

# Die Sanierung des Hallwilersees : erste Erfahrungen mit Zwangszirkulation und Tiefenwasserbelüftung

Autor(en): **Stöckli, Arno / Schmid, Marcel**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **79 (1987)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940652>

## **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.

# Die Sanierung des Hallwilersees

## Erste Erfahrungen mit Zwangszirkulation und Tiefenwasserbelüftung

Arno Stöckli und Marcel Schmid

### 1. Einleitung

Der Hallwilersee ist der einzige grössere See im Kanton Aargau. Er wird seit Jahrzehnten stark mit Nährstoffen, insbesondere Phosphor, belastet. Der See gilt als hoch eutrophes Gewässer. Märki und Schmid beschrieben 1983 ausführlich den bisherigen Zustand des Hallwilersees und wiesen auf die früheren abwassertechnischen sowie die geplanten seeinternen Sanierungsmassnahmen hin.

Bereits 1898 wurde die erste Algenblüte von *Oscillatoria rubescens* (Burgunderblutalge) beobachtet. Anhand von Sedimentkernen lässt sich heute noch zurückverfolgen, wie um 1900 in der tiefsten Zone des Sees ein Übergang von sauerstoffhaltigen hellen zu sauerstofffreien schwarzen Sedimentschichten stattfand (Bild 1). 1920 hielt Güntert fest, dass sich im Hallwilersee ein immer rascher werdendes Verschwinden der Felchen zeigt. Diese Angaben zeigen, dass beim Hallwilersee die Belastungsgrenze bereits zu einer Zeit überschritten wurde, lange bevor ein Ausbau der Siedlungsgebiete und die Intensivierung der Landwirtschaft einsetzte.

In den 50er und 60er Jahren beobachtete man einen progressiven Anstieg der Phosphorgehalte im Seewasser (Bild 2). Ohne die bereits 1961 erstellte Gabelleitung, welche die Abwässer der aargauischen Gemeinden vom See weitgehend fernhält, wäre die Entwicklung sicher weit ungünstiger verlaufen. Mit dem späteren Ausbau der Abwasserreinigungsanlagen im Kanton Luzern und der folgenden Abnahme der Phosphorkonzentrationen im oberliegenden Baldeggersee kam es Ende der 70er Jahre auch im Hallwilersee zu einer Trendumkehr. Heute liegt die mittlere Phosphorkonzentration im Frühjahr bei 160 mg P/m<sup>3</sup>. Die Verordnung über Abwassereinleitungen legt fest, dass ein See höchstens dem mesotrophen Produktionstypus zugehören soll. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, sind in Zukunft noch grosse Anstrengungen zur Reduktion der Phosphorbelastung aus dem gesamten Einzugsgebiet des Sees, welche für die Jahre 1974/75 auf 13 bis 22 t P/Jahr geschätzt wurde, erforderlich. Nachdem bei den Siedlungsabwässern schon Wesentliches erreicht wurde, muss vermehrt auch der Belastungsbeitrag der Landwirtschaft stark reduziert werden.

Die im Übermass vorhandenen Nährstoffe erlauben Massenentwicklungen von Phytoplankton. Als Folge der intensiven Photosynthese an schönen und warmen Tagen werden in den durchlichteten Wasserschichten phasenweise hohe Sauerstoffübersättigungen beobachtet (in Extremfällen bis zu 250% der Sauerstoffsättigungskonzentration). Solche Situationen können neben anderen Ursachen zu Fischsterben führen. Ein beträchtlicher Teil des Phytoplanktons sinkt langsam auf den Seegrund. Dabei beginnt ein Abbau, wozu der im Wasser gelöste Sauerstoff verbraucht wird. Der Hallwilersee weist zudem eine windgeschützte Nordsüdlage zwischen Hügelzügen auf, wodurch es höchstens ein- bis zweimal alle 10 Jahre zu einer echten Vollzirkulation im Frühjahr, verbunden mit einem Anstieg der Sauerstoffkonzentrationen bis in die tiefsten Wasserschichten, kommt.

Die in Bild 7 dargestellten Sauerstoffprofile sind für die Sauerstoffverteilung im See vor Beginn der see-internen Massnahmen typisch. Der im Vorjahr im Tiefenwasser gezehrte

Sauerstoff wird bis zum Frühjahr lediglich in den obersten 30 m aus der Atmosphäre ergänzt. Bis Ende Sommer wird der angestrebte Grenzwert von mindestens 4 mg O<sub>2</sub>/l in Tiefen unterhalb von 8 m unterschritten. Ab 25 m ist kein Sauerstoff mehr vorhanden. Diese prekären Sauerstoffverhältnisse hatten bisher den Lebensraum der Fische und ihrer Nährtiere stark eingeschränkt. Darüber hinaus bewirkte das Fehlen von Sauerstoff im Tiefenwasser, dass sich zuvor sedimentierter Phosphor in verstärkter Masse rücklöste und so eine zusätzliche Erhöhung der Phosphorkonzentration im See zur Folge hatte. Diese Eigendüngung lag in den letzten 15 Jahren im Hallwilersee bei etwa 10 bis 15 t P/Jahr und entsprach damit annähernd der externen Phosphorbelastung.

### 2. Das Sanierungsprojekt

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 damalige Abteilung Gewässerschutz unter Leitung von Dr. Erwin Märki nach anderen technischen Lösungen, um die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser zu verbessern. Da sich auch im Baldegger- und Sempachersee weitergehende Sanierungsmassnahmen aufdrängten, haben die Kantone Aargau und Luzern 1976 gemeinsam der EAWAG (Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf) den Auftrag erteilt, solche Möglichkeiten für die drei Seen zu studieren. Das 1979 abgelieferte Gutachten kam für den Hallwilersee zum Schluss, dass unter Berücksichtigung einer realistischen Phosphorbelastung von rund 11 t p/Jahr mit Hilfe einer Zwangszirkulation im Winter und einer Tiefenwasserbelüftung im Sommer nach 6 Jahren ein Zustand dauernder Aerobie und eine mittlere organische Produktion zu erreichen seien [EAWAG, 1979].

Anlässlich des 1980 durchgeführten Projektwettbewerb erhielt die Arbeitsgemeinschaft Schaffner-Hollenweger-Jungo, Wohlen und Zürich, mit ihrem Projekt «Tanytarsus» den ersten Preis bezüglich Zwangszirkulation und Tiefenwasserbelüftung für den Hallwilersee. Das System «Tanytarsus» ist eine technische Einrichtung zum Direkteintrag von reinem Sauerstoff über Diffusoren am Seegrund im Sommer, kombiniert mit einer Zwangszirkulation mit Hilfe von Druckluft im Winter (Bild 3).

Nachdem dieses System sich im Baldeggersee ab 1982 bewährt hatte und ebenfalls im Sempachersee installiert wurde, bewilligte der Grosse Rat des Kantons Aargau am 25. September 1984 ein entsprechendes Bauprojekt und einen Rahmenkredit zur Sanierung des Hallwilersees von 4 500 000 Franken für Investitions- und Betriebskosten während der nächsten 6 bis 8 Jahre. In dieses Kreditbegehren waren zusätzliche gewässerschützerische Abklärungen in der Landwirtschaft im aargauischen Einzugsgebiet des Hallwilersees, welche der Arbeitsgemeinschaft beratender Agronomen (AGBA) in Ebikon übertragen wurden, und die wissenschaftliche Betreuung der Seesanierung durch einen Limnologen während zweier Jahre miteinbezogen. Der Bund beteiligt sich mit etwa 35% an den Investitionskosten. Gemäss Vereinbarung mit dem Kanton Luzern beteiligt sich der inzwischen gegründete luzernische Gemeindeverband Baldeggersee/Hallwilersee mit 25% an den Investitions- und Betriebskosten. Die aargauischen Seegemeinden sind finanziell nicht beteiligt.

Bauherrschaft und Betreiberin der Anlage ist das Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Gewässer, unter

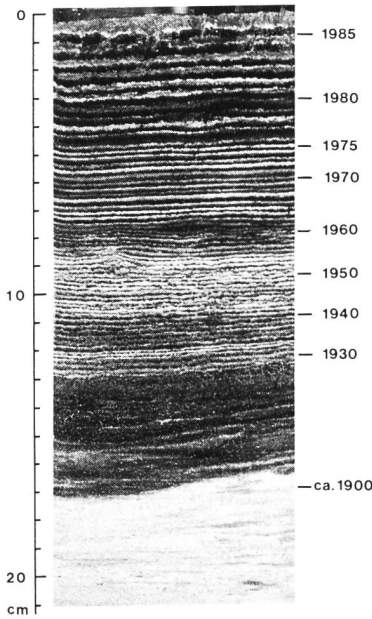


Bild 1. Sedimentaufschluss aus dem Hallwilersee vom 2. Oktober 1985 aus 46 m Tiefe. Ein Hell-Dunkel-Schichtpaar im oberen sauerstoff-freien Sedimentbereich stellt eine Jahresablagerung dar. (Foto mit freundlicher Genehmigung von Prof. H. Ambühl, EAWAG)

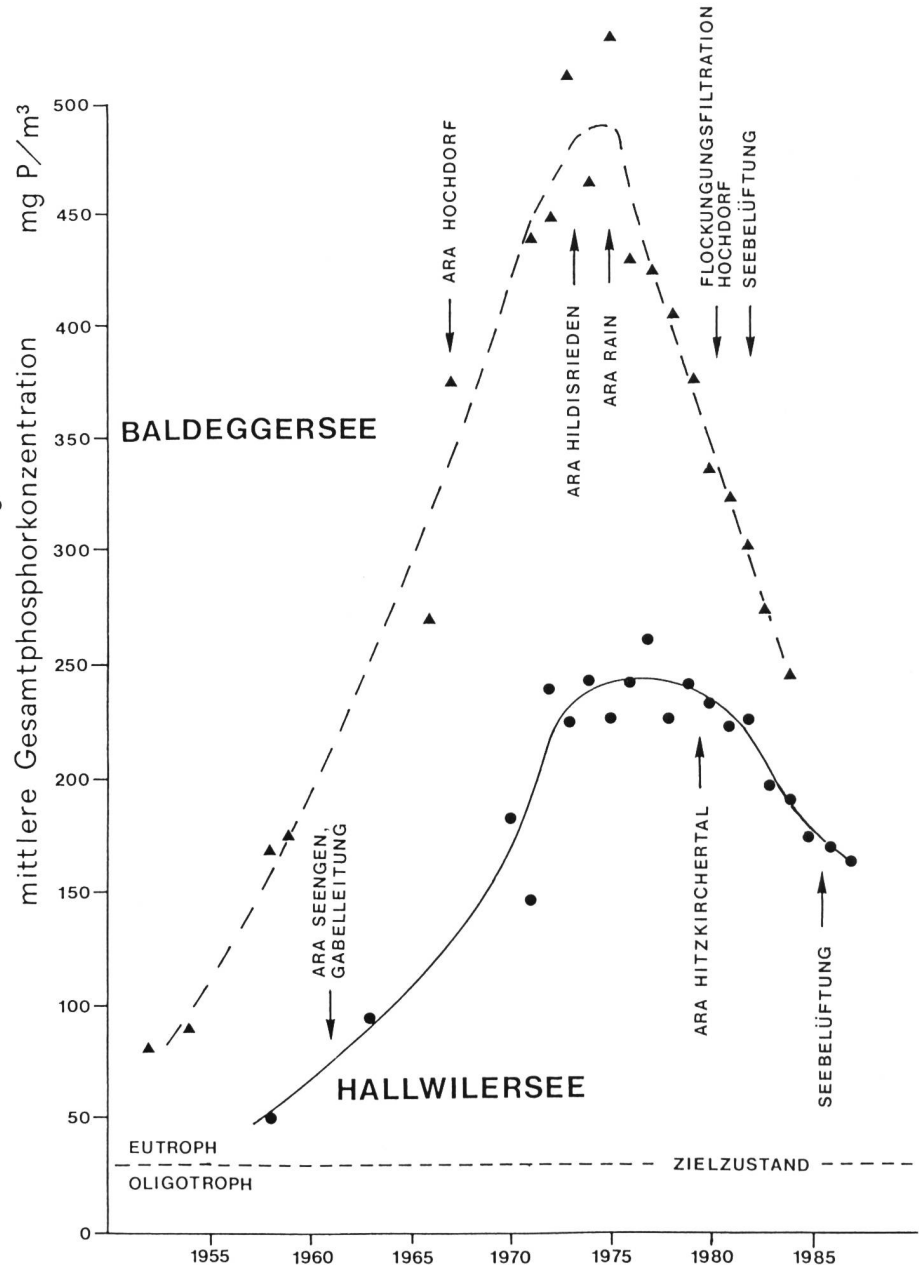


Bild 2. Zeitlicher Verlauf der mittleren Phosphorkonzentration im Frühjahr im Hallwiler- und Baldeggersee. Beginn von Sanierungs-massnahmen.

Leitung von dipl. Ing. *Heinz Meier*, der zusammen mit den Verfassern die Projektleitung bildet. Der fachliche Gedankenaustausch mit den analogen Projekten am Baldegger- und Sempachersee erfolgt im Rahmen der Technisch-wissenschaftlichen Arbeitsgruppe Seesanie- rung, in der die beiden luzernischen Gemeindeverbände, die Kantone Luzern und Aargau sowie die EAWAG vertreten sind. Das Bauprojekt wurde in zwei Phasen aufgeteilt.

**Die 1. Phase (Zwangszirkulation mit Druckluft)** umfasste die Landanlage im Seezopf, Meisterschwanden, mit zwei öl-freien Kompressoren (Bild 4) und der Verteil- und Regeleinrichtungen für Druckluft, die sechs Transportleitungen für Druckluft und Sauerstoff zu den Eintragstellen im Bereich der tiefsten Stelle (Bild 3c) und vorläufige Düsen für die Zwangszirkulation während des ersten Winters. Das Ausführungsprojekt, die Oberbau- und Bauleitung der Phase 1 wurde an das Ingenieurbüro U. Schaffner & Partner AG, Wohlen, vergeben. Baubeginn war Mitte September 1985. Am 6. Dezember 1985 wurde die Zwangszirkulation erstmals in Betrieb genommen und dauerte bis zum 9. Mai 1986.

**Die 2. Phase (Tiefenwasserbelüftung mit reinem Sauerstoff)** umfasste die Installationen für die Regulierung des Sauer-

stoffes an Land, die sechs Diffusoren im See (Bild 5), ausgerüstet für wahlweisen, von der Landanlage aus steuerbaren feinblasigen Betrieb im Sommer oder grobblasigen Betrieb im Winter, die Anpassungen der Leitungsenden für das Heben und Senken der Diffusoren und demontierbare Hebeeinrichtungen für deren Montage und Unterhalt auf dem Passagierschiff «Hallwil». Der Lagertank für den flüssigen Sauerstoff und die Verdampfer werden vom Sauerstofflieferanten gestellt. Mit dem Ausführungsprojekt und der Bauleitung der Phase 2 wurde das Ingenieurbüro E. Jungo AG, Zürich, betraut. Baubeginn war Anfang August 1986. Im September, Oktober und November 1986 konnte mit 3 Diffusoren ein Testbetrieb durchgeführt werden. Am 25. November 1986 wurde abermals auf Zwangszirkulationsbetrieb umgestellt. Seit 4. Mai 1987 wird das Tiefenwasser erneut mit reinem Sauerstoff belüftet. Ab Mitte Juni 1987 sind alle 6 Diffusoren in Betrieb. Die Anlagekosten werden voraussichtlich rund 1500000 Franken betragen. Die jährlichen Betriebskosten werden auf 100000 Franken bis 250000 Franken geschätzt, wobei diese wesentlich davon abhängen, inwieweit die externe Phosphorbelastung abnehmen und der See selbst auf die eingeleiteten see-externen und see-internen Massnahmen reagieren wird.

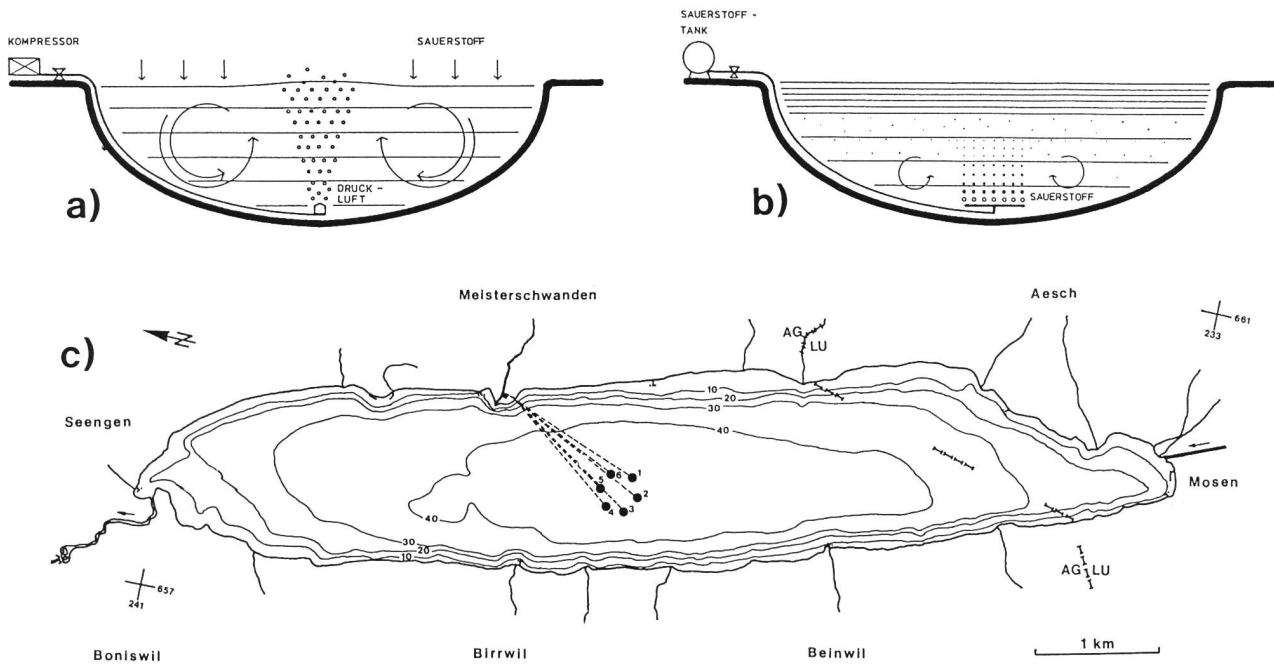


Bild 3. Prinzip und Anordnung der Belüftung im Hallwilersee.

a) Zwangszirkulation im Winter: Die mittels Düsen grobbläsiger eingetragene Druckluft bewirkt im gleichmässig abgekühlten See eine Zirkulation über die ganze Seetiefe. Dabei wird das Tiefenwasser an der Oberfläche mit Luftsauerstoff angereichert.

b) Sauerstoffeintrag im Sommer: Der feinbläsiger aus Diffusoren ausströmende Sauerstoff löst sich in den tieferen Schichten und verteilt sich weiträumig. Die erwärmte Oberflächenschicht wird dabei nicht gestört.

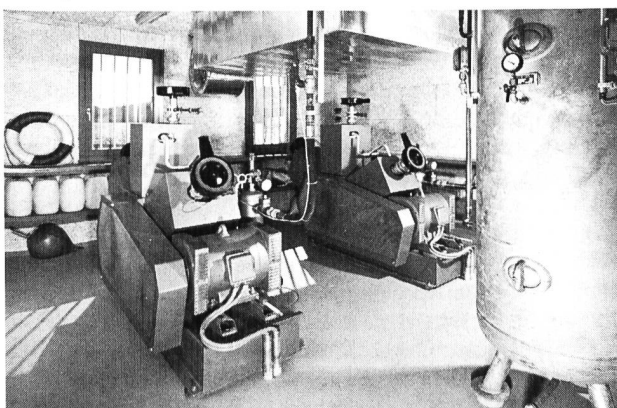
c) Die Eintragstellen sind kreisförmig im Bereich der grössten Tiefe von 46,5 m angeordnet.

### 3. See-externe Massnahmen

Aus dem Bericht der AGBA 1985 geht hervor, dass die Tierbestände im aargauischen Einzugsgebiet bis auf einzelne Ausnahmen nicht übersetzt sind, dass aber auf vielen Betrieben ein Manko an Güllelagerraum besteht. Im Winter 1986/87 hat die landwirtschaftliche Schule Liebegg ein besonderes Beratungsprogramm in den 10 Gemeinden rund um den Hallwilersee begonnen, wobei die Themen Nährstoffbilanz, Hofdüngeranfall und notwendiger Güllelagerraum auf dem eigenen Betrieb sowie die geplanten Bodenprobenaktionen Schwerpunkte bildeten. Die freiwillige Beteiligung der Betriebsleiter war erfreulich gut. Die landwirtschaftliche Beratung soll mithelfen, das Risiko einer Phosphatbelastung des Sees aus der Landwirtschaft zu vermindern.

Laufend werden auch die Bäche im aargauischen Einzugsgebiet des Sees durch die Abteilung Gewässer in ihrer ganzen Länge auf verbliebene gewässerschutztechnische Mängel abgesucht und deren Behebung verfügt. Im luzernischen Einzugsgebiet wurde kürzlich eine entsprechende Untersuchung abgeschlossen. Zur Beurteilung der seit der

Bild 4. Die Druckluft wird durch zwei ölfreie Kolbenkompressoren mit je einer Leistung von 330 m<sup>3</sup>/h bei 10 bar erzeugt. Die Elektromotoren dazu leisten je 45 kW.



Zuflussuntersuchung 1974/75 [Märki und Schmid, 1983] erreichten Nährstoffreduktion zum See und als Basis für zukünftige Erfolgskontrollen plant die Abteilung Gewässer eine umfangreiche Untersuchung der Hallwilersee-Zuflüsse mit 10 Dauerabflussmessstellen und schweremässig auf Hochwasser ausgerichteten Analysen von Gesamtphosphor, gelöstem Phosphor, Phosphat, Ammonium und Nitrat.

### 4. Überwachung der see-internen Massnahmen

In enger Zusammenarbeit zwischen dem Baudepartement, Abteilung Gewässer, und der EAWAG, Abteilung Limnologie in Dübendorf und dem Fachbereich Fischereiwissenschaften in Kastanienbaum werden die kurz- und langfristigen Auswirkungen der Zwangszirkulation und Tiefenwasserbelüftung auf den Wasserchemismus und mit besonderem Augenmerk die erwarteten Veränderungen in der Zusammensetzung und im Zusammenwirken der Organismen des Sees untersucht. Vielfältige bisherige ökologische Arbeiten [Märki und Schmid, 1983, vgl. Literaturzusammenstellung; Bürgi et. al. 1985; Spiess, 1985; Ammann, 1986; Bloesch und Uehlinger, 1986] und ein fischereiliches Gutachten der EAWAG (1983) geben hierzu eine solide Vergleichsbasis.

Seit April 1985 läuft ein intensives Überwachungsprogramm mit zweiwöchentlichen Probenahmen an der tiefsten Stelle des Sees zur Bestimmung von 25 physikalischen und chemischen Parametern sowie Chlorophyll, Primärproduktion, Planktonzusammensetzung und -dichte (Bild 6).

Zusätzlich werden gezielt die horizontale Verteilung des Sauerstoffes und die Mischungsprozesse im See untersucht. Forschungsarbeiten der EAWAG über das Phyto- und Zooplankton, über den Felchenbestand und über die benthischen Organismen ergänzen diese Bemühungen. 1987 führt die Universität Genf, Unité de Biologie Aquatique, nach 1978 eine zweite Bestandesaufnahme der Wasserpflanzen im Uferbereich durch.

## 5. Erfahrungen mit der Zwangszirkulation

Die Zwangszirkulation bewirkt eine bessere Durchmischung des sauerstoffarmen Tiefenwassers mit dem sauerstoffreichen Oberflächenwasser, sobald im Herbst der See genügend abgekühlt ist. Durch diese Mischung wird die Sauerstoffkonzentration an der Wasseroberfläche herabgesetzt, wodurch sich der Sauerstoffeintrag aus der Atmosphäre erhöht. Beim grobblasigen Betrieb im Winter kann der Sauerstoffeintrag aus der Druckluft im Vergleich zum Eintrag aus der Atmosphäre, welcher während der Dauer des Zwangszirkulationsbetriebes bis zu 2500 t O<sub>2</sub> beträgt, vernachlässigt werden.

Der installierte Durchsatz von 600 nm<sup>3</sup> Druckluft/h erzeugt während der Zwangszirkulationsperiode einen rund 1000fach grösseren Wassertransport, so dass die Wassermassen des ganzen Sees in 3 bis 5 Wochen vollständig umgewälzt werden [Schaffner, 1987]. Kommt es zu instabilen Dichteschichtungen oder herrschen günstige Winde, kann die Mischung noch rascher erfolgen.

Eine Woche nach Beginn der ersten Zwangszirkulation, am 13. Dezember 1985, war in Tiefen unterhalb 30 bis 35 m noch kein Sauerstoff vorhanden (Bild 8). Darüber hinaus bildeten die hohen Gehalte an reduzierten Verbindungen wie Schwefelwasserstoff, Methan, Ammonium, Nitrit, Mangan und Eisen ein zusätzliches Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser, da diese Verbindungen in Anwesenheit von Sauerstoff rasch oxidieren. Im Bereich der Eintragsstellen (Pfeile) entsteht durch den bis an die Oberfläche reichenden Luftblasenstrom sauerstoffärmeres Mischwasser, das rasch wieder abtaucht und sich in derjenigen Tiefe einschichtet, welche seiner Dichte entspricht, solange es kälter als das übrige Oberflächenwasser ist. Entsprechend sind zu die-



Bild 5. Ein Diffusor mit 6 m Durchmesser hat 42 Filterkerzen aus gesintertem Stahl, welche Blasen von weniger als 1 mm Durchmesser erzeugen. Zusätzlich sind 3 bis 6 Düsen für den grobblasigen Betrieb installiert, die bei einem landseitigen Druck von mehr als 7 bar ansprechen. Im Sommer können so 5 bis 40 kg O<sub>2</sub>/h ausschliesslich feinblasig, im Winter 50 bis 100 m<sup>3</sup> Druckluft/h überwiegend grobblasig (wie Foto) eingetragen werden.

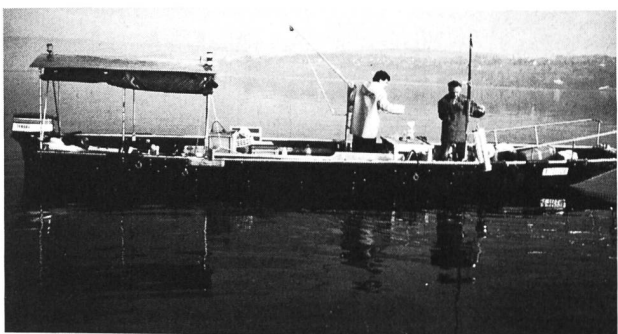
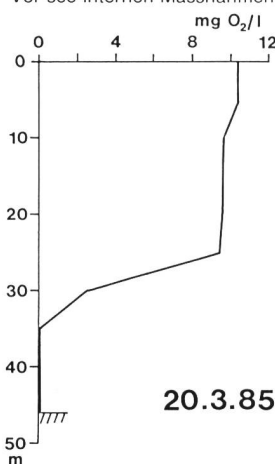


Bild 6. Das mit Probenahmearrichtungen bestens ausgerüstete Untersuchungsboot «Redox» der EAWAG wird auch von der Abteilung Gewässer zur regelmässigen Erfassung des Seezustandes benützt.

Vor see-internen Massnahmen



Nach see-internen Massnahmen

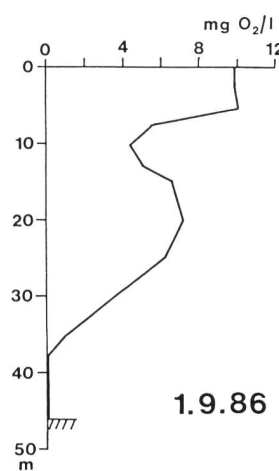
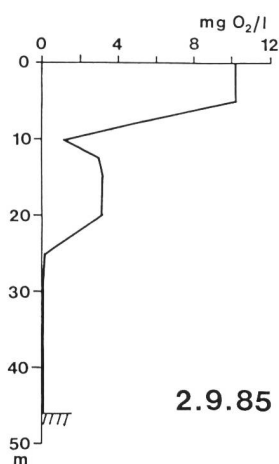
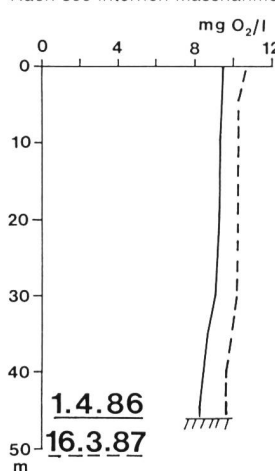


Bild 7. Typische Sauerstoffprofile im Hallwilsee vor und nach Beginn der see-internen Massnahmen (1. Zwangszirkulation, Dezember 1985 bis Mai 1986, Testbetrieb Tiefenwasserbelüftung, September 1986 bis November 1986, 2. Zwangszirkulation, November 1986 bis Mai 1987).

sem Zeitpunkt im Gebiet Mosen und Seengen noch sauerstoffreiche Wasserschichten bis auf 20 m vorhanden, während in der Seemitte die Sauerstoffkonzentration weniger als 5 mg O<sub>2</sub>/l betrug.

Einen Monat später, am 10. Januar 1986, war der See bezüglich Sauerstoff bereits weitgehend homogen. Nur noch südlich der Eintragsstellen lagen noch sauerstofffreie Wassermassen am Grund (Bild 8). Es bildete sich eine Art Mischungstrichter aus. Bereits Ende Januar jedoch war auch diese Zone durchmischt.

Das grosse Sauerstoffdefizit des Tiefenwassers vor der ersten Zwangszirkulation bewirkte, dass zeitweise die Sauerstoffkonzentration fast überall im See weniger als 5 mg O<sub>2</sub>/l betrug. Durch eine Reduktion des Druckluftdurchsatzes auf die Hälfte in der Zeit vom 24. Dezember 1985 bis zum 20. Januar 1986 wurde jedoch verhindert, dass in den oberen Wasserschichten der Sauerstoffgehalt unter 4 mg O<sub>2</sub>/l absank. In Zukunft wird die Ausbildung einer anaeroben Zone im Tiefenwasser verhindert und dadurch die Sauerstoffkonzentration zu Beginn der Zwangszirkulation höher liegen.

Nur im Dezember 1985 konnte anfänglich, bei windstillem Wetter, in der Seemitte der Geruch von Schwefelwasserstoff wahrgenommen werden. Im sauerstoffhaltigen Wasser war dieser jedoch nicht messbar. Ammonium und Nitrit, welches sich vorübergehend infolge von Nitrifikation bilden kann, erreichte in den durchmischten Wasserschichten zu keiner Zeit für Fische kritische Konzentrationen.



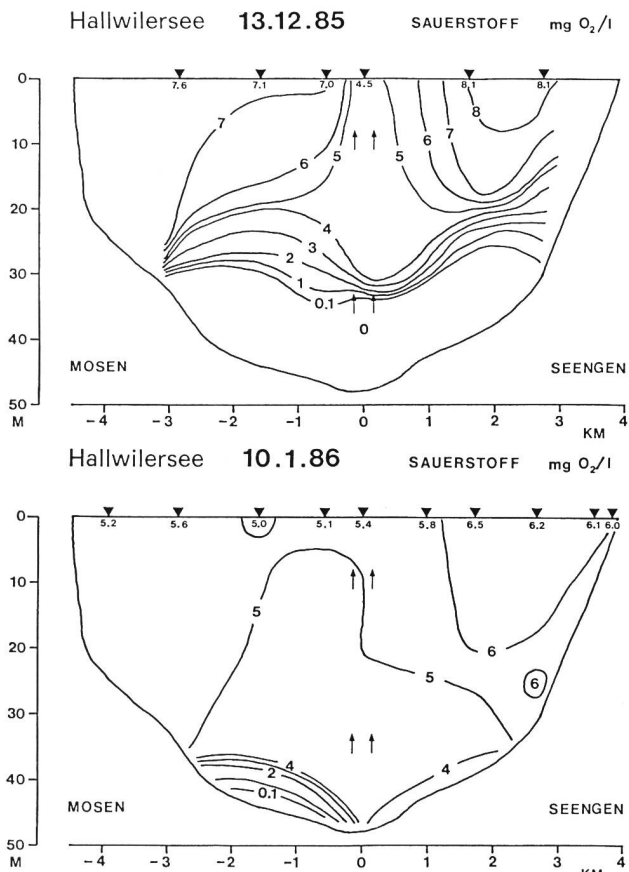


Bild 8. Sauerstoffverteilung vertikal und in der Längsachse des Sees. Die Linien (Isoplethen) verbinden die Orte gleicher Sauerstoffkonzentration im See. Pfeile markieren den Bereich der Eintragstellen.

Bis Ende des Winters 1985/86 erhöhte sich die Sauerstoffkonzentration im ganzen See auf 8,2 bis 9,5 mg O<sub>2</sub>/l (Bild 7). Im darauffolgenden Winter wurden aufgrund der bereits verbesserten Ausgangslage im Herbst gar 9,5 bis 10,8 mg O<sub>2</sub>/l erreicht. Der Zwangszirkulationsbetrieb wird jeweils beibehalten, bis sich die oberflächlichen Wasserschichten wesentlich erwärmen und so die Wirkung der Zwangszirkulation aufgehoben wird, was normalerweise Ende April/Anfang Mai der Fall ist.

Nach der ersten Zwangszirkulationsperiode konnte mit einem partiellen Betrieb der Tiefenwasserbelüftung erst ab September 1986 eingesetzt werden. Der Restsauerstoff (Sauerstoffkonzentration nach Abzug des Sauerstoffbedarfs der gelösten, reduzierten Verbindungen) im Sommer 1986 zeigt daher im Vergleich zur entsprechenden Periode 1982 und 1985 direkt die Auswirkung der Zwangszirkulation, ohne zusätzliche Tiefenwasserbelüftung (Bild 9). Die mittlere Restsauerstoffkonzentration im Hypolimnion (13 bis 46,5 m Tiefe) lag nach der Zwangszirkulation im Frühjahr 1986 um 4 bis 6 mg/l höher als in den früheren Jahren. Die nachfolgende Zehrung des Sauerstoffes war hingegen durchschnittlich unverändert, so dass Anfang September 1986 die mittlere Restsauerstoffkonzentration im Hypolimnion im Vergleich zu 1985 entsprechend höher lag. Die Restsauerstoffkonzentration in 45 m Tiefe, knapp über dem Sediment, lag im April 1986 zwar noch bei 9 mg/l, doch bereits Ende Mai war dort der Sauerstoff erneut vollständig gezehrt, und die weiteren Messungen ergaben bis Anfang September keine wesentlichen Unterschiede mehr zu den Jahren 1982 und 1985. Dies illustriert den bekanntermassen dominierenden Einfluss des Sedimentes auf die Sauerstoffzehrung am Grunde des Sees, wo das Verhältnis von Sedimentoberfläche zu Wasservolumen in der entsprechenden Tiefe besonders ungünstig ist.

Die Zwangszirkulation als einzelne Massnahme bringt beim Hallwilersee zwar bereits eine wesentliche Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser gegenüber dem unbeeinflussten Zustand (Bild 8), dennoch kann in den untersten 15 m des Sees der geforderte Grenzwert von mindestens 4 mg O<sub>2</sub>/l, wie erwartet, zumindest nicht kurzfristig erreicht werden.

## 6. Erfahrung mit der Tiefenwasserbelüftung

Im Hallwilersee findet während der warmen Jahreszeit, wenn der See geschichtet ist, praktisch kein Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser statt, da grosse, schwebstoffreiche oder kalte Zuflüsse fehlen. Solange die Sauerstoffzehrung in den tiefsten Wasserschichten grösser ist als die mitsamt der Zwangszirkulation erzielbaren Sauerstoffreserven, muss dem Tiefenwasser während der Sommermonate künstlich Sauerstoff nachgeliefert werden. Beim Hallwilersee geschieht dies durch Einblasen von reinem Sauerstoff mittels Diffusoren im Bereich der grössten Seetiefe. Da die Sauerstoffzehrung in den untersten Metern besonders gross ist, muss der Sauerstoff möglichst tief und dort in ausreichender Menge eingetragen werden.

Zur Abschätzung des optimalen Sauerstoffeintrages in den verschiedenen Tiefen des Hallwilersees diente eine schichtweise Sauerstoffbilanz (Bild 10). Die Bilanz berücksichtigt die Sauerstoffreserven aus der Zwangszirkulation und das Ziel, dass der Grenzwert von 4 mg O<sub>2</sub>/l in keiner Tiefe unterschritten werden sollte. Der erforderliche Sauerstoffeintrag je Schicht basiert auf der vorgesehenen Belüftungsdauer von 150 Tagen (Anfang Mai bis Anfang Oktober). Für die Berechnung der erwarteten Sauerstoffzehrung dienten Messungen der Jahre 1982 und 1985, wobei der Sauerstoffbedarf der reduzierten Verbindungen berücksichtigt wurde. Aus Bild 10 ist ersichtlich, dass oberhalb von 20 bis 25 m die Sauerstoffkonzentration allein infolge der Zwangszirkulation nicht mehr unter den Grenzwert von 4 mg O<sub>2</sub>/l absinken sollte. In grösseren Tiefen wurde dieser Grenzwert unterschritten, wobei unterhalb von 35 bis 40 m weiterhin ein Sauerstoffdefizit entstehen würde. Insgesamt müssen mindestens 2 Tonnen Sauerstoff pro Tag vornehmlich in den untersten Metern durch die Belüftung ergänzt werden.

Diese Angaben dienen dem Ingenieur als Dimensionierungsgrundlage, wobei verlangt wurde, dass mindestens 85 % von 3 t O<sub>2</sub>/d in den untersten 15 Metern des Sees eingetragen werden kann.

Die aufsteigenden Sauerstoffblasen induzieren über dem Diffusor einen nach oben gerichteten Wasserstrom. Das mit Sauerstoff angereicherte Wasser sichtet sich entsprechend seiner Dichte im See ein (Bild 11). Der über den Diffusoren zu beobachtende Aufwärtsstrom wird im ganzen übrigen See durch einen grossflächigen nach unten gerichteten Kompensationsstrom ausgeglichen, der den eingetragenen Sauerstoff nach unten mischt. Die Aufstiegshöhe des Gas/Wassergemisches hängt bei gegebenen Diffusoren und Eintragstiefe im wesentlichen vom Gasdurchsatz ab. Dieser Zusammenhang wurde im Rahmen eines Testbetriebes im Herbst 1986 im Hallwilersee praktisch ermittelt (Bild 12). Berechnungen mit einem Computermodell [Wüest, in Vorbereitung] zeigten, dass sich im betreffenden Fall Sauerstoffblasen mit einer Anfangsgrösse von weniger als 2 mm Durchmesser vollständig im Tiefenwasser auflösen. Beim typischen Durchsatz von 20 kg O<sub>2</sub>/h je Diffusor, was bei 6 Diffusoren 2,9 t O<sub>2</sub>/d entspricht, waren keine Blasen an der Seeoberfläche sichtbar. Die Aufstiegshöhe des kalten Tiefenwassers über dem Diffusor lag durchschnittlich

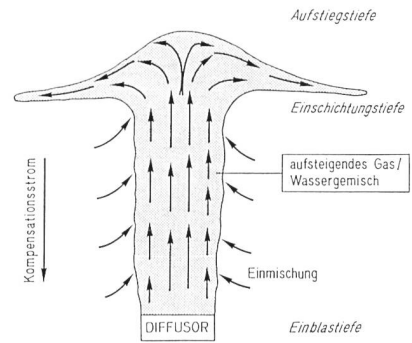
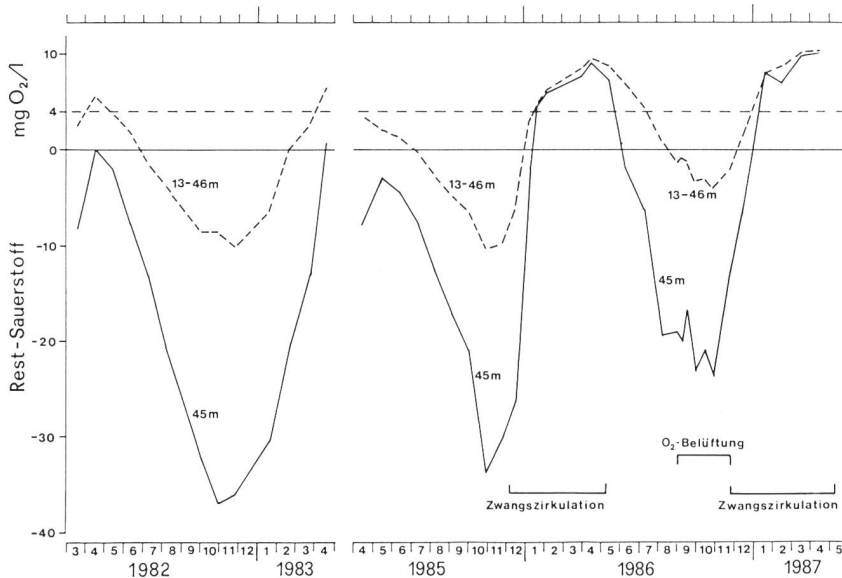


Bild 11. Schematische Darstellung des durch den aufsteigenden Gasstrom induzierten Wassertransports.

Bild 9. Zeitlicher Verlauf des Restsauerstoffs (Sauerstoffkonzentration nach Abzug des Sauerstoffbedarfs der gelösten reduzierten Verbindungen) gemittelt im Hypolimnion (13 bis 46,5 m) und in 45 m Tiefe.

bei 24 m. Erst bei einem Durchsatz von 40 kg O<sub>2</sub>/h wurden vereinzelte Gasblasen an der Oberfläche beobachtet. Dies zeigt, dass durch die Tiefenwasserbelüftung mit reinem Sauerstoff die erwärmten Wasserschichten, wo das Algenwachstum stattfindet, nicht gestört werden. Der bisherige Testbetrieb mit den bereits im Herbst 1986 installierten Diffusoren zeigte, dass die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion, sowohl durchschnittlich wie auch in 45 m

Tiefe, durch den reduzierten Sauerstoffeintrag von 0,5 bis 1,5 t O<sub>2</sub>/d bereits teilweise kompensiert wurde (Bild 9). Auch die sedimentnahen Wasserschichten werden demnach mit Sauerstoff versorgt. In welchem Ausmass mit der installierten Anlage auch das Sediment oxidiert und dadurch die Rücklösung von Phosphat reduziert werden kann, werden die Belüftungsphasen des laufenden und späterer Jahre zeigen.

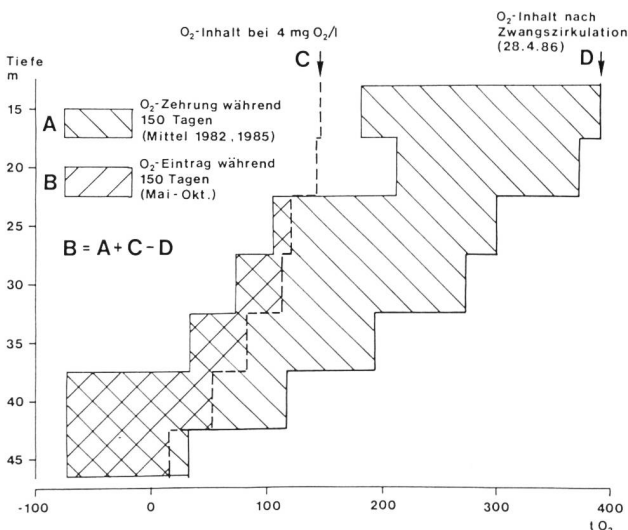


Bild 10. Abschätzung des erforderlichen Sauerstoffeintrages durch die Tiefenwasserbelüftung.

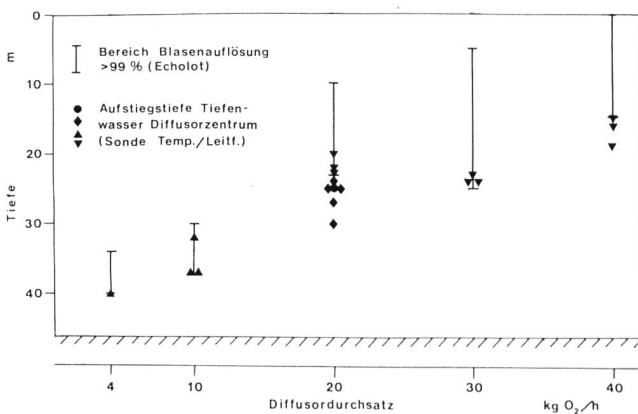


Bild 12. Aufstiegshöhe der Sauerstoffblasen und des kalten Tiefenwassers über dem Diffusor bei verschiedenen Gasdurchsätzen im Hallwilersee.

### Ausblick

Erwartungsgemäss haben die Fische rasch auf die bereits verbesserten Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser reagiert und konnten mit dem Echolot und bei Netzfängen der Fischer auch in grossen Tiefen festgestellt werden. Der Einfluss der see-internen Massnahmen auf den Fischbestand als Ganzes kann aber nach so kurzer Zeit noch nicht beurteilt werden. Ein entsprechendes fischereiliches Gutachten wurde daher erst für später in Aussicht genommen.

Die Algenproduktion, welche wesentlich das Ausmass des erforderlichen Sauerstoffeintrages bestimmt, dürfte erst merklich zurückgehen, wenn die mittlere Phosphorkonzentration im See wesentlich unter 100 mg P/m<sup>3</sup> fällt. Immerhin konnte man in den letzten Jahren bereits eine deutliche Zunahme der Sichttiefen, besonders im Mai/Juni und im Herbst, beobachten.

Mit aller Deutlichkeit soll abschliessend nochmals betont werden, dass ohne eine weitergehende Reduktion der externen Phosphatbelastung die Zwangszirkulation und Tiefenwasserbelüftung im Hallwilersee eine Symptombekämpfung bleiben. Diese see-internen Massnahmen lassen sich aber rechtfertigen, wenn dadurch der See in seiner Reaktion auf Belastungsreduktionen unterstützt wird und so rascher gesundet.

AGBA, 1985: Gewässerschutz und Landwirtschaft im Einzugsgebiet des Hallwilersees, Auftrag der Kantone Luzern und Aargau.

Ammann M., 1986: Verteilung und Ansprüche an den Lebensraum von *Potamopyrgus jenkinsi*, Smith (Gastropoda; Prosobranchia) im Hallwilersee. Diplomarbeit am Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie an der ETH Zürich.

Bloesch J. und Uehlinger U., 1986: Horizontal sedimentation differences in a eutrophic Swiss lake. «Limnol. Oceanogr.» 31, 1094-1109.

Bürgi H.R., Weber Pia und Bachmann H., 1985: Seasonal variations in the trophic structure of phyto- and zooplankton communities in lakes in different trophic states. «Schweiz. Z. Hydrol.» 47, 197-224.

EAWAG, 1979: Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten für den Baldegger- und Hallwilersee, im Auftrag des Militär- und Polizeidepartementes des Kantons Luzern und der Baudirektion des Kantons Aargau, Auftrag Nr. 4559.

Güntert A., 1920: Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Hallwilersee und ihre biologische Bedeutung. Festschrift für Zschokke 12, 13 Seiten, Basel.

Märki E. und Schmid M., 1983: Der Zustand des Hallwilersees, «wasser, energie, luft» 75, 105–112.

Schaffner U., 1987: Belüftung des Hallwilersees, «Schweizer Ingenieur und Architekt» 23, 660–663.

Spiess M., 1985: POC-, PP- und PN-Fraktionierung in Seen mit verschiedenem Trophiegrad. Diplomarbeit am Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie der ETH Zürich.

#### Verdankungen

An dieser Stelle sei den Mitarbeitern des Gewässerschutzlaboratoriums des Kantons Aargau, A. Burger, Marlis Lang und F. Zimmermann, für die Zuverlässigkeit bei den Probenahmen und für die analytischen Arbeiten im Laboratorium bestens gedankt. Unser Dank geht auch an die Mitarbeiter der EAWAG, R. Illi, B. Ribi, E. Szabo, die ebenfalls an den Untersuchungen der Wasserproben beteiligt sind.

Adresse des Verfassers: Klaus Tofaute, dipl. Ing. HTL, STV, Picatech AG, CH-6010 Kriens

## Die Strainpress zur Grobstoffabsiebung

Klaus Tofaute

### Zusammenfassung

Grobstoffe in Klärschlämmen verursachen in den verschiedensten Behandlungsstufen einer Kläranlage Betriebsprobleme. Auch in Industriebetrieben ist die Fest-/Flüssigtrennung eine häufig geforderte Verfahrensstufe bei der Abwasser- und Kreislaufwasserbehandlung. Einrichtungen zur Abtrennung von Grobstoffen aus den verschiedensten Medien sind bekannt, arbeiten jedoch nur drucklos oder müssen die abgetrennten Grobstoffe mit viel Wasser abschlämmen.

Mit der Strainpress, einem Durchlaufabscheider in geschlossener Bauform, werden die Grobstoffe in einem Arbeitsgang wirkungsvoll abgesiebt, entwässert, bis zur Stichfestigkeit gepresst und ausgestossen.

### Einführung und Problemstellung

Mit zunehmendem Lebensstandard unserer Industriegesellschaft wird den Abwässern als bequemes Transportmittel eine immer grössere Grob- und Feststoffbelastung zugemutet. Das heutige Abwasser enthält neben Kot, Papier, Speise- und Gemüseabfällen zunehmende Mengen an nicht verrottbaren Bestandteilen wie Wattestäbchen, Textilien, Kunststoff- und Gummiteile, Kronenkorken und Fasern.

Da nicht alle Kläranlagen mit modernen Feinrechenanlagen ausgerüstet sind, werden diese Stoffe nur teilweise aus dem Abwasser entfernt. Somit gelangt ein grosser Anteil in den Frischschlamm. Wird noch Fäkalschlamm angenommen, vergrössert sich der Grobstoffanteil. Im Betriebsablauf einer Kläranlage zeigen sich demzufolge häufig Probleme in Form von:

- Verstopfung in Pumpen und Wärmeaustauschern
- Verzopfungen in Schlammhygienisierungsanlagen

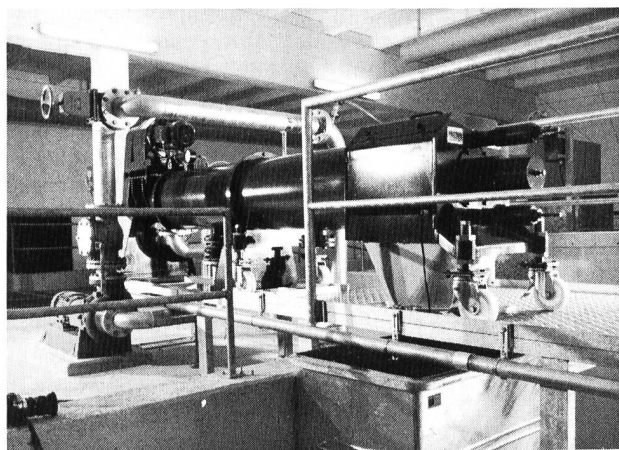


Bild 1. Strainpress Typ SP-4. Kläranlage Lützelau/Schweiz.

- Schwimmschlammschichten in Eindickern und Faulbehältern
- Erschwerte Nassschlammabgabe, weil die Landwirte sich mit Recht gegen eine Ablagerung der Wohlstandsabfälle auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen wehren.

Ähnliche Verhältnisse liegen in der Industrie vor. Abwasser und Kreislaufwasser enthalten Grob- und Feststoffe, die abzutrennen sind, damit die Trägerflüssigkeiten und/oder Feststoffe zum Teil wiederverwendet werden können.

Der Bedarf an wirkungsvollen Grobstoffabscheidern ist deshalb in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Nachfolgend wird eine neue Vorrichtung zur Grobstoffabscheidung und -entwässerung, die Strainpress, vorgestellt.

### System

Folgende Merkmale zeichnen die Strainpress aus:

- Durchlaufabscheider in geschlossener Bauform
- Absiebung, Entwässerung und Pressung in einem Arbeitsgang ohne räumliche Trennung
- kontinuierlicher Betrieb ohne Abschlämmen oder Rückspülen
- optimale Geruchseindämmung
- problemloses Einbinden in bestehende Rohrleitungssysteme (in-line-Betrieb)
- geringe Empfindlichkeit gegen Mengen- und Feststoffschwankungen.

Die Durchsatzleistungen der drei zur Verfügung stehenden Maschinentypen SP-2, -3 und -4 sind so abgestuft, dass für praktisch jeden Anwendungsfall die richtige Grösse eingesetzt werden kann. Schneckendrehzahl, Sieblochung und Geometrie des Feststoffaustrittsbereiches lassen sich so variieren, dass eine optimale Anpassung an unterschiedlichste Medien gewährleistet ist (Bild 1).

Durchsatzleistung und Druckverlust hängen von der Viskosität der Flüssigkeit und der abzuschheidenden Grobstoffmenge ab. Die Sieblochung ist im Bereich von 1 mm bis 10 mm frei wählbar und bestimmt den Grobstoffabscheidegrad. Für z.B. Frisch- oder Primärschlamm mit einer Trockensubstanz von 4 bis 5% ergeben sich die Betriebsdaten gemäss Tabelle 1.

Der Feststoffaustrag enthält eine Restfeuchte von 60 bis 70% und kann ohne Weiterbehandlung entsorgt werden. Bei einer Siebung von Rohabwasser erhöhen sich die Durchsatzleistungen auf das Zwei- bis Dreifache.

Das Gehäuse der Strainpress besteht aus Normalstahl und Guss. Die wichtigsten Innenteile sind standardmässig aus Edelstahl 1.4301 (AISI 304) gefertigt. Die Schnecke ist aus Gründen erhöhter Verschleissfestigkeit aufgepanzert.

- Damit eignet sich die Strainpress für den Einsatz in
- Kläranlagen zur Behandlung von Fäkalschlamm, Frisch- und Primärschlamm, Rücklaufschlamm, Überschusschlamm, Schwimmschlamm und Faulschlamm
  - Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft zur Behandlung von Abwasser, Schlamm und Kreislaufwasser.