

# Biochemisch stimulierter Schlammabbau in Flachseen: Machbarkeitsstudie

Abgelagerter Faulschlamm bedroht häufig die Nutzung eutropher Flachseen und Fischteiche. Drei Machbarkeitsstudien, in denen  $\text{CaO}_2$ -haltige Produkte als sanfte Alternative zu Baggerung getestet wurden, zeigten eine signifikante Abnahme der Sedimentmächtigkeit und des Gehalts an organischer Substanz. Die langsame Freisetzung von Sauerstoff fördert offenbar den Transfer von Elektronenakzeptoren über die Grenzfläche ins Sediment und stimuliert dort die mikrobielle Mineralisation. Nachteilige Auswirkungen auf die Seeökosysteme wurden nicht festgestellt.

Kai-Uwe Ulrich, Alice Rau und Thomas Willuweit

## 1 Veranlassung

Die rasante Eutrophierung von Seen und Flüssen in Verbindung mit massiver Sedimentakkumulation, bodennahem Sauerstoffmangel, unzureichender Fixierung von Phosphat ( $\text{PO}_4$ -Spezies) und einer Dominanz von Cyanobakterien ist nach wie vor ein globales Kernproblem in Bezug auf Wasserqualität und Gesundheit [1]. Besonders anfällig sind Flachseen, die weltweit häufigsten Süßwasserkörper [2]. Sie sind weitverbreitete Bestandteile der Landschaft und tragen zum Mikroklima, zur Artenvielfalt, zur lokalen Erholung und, als Fischteich bewirtschaftet, auch zur Lebensmittelproduktion bei. Aufgrund ihrer geringen Wassertiefe (<5 m) sind sie meist polymiktisch, zeitweise witterungsbedingt auch kurzfristig geschichtet.

Im Unterschied zu tiefen Seen werden Nährstoffe in Flachseen schneller und häufiger rezykliert, was ihnen einen höheren Trophiegrad verleiht [3]. Auf mittlerem trophischen Niveau sind die wichtigsten Primärproduzenten und Nährstoffpools Makrophyten und Schwimmblattpflanzen, die transparentes (klares) Seewasser unterstützen. Mit zunehmendem Nährstoffeintrag kann die Dominanz von Makrophyten schnell zu Phytoplankton wechseln, wobei die Wassertrübung zunimmt. Cyanobakterien und intensive Sedimentation führen rasch zu erheblichen Nutzungseinschränkungen eutropher Seen.

Da ein Rückgang des Trophiegrades aufgrund der bekannten Hysterese auch nach Reduzierung der Nährstoffeinträge sehr lange dauern kann, sind wirksame Maßnahmen zur Erhaltung der Gewässer und deren Nutzung im Sinne einer Seentherapie wünschenswert [4]. Dies lenkt den Fokus in der Regel auf das abgelagerte Sediment (oftmals Faulschlamm).

### Kompakt

- Wirksubstanz Calciumperoxid stimulierte den Schlammabbau in drei Testgewässern.
- Organische Substanz im Sediment nahm stärker ab als stöchiometrisch erwartet.
- Therapiemaßnahme wirkte sich nicht negativ auf die Gewässerökologie aus.

Zu den auf das Sediment zielenden traditionellen Restaurierungsverfahren zählt das Ausbaggern, das mit einer empfindlichen Störung der etablierten Habitate und in der Regel hohen Kosten einhergeht sowie zu einer Ver- bzw. Ablagerung des Baggerguts zwingt. Das Baggergut ist häufig mit regulierten Substanzen belastet, deren gesetzlich zulässige Schwellenwerte überschritten werden. Mehrere In-situ-Maßnahmen wirken übermäßigen Sauerstoffdefiziten und/oder Nährstofffreisetzungen aus dem Sediment entgegen. Eine etablierte Technologie ist die Zugabe von Nitrat als Elektronenakzeptor zur Erhöhung des Redoxpotenzials in der Nähe der Sediment-Wasser-Grenzfläche und zur Stimulierung der Mineralisierung in Kombination mit Calcium oder Eisen zur Ausfällung von Phosphat (RIPLOX-Verfahren) [4]. Zwar wird mit diesem Verfahren ein wasserlöslicher Nährstoff eingebracht, der einer das Wachstum von Cyanobakterien fördernden Stickstoff-Limitation entgegenwirken kann, doch kann sich indirekt auch die Phosphorbindungskapazität des Sediments erhöhen [5].

In der vorliegenden Studie wurde die Machbarkeit einer neuen Methode getestet, bei der ein nährstoffreies Stoffgemisch verwendet wird, das aerobe Mikroben enthält und über längere Zeit hinweg molekularen Sauerstoff abgibt. Dieser Sauerstoff fördert die aerobe mikrobielle Zersetzung von organischer Materie (OM) und die eventuelle Oxidation reduzierter Ionen. In diesem Beitrag stellen wir die Ergebnisse der Begleituntersuchungen von Anwendungen an drei Teststandorten, zwei Teichen und einem Flachsee in Deutschland und China, vor.

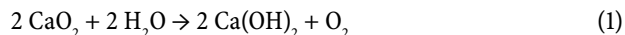
## 2 Material und Ausführung

Bei der in den Machbarkeitsstudien verwendeten Wirksubstanz handelt es sich um ein Gemisch aus bis zu drei Komponenten, das in Deutschland unter dem Produktnamen SchlixXPlus im Fachhandel erhältlich ist:

- Calciumperoxid ( $\text{CaO}_2$ ), Wirkstoff (15-75 %),
- Bentonit (zwecks Verdünnung),  $\text{CaCO}_3$  und  $\text{CaCl}_2$  (zur Pufferung) sowie  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (als Nebenprodukt der  $\text{CaO}_2$ -Herstellung),

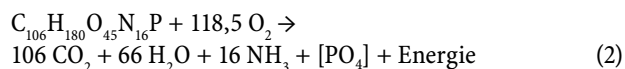
- Kultivierte aerobe Bakterien (bis zu 8 verschiedene Arten, gefriergetrocknet).

Calciumperoxid ist ein nahezu wasserunlösliches Pulver (<0,01 % Löslichkeit bei 20 °C), das sich in nicht saurem Wasser über 8-10 Wochen hinweg unter Freisetzung von molekularem Sauerstoff langsam zersetzt [6]:

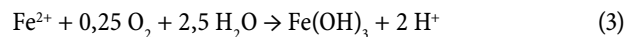


Die Substanz wurde als Sauerstoff-freisetzende Verbindung zum Abbau von Schadstoffen im Boden [7], in Sedimenten von Garnelenfarmen, in Behandlungswänden [8] oder zur Steuerung der P-Konzentration in Wasser und Sedimenten verwendet. Sie findet Anwendung in Zahnpasta, Kosmetikartikeln und in der pharmazeutischen Industrie. Im Folgenden wird die getestete Wirksubstanz vereinfachend als „stable inorganische peroxide“ (SIP) bezeichnet.

Das SIP wurde mit einem Spezialboot ausgerüstet mit einem Suspensions- und Dosiersystem sowie GPS-Tracking auf die Sedimentoberfläche aufgebracht oder mit einer Lanze ca. 0,5 m tief in das Sediment injiziert. Um das chemische Wirkpotenzial zu bemessen, wurde die SIP-Dosis pro m<sup>2</sup> berechnet, die erforderlich ist, um den Glühverlust um mindestens 1%-Punkt zu vermindern. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Biomasse nach Gl. 2 [9] werden 1,56 g O<sub>2</sub>/g OM benötigt. Somit werden 15,6 g O<sub>2</sub>/kg TR (Trockenrückstand) benötigt, um 10 g OM/kg TR zu zersetzen. Für die 0-1 cm mächtige Sedimentschicht mit einer Trockenrohddichte von 0,045 g TR/cm<sup>3</sup> OS (feuchtes Originalsediment) benötigen 450 g TR/m<sup>2</sup> rechnerisch 7,0 g O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>:



Da 1 kg SIP in 8-10 Wochen 33,3 g O<sub>2</sub> freisetzt, läge der Bedarf rechnerisch bei mindestens 210 g/m<sup>2</sup> Seefläche. Zudem kann der freigesetzte Sauerstoff auch anorganische Reduktionsmittel im Sediment oxidieren, z. B. Fe(II):

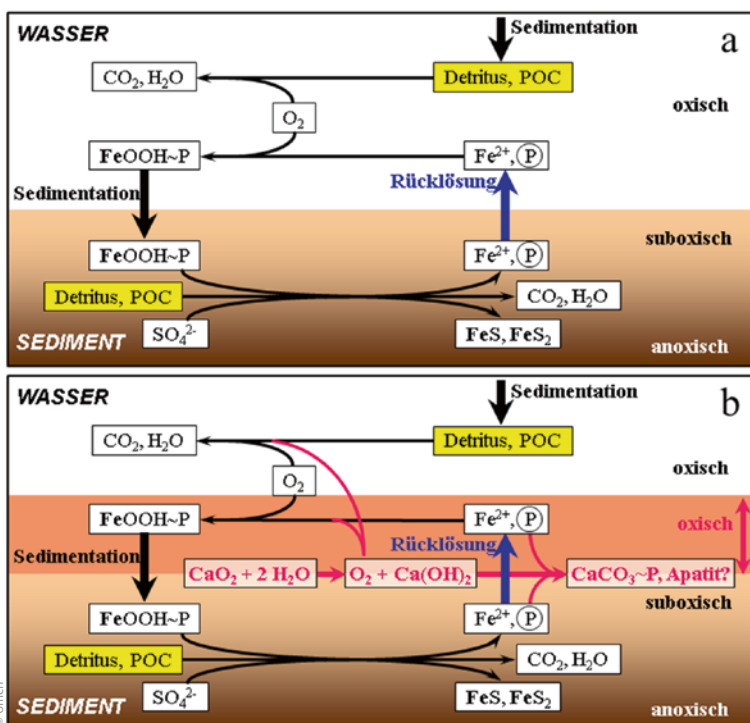


Eine konzeptionelle Skizze der Wechselwirkungen und Reaktionen nahe der Wasser-Sediment-Grenzfläche zeigt **Bild 1**.

### 3 Untersuchungsgebiet

#### 3.1 Mühlenteich

Der Mühlenteich (52° 12.027' N, 8° 6.265' O) befindet sich in einem FFH-Schutzgebiet in der Gemeinde Georgsmarienhütte bei Kloster Oesede, Niedersachsen. Die Oberfläche beträgt ca. 10 700 m<sup>2</sup> (ohne eine vollständig verlandete Fläche), die Wassertiefe lag 2014 zwischen <0,5 m und 1,1 m. Der See wird durch Niederschlag und Grundwasser gespeist, da er keine Verbindung zu einem nahe gelegenen Fluss hat. Vor der ersten Anwendung des SIP wurde das gesamte Sedimentvolumen auf rund 10 700 m<sup>3</sup> geschätzt. SIP wurde viermal mit Dosen von 47 g/m<sup>2</sup> (9/2012), 280 g/m<sup>2</sup> (7/2013), 140 g/m<sup>2</sup> (6/2014) und 62 g/m<sup>2</sup> (8/2018) angewendet. Zwischen August 2012 und Juni 2019 wurde die Sedimentdicke wiederholt an den markierten Punkten P1 bis P17 (anfänglich P1 bis P5) relativ zum aktuellen und ursprünglichen Wasserspiegel bestimmt. Sedimentproben wurden in Linerröhren gestochen, homogenisiert und gemäß DIN EN 12 880 und DIN EN 15 935 auf TR- und OM-Gehalt analysiert. Die TR-Dichte wurde aus dem TR-Gehalt unter Annahme einer durchschnittlichen Feststoffdichte von 2,5 g/cm<sup>3</sup> berechnet. Die diffuse P-Freisetzung aus dem Sediment wurde in 10 Sedimentkernen



**Bild 1:** Konzeptskizze biochemischer Reaktionen im Phosphor- und Eisenkreislauf nahe der Wasser-Sediment-Grenzfläche: a) ohne Zugabe von SIP, b) nach Zugabe von SIP

nach 48-stündiger Inkubation bei In-situ-Temperatur und Tageslichtsimulation gemessen. Die Seewasserqualität, Phytoplankton-, Zooplankton- und Makrophytenbiozönose wurden überwacht.

### 3.2 Caohai-Fischteich

In einem chinesisch-deutschen Kooperationsprojekt wurde ein vom Caohai-Becken des Dian-Sees ( $24^{\circ} 48' - 25^{\circ} 28' N$ ,  $102^{\circ} 29' - 103^{\circ} 01' O$ ) unvollständig abgetrennter Fischteich für eine sechsmonatige Machbarkeitsstudie gewählt. Dieser vergleichsweise alte, hocheutrophe Flachsee befindet sich auf einer Höhe von +1 887 m NHN in der Nähe der Stadt Kunming in der Provinz Yunnan im Südwesten Chinas. Ungefähr in Teichmitte des ca. 10 000 m<sup>2</sup> großen Testgewässers wurden vor der Sedimentbehandlung zwei Enclosure aus Acrylglasröhren mit 1 m Durchmesser und 2 m Länge installiert. Jeder Enclosure bedeckte eine Sedimentfläche von 0,8 m<sup>2</sup> bei ~0,8 m Sedimenttiefe und umhüllte ein Wasservolumen von ca. 0,8 m<sup>3</sup> je nach Wasserstand. Im Experimentalenclosure (EE) und im Testteich wurde das SIP mit einer CaO<sub>2</sub>-Dosis von 0,2 g/kg Sediment als Suspension etwa 0,5 m tief in den Schlamm injiziert, während der Referenzenclosure (RE) unbehandelt blieb.

Vor der Sedimentbehandlung und nach sechs Monaten wurden Sedimentproben entnommen, um Schlüsseleigenschaften, wie Wassergehalt und Trockenrohddichte, organischer Gehalt als Glühverlust, P-Gehalt und P-Fractionen, durch sequenzielle Extraktion nach Psenner et al. [10], modifiziert von Hupfer [11], zu bestimmen. Die Überwachung der Sedimentdicke erfolgte durch wöchentliche Messung der Wassertiefe in Bezug auf eine feste Marke an der Enclosure-Außenwand. Die School of Life Science der Yunnan University führte ein biologisches Monitoring des Phytoplanktons, der submersen Makrophyten und des Makrozoobenthos durch. Das Phytoplankton-Monitoring wurde an zwei Probenstreifen durchgeführt. Die Wasserbiologie wurde vor Projektbeginn sowie drei und sechs Monate nach der SIP-Applikation überwacht.

### 3.3 Kleiner Rußweiher

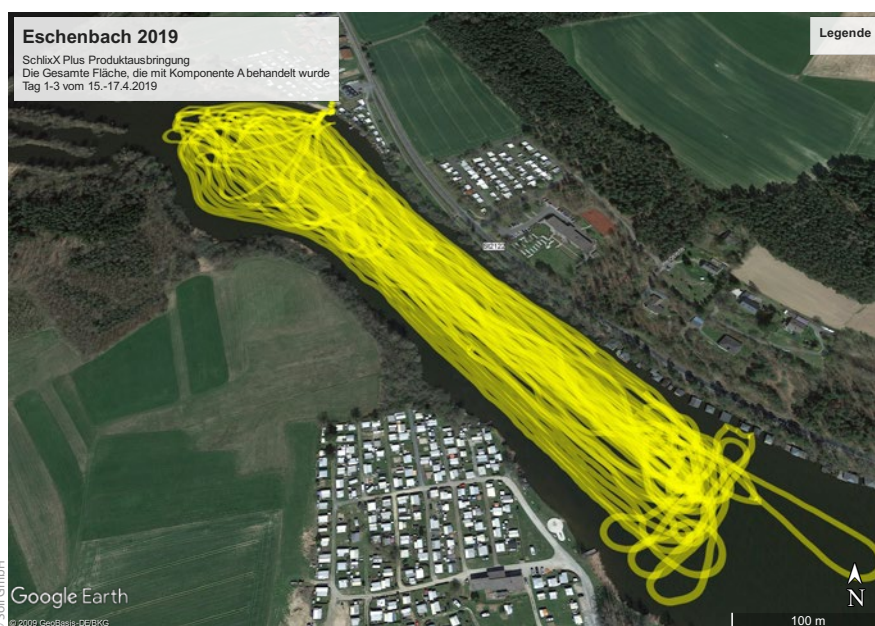
Die flächenmäßig größte SIP-Testanwendung fand im Kleinen Rußweiher bei Eschenbach i. d. OPf, Bayern, statt. Bei diesem Flachsee wurden im April 2019 16,9 von 27 ha der Sedimentoberfläche mit 7,5 t SIP in einer Dosis von 44 g/m<sup>2</sup> behandelt. Die Bootsspuren wurden mittels GPS aufgezeichnet, wie **Bild 2** visualisiert. Das Wirkmonitoring umfasste Analysen von Seewasser, Porenwasser und Sedimentbeschaffenheit einschließlich sequenzieller P-Extraktion sowie eine Bestandserhebung der Lebensgemeinschaften von Phytoplankton, Zooplankton, Makrozoobenthos und Makrophyten.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Mühlenteich

Im Mühlenteich betrug die anfängliche Sedimentdicke  $99,8 \pm 32,5$  cm ( $N = 5$ ). Die erste niedrig dosierte Zufuhr von SIP (47 g/m<sup>2</sup>) im Jahr 2012 führte zu einer Abnahme der Sedimentdicke um durchschnittlich 12 %. Im Juni 2013 wurde vor der zweiten (Haupt-) Dosierung aufgrund des fortschreitenden Absetzens von Seston eine durchschnittliche Sedimentdicke von  $91,4 \pm 32,5$  cm ( $N = 5$ ) bei P1 bis P5 gemessen. Die Daten der Sedimenteigenschaften zeigten eine hohe Variabilität, die verringert werden konnte, indem die fünf anfänglichen Überwachungspunkte in zwei Gruppen unterteilt wurden: Gruppe 1 (P1, P3, P4) und Gruppe 2 (P2, P5). Drei Monate nach der zweiten SIP-Applikation war der Rückgang der Sedimentmächtigkeit noch deutlicher (**Bild 3**). Basierend auf dem anfänglichen TR-Gehalt wurde ein maximaler Verlust von 220 kg/m<sup>2</sup> oder eine Abnahme der Sedimentdicke um 25 % festgestellt.

Nach der dritten SIP-Applikation verringerte sich die Sedimentdicke weiter auf  $59,8 \pm 16,8$  cm ( $N = 17$ ). Diese Abnahme der Sedimentdicke um weitere 20 % war prozentual betrachtet ähnlich groß wie der maximale Durchschnittsverlust von OM ( $234 \pm 128$  kg/m<sup>2</sup>) und die Verminderung des Sedimentvo-



**Bild 2:** Luftaufnahme des westlichen Teils des Kleinen Rußweiher, die gelbe Linie zeigt die mit GPS erfasste Bootspur der SIP-Applikation über der Sedimentoberfläche

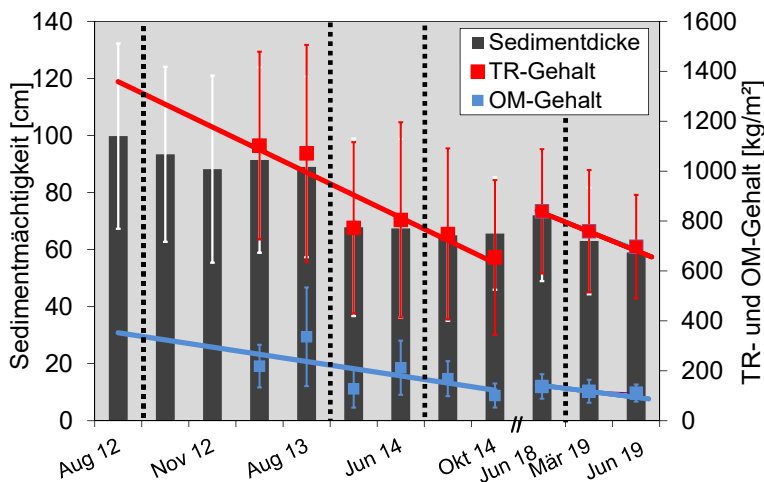
lumen um 22 %, basierend auf den im Oktober 2013 gemessenen Sedimentdaten (N = 15). Aufgrund des fortwährenden Absetzens von Seston mit frischer OM und einem schwer abbaubaren Anteil residueller OM enthielten die Sedimentproben nach jeder SIP-Anwendung weiterhin Restgehalte an OM. In der Gesamtbilanz des Behandlungseffekts über den gesamten Überwachungszeitraum von August 2012 bis Oktober 2014 wurde eine durchschnittliche Reduzierung der Sedimentdicke von  $45 \pm 11$  % (N = 5) berechnet. Zwischen Oktober 2018 und Juni 2019 verringerten sich nach der vierten SIP-Applikation sowohl das Sedimentvolumen als auch der OM-Gehalt um durchschnittlich 18 %.

Die P-Freisetzungsraten, die vor der Anwendung des SIP bestimmt wurden, waren höher ( $13,7 \pm 8,1$  mg P/(m<sup>2</sup>·d)) als einige Monate nach der Anwendung ( $3,9 \pm 9,8$  mg P/(m<sup>2</sup>·d)), wobei 3 von 10 Sedimentproben sogar eine P-Aufnahme zeigten (Bild 4). Dabei war die räumliche Variabilität groß, und saisonale Effekte mit einer höheren P-Freisetzung im Frühsommer als im zeitigen Frühjahr können nicht ausgeschlossen werden.

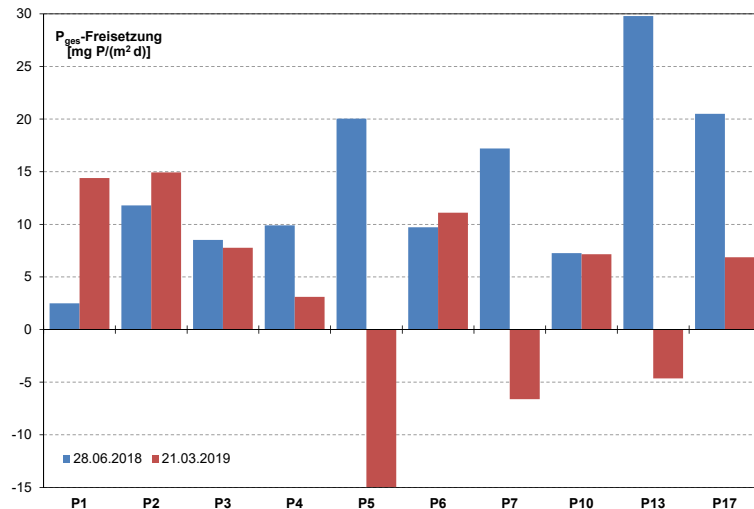
Die ökologische Überwachung des Mühlenteichs hat den vorgelegten Monitoring-Berichten zufolge keinerlei negative Auswirkungen der Behandlung auf die Zusammensetzung und Häufigkeit von Zoo- und Phytoplanktonarten sowie die submers Makrophytenvegetation ergeben [12]. Da sich einige Arten im Herbst vermehrten und Phosphat effektiv einverleibten, konnte die beobachtete leichte Abnahme der Phosphat-Konzentration im Seewasser nicht alleine der SIP-Anwendung zugeschrieben werden. Mit den SIP-Applikationen wurde verhindert, dass der Mühlenteich vollständig verlandete; stattdessen konnten sich Fische wieder etablieren. Weitere Untersuchungen zu den Auswirkungen des SIP auf den P-Haushalt sind erforderlich.

#### 4.2 Caohai-Fischteich

Während der Versuchszeit schwankte die Sedimentoberfläche in der unbehandelten Kontrolle (RE) des Caohai-Testteichs um  $\pm 3$  cm gegenüber dem ursprünglichen Oberflächenniveau. In der Versuchsanlage (EE) verringerte sich das Niveau der Sedimentoberfläche nach der SIP-Applikation um bis zu 12 cm (bzw. um 24 % der behandelten Schicht) (Bild 5). Ein vorübergehender Anstieg der Sedimentoberfläche im Juni war auf das massive Wachstum von Litoralwasserpflanzen zurückzuführen, das ebenso im RE und im Testteich auftrat. Das massive Wachstum der submersen Makrophyten behinderte zeitweilig korrekte Tiefenmessungen. Ein abnehmender Trend des Sedimentoberflächenniveaus wurde auch an mehreren, über die Testteichfläche verteilten Markierungsstangen im Vergleich zu einer unbehan-



**Bild 3:** Zeitlicher Verlauf von Sedimentdicke (linke y-Achse), Gehalt an Trockenrückstand (TR) und organischer Materie (OM) (rechte y-Achse), beeinflusst durch die SIP-Dosierung (gestrichelte Linien) im Mühlenteich

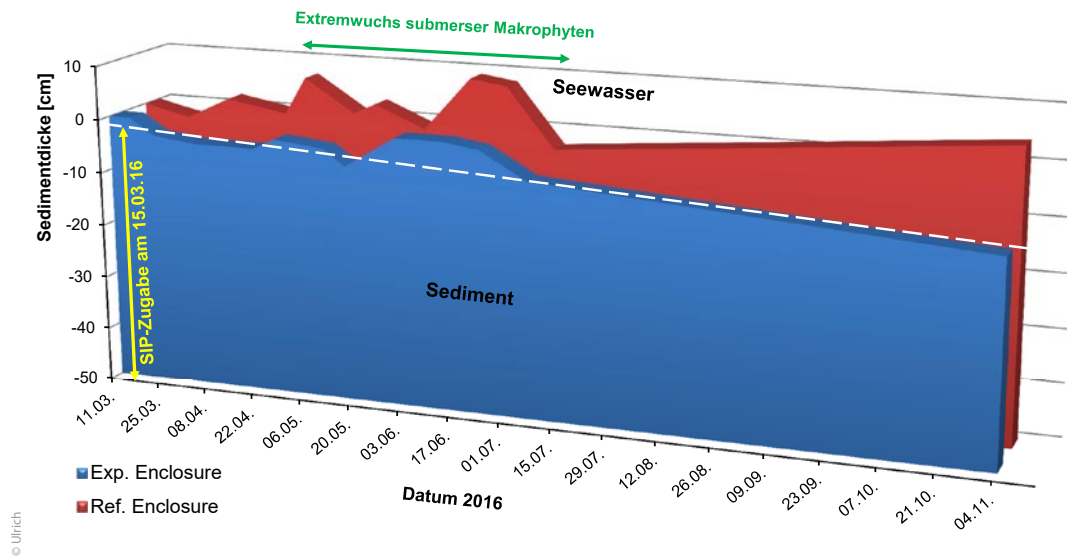


**Bild 4:** P-Freisetzungsraten gemessen in 10 Sedimentkernen, die vor dem 28.06.18 und einige Monate nach der SIP-Dosierung im Mühlenteich entnommen wurden

delten Referenzstelle gemessen. Die ökologischen Untersuchungen zeigten eine rasante saisonale Sukzession von pflanzlichen und tierischen Biozönosen geprägt durch hypertrophe Produktion und Abbauprozesse, so dass in Bezug auf die getestete Wirksubstanz keine eindeutig interpretierbaren Befunde gewonnen werden konnten.

Die Untersuchung der Phosphor-Bindung im Sediment unter Verwendung des Standardprotokolls zur sequenziellen Extraktion ([10], [11]) zeigte wesentliche Verschiebungen der P-Fractionen, insbesondere eine Erhöhung der unter reduzierenden Bedingungen löslichen P-Fraktion (BD-P) und der mit 1 M Natronlauge löslichen P-Fraktion (NaOH-SRP) (Bild 6). Diese beiden Phosphat-Pools stimmten mit dem mitextrahierten Eisen überein, was darauf hindeutet, dass durch die Oxidation von Fe(II) der P-Sorptionspool an Fe(III)-Hydroxiden





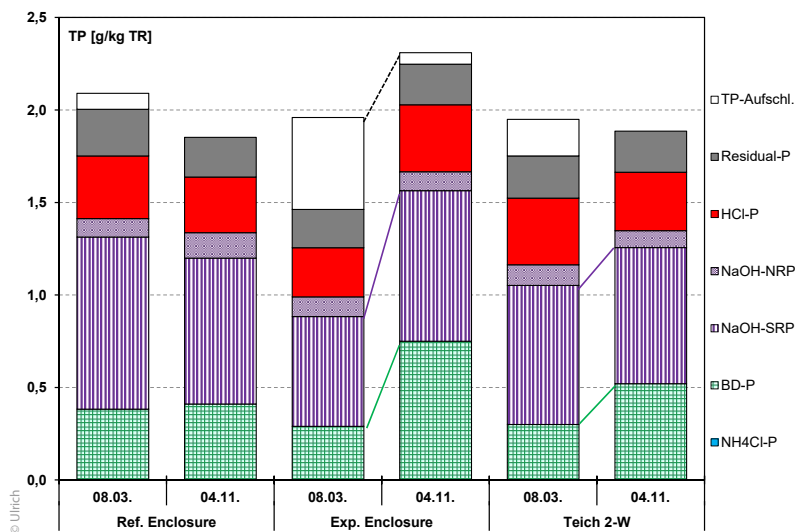
**Bild 5:** Änderung der Sedimentdicke im Experimental-Enclosure der oberen 0,5-m-Schicht, die mit SIP behandelt wurde, im Vergleich zum unbehandelten Referenz-Enclosure im Caohai-Testteich des Dian-Sees, China

größer geworden war. Daher kann die SIP-Anwendung eine erhöhte P-Sequestrierung unterstützen, solange oxische Bedingungen in der Nähe der Sedimentoberfläche aufrechterhalten werden. Dieser Sequestrierungseffekt war im Sediment des Experimentalenclosures im Caohai-Testteich ausgeprägter als im Sediment des Kleinen Rußweiher, bei dem eine ähnliche Verschiebung der P-Fractionen festgestellt wurde.

### 4.3 Kleiner Rußweiher

Neun Wochen nach der SIP-Applikation im Kleinen Rußweiher verringerte sich der OM-Gehalt des Sediments am Probenahmeort des behandelten Abschnitts um 3-6 % gegenüber 2,5-4 % im unbehandelten Abschnitt (N = 4). Es gab jedoch offensichtliche Anzeichen dafür, dass ein Teil des SIP durch windbedingte Wasserströmung vom behandelten zum unbehandelten See-

abschnitt gedriftet war. Der TR-Gehalt zeigte eher eine leichte Abnahme als eine Zunahme, die wegen der festen Nebenbestandteile im SIP eigentlich zu erwarten war. Nach neun Wochen belief sich der Sedimentabbau im behandelten Abschnitt auf  $2,7 \pm 1,5$  cm (N = 115), unter Einbeziehung der gemessenen Bruttosedimentationsrate. Eine weitere Messung nach fünf Monaten ergab eine Gesamtvolumenabnahme von 11 700 m<sup>3</sup> Sediment auf einer Messfläche von 70 000 m<sup>2</sup>, was einer durchschnittlichen Abnahme der Sedimentdicke von 17 cm entspricht. Unter Berücksichtigung der gemessenen Sedimentationsrate von TR betrug der durchschnittliche Rückgang der Sedimentmächtigkeit  $22 \pm 2$  cm. Offensichtlich trat der größte Teil des Sedimentabbaus später als neun Wochen nach der SIP-Anwendung auf, was auf eine längere Adaptationszeit der mineralisierenden Mikroorganismen hinweist.



**Bild 6:** Änderung des TP-Gehalts und der P-Fractionen in der oberen 0,5-m-Sedimentschicht, die im Experimental-Enclosure und Caohai-Testteich mit SIP behandelt wurde, im Vergleich zum unbehandelten Referenz-Enclosure

## 5 Fazit

Die drei unabhängigen Machbarkeitsstudien zeigten eine beträchtliche Abnahme der Sedimentmächtigkeit und des Gehalts an organischer Materie nach der SIP-Zugabe, die sogar die stöchiometrisch abgeschätzte Größenordnung deutlich überschritt. Vergleichbare Effekte waren bei den unbehandelten Kontrollflächen (z. B. im Referenzenclosure) nicht feststellbar. Daher stützen die Daten den postulierten Mechanismus der stimulierten mikrobiellen Zersetzung organischer Substanz durch die Freisetzung von Sauerstoff aus CaO<sub>2</sub>. Dieser Prozess begünstigte womöglich den Transfer von Elektronenakzeptoren (Oxidationsmitteln) aus dem Seewasser über die Grenzfläche und erhöhte die Aktivität der mikrobiellen Mineralisierung im Sediment. Unerwünschte Auswirkungen des getesteten SIP auf die Seeökosysteme wurden nicht beobachtet. Saisonale Veränderungen

gen der Planktongemeinschaften und der Nährstoffkonzentrationen im Seewasser (Daten aus Platzgründen nicht dargestellt) traten während der Überwachungszeiträume auf, können aber nicht auf die Sedimentbehandlung mit SIP zurückgeführt werden. Die CaO<sub>2</sub>-haltigen Produkte scheinen geeignet als wirksame, umweltfreundliche und kostengünstige Methode zur Seentherapie. Weitere Projekte und Untersuchungen werden empfohlen, um die Effekte an den Sedimenten von Klein- und Flachseen mit Blick auf die Phosphatfestlegung aber auch auf kurz- und langfristige ökologische Auswirkungen der Seentherapie mit SIP zu erfassen.

### Dank

Ein besonderer Dank gilt den Städten Georgsmarienhütte und Eschenbach i. d. OPf sowie dem Umweltbeauftragten Andreas Möllenkamp und Christian Meyer für die Unterstützung der Untersuchungen. Wir danken Andreas Boenert der Firma AgL für die Bereitstellung der Monitoringdaten und -berichte. Juliana Valle der Firma Söll half dankenswerterweise bei der Verbesserung eines früheren Manuskriptentwurfs.

### Autoren

#### Dr. rer. nat. Kai-Uwe Ulrich

BGD ECOSAX GmbH  
Tiergartenstraße 48  
01219 Dresden  
k.ulrich@bgd-ecosax.de

#### Alice Rau

Landestalsperrenverwaltung Sachsen  
Betrieb Oberes Elbtal  
01744 Dippoldiswalde  
alice.rau@ltv.sachsen.de

Kai-Uwe Ulrich, Alice Rau und Thomas Willuweit

#### Biochemically triggered sludge decay in shallow lakes: feasibility study

Deposited sapropel often threatens the use of eutrophic shallow lakes and fish ponds. Three independent feasibility studies, in which CaO<sub>2</sub> bearing products were tested as soft alternatives, showed considerable decrease of sediment depth and organic matter content. Likewise effects were absent in an untreated control enclosure. The field data support a mechanism of stimulated organic matter decay through the release of oxygen from virtually insoluble calcium peroxide. Obviously this process improved the transfer of electron acceptors (oxidants) from the lake water across the interface and enhanced microbial mineralization in the sediment. Adverse effects of the tested material on the lake ecosystems including macrozoobenthos, fish fauna, zooplankton, phytoplankton and aquatic plants have not been observed. The CaO<sub>2</sub> bearing products appear suitable as effective, environmentally friendly, low-cost alternatives to conventionally applied remediation measures such as aeration or sediment dredging. However, further research is needed on the potentials to prevent P-release from the sediment and promote P sequestration.

#### Dipl.-Chem. Thomas Willuweit

Söll GmbH  
Fuhrmannstr. 6  
95028 Hof  
willuweit@soelltec.de

### Literatur

- [1] Ansari, A. A.; Gill, S. S.; Lanza, G. R.; Rast, W. (Eds.): Eutrophication: causes, consequences and control. Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- [2] Downing, J. A.; Prairie, Y. T.; Cole, J. J. et al.: The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. In: *Limnology and Oceanography* 51 (2006), 5, S. 2 388-2 397.
- [3] Kumar, D. S.; Sekaran, V.: Nutrient Cycles in Lakes. In: *International Journal of Lakes and Rivers* 7 (2014), Nr. 1, S. 11-24.
- [4] DWA (Hrsg.): Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie. In: *DWA-Merkblätter* (2006), Nr. M 606.
- [5] Schauser, I.; Lewandowski, J.; Hupfer, M.: Seeinterne Maßnahmen zur Beeinflussung des Phosphor-Haushalts eutrophierter Seen - Leitfaden zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens. In: *Berichte des IGB* (2003), Heft 16.
- [6] Ma, Y.; Zhang, B. T.; Zhao, L. et al.: Study on the generation mechanism of reactive oxygen species on calcium peroxide by chemiluminescence and UV-visible spectra. In: *Luminiscence* 22 (2007), S. 575-580.
- [7] Cassidy, D. P.; Irvine, R. L.: Use of calcium peroxide to provide oxygen for contaminant biodegradation in a saturated soil. In: *J. Hazard. Mater.* 69 (1999), S. 25-39.
- [8] Chevalier, L. R.; McCann, C. D.: Feasibility of calcium peroxide as an oxygen releasing compound in treatment walls. In: *Int. J. Environ. Waste Management* 2 (2008), 3, S. 245-256.
- [9] Uhlmann, D.; Horn, W.: *Hydrobiologie der Binnengewässer*. Stuttgart: UTB Verlag Eugen Ulmer, 2001.
- [10] Psenner, R.; Pucsko, R.; Sager, M.: Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten. Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen. In: *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 70 (1984), S. 111-155.
- [11] Hupfer, M.: Bindungsformen und Mobilität des Phosphors in Gewässersedimenten. In: Steinberg, C.; Bernhardt, H.; Klapper, H. (Hrsg.): *Handbuch Angewandte Limnologie*. ecomed Verlag, 1995, S. 1-22.
- [12] Stadt Georgsmarienhütte (Hrsg.): *Natur, Naturschutz: Mühlenteich - Kloster Oesede* ([www.georgsmarienhuette.de/stadt/natur/naturschutz/muehlenteich-kloster-oesede/](http://www.georgsmarienhuette.de/stadt/natur/naturschutz/muehlenteich-kloster-oesede/); Abruf 27.01.2020).



### Flachseen

Ludewig, C.; Weyer, G.: Entschlammung von Flachseen am Beispiel des Steinhuder Meeres. In: *Wasser, Energie und Umwelt*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/12350170](http://www.springerprofessional.de/link/12350170)

Schuster, H.-H.; Prante, J.; Gade, R.: Sanierung des Dümmer Sees und seines Umlandes. In: *Wasser, Energie und Umwelt*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.  
[www.springerprofessional.de/link/12350176](http://www.springerprofessional.de/link/12350176)