

## Pelicon

# Externe Phosphat-Elimination zur Restaurierung eutropher Gewässer

Thomas Fitschen



MTG Marinetchnik GmbH  
Abt. Umwelt- u. Industrielle Technik  
Wandsbeker Königstr. 62  
22041 Hamburg

Tel. +49 (0)40 6 58 03 -0  
Fax +49 (0)40 6 58 03 -392

[UIT@MTG-Marinetchnik.de](mailto:UIT@MTG-Marinetchnik.de)

# Externe Phosphat-Elimination zur Restaurierung eutropher Gewässer

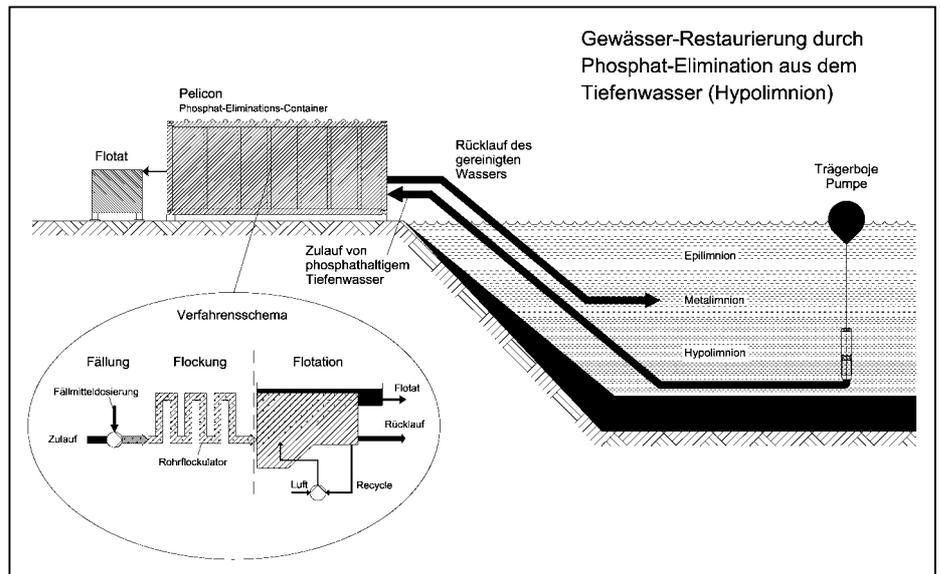
THOMAS FITSCHEN

Bei der Gewässersanierung muss neben der Drosselung der externen Nährstoffzufuhr häufig das Phosphat aus dem Nährstoffkreislauf im Gewässer selbst eliminiert werden. An realisierten Beispielen wird ein Verfahren vorgestellt, das mit Fällung, Flockung und Flotation nicht das gesamte Gewässer, sondern nur das hoch mit Nährstoffen belastete sedimentnahe Wasser reinigt und dies dann dem See wieder zuführt.

Strategien zur Restaurierung eutropher Gewässer beruhen in der Regel auf Eingriffen in den Nährstoffhaushalt bzw. Nährstoffkreislauf der Gewässer durch die Einflussnahme auf externe und/oder interne Nährstoffquellen. Das Phosphat liegt häufig als limitierender Nährstoff vor. Das Sanieren des Einzugsgebietes eines Gewässers, d. h. das Durchführen von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der externen Phosphat-Zufuhr, ist eine zwingende Voraussetzung für einen Restaurierungserfolg.

Häufig kann dieser Restaurierungserfolg durch die Sanierungsmaßnahmen allein aber nicht erreicht werden, weil die im Gewässer angereicherten Phosphate zum Teil im internen Kreislauf zirkuliert. Verfahren zur Beeinflussung des gewässerrinternen Phosphat-Kreislaufes, z. B. durch Fällung, Sedimentbehandlung, Belüftung oder Belüftung mit Fällung, sind vielfältig und bereits angewendet worden. Der Erfolg der Maßnahmen ist oft zeitlich befristet oder aber vom ständigen Einsatz technischer Anlagen, z. B. zur Belüftung, abhängig.

Eine langfristig Erfolg versprechende Restaurierungsstrategie ist dagegen die dauerhafte Elimination des Phosphates aus dem Nährstoffkreislauf durch die Entnahme aus dem Gewässer. Die Durchführung einer, das ganze Gewässer (und nicht nur die Zuflüsse) erfassenden, Phosphat-Elimination wirft Fragen nach der techni-



1: Gewässerrestaurierung durch Phosphat-Elimination aus dem Tiefenwasser: Die eingesetzte Verfahrenskombination umfasst Fällung, Flockung und Flotation

schen Realisierbarkeit und dem damit verbundenen Aufwand, sowie nach einer Prognose der Entwicklung des Gewässers und der damit zusammenhängenden Restaurierungsdauer auf [1].

Zu dieser Problematik wird hier die Pelicon-Anlagentechnologie (Phosphat-Eliminations-Container) der Fa. MTG Marinetechnik GmbH, Abt. Umwelt- u. Industrielle Technik, Hamburg, vorgestellt. Zudem kann über die Erfahrungen aus mehrfachem Einsatz und aus mehrjährigem Betrieb dieser Anlagen berichtet werden.

## Das Verfahren

Gewässer werden aufgrund ihrer Nutzung einer Vielzahl von Belastungen ausgesetzt. Neben den externen Nährstoffquellen tragen die internen Nährstoffquellen, insbesondere das Gewässersediment, zur Belastung eines Gewässers bei. Dieses gilt besonders bei geschichteten Gewässern, da es bei ihnen während der Stagnationsphase im Hypolimnion bzw. Tiefenwasser zu einem Sauerstoffdefizit kommt. Durch die dabei auftretenden Redoxvorgänge können die zuvor im Sediment gebundenen Phosphate wieder in Lösung gehen. Diese Phosphate reichern sich im Hypolimnion in erheblichen Konzentrationen an und stehen nach der Zirkulation im Herbst bzw. Frühjahr dem gesamten Wasserkörper des Gewässers zur Verfügung.

Bei dem patentierten Pelicon-Verfahren macht man sich diese limnologischen Gegebenheiten geschichteter Gewässer zu nutze. Bei der Restaurierung eines Gewässers mittels Pelicon-Verfahren wird nicht der gesamte Wasserkörper gereinigt, sondern lediglich das hoch mit Nährstoffen belastete sedimentnahe Wasser im Hypolimnion. Die Phosphat-Elimination erfolgt in der Pelicon-Anlage durch eine für diesen Anwendungsfall optimierte Verfahrenskombination. Diese Verfahrenskombination umfasst die Fällung, die Flockung und die Flotation (**Bild 1**).

Mittels Unterwasserpumpe wird das zu reinigende Wasser in die Pelicon-Anlage gefördert. Durch die Fällmittelapplikation werden die gelösten Wasserinhaltsstoffe, insbesondere das Phosphat, in eine schwerlösliche Form überführt. Unmittelbar nach der Fällmitteldosierung setzt die Flockung der gefällten bzw. im Wasser bereits enthaltenen Partikel ein. Die entstehenden Flocken lassen sich mit der sogenannten Druck-Entspannungsflotation aus dem Wasser abtrennen. Die Druck-Entspannungsflotation ist ein Trennverfahren, das eine sehr gute Abscheideleistung bietet und dazu wartungsarm ist.

Das in der Pelicon-Anlage gereinigte Wasser wird dem See wieder zugeführt und schichtet sich gemäß seiner Temperatur bzw. Dichte über dem ursprünglichen Hypolimnion ein. Dadurch kommt es zu kei-

nem Verdünnungseffekt, d. h. keinem Vermischen des gereinigten und des belasteten Wassers.

Bei dem Pelicon-Verfahren ist ein kontinuierlicher Anlagenbetrieb gewährleistet, da kein Filterwechsel und kein Zurückspielen der Filter nötig ist. Der für die Abtrennung benötigte Blasen Teppich wird bei der Flotation immer wieder erneuert.

Die Pelicon-Anlagen sind in Containern mit den üblichen Standardabmessungen untergebracht. Die Bauweise in Containerabmessungen ermöglicht ein leichtes Transportieren der Anlage. Zudem ist die Anlage modular erweiterbar und leicht installierbar. Es muss nur für die Zu- und Ablaufleitungen der Pelicon-Anlage und für einen Stromanschluss gesorgt werden. Damit ist sie nach einer erfolgreichen Restaurierungsmaßnahme leicht abzubauen, zu transportieren und an einem neuen Standort leicht wieder zu installieren.

Die Pelicon-Anlagen können als transportable Containeranlagen mit Durchsätzen von 10 m<sup>3</sup>/h bis 120 m<sup>3</sup>/h realisiert werden. Stationär sind auch weit größere Anlagen mit höheren Durchsätzen, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, realisierbar. Die Anlagen haben einen niedrigen Energieverbrauch (0,12 kWh/m<sup>3</sup> bis 0,15 kWh/m<sup>3</sup>) und einen geringen Fällmittelbedarf (0,025 l/m<sup>3</sup> bis 0,080 l/m<sup>3</sup> (Polyaluminiumchlorid)).

## Betriebserfahrungen

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden fünf „Pelicon“-Anlagen entwickelt und in Betrieb genommen:

- 1993, Strandbad Farmsen; Hamburg
- 1995, Stölpchensee; Hamburg
- 2000, Burgsee; Bad Salzungen, Thüringen
- 2001, Kleiner Seddiner See; Gem. Seddiner See, Brandenburg
- 2001, Großer Angelteich; Belzig, Brandenburg

## Strandbad Farmsen

Bei dem Strandbad Farmsen handelt es sich um einen vielgenutzten Badesees. Die Pelicon-Anlage ist dort als Dauereinrichtung installiert. Vor der Installation der Anlage musste der Badebetrieb aufgrund der Belastungen (unter anderem geringe Sichttiefen, hoher pH-Wert) in den Sommermonaten häufiger eingestellt werden. Das Strandbad Farmsen ist ein dimiktischer, holomiktischer See mit einer Oberfläche von ca. 1,7 ha und einer mittleren Wassertiefe von 4,5 m (max. Wassertiefe: 8,0 m).

Neben dem Rücklösevermögen aus dem Sediment ist auch der Badebetrieb als Phosphatquelle anzusehen. Es muss mit einem zusätzlichen Phosphateintrag von ca. 0,1 g/d x Badegast [2] gerechnet werden. Der Badesees wird von 40.000 bis 50.000 Besuchern jährlich genutzt. Der Phosphateintrag in das Gewässer durch die Badegäste beträgt damit 4,0 kg/a bis 5,0 kg/a. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die Rücklösungen aus dem Sediment, aber auch der Badebetrieb sowie weitere diffuse Phosphatquellen zur Eutrophierung des Sees beitragen.

Von 1993 bis 1999 wurde am Strandbad Farmsen eine Pelicon-Anlage mit einem Durchsatz von ca. 30 m<sup>3</sup>/h intermittierend betrieben. Seit 2001 läuft dort eine neue Anlage mit einem Durchsatz von 8 m<sup>3</sup>/h. Da sie mit einem kleineren Volumenstrom arbeitet kommt es zu keinen Stillstandszeiten mehr. Diese Anlage ist, wie alle Pelicon-Anlagen der „neuen“ Generation, mit einem Rohrflockulator ausgestattet, der den Fällmitteleinsatz minimiert.

Seit der Installation der Pelicon-Anlage im Jahr 1993 kam es zu keiner Sperrung des Badebetriebes mehr.

## Stölpchensee

Der Stölpchensee ist in einer Kleingartensiedlung gelegen. Er hat eine Oberfläche von ca. 1,0 ha, bei einer mittleren Wassertiefe von 4,0 m und einer maximalen Wassertiefe von 7,5 m. Durch seine windgeschützte Lage bildet sich bereits im Frühjahr eine stabile Schichtung, bei der das Hypolimnion kurz nach dem Einsetzen sauerstofffrei wird. Bei dem Gewässer handelt es sich um einen dimiktischen, holomiktischen See.

An dem Stölpchensee ist seit 1995 eine Pelicon-Anlage mit einem Durchsatz von 4 m<sup>3</sup>/h installiert. Sie wird in Zusammenarbeit mit der Behörde für Umwelt und Gesundheit, Hamburg sowie dem dort ansässigen Kleingartenverein betrieben. Es handelt sich dabei um die zurzeit kleinste Pelicon-Anlage. Durch den Betrieb der Anlage wurde die Phosphatbelastung des Wasserkörpers, die zu Beginn der Restaurierung bei bis zu 6.000 µg/l im Hypolimnion lag, deutlich verringert. In den bisher 7 Jahren Betriebszeit konnten über 28 kg Phosphat dauerhaft aus dem See entfernt werden. Im Frühjahr des Jahres 2002 wurde dort eine neue Pelicon-Anlage installiert, bei der durch den Einsatz des Rohrflockulators die benötigte Fällmittelmenge weiter reduziert wird.

## Burgsee

Der Burgsee hat eine Oberfläche von 10,3 ha und ist als stark eutroph bis polytroph einzustufen. Der See hat einen großflächigen Bereich mit einer Wassertiefe von 2 m bis 4 m und einen Bereich mit einer Tiefe von ca. 25 m. Der Burgsee ist dimimisch, meromiktisch und weist ein Monimolimnion mit einer sehr hohen Belastung an Phosphat und Schwefelwasserstoff auf.

Die Restaurierungsmaßnahme am Burgsee wird von der DBU gefördert [3] und von der IMA Umwelttechnik GmbH & Co KG, Neu-Isenburg, betreut. Zu Beginn der Restaurierung war das Monimolimnion aufzubereiten. Dazu wurde die „Pelicon“-Anlage (Durchsatz: 30 m<sup>3</sup>/h bis 60 m<sup>3</sup>/h) für ihre Reinigungsaufgabe modifiziert. Sie wurde mit zwei Unterwasserpumpen ausgestattet, wobei sich eine Unterwasserpumpe im Hypolimnion (ca. 30 m<sup>3</sup>/h) und eine Unterwasserpumpe im Monimolimnion (ca. 2,5 m<sup>3</sup>/h) befindet. Beide Pumpen können unabhängig voneinander in ihrer Höhe verstellt und schrittweise in die gewünschte Tiefe abgesenkt werden. Die

Volumenströme werden unmittelbar vor der Fällmitteldosierung in der Pelicon-Anlage zusammengeführt und lassen sich dort einzeln regulieren, um ein optimales Mischungsverhältnis der beiden Volumenströme einzustellen. Da insbesondere das Monimolimnion eine sehr hohe Konzentration an Schwefelwasserstoff aufwies, wurde in der Pelicon-Anlage eine zweite Fällmitteldosierung eingerichtet. Vor der eigentlichen Phosphatfällung mittels Polyaluminiumchlorid wird dem Wasser Eisen-III-chlorid zugegeben. Dieses Fällmittel bindet das Sulfid zu schwerlöslichem Eisensulfid. Das Eisensulfid wird bei der anschließenden Phosphat-Elimination – durch Fällung, Flockung und Flotation – mit aus dem Wasser abgetrennt.

Das DBU-Projekt endet Mitte 2002. Die Ergebnisse und Betriebserfahrungen werden anschließend veröffentlicht.

## Kleiner Seddiner See

Der Kleine Seddiner See ist ein ca. 4,4 ha großes Gewässer. Er ist wegen seiner geringen mittleren Tiefe von 2,2 m und der maximalen Tiefe von 4,2 m auch im Sommer nicht stabil geschichtet. Die am Kleinen Seddiner See errichtete Pelicon-Anlage ist für einen Wasserdurchsatz von 35 m<sup>3</sup>/h ausgelegt. Sie ist mit einem Rohrflockulator ausgestattet.

Trotz der geringen Zulaufkonzentration von ca. 70 µg/l bis 95 µg/l und dem hohen Durchsatz von 40 m<sup>3</sup>/h wurde eine mittlere Eliminationsleistung von etwa 60 % erreicht. Das Wasser hat die Anlage mit einer Konzentration von 22 µg/l bis 45 µg/l verlassen [4].

Durch eine zwischenzeitliche Erhöhung des Fällmittelzusatzes konnte die Eliminationsleistung auf durchschnittlich 68 % gesteigert werden. Für das Jahr 2002 ist eine weitere Optimierung des Anlagenbetriebes geplant, um einen Ablauf von < 20 µg/l Phosphat sicherzustellen. Für verschiedene Dosiermengen und ggf. verschiedene chemische Fällmittel werden die entsprechenden Eliminationsraten ermittelt.

Die begleitenden limnologischen Untersuchungen und die wissenschaftliche Dokumentation der Projektergebnisse, wie auch die Betriebsbetreuung der Pelicon-Anlage wird von dem Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, Seddiner See, durchgeführt.

## Großer Angelteich

Der Große Angelteich wurde im Herbst des Jahres 2001 entschlammt. Bei dem See handelte es sich um ein hochpolytrophes Gewässer. Das Sediment wurde mittels eines Amphibiensaugbaggers aus dem Großen Angelteich entnommen und vor Ort abgepresst. Das Rücklaufwasser der Schlammverdickung ist über eine Pelicon-Anlage entphosphatisiert worden.

Das zur Pelicon-Anlage geförderte Rücklaufwasser enthielt aufgrund des Schlammverdickungsverfahrens einen hohen Anteil an Partikeln. Diese Partikel lassen sich nicht flotieren und sedimentie-

ren somit im Flotationsbecken. Um dieses Sediment auch während des Betriebes der Pelicon-Anlage aus dem Becken entfernen zu können, gab es im Flotationsbecken zusätzliche Sedimentationsbereiche mit Nassentleerung über den Boden. Damit konnte die Entfernung der Sedimente und ein kontinuierlicher Betrieb der Rücklaufwasserreinigung sichergestellt werden.

Die Anlagenleistung lag bei 960 m<sup>3</sup>/d (40 m<sup>3</sup>/h). Das in den See zurückgeleitete Wasser wies eine Phosphatkonzentration von max. 40 µg/l auf.

### Zusammenfassung

Die interne Düngung stellt ein wesentliches Problem bei der Restaurierung von Gewässern dar. Verursacht durch Anaero-

bie während der Stagnationsphase erfolgt aus dem Sediment eine Phosphat-Rücklösung. Dabei ergibt sich eine stark erhöhte Phosphat-Konzentration in der sedimentnahen hypolimnischen Wasserschicht. Speziell aus dieser Schicht kann das Wasser in einer Anlage von dem Phosphat gereinigt werden. Es wird dadurch aus dem Nährstoffkreislauf des Gewässers entfernt und dessen trophisches Niveau gesenkt. Zur Durchführung dieses Verfahrens wurden die Pelicon-Anlagen entwickelt und seit mittlerweile 8 Jahren erfolgreich eingesetzt.

---

#### Literaturhinweise:

[1] Keil, U. (1995): *Phosphat-Elimination zur Restaurierung geschichteter Gewässer*. In: Jaeger, D.; Koschel, R. (Hrsg.): *Verfahren zur Sanierung und Restau-*

*rierung stehender Gewässer*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

[2] DVWK – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1988): *Merkblatt 213 – Sanierung und Restaurierung von Seen*; Parey Verlag, Hamburg.

[3] Gutsch, A.; Heidenreich, F.-P. (2001): *Sanierung hoch eutropher Gewässer durch externe Phosphat-Elimination*. In: *Innovation Wasser – Beispielhafte Projekte aus den Bereichen Gewässer und Wasser*, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

[4] Vietinghoff, H. (2001): *Restaurierung des Kleinen Seddiner Sees durch externe Phosphatelimination*, UFO – Verlag, Allensbach.