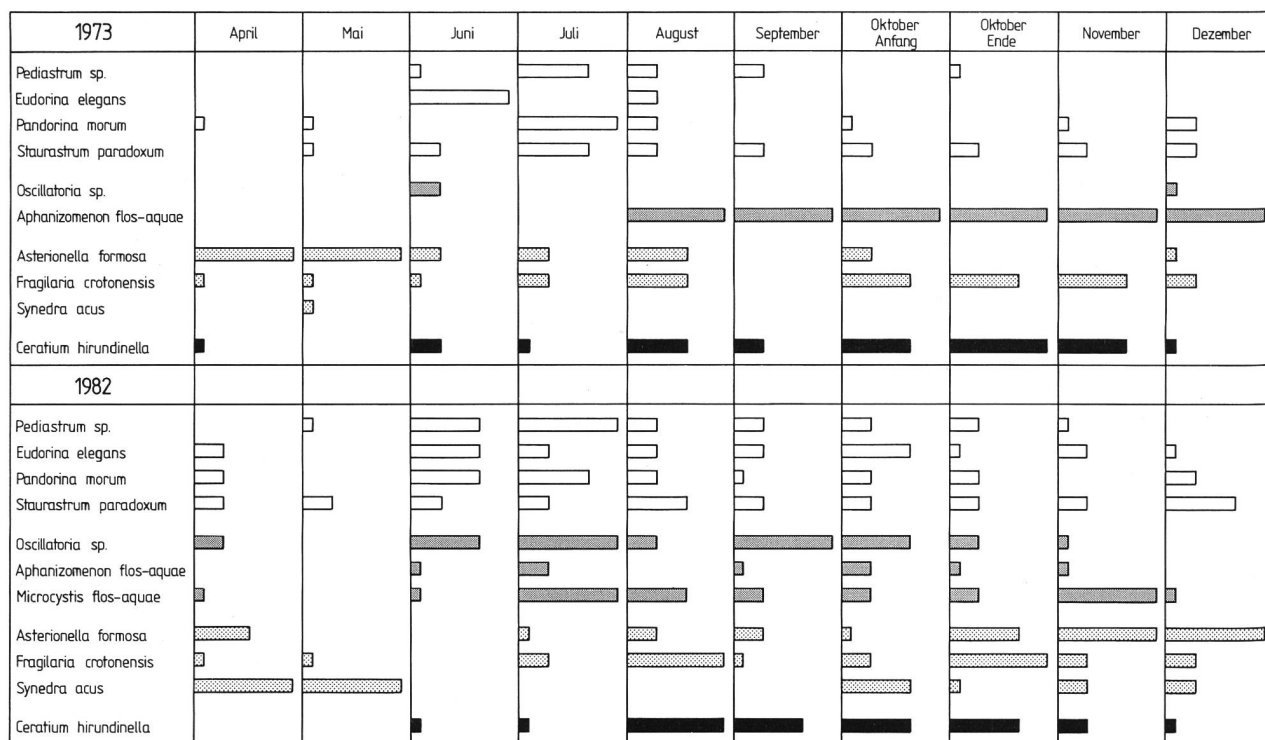
Während man bis 1966 im Frühjahr mit Ausnahme von 1962 Durchsichtigkeiten von meistens weniger als 2 m registrierte, änderte sich dieses Bild seit 1970 nicht unwesentlich, wurden doch Werte unter 2 m zur Seltenheit. Dagegen blieben die höheren Herbstwerte gleich oder neigen eher in den letzten Jahren zu geringeren Sichttiefen (Tabelle 3 und Bilder 8 und 9).

pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration)

Der pH-Wert wird stark durch die Photosynthese beeinflusst. Der Anstieg des pH-Wertes von 1942–1974 (Bild 10) deutet auf einen Anstieg des Trophiegrades hin. Wie der Phosphatgehalt sinkt der maximale pH-Wert im Epilimnion langsam ab.

Orthophosphat

Schon 1942 bestimmte Keller im Hallwilersee zur Zeit der Zirkulation um 200 µg P/l. 1958 lag der Orthophosphatwert bei 50 µg/l, stieg 1963 auf 100 µg/l und 1970 auf 140



Legende :
 Grünalgen
 Blaualgen
 Kieselalgen
 Panzerflagellaten
 selten
 vermehrt
 häufig
 massenhaft, Blüte

Bild 7. Phytoplanktonentwicklung im Hallwilersee 1973 und 1982.

Tabelle 4. Phosphor- und Stickstoff-Frachten 1974/1975.

	Gesamt-Phosphor		Ammonium		Nitrat		Gesamt-Stickstoff		Mittlere Wasserführung *	
	kg P/Jahr	%	kg N/Jahr	%	kg N/Jahr	%	kg N/Jahr	%	l/s	%
1. Aabach (Baldeggersee)	18'859	89,6	18'453	92,2	68'176	65,6	123'892	74,5	1836	87,3
2. Meisterschwanden	1'136	5,4	751	3,8	21'511	20,7	24'786	14,9	151	7,2
3. Hinterbach	495	2,4	418	2,1	4'179	4,0	5'531	3,3	33	1,6
4. Birrwil 2	156	0,7	79	0,4	1'022	1,0	1'588	1,0	12	0,6
5. Birrwil 1	127	0,6	52	0,3	1'949	1,9	2'258	1,4	17	0,8
6. Teufenbach	104	0,5	79	0,4	3'053	2,9	3'445	2,1	21	1,0
7. Tennwiler Dorfbach	83	0,4	150	0,7	2'774	2,7	3'408	2,0	18	0,9
8. Birrwil 3	67	0,3	39	0,2	898	0,9	1'099	0,7	11	0,5
9. Tennwil Schachen	15	0,1	3	0,0	335	0,3	368	0,2	3	0,1
Total	21'042	100	20'024	100	103'897	100	166'375	100		100

* Ermittelt durch die Abteilung Wasserbau und Wasserwirtschaft des Kantons Aargau.

µg/l. 1976 fanden wir im März 220 µg/l, 1978 190 µg/l und 1982 um 200 µg/l. Es scheint, dass die Phosphatbelastung bis nach 1970 angestiegen ist und nun sinkende Tendenz zeigt (Bild 11). Seen vom mesotrophen Produktionstypus weisen zur Zeit der Frühjahrszirkulation nur 20 bis 40 µg Gesamtposphor/l auf. Die Werte im Hallwilersee sind noch weit davon entfernt (1 µg = 1 Mikrogramm = 0,001 Milligramm).

5. Nährstoffzufuhr

Die bereits erwähnten Untersuchungen von Ambühl über die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee vor dem Bau der Ab-

wasser-Gabelleitung nennen als Hauptzubringer an Nährstoffen (Phosphor und Stickstoff) den

- Aabach aus dem Baldeggersee
- Dorfbach Beinwil
- Dorfbach Meisterschwanden
- Südlicher Dorfbach Seengen
- Bettlerbach Meisterschwanden
- Abwasserleitung Beinwil

Je ungefähr 55% des Stickstoffs und des Phosphors kamen 1956/57 aus dem Baldeggersee und dem Zwischenseegebiet. Wegen der Abwasserreinigung ist es nun zu einer prozentualen Verschiebung gekommen (Tabelle 4).

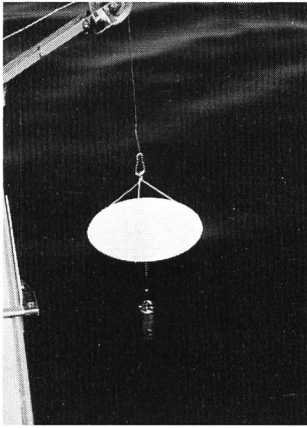
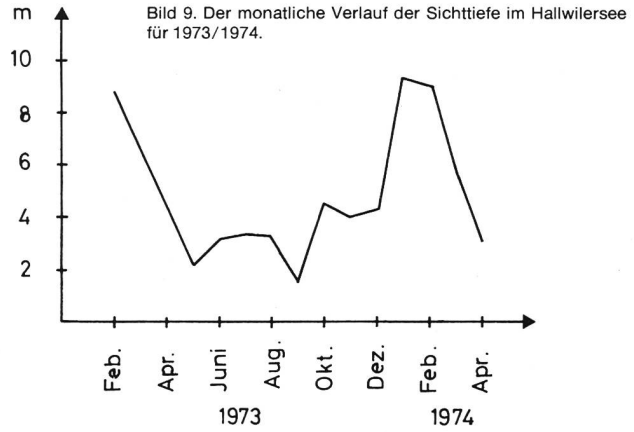


Bild 8. Mit einer weissen Scheibe von 30 cm Durchmesser wird die Sichttiefe nach Pater Secchi (1865) gemessen. Dazu wird die Scheibe solange versenkt, bis sie von Auge nicht mehr gesehen wird (Foto Abt. Gewässerschutz).



Der direkte Einfluss der aargauischen Bevölkerung über ihre Abwässer auf die Qualität der Zuflüsse und den Hallwilersee ist durch das Kanalsystem (Gabelleitung) und die Abwasserreinigungsanlage in Seengen (1961–1964) weitgehend eliminiert worden. Es bestehen heute 7,3 resp. 3,5 km Hauptsammelkanäle und 3 Pumpwerke. Leutwil, ein Dorfteil von Dürrenäsch und Hallwil wurden seither auch an die Anlage angeschlossen. 1974/75 hat die Abteilung Gewässerschutz 9 Zuflüsse zum Hallwilersee monatlich untersucht, wobei zur Berechnung der jährlichen Stoff-Frachten neben den aktuellen Konzentrationswerten lediglich die gleichzeitig gemessenen momentanen Wasserführungen zur Verfügung standen (keine Dauerabflussmessungen).

Die aktuellen Phosphor- und Stickstoff-Frachten sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Die Zahlen zeigen, dass auch 1974/75 der Aabach aus dem Baldeggersee weitaus die grösste Phosphor- und Stickstoff-Fracht in den Hallwilersee lieferte. Nach Untersuchungen von Lohri (1975/76) brachte der Aabach 6,8 bis 15,9 t Phosphor/Jahr, wobei noch zu bemerken ist, dass dieses Jahr ausserordentlich lange Trockenperioden umfasste.

Werden aber noch die bei Starkregen eintretenden Abschwemmungen aus den Ackerbauflächen sowie das Zwischenseengebiet, die Abwässer der Abwasserreinigungsanlage Hitzkirchertal und der Regen mitberücksichtigt, so erhöht sich die Phosphorfracht um weitere 5,8 t/Jahr.

6. Sauerstoff

Der Hallwilersee war schon zur Zeit seiner ersten vollständigen Untersuchung im Jahr 1942 als hoch eutroph bekannt. Keller berichtet über die Sauerstoffverhältnisse aus dieser Zeit:

- «– Der Sauerstoffausgleich während der Herbstzirkulation geht nicht konform mit dem Temperatursausgleich.
- Die Herbstvollzirkulation bringt Sauerstoff bis maximal 25 m Tiefe, während die Frühlingvollzirkulation den Sauerstoff bis in die Tiefe von 30 m befördert.

- Am Ende der Sommerstagnation finden wir im Metalimnion ganz extreme Sauerstoffwerte. In einer 2,5 m tiefen Wasserschicht sind der Maximalwert von 270% und der Minimalwert von 10% der theoretischen Sättigung nebeneinander gemessen worden.
- Am Ende der Sommerstagnation ist praktisch der gesamte Sauerstoff unterhalb der Sprungschicht (10 m) verbraucht.»

Und Güntert schreibt über seine Untersuchungen von 1918/19:

«Im Hallwilersee fallen von ca. 10 m Tiefe an, also von der Sprungschicht weg abwärts, die Zahlen sehr rasch. So bleibt nur bei der Probe im Mai 1919 in 42 m Tiefe der Gehalt in % der Sättigung ausgedrückt auf 63,9; sonst schwankt er immer zwischen 0 und 30%. Verschärft wird dieser Zustand durch das temporäre Vorkommen von nicht unbedeutenden Mengen H₂S (Schwefelwasserstoff) in Tiefen von über 35 m.»

Monatliche Profile des Sauerstoffgehaltes im Hallwilersee (Februar 1973 bis April 1974, Bild 12) zeigen, dass sich die Sauerstoffverhältnisse in den letzten Jahren kaum gebessert haben (Bild 13).

7. Sanierungswettbewerb

Nachdem mit der Abwassersanierung um den «aargauischen Hallwilersee» eine gewisse Stagnation des Zustandes erreicht werden konnte, aber keine Besserung für das Tiefenwasser sichtbar wurde, suchte die Abteilung Gewässerschutz nach anderen technischen Lösungen, um die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser zu verbessern.

Zwei Methoden standen im Vordergrund. Belüftungsversuche (G. Müller, Dietlikon) um 1960 am Pfäffikersee zeigten, dass mit einfachen Mitteln, und zwar mit Luft, eine Wassermwälzung und damit eine Sauerstoffanreicherung erreicht werden kann. Das Verfahren hatte nach Ansicht der Limnologen den Nachteil, dass das nährstoffreiche Tiefenwasser mit der produktiven Zone, dem Epilimnion, ver-

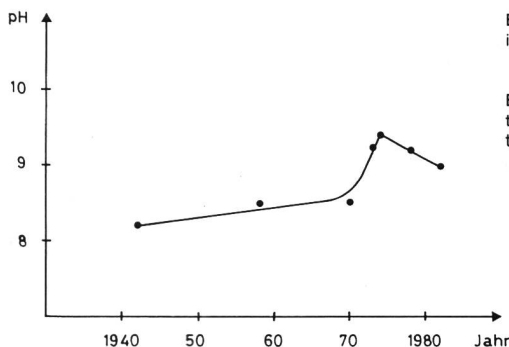
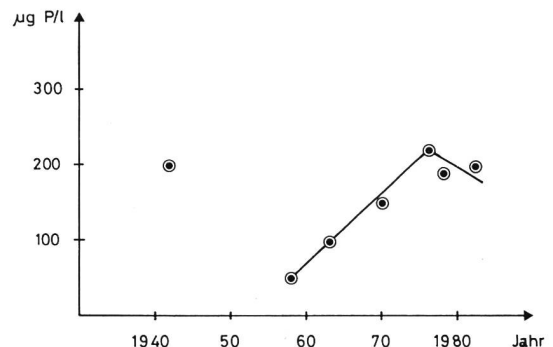


Bild 10, links. Maximale pH-Werte im Epilimnion.

Bild 11, rechts. Phosphat-Konzentration im Hallwilersee (Zirkulationswerte).



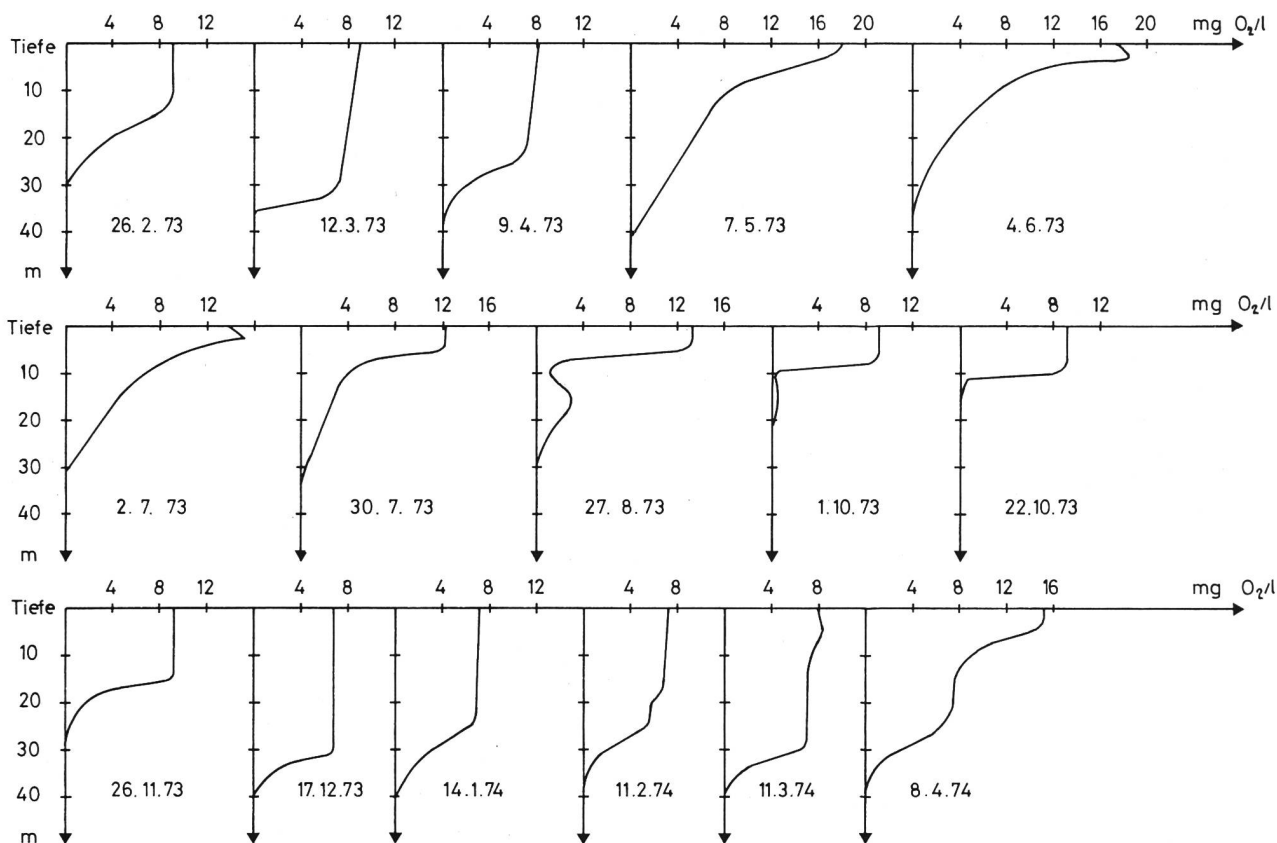


Bild 12. Sauerstoffverhältnisse von Februar 1973 bis April 1974.

mischt wurde, was theoretisch eine Verstärkung der Bio-
produktion zur Folge hätte.

Die zweite Methode bestände in der Ableitung des sauer-
stofffreien und nährstoffreichen Tiefenwassers direkt in
den Auslauf des Sees, so wie dies an verschiedenen klei-
nen Mittellandseen seit einigen Jahren praktiziert wird
(Mauensee, Burgäschisee, Wilersee).

Es wurde deshalb eine Studie mit Kostenschätzung dar-
über ausgearbeitet.

In der weiteren Folge gelangte der Kanton Luzern an das
Baudepartement Aargau, um gemeinsam diese Aufgabe
an die Hand zu nehmen. Es drängte sich nämlich auf, in
die Planung der internen Sanierungsmassnahmen am
Hallwilersee auch Baldegger- und Sempachersee mitein-
zubeziehen.

1976 haben die Kantone Aargau und Luzern der EAWAG
den Auftrag erteilt, die Möglichkeiten einer weitergehen-

den Sanierung der drei Seen zu studieren. Das Gutachten
wurde 1979 abgeliefert.

Mit Hilfe eines theoretischen Modells (*Imboden und Gäch-
ter*) wurde berechnet, wie die Seen auf Veränderungen
der Randbedingungen (z. B. verminderte Phosphorbelas-
tung, Eintrag von Sauerstoff, künstliche Durchmischung)
reagieren, wie sich der Phosphorgehalt und die Produk-
tion organischer Stoffe verändern und wie sich die Sauer-
stoffverhältnisse sodann gestalten.

Die wünschbaren Qualitätsziele werden von der EAWAG
folgendermassen umschrieben:

- Mittlere P-Konzentration während der Vollzirkulation
höchstens 30 mg Gesamtphosphor/m³.
- Ganzjährige Sauerstoffkonzentration an jedem Ort min-
destens 4 g O₂/m³.
- Jährliche Primärproduktion höchstens 150 g C/m².

Aufgrund des Gutachtens veranstalteten die Kantone Lu-
zern und Aargau 1980 für die Sanierung des Baldegger-
-, Hallwiler- und Sempachersees einen Projektwettbewerb.
Private Ingenieurbüros aus beiden Kantonen wurden ein-
geladen, über die folgenden 3 Verfahren zur seeinternen
Sanierung wirtschaftlich brauchbare technische Anlagen
zu projektieren.

1. Hypolimnionbelüftung

Direkter Luft- resp. Reinsauerstoffeintrag in die tiefen Wa-
serschichten, um die Rücklösung von Phosphor aus den
Sedimenten zu verhindern und aerobe Lebensbedingun-
gen zu schaffen.

2. Zwangszirkulation

Künstliche Erzeugung einer vollständigen Umwälzung der
Wassermassen während der Zeit der natürlichen, aber
meist ungenügenden Umwälzung (Januar bis März), um in
allen Schichten genügend Sauerstoff zu erreichen.

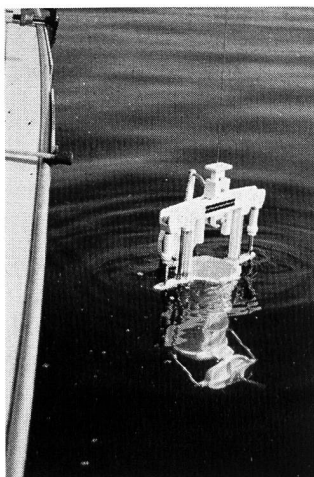


Bild 13. Um aus allen Schichten
Wasserproben untersuchen zu
können, wird die Vertikalschöpf-
flasche als offenes Gefäss an einem
Stahlseil in die Tiefe gelassen und
mittels Fallgewicht Deckel und Bo-
den geschlossen (Foto Abt. Ge-
wässerschutz).

3. Tiefenwasserableitung

Entfernung von nährstoffreichem Tiefenwasser, um den Phosphoraustrag aus dem See zu erhöhen und den Sauerstofftransport in das Hypolimnion zu verbessern.

Als Veranstalter des Wettbewerbes zeichneten die aargauische Abteilung für Gewässerschutz und das kant. Amt für Gewässerschutz Luzern, wobei das Ing.-Büro Heinrich Bachmann, Luzern, als Geschäftsstelle amtierte.

Es wurde ein Preisgericht eingesetzt, in dem neben den Vertretern der Kantone auch Politiker aus den Seeregionen mitwirkten. Als Fachpreisrichter stellten sich von der ETH Zürich die Professoren *H. Ambühl*, *A. Hörler* und *D. Vischer* zur Verfügung, wobei zusätzlich als Experten *H. Bachmann*, Luzern, Prof. *Bernhardt*, Deutschland, Dr. *Gächter*, Kastanienbaum, und *M. Künzler*, Luzern, beigezogen wurden.

Der Wettbewerb umfasste je ein allgemeines Bauprojekt mit Kostenvoranschlag, wobei pro See alle drei Teilaufgaben (Belüftung, Zwangsdurchmischung, Tiefenwasserableitung) obligatorisch projektiert werden mussten. Die technischen Bedingungen wie Sauerstoffeintrag, Entnahme und Rückgabe des Wassers, Dauer der Zwangszirkulation, wurden vom Veranstalter und der EAWAG für jeden See speziell formuliert.

Für die Sanierung des Hallwilersees trafen 10 Projekte ein, die sich in der überwiegenden Zahl durch ein hohes technisches Niveau auszeichneten.

Im Juli 1981 fand die Prämierung durch das Preisgericht statt. Den ersten Preis bezüglich Hypolimnionbelüftung und Zwangszirkulation für den Hallwilersee erhielt die Arbeitsgemeinschaft Schaffner-Hollenweger-Jungo, Wohlen und Zürich, mit dem Projekt «Tanytarsus».

Aus einer Verteilerstation am Ufer des Sees soll über ein am Seeboden verankertes Leitungsnetz reiner Sauerstoff in die tiefen Wasserschichten eingeleitet werden. Dadurch kann auf grössere bauliche Konstruktionen im Wasser verzichtet werden. Für die Zwangszirkulation soll durch die gleichen Leitungen, mit denen sonst die Sauerstoffverteilung gewährleistet wird, Druckluft geleitet werden. Diese wird in am Ufer stehenden Kompressoren erzeugt.

In einem einjährigen Versuch wurde 1982 dieses System im Baldeggersee ausprobiert. Die Versuche wurden von der Ingenieurgesellschaft geplant und in Zusammenarbeit mit den beiden kantonalen Gewässerschutzfachstellen und der EAWAG durchgeführt.

8. Zusammenfassung

Der Kanton Aargau, an und für sich reich an Flüssen und Bächen, ist recht arm an Seen. Der Hallwilersee im Seetal, der eigentlichen Sonnenstube des Aargaus, muss daher sowohl als Erholungsgebiet als auch als gutes Fischgewässer zurückgewonnen werden. Schon vor über 70 Jahren, als noch keine Intensivkulturen der Landwirtschaft und keine Waschmittelphosphate existierten, genügte die Abschwemmung von häuslichem und etwas industriellem Abwasser, um eine massive Algenproduktion zu bewirken, die indirekt zum Sauerstoffschwund im Tiefenwasser führte. Die Fernhaltung der Abwasser durch Ableitung über Hangleitungen (Gabelleitung) brachte entscheidende hygienische Verbesserung im Uferbereich, aber auch eine Teilentlastung von wirksamen organischen Stoffen und Nährstoffen. Während 15 Jahren Fernhaltung von jährlich etwa 4 980 000 m³ Abwasser und 3000 m³ Klärschlamm konnte eine Stagnation erreicht werden, doch zu mehr reichte es nicht, da aus dem Baldeggersee und dem Zwischenseengebiet die Hauptmenge an Nährstoffen weiterhin dem Hallwilersee zufluss.

Ob allein die Phosphorelimination im häuslichen Abwasser in Zukunft zur Seesanieung ausreicht, weiss man heute noch nicht. Wirksam könnte mittel- und langfristig auch das Fernhalten resp. der Abbau von Stoffen sein, die neben den Nährstoffen das Wachstum ebenfalls fördern resp. regulieren.

Es drängte sich daher auf, mit andern technischen Mitteln den unbefriedigenden Zustand des Hallwilerseetiefenwassers zu verbessern als allein durch die Abwasserfernhaltung (äussere Seemassnahmen).

Da die Nährstoffzufuhr im Seewasser auf drei bis vier Hauptquellen zurückzuführen ist und mit der Beherrschung der Abwässer nur die eine davon erfasst wird, sind weitere Massnahmen gegen die folgenden Nährstoffzufuhren vorzusehen, sofern der Phosphor als alleinige Ursache der Überdüngung betrachtet wird: Abschwemmungen aus dem Ackerbau, Phosphorrücklösung aus dem Seesediment, Niederschläge.

Studien (EAWAG 1979) haben gezeigt, dass eine Kombination von Zwangszirkulation durch eine vollständige Durchmischung des Seewassers im Herbst und Frühjahr und eine Belüftung des Tiefenwassers im Sommer mit Druckluft oder Reinsauerstoff für den Hallwilersee genügen sollten, um ganzjährig eine für die Fische genügende Sauerstoffkonzentration in der Tiefe zu erreichen. Man erreicht damit eine Phosphorreduktion und hofft, dass damit auch das Algenwachstum eine Einschränkung erfährt. *Züllig* hat mit seinen Sedimentuntersuchungen gezeigt, dass Algenblüten schon vor Jahrhunderten stattgefunden haben und dass offenbar nicht allein die Abwasser Grund für diese Produktion sind.

Um das aufgrund eines Projektwettbewerbes prämierte Verfahren «Tanytarsus» zu erproben, laufen gegenwärtig Versuche mit Zwangszirkulation und Sauerstoffbelüftung des Tiefenwassers im Baldeggersee. Bringen sie Erfolg, so sollen diese Verfahren im Laufe der nächsten Jahre auch am Hallwilersee eingesetzt werden.

Wenn durch die Sanierungsmassnahmen im Baldeggersee zudem die Fracht an Nährstoffen ebenfalls vermindert wird, so kann erwartet werden, dass im Laufe eines überblickbaren Zeitabschnittes die seeinternen technischen Anlagen reduziert oder ganz stillgelegt werden können.

9. Literaturzusammenstellung über den Hallwilersee 1911–1982 (chronologische Darstellung)

- Brutschy A.*, 1911
Das Plankton des Hallwilersees.
Festschrift der Aarg. Natf. Gesell. 12, 141–148
- Güntert A.*, 1911
Einige Mitteilungen über die Tiefenfauna des Hallwilersees.
Festschrift der Aarg. Natf. Gesell. 12, 75–83
- Güntert A.*, 1920
Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Hallwilersee und ihre biologische Bedeutung.
Festschrift für Zschokke 12, 13 Seiten, Basel
- Güntert A.*, 1921
Der Hallwilersee, ein verschwindender Glacialsee und seine Tiefenfauna.
Diss. Uni. Basel, 85 Seiten
- Brutschy A.*, 1922
Die Vegetation und das Zooplankton des Hallwilersees.
Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. 10, 91–138, 271–298
- Brutschy A.* und *Güntert A.*, 1923
Gutachten über den Rückgang des Fischbestandes im Hallwilersee.
Arch. Hydrobiol. 14, 523–571
- Brutschy A.*, 1925
Algen aus den ältesten Seekreiden des Hallwilersees.
Mitt. Aarg. Naturf. Gesell. 17, 166–173
- Steinmann P.*, 1936
Der Fischbestand des Hallwilersees.
Schweiz. Fischerei 2, 44, 188
- Keller R.*, 1945
Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee.
Diss. ETH Zürich, 127 Seiten

Minder L., 1949
Trinkwasserversorgung aus dem Hallwilersee.
Bericht über Aussichten und Bedingungen als Grundlage eines Seewasser-
versorgungsprojektes für die Gemeinde Beinwil, 9 Seiten

Jaag O., 1949
Die neuere Entwicklung und der heutige Zustand der Schweizer Seen.
Verh. Limnol. 10, 192–209

Braun R., 1955
Chemische Untersuchungen am Hallwilersee.
VSA Verbandsbericht 36, 11–18

Baldinger F., 1957
Das Hallwilersee-Projekt als Beispiel einer grosszügigen Seesanierung.
Schweiz. Z. Hydrol. 19, 18–36

Baldinger F., 1959
Die abwassermässige Sanierung eines Alpensees.
Österr. Wasserwirt. 11, 152–158

Bachofen R., 1960
Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee.
Diss. Uni. Zürich, 118 Seiten

Ambühl H., 1960
Die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee.
Schweiz. Z. Hydrol. 22, 563–597

Kantonales Laboratorium Aargau, 1965
Zwischenbericht über die limnologische Untersuchung des Hallwilersees.
1962–1964. 39 Seiten

Märki E., 1969
Abwasserreinigungsanlagen im Kanton Aargau. Die Abwassersanierung um
den Hallwilersee. «Wasser und Luft in der Industrie», Pro Aqua Basel, 261–
271

Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz, 1969
Untersuchungen im Hallwilersee seit 1969.
Unveröff. Daten

Ambühl H., 1974
Die jüngste Entwicklung schweizerischer Gewässer, Einführungsvorlesung
ETH Zürich, Manuskript 14 Seiten

Ambühl H., 1975
Forschung am Vierwaldstättersee und die jüngste Entwicklung schweizeri-
scher Seen.
Gas-Wasser-Abwasser 55, 5–15

Ambühl H., 1975
Die Krankengeschichte schweizerischer Seen.
NZZ 53, 45–47

Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz, 1975
Zuflussuntersuchungen zum Hallwilersee 1974/75. Unveröff. Daten.

Studie 1976
Die Fernhaltung von Siedlungsabwässern vom Baldegger- und Hallwilersee.
Studienbericht des Ing.-Büros Schröter und Hofer, Luzern, 16 Seiten

Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz, 1976
Planungsstudie über die Tiefenwasserableitung aus dem Hallwilersee.

EAWAG, 1979
Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten für den Baldegger- und Hall-
wilersee.
Auftrag Nr. 4559, 110 Seiten

OECD (Fricker H.), 1980
OECD Eutrophication Programme, Regional Project, Alpine Lakes.
Swiss Federal Board for Environmental Protection, Berne, and OECD, Paris,
234 Seiten

Berner P., 1980
Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee.
Lizentiatsarbeit Uni. Bern, 152 Seiten

Uehlinger U., 1981
Zur Ökologie der planktischen Blaualge Aphanizomenon flos aquae in Alpen-
randseen.
Schweiz. Z. Hydrol. 43, 69–88

Kantone Aargau/Luzern, 1981
Projektwettbewerb Sanierung Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee.
Bericht Hallwilersee, Projekt Tanytarsus

Eidg. Departement des Innern, 1982
Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen Oberflächenge-
wässer (Stand 1982).

Züllig H., 1982
Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten
Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Ent-
faltungen.
Schweiz. Z. Hydrol. 44, 1, 1–98

An dieser Stelle sei den Mitarbeitern des Gewässerschutzlaboratoriums des
Kantons Aargau, A. Burger, H. Minder und F. Zimmermann, für die Zuverlässigkeit bei den Probenahmen und für die analytischen Arbeiten im Laborato-
rium bestens gedankt.

Adresse der Verfasser: Dr. Erwin Märki und dipl. Chemiker Marcel Schmid,
Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässerschutz, 5001
Aarau.

Kunststoffrohre für eine Druckleitung wurden mit Helikopter eingeflogen

Franz Marty

Vor einigen Monaten wurde in der freiburgischen Ge-
meinde Jaun ein privates Elektrizitätswerk mit einer neuen
Druckleitung ausgerüstet. Da das bisherige Werk mit einer
Betondruckleitung nur noch knapp die Hälfte des Bedarfs
abdecken konnte, entschied sich die Bauherrschaft für ei-
nen Neubau. Mit der realisierten Lösung wird in Zukunft
wieder der ganze Bedarf gedeckt werden können. Der Ein-
satz eines leistungsfähigen Helikopters der Heliswiss war
bei der unwegsamen und steinigten Talsohle die wirt-
schaftlichste und schnellste Lösung.

Das Projekt

Die topographischen Verhältnisse zwangen den Projekt-
verfasser, der Auswahl des Rohrmaterials besondere
Sorgfalt zukommen zu lassen.

Folgende Kriterien mussten erfüllt werden:

- Druckfestigkeit 3 kg/cm²
- Abrasionsfestigkeit im Dauerbetrieb
- Korrosionsbeständigkeit (Langzeitverhalten)
- Korrosionsbeständigkeit der Verbindungen
- Dichtigkeit 100 %
- Einfache Verlegetechnik
- Massgefertigte Formstücke
- Dem Aushubtempo angepasste Einbauleistung
- Bewältigung von Radien grösser als 100 m ohne Form-
stücke
- Keine speziellen Anforderungen an die Grabensohle
bzw. Eindeckung

Nach eingehenden Prüfungen fiel die Wahl auf ein HDPE-
Rohr NW 1200 × 37 mm, entsprechend der Druckstufe 3,2
atü.

Die 12 m langen und etwa 1700 kg schweren Rohre sind
mit einem Helikopter Bell 214 Big Lifter der Heliswiss direkt
in den Graben eingeflogen worden. Die steinige und un-
wegsame Talsohle erlaubte auch aus Zeitgründen kein an-
deres Vorgehen. Die Erfahrungen haben einmal mehr ge-
zeigt, dass ein Helikoptereinsatz, sofern er gut geplant und
von einer erfahrenen Firma durchgeführt wird, oft auch die
wirtschaftlichste Lösung ist.

Verbunden werden die Rohre mit der Spiegelschweissme-
thode, so dass ein monolithisch verbundener Rohrstrang
entsteht. Zur Verbesserung des Ablaufverhaltens werden
zudem die Schweissraupen im Rohrrinnern abgefräst. Die

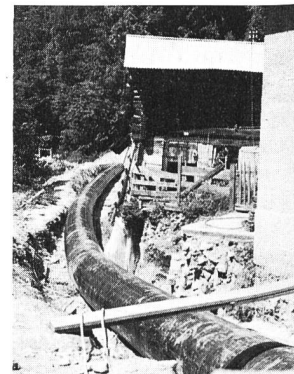


Bild 1. Heliswiss im Einsatz

Bild 2. Die Elastizität der Rohre wird
ausgenutzt.