Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 81 (1989)
Heft: 11-12

Artikel: Erfahrungsbereich Wasserkraft für angehende Energiefachleute
Autor: Gerber, Robert / Wenger, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940519

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Erfahrungsbereich Wasserkraft für angehende Energiefachleute

Robert Gerber und Peter Wenger

Im Rahmen des erstmals durchgeführten HTL-Nachdiplomstudiums «Energietechnik» an der Ingenieurschule Burgdorf wurde uns Teilnehmern die Gelegenheit geboten, die eher trockenen Schulstubentheorien in der Praxis zu erfahren. Aus den vorgängig besprochenen Themenkreisen Wasserkraftpotential, Wasserkrafttechnik, Einsatzbereiche und Zukunft von Wasserkraftwerken interessierte uns insbesondere die Möglichkeit, auch kleinere Potentiale auszunützen. Nebst der Anlage des Kraftwerks Spiez (Simme- und Kanderwasser) und dem Neubau Werk Kandergrund besichtigten wir das Kleinkraftwerk in Blumenstein.

Erneuerung des Kraftwerks Blumenstein

Die Trinkwasserversorgung des Gemeindeverbandes Blattenheid ist seit über 70 Jahren mit einer Energieerzeugungsanlage im Kleinkraftwerk Blumenstein kombiniert.
Im Zuge der Gesamterneuerung 1989 der über 2800 m langen Druckleitung wird auch die Kraftwerkzentrale den neuen Verhältnissen angepasst und deren elektromechanische Einrichtungen werden gesamthaft erneuert.
Dabei wird die Leistung von 400 auf 640 kW und die Produktion von 1,95 auf 3,13 GWh erhöht.
Die teilweise in einem Rutschgebiet liegende alte Druckleitung von den Blattenheidquellen zum Maschinenhaus und Trinkwasserreservoir Blumenstein wurde 1989 auf ihrer gesamten Länge durch eine neue Stahlrohrleitung ersetzt.
Eine Untersuchung wies nach, dass eine Anpassung der bestehenden Kraftwerkseinrichtungen an die neuen Druck- und Leistungsverhältnisse unwirtschaftlich war, so dass sich der Gemeindeverband auch zu einer Gesamterneuerung der maschinellen und elektrischen Anlagen zur Energieerzeugung entschloss.

Tabelle 1. Kraftwerk Blumenstein. Technische Hauptdaten.

		Vor Erneuerung	Nach Erneuerung
Nutzwassermenge		105 l/s	133 l/s
Nettofallhöhe		530 m	552 m
Volumen Sammelbecken			700 m³
Druckleitung,	Länge		2800 m
	Durchmesser		300 mm
Turbine,	Typ	2 × Pelton	Pelton, eindüsig
	Leistung	220 + 110 kW	640 kW
	Drehzahl		1000 Upm
Generator,	Leistung	240 + 120 kVA	800 kVA
Jahresproduktion		1,95 GWh	3,13 GWh

Bild 1. Das bestehende Kraftwerksgebäude wird durch den Umbau in seinem Äusseren nicht verändert.

Im Laufe des Jahres 1990 werden die beiden alten Maschinengruppen durch eine einzige neue Einheit ersetzt. Ebenso wird die heute in einem unschönen Anbau untergebrachte Mittelspannungsanlage gesamthaft erneuert und im Maschinenhaus integriert.
Die Erneuerungsarbeiten müssen so geplant werden, dass in der Trinkwasserversorgung kein Unterbruch entsteht.
Gleichzeitig zur Erneuerung des Maschinenhauses wird bei der Fassung der Blattenheidquelle ein Absetzbecken von 700 m³ erstellt, was auch für die Energieproduktion eine erhöhte Betriebsflexibilität ergibt.
Die Baukosten für die eigentliche Kraftwerkserneuerung sind auf 1,6 Mio Franken veranschlagt.
Colenco wurde vom Ingenieurbüro Holinger, Bern, mit der technischen Planung und Bearbeitung der Druckleitungs- und Kraftwerkserneuerung beauftragt.

Erfahrungen, Diskussion

Die interessante Besichtigungstour im Berner Oberland gab zu regen Diskussionen Anlass. Die bekannten Vorteile der Wasserkraft (Erneuerbarkeit, Umweltverträglichkeit u. a. m.) wurden bestätigt, die Nachteile (Baukosten, Bewilligungsverfahren) wurden neu vor Augen geführt. Zusammengefasst beschäftigten uns hauptsächlich folgende Punkte:

- Der Widerstand gegen neue Wasserkraftprojekte ist gross. (Heute ist leider gegen alle technischen Vorhaben Opposition zu erwarten.) Dabei scheint uns, dass besonders die Fischer eine Machtposition erlangt haben, die ihnen nicht zusteht.
- Die Baukosten für die technischen Einrichtungen sind sehr hoch, da noch zuwenig auf Standardlösungen abgestützt werden kann. Es wäre wünschenswert, dass sich die Hersteller entschliessen könnten, kostengünstige Fertigmodule für Kleinstleistungen zu produzieren. Der niedrige Anschaffungspreis soll dabei die Verluste aufwiegen, die dadurch entstehen, dass die Anlage unter Umständen nicht im optimalen Auslegepunkt betrieben werden kann. Es ist jedoch auch aufgefallen, dass grosse Stromerzeugungsunternehmen sehr grosszügig für Äusserlichkeiten (Bau, Umgebung) Geld ausgeben.
- Wir meinen, dass das Maschinenangebot in Richtung Kleinstanlagen erweitert werden sollte, damit vermehrt kleine Potentiale (>5 kW) wirtschaftlich genutzt werden könnten. Dabei sind diese dezentral anfallenden Beiträge an die Gesamtstromversorgung keineswegs zu unterschätzen. (Schon eine 10-kW-Anlage kann im Jahr gut und gerne 6 t Heizöl ersetzen.)
- Alte, ungenutzte Wasserbezugsrechte sollten erfasst werden. Durch subventionierte Information und Planung sollte dem Besitzer die Wiederinstandsetzung der Anlage schmackhaft gemacht werden. Dabei könnte bei vielen Anlagen auf teilweise intakte Wasserfassungen aufgebaut werden.

Über all diesen Problemkreisen steht für uns die Frage: «Wie können die Vorteile der dezentralen Stromversorgung durch Kleinkraftwerke der Bevölkerung bekannt gemacht werden?» Es gibt nur eine Antwort: «Durch die Erneuerung oder Erstellung von Anlagen!» Dabei dürfen Sie von nun an mit der vollen Unterstützung unsererseits rechnen.

Adresse der Verfasser: Klasse Nachdiplomstudium Energietechnik, Ingenieurschule Burgdorf, Pestalozzistrasse 20, 3400 Burgdorf; *Robert Gerber* und *Peter Wenger*.

Die Daten der Anlage Blumenstein wurden uns freundlicherweise von der Firma Colenco AG, Baden, mitgeteilt.

Die Sanierung des Hallwilersees

Auswirkungen auf die Organismen des Seegrundes nach 2¾ Jahren Zirkulationshilfe und Tiefenwasser-Sauerstoffbegasung

Fred Stössel

1. Einleitung

Im Heft 4 des 75. Jahrganges dieser Zeitschrift beschrieben *E. Märki* und *M. Schmid* 1983 den Zustand des Hallwilersees vor den Sanierungsmassnahmen, und im Heft 7/8 des 79. Jahrganges teilten *A. Stöckli* und *M. Schmid* 1987 die ersten Erfahrungen nach dem Belüftungsbeginn mit. Die letztere Arbeit umfasste die Zeitspanne bis zum Frühjahr 1987. Inzwischen hat der See zwei weitere und nicht unkritische Sommerperioden überstanden. Die strenge Schichtung des Wassers während des Sommerhalbjahres macht den Austausch gelöster Gase zwischen den Schichten nahezu unmöglich. Diese als Sommerstagnation bekannte Erscheinung führte denn auch vor der Belüftung zum zeitweise vollständigen Sauerstoffschwund im Tiefenwasser. Gegen Ende der Sommerschichtung konnte meist ab 25 m Tiefe, in einigen Fällen bereits ab 20 m Tiefe kein Sauerstoff mehr festgestellt werden. Dass noch gravierendere Sauerstoffzustände auftraten, zeigten Messungen im Oktober 1973 (*Märki* und *Schmid,* 1983), wo bereits etwas unter 10 m Tiefe kein Sauerstoff mehr gefunden wurde. Somit konnten sich die während des Sommerhalbjahres auf den Seeboden abgesunkenen organischen Stoffe (vorwiegend abgestorbenes Plankton) nicht mehr aerob (mittels Sauerstoff) abbauen. Dadurch entstand anaerober, schwarzer Faulschlamm, aus welchem sich infolge bakterieller Reduktion giftiger Schwefelwasserstoff bildete. Eine Besiedelung des Grundes durch tierische Organismen ist dadurch verunmöglicht. Von schwerwiegender Bedeutung ist, dass die Seebodenfläche unterhalb 25 m Tiefe zwei Drittel des gesamten Seegrundes ausmacht.

Um die Auswirkungen der im Winter 1985/86 eingeleiteten Sanierungsmassnahmen kennenzulernen, wird die im und auf dem Seegrund lebende Fauna seit Juni 1985 von der Eawag untersucht.

2. Die biologischen Untersuchungen

Zur Untersuchung der Benthosfauna (tierische Grundbesiedler) wurden Probenahmestellen in verschiedenen Tiefen auf einem Längs- und einem Querprofil des Sees ausgewählt. Die Abstufung erfolgte in 5-m-Schritten zwischen 5 m und 40 m Tiefe.

Zusätzlich wurden Proben in etwa 2 m Tiefe und an der tiefsten Stelle bei 46 m erhoben. Damit ein möglichst breites Spektrum der Tierarten erfasst werden konnte, wurde auf eine genaue quantitative Probenahmetechnik verzichtet und dafür mit einem Schleppnetz (Dredge) gearbeitet. An einem schweren dreieckigen Eisenrahmen mit 35 cm Schenkellänge ist ein stabiles Netz mit etwa 0,5 mm Maschenweite befestigt. Zur Probenentnahme wird die Dredge an einem Stahlseil zwischen 5 und 10 m weit über den Seegrund geschleppt, während sich der am Boden liegende Schenkel etwas eingräbt und Bodenmaterial abhebt, das ins Netz gelangt. Anschliessend wird die volle Dredge an Bord des Schiffes gezogen und deren Inhalt mittels eines Siebes vom Schlamm und anderem Feinmaterial befreit. Das gereinigte Bodenmaterial mit den darin enthaltenen Kleintieren wurde anschliessend an die Probenahme im Labor innert maximal zwei Tagen aufgearbeitet. In grossen, flachen Schalen wurde das Material unter einer Leuchtlupe gesichtet, und die Tiere wurden herausgesucht. Die angewandte Probenahmetechnik erlaubte keine genaue Mengenangabe des Artenvorkommens. Zur Beurteilung des Besiedelungsablaufes sind aber wenigstens Kenntnisse der relativen Häufigkeit der Arten erforderlich. Deshalb wurden die Anzahlen geschätzt und in fünf Häufigkeitsklassen aufgeteilt (vereinzelt, selten, mehrfach, viel, massenhaft).

3. Resultate

In den Bildern 1a, b und 2a, b sind die Resultate graphisch dargestellt.

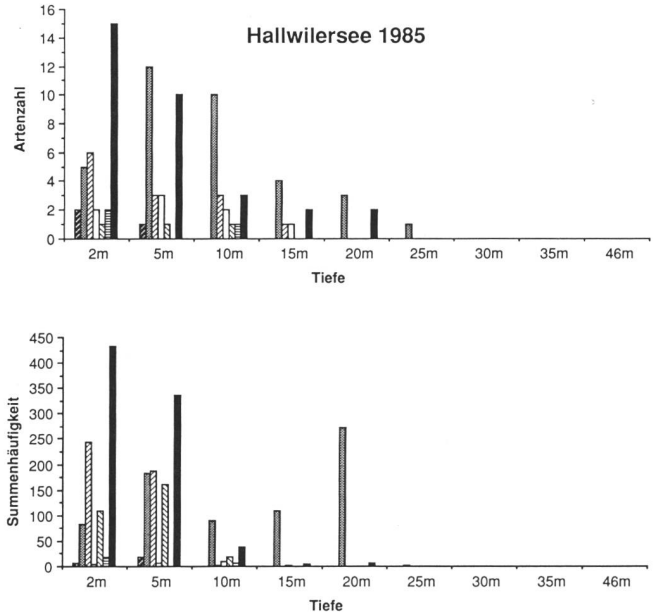
- Im Uferbereich (bis etwa 10 m Tiefe) waren keine Veränderungen festzustellen.
- Im Bereich von 15 bis 25 m Tiefe konnten nur in 15 m Tiefe bisher nicht vorgefundene Arten in geringen Häufigkeiten festgestellt werden. In 25 m Tiefe sind die Würmer der Familie Tubificidae, welche 1985 nur in geringen Häufigkeiten vorhanden waren, 1988 in grösseren Anzahlen aufgetreten. In dieser Tiefe konnten auch erstmals Zuckmückenlarven (Chironomidae) in geringer Anzahl gesammelt werden.
- In 30 und 35 m Tiefe, in welchen noch 1987 jegliche Anzeichen von Benthosbewohnern fehlten, sind 1988 Würmer (Tubificidae) in den Häufigkeiten vereinzelt bis selten gefunden worden.
- Ab 40 m Tiefe war wiederum keine Veränderung sichtbar.

Das Vorkommen auch nur weniger Tiere in 30 und 35 m Tiefe zeigt, dass in unmittelbarer Bodennähe noch am Ende der Sommerstagnation Sauerstoff vorhanden ist. Diesen im Bodennahbereich zu messen war jedoch mit unseren technischen Mitteln nicht möglich. Hingegen konnte durch eine weitere biologische Indikation das Vorhandensein von Sauerstoff nachgewiesen werden: In den Proben wurden auf der Sedimentoberfläche weissliche, spinnwebenartige Gebilde festgestellt. Es sind dies Schwefelbakterien der Gattung *Beggiatoa,* die sich nur in der Grenzschicht zwischen Anaerobie und Aerobie entwickeln können. Diese fadenbildenden Bakterien benötigen als Energiequelle den für sie ungiftigen Schwefelwasserstoff, indem sie ihn mit Hilfe von Sauerstoff zu reinem Schwefel und darauffolgend zu Sulfat oxidieren. Bei diesem Vorgang gewinnen die Bakterien genügend Energie für ihren Stoffwechsel (Bild 3). Ihre Anwesenheit zeigt, dass das Sediment noch anaerob ist (sonst würde sich kein Schwefelwasserstoff bilden), dass im Wasser über dem Sediment aber Sauerstoff vorhanden ist.

Bis der angestrebte Zustand des Bodens, nämlich für Tiere besiedelbar, auch an der tiefsten Stelle des Sees erreicht ist, dürften noch einige Jahre vergehen. Solange noch Schwefelwasserstoff gebildet wird, sind nur Spezialisten wie *Tubifex tubifex* befähigt, diese Nische zu besetzen. Tubifex ist dazu in der Lage, weil er mit dem Vorderende im anaeroben Sediment steckt und Schlamm frisst, während sein Hinterende ins freie Wasser hinausragt und über den Enddarm und die Haut Sauerstoff aus dem Umgebungswasser aufnimmt. Zwischen dem Sauerstoffgehalt des Umgebungswassers und der Länge des aus dem Schlamm ragenden Wurmkörpers sowie der Intensität der Pendelbewegungen desselben besteht eine Übereinstimmung: Je mehr Sauerstoff im Umgebungswasser vorhanden ist, desto tiefer sitzt dieser Schlammröhrenwurm im Sediment, und um so schwächer pendelt sein Hinterteil im freien Wasser.

Die Säulendarstellungen 1a und 1b zeigen bestandesbildende Tiergruppen aus Proben im September und Oktober der Jahre 1985 und 1988. Im Diagramm 1b ist die Einwanderung von Arten in die Tiefenregion ab 20 m deutlich erkennbar. Die Bilder 2a und 2b basieren auf denselben Organis-

mengruppen, doch sind statt der Artenanzahlen die mittleren Häufigkeiten der einzelnen Arten summiert. Trotzdem es sich um Schätzwerte handelt, sind die Tendenzen nicht zu übersehen. Sie zeigen auch, dass bei 30 und 35 m Tiefe die Besiedelung erst am Anfang steht. Da im September und Oktober 1985 die Probenmenge doppelt so gross war als 1988, ist die Information in den Abbildungen 1a und 2a sowie deren Schlussfolgerungen, nämlich dass die Besiedelung fortschreitet, sicherer.



Bilder 1a und 1b, oben. Darstellung der Anzahl Arten in den verschiedenen untersuchten Gruppen wirbelloser Tiere. Die Hohltiere und Milben wurden nicht näher bestimmt, so dass deren Artenzahl 1 nicht übersteigt.

Bilder 2a und 2b, unten. Summendarstellung der mittleren Häufigkeiten der in den verschiedenen Tiergruppen gefundenen Arten.

- Hydrozoa (Hohltiere)
- Turbellaria (Plattwürmer)
- Clitellata ("Würmer")
- Gastropoda (Schnecken)
- Bivalvia (Muscheln)
- Hydrachnellae (Milben)
- Crustacea (Krebse)
- Insecta (Insekten)

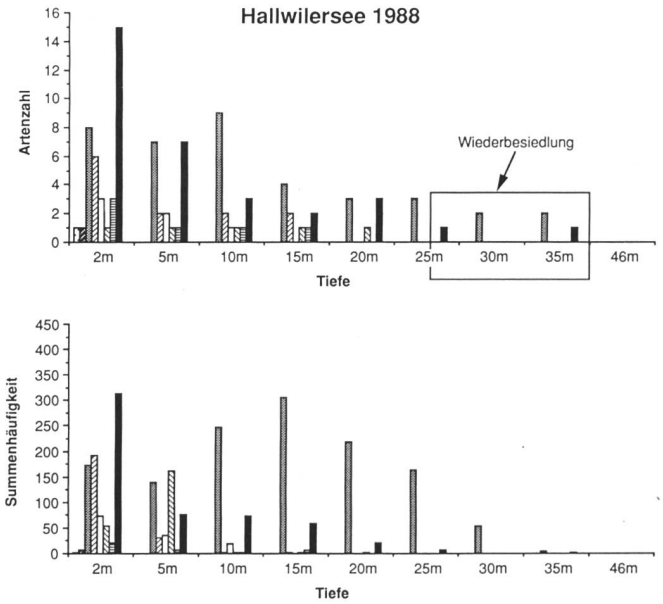
4. Diskussion

Die unter 3. gezeigten Resultate weisen auf eine Verbesserung der Lebensbedingungen im Tiefenbereich (ab 25 m) des Hallwilersees hin. Im einzelnen stellt sich dazu die Frage: Was hat sich bis zum heutigen Zeitpunkt verändert, bzw. was hat sich nicht verändert?

Zwischen 25 und 37,5 m Tiefe überlagert heute sauerstoffhaltiges Wasser den Grund. Da in diesem Bereich in unterschiedlicher Menge Schwefelbakterien *(Beggiatoa)* gedeihen, muss das Bodensediment immer noch anaerob sein und Schwefelwasserstoff freisetzen. Erst wenn keine grösseren flächigen Beggiatoarasen mehr auftreten, wird eine weitere Besiedelung durch andere Arten möglich sein. Dann nämlich ist eine oberste Schicht des Sedimentes oxidiert, und der Schwefelwasserstoffaustritt wird mit der Zeit geringer.

Die beschriebene Wechselwirkung zwischen anaerobem Sediment und überlagerndem sauerstoffhaltigem Wasser wird allmählich bis in die grösste Seetiefe vordringen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch die Sauerstoffzehrung des stark anaeroben Sedimentes noch so gross, dass der Sauerstoff sofort aufgebraucht wird und seine Konzentration direkt am Grund Null beträgt.

Auch mit der fortschreitenden Verbesserung der Lebensbedingungen im Tiefenbereich darf niemals eine Lebensgemeinschaft von Tieren erwartet werden, wie z. B. aus dem Uferbereich bekannt ist, da neben den erwähnten Umgebungsfaktoren auch die Tiefe bzw. der Druck bestimmend sind. Dieser Faktor schliesst alle Lebewesen aus, welche von der atmosphärischen Luft abhängig sind, also Tiere, die an der Wasseroberfläche einen Luftvorrat schöpfen und in die Tiefe mitnehmen (Larven von Käfern, Wasserwanzen, Libellen usw.). Nach dem Henryschen Gesetz sind Gase bei höheren Drücken besser löslich. Da der Druck mit jedem zusätzlichen Meter Wassersäule um 0,1 kg/cm² ansteigt, wird das Leben für diese Tiere mit grösserer Tiefe schwieriger, da ihr Luftvorrat entsprechend schneller schwindet. Die dauernd tiefe Wassertemperatur von etwa 4°C und der eintönige Lebensraum sind ebenfalls besiedelungsbestimmend. Da in dieser Tiefe auch kein Licht mehr einfällt und daher keine Pflanzen gedeihen, beschränkt sich die Neubesiedelung auf detritusfressende (Detritus = abgestorbe-



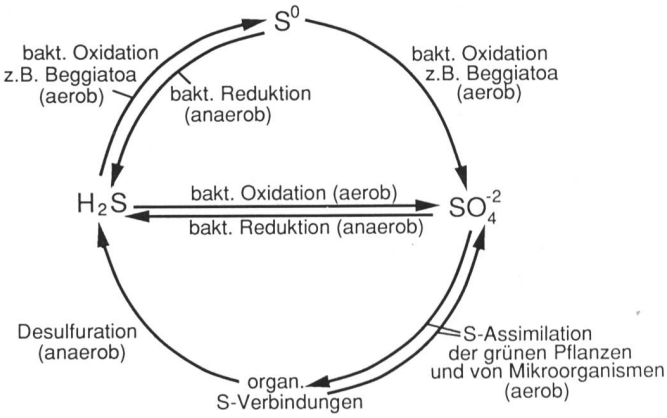


Bild 3. Schwefelkreislauf: Reduktion der Schwefelbrücken in den Aminosäuren des Detritus und mögliche Oxidation von Schwefelwasserstoff über elementaren Schwefel zu Sulfat und die dabei erzielten Energiegewinne:

1. Stufe: $2\,H_2S + 10\,O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,S^0 + 495$ kJ
2. Stufe: $2\,S^0 + 3\,O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2SO_4 + 1201$ kJ

nes pflanzliches und tierisches Material) und räuberische Arten. Innerhalb dieser beiden ökologischen Gruppen gibt es allerdings einige Arten, welche wesentlich grössere Tiefen ertragen. Eine davon ist die kleine Erbsenmuschel *Pisidium,* welche zeitweise im Hallwilersee bis in 15 m Tiefe auftrat. Aber auch die bekannte Wasserassel *Asellus aquaticus* und einige Insektenlarven dürften die verbesserte Substratsituation in tieferen Seebereichen ausnützen.

Literatur

Märki E. und *Schmid M.* [1983] Der Zustand des Hallwilersees. ‹wasser, energie, luft› (Baden), *75*, 105–112.

Stöckli A. und *Schmid M.* [1988] Die Sanierung des Hallwilersees; erste Erfahrungen mit der Zwangszirkulation und der Tiefenwasserbelüftung. ‹wasser, energie, luft› (Baden), *79*, 143–149.

Adresse des Verfassers: *Fred Stössel,* dipl. phil. II, Eawag, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, CH-8600 Dübendorf.

Auswirkungen der Belüftung und Sauerstoffbegasung auf den P-Haushalt des Sempachersees

Eine Zwischenbilanz nach fünf Jahren Betriebsdauer

René Gächter, Anton Mares, Erwin Grieder, Alois Zwyssig und Patrik Höhener

Zusammenfassung

Seit Juni 1984 wird der Sempachersee während der Sommerstagnation mit Sauerstoff begast und während der übrigen Zeit belüftet. Als Folge davon kann das Qualitätsziel für Sauerstoff (immer und überall mehr als 4 mg Liter^{-1}), abgesehen von einem engen Bereich im Metalimnion seit 1985 praktisch ganzjährig eingehalten werden.

Übereinstimmende Resultate von Beobachtungen im See, von Massenbilanzen und von Sedimentuntersuchungen zeigen, dass die erhöhten Sauerstoffkonzentrationen bis zum Jahr 1986 praktisch ohne Auswirkungen auf den P-Haushalt des Sees blieben.

Vor 1986 wurden im Jahresmittel rund 70% des sedimentierten Phosphors wieder freigesetzt. Seit 1986 sind es noch rund 50%. Die seeinterne Phosphorbelastung (Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten) liegt aber immer noch in der gleichen Grössenordnung wie die externe Phosphorbelastung.

Während des Sommers setzt die hypolimnische Phosphorakkumulation unabhängig von der Sauerstoffkonzentration alljährlich etwa im gleichen Zeitpunkt und mit gleicher Intensität ein. Die Einhaltung des Qualitätsziels für Sauerstoff ($[O_2]$)> 4 mg Liter^{-1}) garantiert nicht dafür, dass die Sedimente kein Phosphat ans überstehende Wasser abgeben.

Im Herbst 1986 und 1987 blieb die in früheren Jahren beobachtete Phosphorakkumulation aus. Als Folge davon nahm der P-Inhalt des Sees langsam ab. Fortgesetzte Untersuchungen sollen zeigen, ob es sich bei dieser Veränderung im P-Haushalt des Sees nur um eine vorübergehende Episode oder um einen anhaltenden Trend handelt.

Es wird versucht, die zum Teil unerwarteten Reaktionen des Sees auf den veränderten Sauerstoffhaushalt zu erklären.

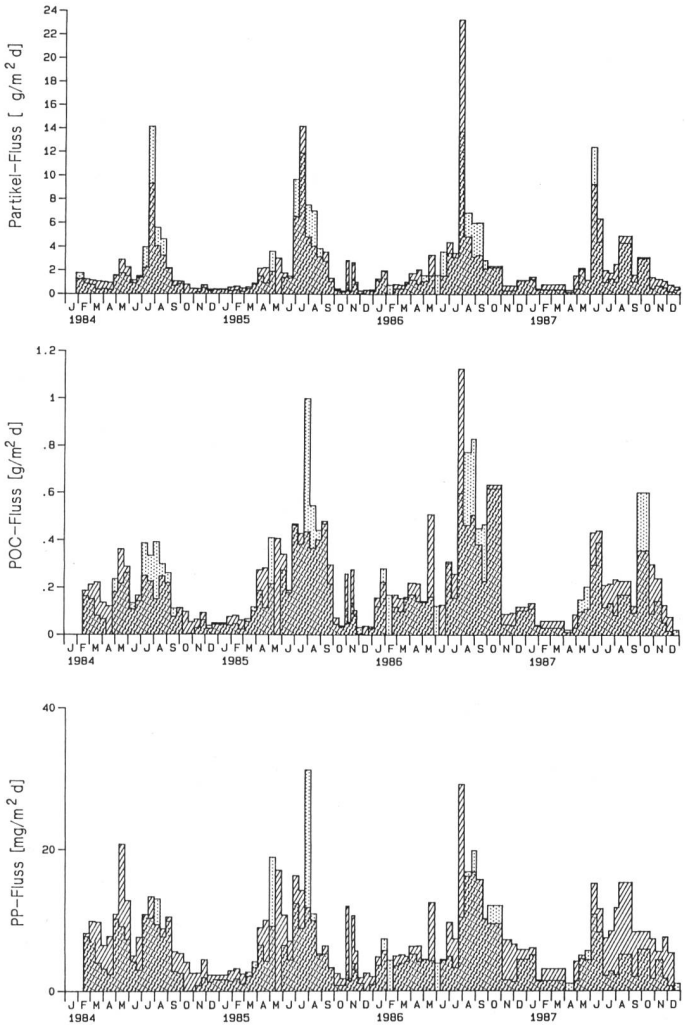


Bild 1. Saisonale Variation der Sedimentation im Sempachersee. Angaben in g m^{-2}Tag^{-1} für das Trockengewicht des sedimentierten Materials (Partikelfluss) und den partikulären organischen Kohlenstoff (POC) und in mg m^{-2}Tag^{-1} für den partikulären Phosphor (PP). Punktierte Balken bezeichnen den Stofffluss in 20 m Tiefe und schraffierte Balken denjenigen in 80 m.

1. Einleitung

In der Schweiz gelten für stehende Gewässer die folgenden zwei Qualitätsziele:

- Ein See soll höchstens dem mesotrophen Seentypus entsprechen. Dieses Ziel wird in der Regel erreicht, wenn die Phosphorkonzentration während der Zirkulationsphase 20 bis 30 µg Liter^{-1} nicht überschreitet.
- Die Sauerstoffkonzentration soll zu keiner Zeit und an keinem Ort niedriger als 4 mg Liter^{-1} sein.

In tiefen Alpenrandseen ist die zweite Forderung in der Regel erfüllt, wenn das 1. Qualitätsziel erreicht wird. Umgekehrt stellt sich aber die Frage, ob aerobe Seen notwendigerweise auch nährstoffarme Seen sind, oder, mit andern Worten, ob mit einer Belüftung der Phosphorgehalt eines Sees wirksam herabgesetzt und damit sein Trophiegrad vermindert werden kann. Der P-Gehalt eines Sees wird bestimmt durch die externe P-Zufuhr, die P-Sedimentation, die P-Freisetzung aus den Sedimenten und den P-Export über den Abfluss. Die externe P-Zufuhr kann durch Gewässerschutzmassnahmen im Einzugsgebiet beeinflusst werden. Die P-Sedimentation wird durch biogene und abiotische Prozesse bestimmt. P-Export und P-Sedimentation werden durch die P-Konzentration des Sees und die Abflussrate bestimmt.

Folgende Prozesse beeinflussen die Phosphorfreisetzung an der Sediment/Wasser-Grenzfläche: Organisches Material wird unter Verbrauch von Oxidationsmitteln (z.B. Sau-