Zeitschrift: Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

Band: 36 (1979)

Heft: 1-2

Artikel: Die Sanierung eine eutrophen Sees

Autor: Christen, Jürg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-782122

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: 10.07.2025

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

Teilgebiet 3 (Hafen Lattrigen)
Lattrigen und die darunterliegende Hangpartie wurden dem übrigen Gemeindegebiet zugeordnet. Den Uferbereich schützt eine Grünfläche vor weiterer Überbauung. Dazwischen wurde eine Ferienhauszone mit niedriger Nutzung belassen (AZ = 0.15).

Teilgebiet 4
Als Freifläche oder übriges Gemeindegebiet ausgeschieden.

Teilgebiet 5
Im Uferbereich ist eine Grünzone ausgeschieden.

Neben diesen Problemen der Nutzung wurden noch andere Tatbestände geregelt, die hier nur der Vollständigkeit halber aufgezählt werden:

- Schutzgebiete schützen Ufergestaltung, Schilfbestände sowie die charakteristischen Baum- und Buschreihen.
- Mit dem Kreisförster wurden die Waldflächen vermessen.
- Anordnung von Neubepflanzungen.
- Verkehrserschliessung: Zufahrten, Rad- und Fusswege.
- Bauliche Gestaltungsbestimmungen.

Die Ziele des Konzeptes konnten in dem Sinne sichergestellt werden, dass zum mindesten durch geeignete Zonenzuweisung das weitere Verbauen des Seeufers stark zurückgedämmt wird. Verglichen mit dem früheren Zonenplan gibt es wesentlich mehr Grün- und Freiflächen, die – wenn sich die Gelegenheit bietet – öffentlich zugänglich gemacht werden können. Dies wird allerdings nicht ohne finanzielle Hilfe möglich sein.
Ohne sensationelle Erfolge zu verzeichnen, ist man den gesteckten Zielen doch nähergekommen.

Dargestellt am Beispiel des Burgäschisees:

Die Sanierung eines eutrophen Sees

Von Jürg Christen, Solothurn

Der idyllische Burgäschisee ist ein beliebtes Ausflugsziel, rund 3,5 km südwestlich von Herzogenbuchsee gelegen. In den letzten Jahren gab der 19,16 ha umfassende See immer mehr Anlass zu grosser Besorgnis, da eine rasch fortschreitende Verschlechterung des Wassers sich negativ auf den Edelfischbestand und auf die Badequalität auswirkte.

1. Einleitung
Die Ursachen des alarmierenden Zustandes liegen einerseits in natürlichen Vorgängen, denen vor allem kleinere Seen mit geringen Wassertiefen unterworfen sind. Die Verlandung von offenen Wasserflächen und die Bildung von Mooren ist ein Prozess, der auf der Erdoberfläche seit Jahrmillionen stattgefunden hat und auch in unberührten Landschaften weiterhin stattfinden wird. Künstliche Eingriffe in den letzten Jahrzehnten haben den an sich natürlichen Alterungsprozess des Sees jedoch derart stark beschleunigt, dass der Ruf nach einer Sanierung der Verhältnisse immer lauter wurde.

Während des Zweiten Weltkrieges wurde zur Erweiterung der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen der See um gut zwei Meter abgesenkt. Die im Einzugsgebiet verlegten Drainagen führten aus den nun intensiv genutzten Flächen überdüngtes Oberflächenwasser in den See. Bis vor wenigen Jahren flossen zudem auch häusliche Abwässer von Aeschi und Burgäschi in den See. Die Folge war eine übermässige Eutrophierung des Sees. Unter Eutrophierung versteht man die Zufuhr von Nährstoffen und die Wirkung dieser Nährstoffe auf das Gewässer. Die Veränderung des Wasserchemismus bewirkt eine Änderung der Biomasseproduktion, das heisst eine Zunahme der Produktion an grünen Pflanzen.

Schon in den fünfziger Jahren wurde unter der Leitung des solothurnischen Kantonschemikers der See gründlich untersucht. Als erste Sanierungsmassnahme wurden im Jahre 1960 für Aeschi und Burgäschi Kanalisationen erstellt und damit das Abwasser vom See ferngehalten. Der See erholte sich darauf sichtlich, leider nur für kurze Zeit. Im April 1976 wurde durch die limnologische Abteilung der EAWAG ein im Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes des Kantons Solothurn ausgearbeitetes Gutachten abgeliefert. Die in zweijähriger Arbeit entstandene Expertise zeigt die Ursachen der Eutrophierung auf und schlägt geeignete Sanierungsmassnahmen vor.

Im Einvernehmen mit dem Eidgenössischen Amt für Umweltschutz, dem Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, den bernischen und solothurnischen Meliorationsämtern und dem Burgseeverein als Eigentümer

Abb. A. Folgen der Eutrophie

des Sees erteilte das Wasserwirtschaftsamt des Kantons Solothurn am 13. Juli 1976 dem Ingenieurbüro Emch + Berger den Auftrag zur Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes gemäss den Vorschlägen der EAWAG.

Zum besseren Verständnis der im Projekt vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen wird nachfolgend ein kurzer Abriss über die Limnologie (Seenkunde) gegeben.

2. Limnologische Grundlagen
Im Frühjahr ist der gesamte Wasserkörper homogen, maximal ausgekühlt mit einer Temperatur um 4–5 °C (bei flachen Seen wetterbedingt bis gegen 0 °C). Durch Windeinwirkung und turbulente Bewegung wird das Wasser umgewälzt. In der sogenannten *Frühjahrszirkulationsperiode* wird sauerstoffgesättigtes Oberflächenwasser in die Tiefe verfrachtet. Der See macht, bildlich gesprochen, einen tiefen Atemzug.

Durch Absorption der langwelligen Sonnenstrahlung erwärmen sich nach und nach die oberen Seeschichten.
Im Frühsommer wird infolge der Erwärmung langsam eine Dichte- und Temperaturschichtung aufgebaut.
Gegen den Hochsommer hin erreicht die Vegetationsphase des Lebens im Wasser wegen der optimalen Lebensbedingungen (Licht, Wärme, Nährstoffe) ihren Höhepunkt. Gleichzeitig wird auch der Höhepunkt der Schichtung (Stratifikation) erreicht. Während der sogenannten *Sommerstagnation* herrschen sehr stabile Schichtungsverhältnisse (4- bis 6grädiges, spezifisch schweres Wasser auf dem Seegrund, 18- bis 22grädiges, spezifisch leichtes Wasser an der Oberfläche), das heisst, dass der Sauerstofftransport von der (durch die Photosynthese hervorgerufenen) sauerstoffübersättigten Oberfläche in die Tiefe praktisch aufgehört hat. Gegen den Seegrund hin absinkende und absterbende Biomasse bewirkt eine Sauerstoffzehrung, bis im Wasser kein gelöster Sauerstoff mehr vorhanden ist.
Im Herbst wird die Wärmebilanz nach und nach negativ. Die nächtlichen Wärmeabstrahlungen werden grösser als die Einstrahlungen tagsüber. Das Wasser kühlt sich ab. Dadurch geht die Dichteschichtung sukzessive wieder verloren. Unterstützt durch den Wind, setzt die *Herbstzirkulationsperiode* ein. Allmählich findet wieder ein Sauerstofftransport von der Oberfläche in die Tiefe statt.

Bei den in normalen Wintern im Januar und Februar herrschenden Minimaltemperaturen tritt eine inverse Dichteschichtung ein. Das spezifisch schwere 4grädige, sauerstoffreiche Oberflächenwasser ist im Verlaufe der Herbstzirkulation durch Dichteströmungen und unterstützt durch den Wind gegen den Seegrund hin abgesunken. Darüber baut sich das (spezifisch leichtere) 3- bis 1grädige Wasser auf. Diese Dichteschicht ist ebenfalls stabil. Man spricht von der *Winterstagnationsperiode.*
Aus diesen Darlegungen geht hervor, dass die Beschaffenheit des Seewassers einer von den Jahreszeiten und vom Klima abhängigen Rhythmik folgt.
Die nach der Zirkulation im Oberflächenwasser (Epilimnion) vorhandenen Konzentrationen an herauftransportierten Nährstoffen und die von den Oberflächenwässern (Bächen, Drainageleitungen, Abwasserkanalisationen) zugeführten Düngstoffe erlauben eine Biomassenproduktion.

Die beschriebenen, physikalisch bedingten Wasserkreisläufe im Verlaufe eines Jahres bringen automatisch einen Stoffkreislauf mit sich.
Die Sedimente eines Sees sind die Deponie der abgesetzten Materialien und bilden das Reservoir von Nährstoffen.
Unter sauerstofflosen (anaeroben) Bedingungen findet ein Transport von Phosphaten *aus* dem Sediment *ins* Wasser statt.
Anders ausgedrückt:
Solange ein See in den untersten Schichten gelösten Sauerstoff enthält (das heisst wenn aerobe Bedingungen herrschen), entziehen die Sedimente dem See die Phosphate, ist er anaerob (sauerstofffrei) gehen Phosphate vom Sediment in Lösung über und stehen als Nährstoff zur Verfügung (das heisst, sie wirken eutrophierend).

Die Sanierung eines eutrophen (eines sogenannt «kranken Sees») umfasst somit folgende Massnahmen:
1. Verringerung der externen Nährstoffzufuhr: Fernhaltung von Abwasser; Phosphatausfällung aus dem Abwasser, wenn eine Einleitung von gereinigtem Abwasser nicht umgangen werden kann; Führung einer vernünftigen Düngewirtschaft und Wahl optimaler Bewirtschaftungsmethoden der landwirtschaftlich genutzten Flächen.
2. Verringerung der Nährstoffzufuhr aus seeinternen Quellen, beispielsweise durch Erhöhung des Nährstoffexportes (Ableitung von nährstoffreichem Tiefenwasser) und dadurch Herabsetzung der Eigendüngung.
3. Fixierung der Nährstoffe in den Sedimenten durch Schaffung von ganzjährigen aeroben Verhältnissen im ganzen Wasserkörper des Sees.

Massnahme 1 – Verringerung der externen Nährstoffzufuhr – ist, soweit dies heute möglich ist, verwirklicht worden, indem, wie bereits eingangs erwähnt, die Abwässer von Aeschi und Burgäschi in Kanalisationen gesammelt und der Abwasserreinigungsanlage der Region Herzogenbuchsee zugeleitet werden. Durch Orientierung der Flurgenossenschaften und durch entsprechende Artikel in der Tagespresse wurde an die Landwirte appelliert, im Einzugsgebiet des Sees eine vernünftige Düngewirtschaft zu betreiben und damit die Abschwemmung von Nährstoffen via Drainage in den See möglichst gering zu halten.
In Ihrem Gutachten empfiehlt die EAWAG, dass die Nährstoffbilanz auf der Exportseite, das heisst durch künstliche Erhöhung der Nährstoffausschwemmung, verändert werden soll.
Die Sanierung besteht darin, dass mit einer Rohrleitung, welche vom tiefsten Punkt des Sees zum Auslauf führt, anstelle des sauerstoffreichen Oberflächenwassers das nährstoffreiche und sauerstofflose Wasser der Seetiefe zum Abfluss gezwungen wird. Dieses Tiefenwasser ist gleichzeitig das dichteste Wasser des ganzen Sees. Seine Entfernung hat zur Folge, dass die kalte Tiefenzone verringert wird und sich die warme Oberflächenzone, das eigentliche Epilimnion, vergrössert. Durch die Tieferlegung des Metalimnion speichert der See im Sommer mehr Wärme,

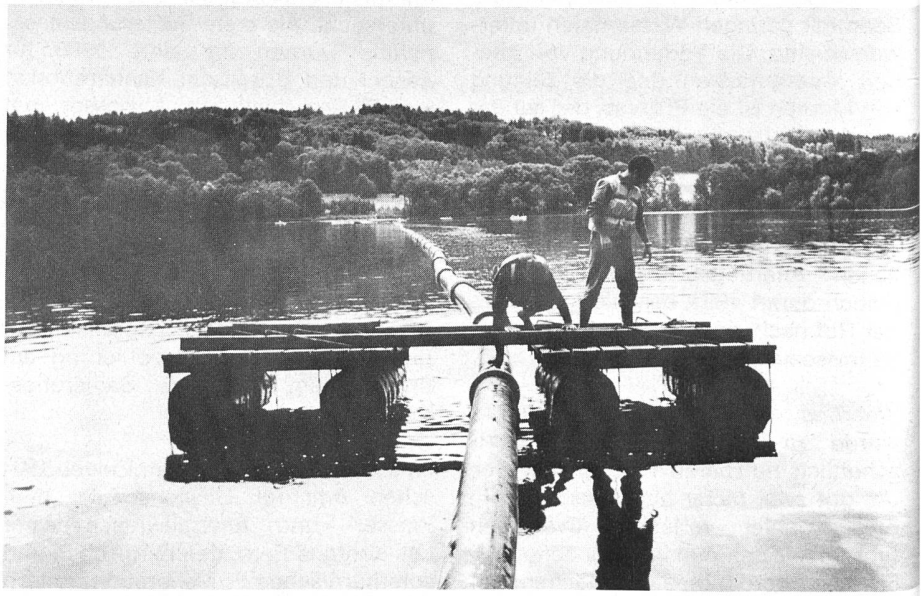


Abb. B. Leitung vor dem Absenken

dies bedeutet, dass die Stabilität der Schichtung geringer wird und dass die natürliche Zirkulation im Herbst rascher in die Tiefe vordringen kann. Der Sauerstofftransport von der Oberfläche her erfolgt damit wesentlich rascher, ein Vorteil, der nach obigen Ausführungen (Massnahme 3) eine wichtige Voraussetzung für das Gelingen des Sanierungswerkes ist.

3. Konzeption

Ausgehend von den hydraulischen Randbedingungen und den topographischen Verhältnissen wurden folgende Möglichkeiten näher untersucht:

Für die Ableitung von 50 Sekundenlitern Tiefenwasser wird eine 280 m lange Leitung mit einem Innendurchmesser von 333 mm gewählt.

Die Höhendifferenz zwischen Seebachwasserspiegel und Seespiegel kann wie folgt gewonnen werden:

1. Durch Aufstau des Sees um rund 30 cm. Eine Höhe, die auch nach Ansicht der beiden kantonalen Meliorationsämter toleriert werden kann.
2. Durch Belassen des Seespiegels auf der heutigen Normallage und Pumpen des Tiefenwassers.
3. Durch Absenken der Seebachsohle um 30 cm, wobei das Sohlengefälle auf einer Länge von 709 m verringert wird.

Während die zweite Möglichkeit (Pumpen) eine echte Alternative ist, die auch von den Erstellungskosten (Stromzuleitung, elektrischer Schaltschrank, Pumpe) und den Betriebskosten (Stromkosten, Wartung und Unterhalt der Pumpe) her zu vertreten ist, bietet die Variante 3 sehr viele Schwierigkeiten. Bei den vorhandenen Baugrundverhältnissen (Riedhumus, Torf, Seekreide, blauer Ton) und Böschungsneigungen ist eine Tieferlegung der Bachsohle äusserst problematisch. Das neue Sohlengefälle von 0,3 ‰ ist sehr gering, und die Länge der Korrektionsstrecke (über 700 m) würde auch bei normalen Verhältnissen erhebliche Kosten verursachen.

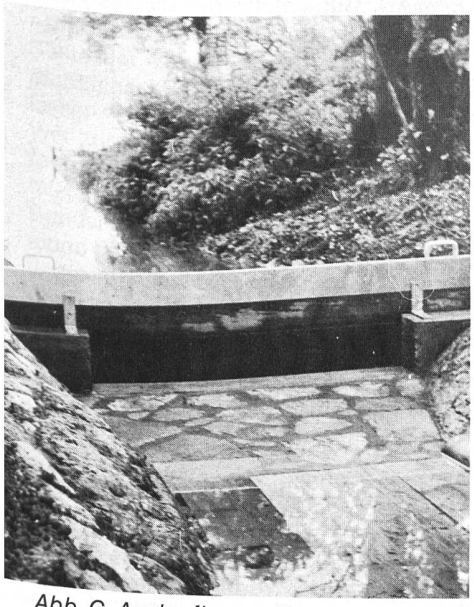
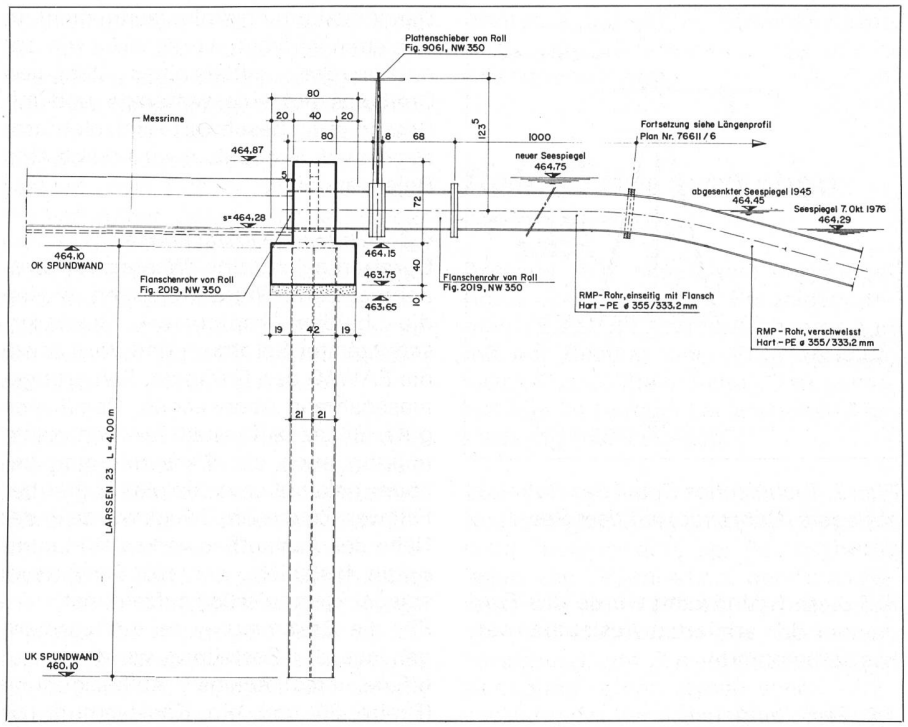


Abb. C. Auslaufbauwerk



Plan 1. Technisches Detail des Seeauslaufbauwerkes mit Ablaufrohr

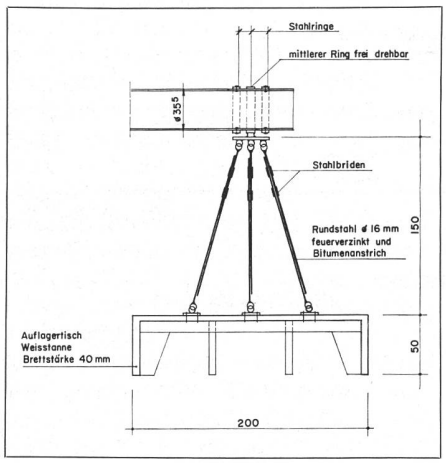
In Übereinstimmung mit dem Auftraggeber und den beiden Meliorationsämtern wurde beschlossen, Variante 1 zu wählen, die im Detail folgende Massnahmen vorsieht:

1. Durch Echographaufnahmen wird der Verlauf des Seegrundes im Bereich der vorgesehenen Linienführung der Ablaufleitung aufgenommen. Die genaue Lage und Tiefe der tiefsten Seestelle wird lokalisiert und festgestellt.
2. Eine 280 m lange verschweisste Kunststoffleitung, Innendurchmesser 333 mm, wird in Richtung auf die tiefste Stelle hin eingeschwommen und auf den Seegrund abgesenkt. Zur Verhinderung, dass das Einlaufende der Leitung im schlammigen Sediment versinkt, wird ein gelenkig gelagertes Dreibein auf einer abgesenkten und beschwerten Eichenholzplattform abgestützt.
3. Am nordwestlichen Seeufer, rund 15 m seebachabwärts, wird ein Auslaufbauwerk (Mauer) erstellt. Durch ein Dammbalkenwehr wird der Seespiegel 30 cm höher einreguliert. Bis zu einer Menge von 50 Sekundenlitern fliesst das kalte, sauerstofflose und nährstoffreiche Tiefenwasser durch die Leitung in den Seebach. Die Menge kann mittels Schiebers reguliert werden.
4. Die aus dem Rohr ausfliessende Wassermenge wird in einem Venturikanal gemessen.
5. Für die Messung der total abfliessenden Wassermenge wird in die Bachsohle eine rechteckige, 1,5 m breite Betonrinne eingebaut.
6. Zur Messung und Registrierung der Seespiegelkoten wird ein Limnigraph installiert.
7. Bei längeren Hochwasserperioden, wo die Zuflussmenge (und damit der Abfluss) 130 Sekundenliter erreicht oder übersteigt, besteht die Möglichkeit, die Dammbalken beim Auslauf zu entfernen und die alte Auslaufsohlenhöhe herzustellen.

4. Bauliche Realisierung

4.1 Erstellung des Auslaufbauwerkes

Wegen des schlechten, wenig tragfähigen Baugrundes musste das Auslaufbauwerk fundiert werden. Die nähere Abklärung zeigte, dass die einfachste und kostengünstigste Lösung in einer verlorenen Spundwand aus Stahlbohlen bestand. Die 4 m langen Larsen-Profile wurden ca. 4,5 m eingerammt.



Plan 2. Technisches Detail des Rohrauflagers (Rohrende) auf dem Seegrund

Auf diese Spundwand wurde das Fundament des armierten Auslaufbauwerkes aufbetoniert.

4.2 Seeleitung
Die Ablaufleitung wurde aus Rollmaplast-Hart-PE-Rohren erstellt. Bei einem Aussendurchmesser von 355 mm weisen die Rohre eine Nennweite von 333,2 mm auf. Die einzelnen Rohre wurden zu einer 280 m langen Rohrschlange zusammengeschweisst und in die richtige Lage eingeschwommen. Der Ballast aus Betonhalbschalen ist so berechnet, dass die an beiden Enden abgeschlossene und mit Luft gefüllte Leitung etwa bis zur Häfte eintaucht. Sobald die Leitung in die richtige Lage gebracht war, wurde sie auf den Seegrund abgesenkt.
Das Auslaufstück mit Flanschenbogen, Plattenschieber mit Handrad und Flanschenrohr aus Stahl ist beim Auslaufbauwerk in der richtigen Höhenlage einbetoniert.

Damit die Leitung einlaufseitig nicht im Schlamm versinkt, wurde sie – wie bereits erwähnt – mittels eines gelenkigen Dreibeins auf eine versenkte und mit Betonplatten beschwerte Holzplattform abgestützt. Der Einlauf wird durch eine Boje markiert.

4.3 Zusätzliche Installationen
Durch regelmässige Wasserprobeentnahmen und Wasseranalysen wollen die beiden kantonalen Gewässerschutzämter Solothurn und Bern sowie die EAWAG den Erfolg der Sanierungsmassnahmen überwachen. Damit eine gute Bilanz aufgestellt werden kann, müssen auch die Wassermengen genauer bekannt sein, als dies bisher der Fall war. Zu diesem Zweck wurde in der Nähe des Auslaufbauwerkes ein Limnigraph installiert, der die Seewasserspiegel kontinuierlich aufzeichnet.
Für die Bestimmung der Abflussmengen aus der Seeleitung wurde in das offene, rechteckige Abflussgerinne (Breite 30 cm) ein Kanalventuri mit rechteckigem Durchflussquerschnitt eingebaut. Am Massstab kann die momentane Abflussmenge direkt abgelesen werden.

4.4 Anpassungsarbeiten
Der ganze Burgäschisee und der grösste Teil des Ufergürtels ist Naturschutzgebiet. Nach der Fertigstellung der Bauarbeiten wurde in enger Zusammenarbeit mit Natur- und Heimatschutz und mit einem Gärtner eine standortgerechte Bepflanzung ausgeführt. Die einzig sichtbaren Teile der ganzen Seesanierung – Auslaufbauwerk mit Dammbalkenwehr, Venturikanal und Betongerinne im Seebach – sollen durch geschickte Bepflanzung optimal kaschiert werden. Das Seeufer beim Seebachauslauf wurde mittels Blockwurfs gegen Erosion durch Wellengang geschützt.

5. Kosten
Gemäss Bauabrechnung beliefen sich die Kosten auf Fr. 124 700.–.
Die Kosten werden getragen durch
- das Eidgenössische Amt für Umweltschutz
- die beiden Kantone Solothurn und Bern
- den Burgseeverein

Schlussbemerkungen
Am 23. September 1977 wurde die Anlage offiziell in Betrieb genommen. In den ersten Wochen nach der Inbetriebnahme der Leitung bewahrheiteten sich die Voraussagen, wonach der entweichende Schwefelwasserstoff des sauerstofflosen Tiefenwassers unangenehme Geruchsbelästigungen verursachen wird.
Im Dezember und Januar stellte sich jedoch bereits eine merkliche Besserung ein.
Aus den ersten Resultaten der Sanierungsmassnahmen dürfen aber noch keine voreiligen Schlüsse gezogen werden. Die positiven Ergebnisse am luzernischen Mauensee haben gezeigt, dass durch die gewählten Sanierungsmassnahmen schon innerhalb einiger weniger Jahre eine merkliche Gesundung des Sees erwartet werden kann.

Grundlagen
Gächter R., Die Tiefenwasserableitung, ein Weg zur Sanierung von Seen, Schweiz. Z. Hydrologie *38,* 1 (1976).
EAWAG, Lehrkurs III/1972.
EAWAG, Gutachten über die Möglichkeiten einer Sanierung des Burgäschisees (April 1976).

Veranstaltungen

15./16. Januar, 29./30. Januar
26. Februar 1979:
Moderne Energienutzungstechnik
(Schweiz. Vereinigung für Sonnenenergie in Zusammenarbeit mit dem Gottlieb-Duttweiler-Institut und dem WWF Schweiz)

16. Januar 1979:
Gut planen, wohnlich bauen
(Schweiz. Vereinigung für Landesplanung/VLP) Kongresshaus Zürich

20. Januar 1979:
Studien zu einem regional- und strukturpolitischen Leitbild der Schweiz (ROREP)

26.–29. Januar 1979:
Autonome Sonnenenergie
(Forum architecture communication territoire/FACT 79) in Lausanne

2. Februar 1979, 26. April 1979:
Ausgewählte Probleme des Baurechts
(Schweiz. Institut für Verwaltungskurse an der Hochschule St.Gallen)

2. Februar 1979:
Gesamtverkehrskonzeption im Spannungsfeld von Raumplanung und Umwelt
(Fachgruppe für Raumplanung und Umwelt/FRU des SIA) in Lausanne

28. Februar bis 2. März 1979:
Internationale Fachtagung über Umbau und Erweiterung von Wasserkraftanlagen
(ETH Zürich, Schweiz. Wasserwirtschaftsverband)

23. März 1979:
Inhalt, Form und Verbindlichkeit des Raumordnungsberichtes (ROREP)