

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 95 (1997)

**Heft:** 3

**Artikel:** 10 Jahre Seenbelüftung : Erfahrungen und Optionen

**Autor:** Stadelmann, P. / Wehrli, B. / Wüest, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235318>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.02.2025

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

## 10 Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen

Nach zehn Jahren Seenbelüftung im Sempacher-, Baldegger- und Hallwilersee hat die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz EAWAG gemeinsam mit den Gemeindeverbänden, den Amtsstellen für Umweltschutz der Kantone Luzern und Aargau und der Zentralstelle für Ökologie Luzern gemeinsam Bilanz gezogen.

*Après dix ans d'aération des lacs de Sempach, Baldegger et Hallwil, l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux, les syndicats intercommunaux, les services de protection des eaux des cantons de Lucerne et d'Argovie et le Centre d'écologie de Lucerne en ont tiré le bilan commun.*

Dopo dieci anni di aerazione dei laghi di Sempach, Baldegger e Hallwil, l'Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque (EAWAG) – unitamente ai consorzi comunali, agli enti pubblici per la protezione dell'ambiente dei cantoni di Lucerna e Argovia, nonché alla centrale per l'ecologia di Lucerna – ha fatto un bilancio della situazione.

*P. Stadelmann, B. Wehrli, A. Wüest, W. Fluder*

### Reaktion der Seen auf die künstliche Belüftung

In den drei Mittellandseen Sempacher-, Baldegger- und Hallwilersee erfolgte bis in die 70er und 80er Jahre eine starke Phosphoranreicherung durch Siedlungsabwässer und Düngstoffe aus der Landwirtschaft. Im Baldeggersee stiegen die Phosphorkonzentrationen in der Periode 1955 bis 1975 von 80 auf 500 Milligramm P/m<sup>3</sup> und im gleichen Zeitraum im Hallwilersee von 80 auf 250 mg P/m<sup>3</sup>. Der Sempachersee war bis 1965 phosphorarm, danach erfolgte eine Nährstoffanreicherung, die um 1985 ein Maximum von 165 mg P/m<sup>3</sup> erreichte. Die Folgen waren übermässiges Algenwachstum mit Algenblüten, Sauerstoffschwund im Tiefenwasser, Beeinträchtigung der Trinkwasserentnahmen und wiederholtes Fischsterben. Die eingeleiteten abwassertechnischen Massnahmen, wie Erhöhung des Anschlussgrades an die Abwasserreinigungsanlagen und die Einführung der Phosphoreliminationsstufe reichten nicht

aus, um die Qualität der Seen zu verbessern. Zudem nahmen die Düngstoffzufuhren aus den landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden ständig zu. Der im Vergleich mit den gesetzlichen Bestimmungen schlechte Zustand der drei Mittellandseen veranlasste die beiden Kantone Aargau und Luzern zusätzliche

Sanierungsmöglichkeiten zu prüfen, um eine schnellere Gesundung der Gewässer zu erreichen. Im Jahr 1979 beauftragten die beiden Kantone die EAWAG, ein Gutachten über die Sanierungsmöglichkeiten der drei Seen zu erstellen. Neben den Massnahmen im Einzugsgebiet der Seen, d.h. externen Massnahmen, wurden die see-internen Massnahmen Zirkulationshilfe im Winter, künstlicher Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser im Sommer und weiter die Tiefenwasserableitung über den Abfluss vorgeschlagen. Die Reaktion der Seen auf die geplanten externen und internen Massnahmen wurde mit Hilfe von Computer-Modellen prognostiziert. Unter Seensanierung sind alle Massnahmen zu verstehen, die zur Gesundung eines Sees ergriffen werden. Das Ziel der Sanierung ist die vollständige Gesundung eines Gewässersystems unter der Berücksichtigung der Ansprüche der Natur (funktionsfähiges Ökosystem) und der vielfältigen Nutzungsansprüche der Menschen (siehe Kasten).

Nach der Ausschreibung eines Ingenieur-Ideenwettbewerbes wurde in den drei Seen die Zirkulationshilfe und der Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser eingerichtet. Neben dieser Symptombekämpfungsmassnahme wurden weitere verursacherbezogene Massnahmen ergriffen:



Abb. 1: Sempachersee.

- Aufklärung der Bevölkerung und im Kanton Luzern die Gründung von Gemeindeverbänden zur Gesundung der Seen,
- Massnahmen bei der Abwassersammlung und -reinigung im Siedlungsgebiet,
- Massnahmen im ländlichen Raum,
- Massnahmen in der Landwirtschaft zur Bekämpfung der Überdüngung.

Schon damals war klar, dass die see-internen Massnahmen nur befristet eingesetzt werden sollten und man sich auf die Ursachenbekämpfung konzentrieren muss.

Im Baldeggersee wurde in den Jahren 1982/1983 erstmals die künstliche Belüftung mit Reinsauerstoff getestet. Im Jahr 1984 erfolgte der Einbau der gleichen Anlagen im Sempachersee und 1985/86 im Hallwilersee durch den Kanton Aargau. Dank der künstlichen Belüftung kann jetzt wieder überall und zu jeder Zeit genügend Sauerstoff im Tiefenwasser nachgewiesen werden. Sauerstoffbedürftige Lebewesen wie Würmer, Insektenlarven und Fische können wieder einen grösseren Lebensraum bewohnen. Auch konnte durch ständigen Besatz durch die Berufsfischer innerhalb der letzten zehn Jahre wieder ein Fischbestand der empfindlichen Felchen aufgebaut werden. Beim Baldeggersee hätte das schlagartige Abstellen der seit zwölf Jahren betriebenen künstlichen Belüftung schwerwiegende Folgen für die Tiere, weil unterhalb zehn Metern Tiefe im Sommer der notwendige Sauerstoff nicht mehr vorhanden wäre.

Mit Hilfe der Kombination von externen und see-internen Massnahmen konnte die fortschreitende Phosphoranreicherung in allen drei Seen gestoppt werden. Die Phosphorkonzentrationen liegen im Baldegger- und Hallwilersee mit rund 80 bzw. 60 mg P/m<sup>3</sup> im Bereich der 50er Jahre. Dieser Erfolg ist zu würdigen und wäre ohne ständige Anstrengungen und dauernde Motivation der Bevölkerung durch die Seesaniierungs-Gemeindeverbände und die beiden Kantone nicht zustande gekommen.

Alle drei Seen werden aber immer noch überdüngt. Die kritische Belastung des

Baldeggersees von rund sechs Tonnen Gesamt-Phosphor pro Jahr wird auch heute mit 17,1 Tonnen P/Jahr immer noch deutlich überschritten, wobei der Hauptteil aus Erosion, Ab- und Ausschwemmung der intensiv landwirtschaftlich genutzten Böden stammt. Das bedeutet, dass künftig das Schwergewicht der zu ergreifenden Massnahmen im Bereich der Landwirtschaft liegt. Nur wenn hier die Überdüngung gestoppt wird, kann im Baldeggersee auf den künstlichen Sauerstoff-Eintrag verzichtet werden.

Im Sempachersee konnte dank den verbesserten Verhältnissen bereits eine wesentliche Reduktion des Sauerstoff-Eintrages vorgenommen werden. Aber auch hier erfolgt eine dauernde Überdüngung durch Einträge aus der Landwirtschaft.

## Erfahrungen und Optionen

Im Februar 1982 wurde im Baldeggersee die Belüftungsanlage «TANYTARSUS» in Betrieb genommen. Mit einem Eintrag von 4,5 Tonnen Sauerstoff pro Tag wurde das Tiefenwasser im folgenden Sommer zum erstenmal seit Jahrzehnten wieder bis an den Seegrund mit Sauerstoff versorgt. Das Ziel der Seebelüftung war zweifach:

- Verbesserte Sauerstoffbedingungen sollten den Rückhalt von Phosphor im Seesediment (Seeboden) erhöhen.
- Für Fische und andere auf Sauerstoff angewiesene Lebewesen sollte der Lebensraum erweitert werden.

Mit dem gleichen Ziel wurden 1984 im Sempachersee und 1985 im Hallwilersee Belüftungsanlagen installiert. Die Reaktion der Seen und ihrer Ökosysteme auf diese Massnahmen wurden in den vergangenen zehn Jahren von der EAWAG in Zusammenarbeit mit den Kantonen Aargau und Luzern intensiv untersucht. Es war deshalb an der Zeit, einerseits Rückschau zu halten und die wichtigsten Ergebnisse herauszuarbeiten. Andererseits soll der Blick in die Zukunft gelenkt werden, um Optionen für den künftigen Betrieb der Belüftungsanlagen sowie die noch notwendigen Sanierungsanstrengungen abzuschätzen.

### Was bedeutet ein gesunder See?

Ein gesunder See ist ein Gewässer, das

- eine gute physikalische, chemische und biologische Wasserqualität aufweist
- keinen beeinträchtigenden Einwirkungen und schädigenden Belastungen ausgesetzt ist
- die Fähigkeit zur Selbstregulation und Selbstreinigung besitzt
- einen Lebensraum für eine vielfältige Pflanzen- und Tierwelt bietet
- naturnahe Ufer und einen ungestörten Seegrund aufweist
- ein Einzugsgebiet mit einem gesunden Wasserkreislauf hat
- ein eigenständiges Landschaftselement, einen naturnahen Erlebnisraum und einen Kulturraum darstellt
- die verschiedenen Nutzungsansprüche, wie Wasserversorgung, Fischerei, Erholung, Badegewässer usw. erfüllen kann
- den gesetzlichen Anforderungen entspricht

### Erfahrungen

Eine kleine Arbeitsgruppe der EAWAG hat die aus diesem weltweit einzigartigen Unternehmen Seenbelüftung gewonnenen Erfahrungen ausgewertet und ist zu folgenden Schlüssen gekommen:

#### *Einhalten des Qualitätsziels:*

Durch den künstlichen Eintrag von Sauerstoff konnte das gesamte Seewasser in den drei Mittellandseen bis an den Seegrund ganzjährig in einen sauerstoffhaltigen Zustand gebracht werden.

#### *Bodenorganismen*

*(Würmer und Insektenlarven):*

Diese haben am deutlichsten auf die Seenbelüftung reagiert. Diese Organismen sind als Folge der sauerstoffhaltigen Bedingungen wiederum ins Tiefenwasser eingewandert und beleben heute das



Abb. 2: Hallwiler- und Baldeggersee.

Sediment. In der Folge wird im Sediment bis zu 20% mehr Algenmaterial von Kleinlebewesen abgebaut.

#### *Fischertrag:*

Durch die Kombination von hohem Nährstoffgehalt und Fischbesatz hat der Fangertag gegenüber dem naturnahen Zustand im letzten Jahrhundert vor allem bei den Felchen zugenommen. Der Fangertag wurde jedoch durch den Betrieb der Seenbelüftung nicht erkennbar verändert. Dagegen besiedeln die Fische heute erwartungsgemäss auch das sauerstoffhaltige Tiefenwasser.

#### *Phosphorrückhalt in den Sedimenten:*

Dieser hat sich durch die Seenbelüftung nicht messbar verändert. Damit verfehlen die Belüftungsanlagen eines der beiden Hauptziele, nämlich der langfristig wirksame Rückhalt von Phosphor im Seesediment zu erhöhen und damit die Abnahme des Phosphorgehalts im Seewasser zu beschleunigen. Der Grund liegt darin, dass Sauerstoff am Sediment wegen des

intensiven Algenabbaus rasch aufgebraucht wird und kaum in die Seesedimente eindringen kann.

#### *Ökologische Auswirkungen der Seenbelüftung:*

- Der Lebensraum für die Fische wird vergrössert; sie können sich im Sommer ins kühle Tiefenwasser zurückziehen.
- Die Organismen, die im und am Seesediment leben, haben bis in die tiefsten Bereiche des Sees wieder Einzug gehalten. Diese Kleinlebewesen stellen z.T. auch eine Nahrungsgrundlage für Fische dar.
- Durch den vergrösserten sauerstoffhaltigen Lebensraum wird der Frassdruck der algenfressenden Kleintiere auf die Algen vermindert.
- Keine besondere Auswirkung hatte die Seenbelüftung auf die Artenzusammensetzung der Algen und Kleintiere sowie auf die Fischpopulationen und ihre Fortpflanzungsfähigkeit. Die Felchen beispielsweise überleben weiterhin nur dank Besatzmassnahmen, da

ihre Eier wegen des hohen Sauerstoffverbrauchs an der Sedimentoberfläche absterben. Dagegen sind Barsch, karpfenartige Fische und Hecht aufgrund ihrer Fortpflanzungsweise durch die zu hohen Nährstoffgehalte nicht unmittelbar bedroht. Die Belüftung hat ebenfalls kaum Einfluss auf die in sehr nährstoffhaltigen Seen im Frühling auftretenden Massensterben bei Felchenbrütlern durch Gasübersättigung.

Zusammenfassend kann man die Seenbelüftung als Teilerfolg bewerten: Die Erwartungen bezüglich verbesserten Sauerstoffbedingungen wurden voll erfüllt. Die Wirkung auf den Phosphorrückhalt blieb jedoch aus.

#### **Optionen: Wie weiter?**

Aufgrund dieser Erfahrungen mit der Seenbelüftung gelangen wir zu folgenden Schlussfolgerungen für die Zukunft:

#### *Ziel:*

Das Ziel von Sanierungsmassnahmen ist der naturnahe See. Es wird ein Gewässerzustand angestrebt, welcher der vorindustriellen Zeit nahekommt. In einem naturnahen See sollen sich die typischen lokalen Arten und Lebensgemeinschaften (Algen, Kleintiere, Fische etc.) fortpflanzen können. Eine Nährstoffbelastung, die einem mittleren Algenwachstum entspricht, erachten wir für die Alpenrandseen und die grossen Mittellandseen als ein vernünftiges Qualitätsziel. In solchen Seen ist die Lebensvielfalt am grössten, Felchenpopulationen können sich selbst erhalten und für die Trinkwasseraufbereitung entstehen keine besonderen Probleme. Praktisch bedeutet dies, dass ein Phosphorgehalt von «höchstens 30 Milligramm Phosphor pro Kubikmeter» angestrebt werden soll (gleich 30 Mikrogramm Phosphor pro Liter).

#### *Ganzheitliche Aspekte:*

Im Sinne eines ganzheitlichen Gewässerschutzvollzuges müssen die Mittel zielgerichtet nach Prioritäten und nach Abwägung von Kosten und Nutzen eingesetzt werden. Da die Verminderung des Phosphorgehaltes im See offensichtlich nur

durch eine Reduktion des Phosphoreintrages erreicht werden kann, sind Massnahmen im Einzugsgebiet vorrangig. Die Verminderung der Phosphorabschwemmung aus landwirtschaftlichen Nutzflächen hat dabei höchste Priorität, nachdem bisher die abwasserbürtigen Phosphoreinträge drastisch reduziert wurden. Der hohe Standard bei der Phosphor-Elimination auf Kläranlagen sollte beibehalten werden.

#### *Zeitliche Perspektive des Belüftungsbetriebes:*

Die Seenbelüftung sollte in den Mittel- und Langzeit nicht zu einem Dauerzustand werden: Die künftige Konzeption der Seesanie- rung sollte darauf ausgerichtet sein, längerfristig von der Belüftung wegzukommen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Phosphoreinträge in den nächsten Jahren auf einen Drittel bis die Hälfte vermindert werden.

In der Übergangszeit können die sauerstoffhaltigen Lebensräume, insbesondere die Besiedlung der Sedimente mit höheren Lebewesen durch die Seenbelüftung erhalten werden. Dies gilt besonders für

den Hallwiler- und Baldeggersee, wo ein sofortiges Abstellen der Sauerstoffzufuhr heute rasch zu sauerstofflosen Bedingungen im Tiefenwasser und zum Absterben der Bodenorganismen führen würde. Im Sempachersee dagegen kann der Eintrag von reinem Sauerstoff im Sommer ausser Betrieb genommen werden. Die Zirkulationshilfe im Winter reicht aus, um eine ausreichende sauerstoffhaltige Pufferzone im Tiefenwasser zu garantieren. Damit liessen sich erste Erfahrungen für ein künftiges Einstellen des Sauerstoffeintrags auch in den Hallwiler- und Baldeggersee sammeln.

### Von der Seebelüftung zur Sanierung des Einzugsgebietes – Sicht des Gemeindeverbandes Sempachersee

Der Gemeindeverband Sempachersee hat 1992 in seinem Konzept zur Sanierung des Sees die Weichen zu vermehrten seeexternen Massnahmen gestellt. Als Ziel

wurde ein gesunder See in einem gesunden Einzugsgebiet postuliert. Unter Massnahmen und Aufgaben des Gemeindeverbandes Sempachersee heisst es: «Der Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser soll auf das Notwendigste reduziert werden. Die frei werdenden Mittel sind für externe Massnahmen und Anreize für ökologisches Verhalten einzusetzen. Langfristig soll auf den künstlichen Sauerstoffeintrag verzichtet werden.»

Der Gemeindeverband hat aufgrund dieses Konzeptes verschiedene Massnahmen im See-Einzugsgebiet in die Wege geleitet:

1. Die Abwassersanierung im Einzugsgebiet des Sees wurde stetig verbessert. Der Stand der Abwasserreinigung ist heute sehr hoch.
2. Der Gemeindeverband finanziert die Düngeberatung der Zentralstelle für Ökologie. Den Landwirten im See-Einzugsgebiet wird die Möglichkeit zur kostenlosen Bodenanalyse angeboten. Der Einsatz von phosphorhaltigen Handelsdüngern konnte massiv gesenkt werden.
3. In den letzten Jahrzehnten hat der Maisanbau stark zugenommen. Um der Erosion vorzubeugen, wird durch den Gemeindeverband die Maiswiese mit Beiträgen gefördert.
4. Um den direkten Eintrag von Nährstoffen in die Gewässer zu vermindern, wird das Anlegen von Pufferstreifen entlang der Gewässer mit einem Beitrag unterstützt.
5. Zusammen mit der Zentralstelle für Ökologie hat der Gemeindeverband Sempachersee die Ökomorphologie der Fließgewässer im Einzugsgebiet erhoben und damit Grundlagen für die Renaturierung der Gewässer geschaffen.
6. Die Regionalplanung hat unter Mitwirkung des Gemeindeverbandes Sempachersee den Teilrichtplan Landschaft für das Spezialplanungsgebiet Sempachersee verabschiedet. Dieser regelt die Nutzungen am See und im Einzugsgebiet unter besonderer Berücksichtigung der Anliegen des Naturschutzes und der Seeökologie.

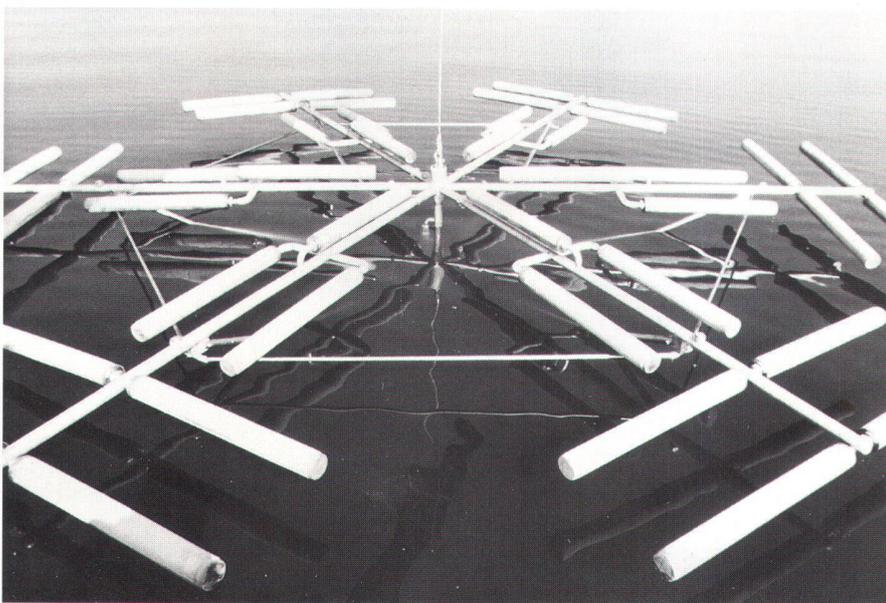


Abb. 3: Das Bild zeigt einen sogenannten Sauerstoffdiffusor. Mit Hilfe dieser Diffusoren werden allen drei Seen (Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee) im Sommer reiner Sauerstoff zugeführt. Pro See sind sechs bis acht solche Einheiten installiert. Im Winter wird das Seewasser mit Druckluft aus Kompressoren durchmischt. Somit ist es möglich, den See mit Sauerstoff aus der Atmosphäre anzureichern.

7. Die Kontrolle der Beitragsberechtigung für Direktzahlungen nach Art. 31a des LwG wurde auf Intervention des Gemeindeverbandes verstärkt. Durch das Landwirtschaftsamt werden jährliche Kontrollen durchgeführt.

Diese Liste zeigt, dass der Gemeindeverband bereits viel zur Gesundung des Einzugsgebietes unternommen hat. Aus verständlichen Gründen sind diese Massnahmen aber bedeutend schwieriger umzusetzen und beanspruchen mehr Zeit, als Massnahmen im See direkt.

Im seeinternen Bereich konnte der Sauerstoffeintrag dank der ständigen Optimierung von anfänglich gegen 600 Tonnen pro Jahr auf rund 200 Tonnen reduziert werden. Aus der Sicht der Wissenschaft ist heute ein Verzicht auf die Restmenge von 200 Tonnen verantwortbar. Dieser Befund ist die logische Konsequenz aus der bisherigen Entwicklung.

Die Reduktion im seeinternen Bereich heisst nun aber nicht, dass alle Probleme um den See gelöst sind. Es ist ein Zwischenziel erreicht, über das wir sehr glücklich sind. Der Gemeindeverband nimmt dieses Zwischenresultat zum Anlass, um

Der Bericht «Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen» ist in der Schriftenreihe der EAWAG Nr. 9 im August 1996 erschienen (ISBN: 3-906484-14-9). Verfasser des Berichtes sind B. Wehrli und A. Wüest unter Mitarbeit von H. Bühler, U. Bundi, H. R. Bürgi, R. Gächter, D. M. Imboden, R. Müller und F. Stössel.

Bezug: EAWAG, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Fax 01/823 53 75

die Anstrengungen im externen Bereich zu verstärken. Grösste Hoffnungen setzt er vorab auf die Einführung der Integrierten Produktion. In Ergänzung dazu will der Gemeindeverband seine schon bisher getätigten Massnahmen aktiv weiterführen und wo immer notwendig ergänzen.

Beim Sanierungsziel decken sich die Vorstellungen des Gemeindeverbandes voll mit den Vorstellungen der Wissenschaft.

Unser Ziel ist der naturnahe See, bei dem die Nährstoffkreisläufe nur geringfügig beschleunigt sind. Für den Sempachersee heisst das, dass der Phosphorgehalt von heute 75 mg P/m<sup>3</sup> auf unter 30 mg P/m<sup>3</sup> gesenkt werden muss. Dieses Sanierungsziel verlangt noch grosse Anstrengungen aller Beteiligten.

Dr. Pius Stadelmann  
Amt für Umweltschutz des Kantons  
Luzern  
CH-6000 Luzern

Prof. Bernhard Wehrli  
Dr. Alfred Wüest  
EAWAG  
CH-8600 Dübendorf

Werner Fluder  
Vizepräsident Gemeindeverband  
Sempachersee  
CH-6204 Sempach

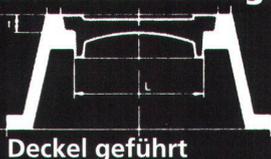
Mehr Sicherheit  
im Strassenverkehr  
mit

**Chrétien-  
Polygon-  
kappen**

**Bisher:**



**Verbesserte Ausführung:**



seit **1883**

**Chrétien & Co.**  
Eisen- und Metallguss  
**4410 Liestal**

**Tel. 061/921 56 56**  
**Fax 061/922 07 56**