

# Konzepte zur Stabilisierung der Gewässergüte der Lausitzer Seenkette

Florian Werner<sup>1</sup>, Ludwig Luckner<sup>1</sup> Friedrich-Carl Benthau<sup>2</sup>, Gerd Richter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GFI Grundwasserforschungsinstitut Dresden, Meraner Straße 10, 01217 Dresden, fwerner@dgfz.de

<sup>2</sup>LMBV Lausitzer- und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungs-gesellschaft, Knappenstr.1, 01968 Senftenberg

Die Lausitzer Seenkette ist das zentrale Element der Lausitzer Berbaufolgelandschaft zwischen Senftenberg, Großräschen, Hoyerswerda und Spremberg, die durch die LMBV in den vom Braunkohlentagebau hinterlassenen Hohlformen erstellt und in eine attraktive Seenlandschaft gewandelt wird. Die Flutung erfolgt über die Schwarze Elster, die Kleine Spree und den Oberen Landgraben, der Wasser aus der Spree/Neiße über den Schöps und die Spree zuführt. Derzeitig werden die Qualitätsziele für die Parameter pH-Wert, Eisen und Sulfat nicht von allen Seen erreicht. Neben der Heranführung von Flutungswasser aus den genannten Fließgewässern wird deshalb eine Konditionierung erforderlich, die die Wasserbeschaffenheitsziele zu erreichen gestattet. Dazu könnte das aus dem Oberen Landgraben übergeleitete Wasser mit CO<sub>2</sub> aus dem nahegelegenen CO<sub>2</sub>-freien Pilot-Kraftwerk der Vattenfall und aus Kalkprodukten alkalisch gepuffert werden. Eine Wasserbehandlung am Auslauf der Seenkette wird nötig, wenn die Qualitätsziele bei der Übergabe in die öffentliche Vorflut nicht eingehalten werden.

In the core region of the Lausitz (Lusatia) Post Mining Area a number of lakes and canals is flooded and transformed into a recreational lakescape. The Mining Administration Agency LMBV is in charge of the rehabilitation of this landscape cornered by the cities Senftenberg and Hoyerswerda. Flooding is utilizing the rivers Schwarze Elster, Kleine Spree and Oberer Landgraben (Spree/Neiße). Quality goals for pH, iron and sulfate are challenging for some lakes. Apart from flooding water input a pre conditioning of the flooding water is discussed. Water from Oberer Landgraben could be treated using CO<sub>2</sub> from a near power plant to increase buffer capacity of the flooding water. A water treatment at the end of the lake cascade is necessary if the discharge into the public rivers would not meet the quality goals.

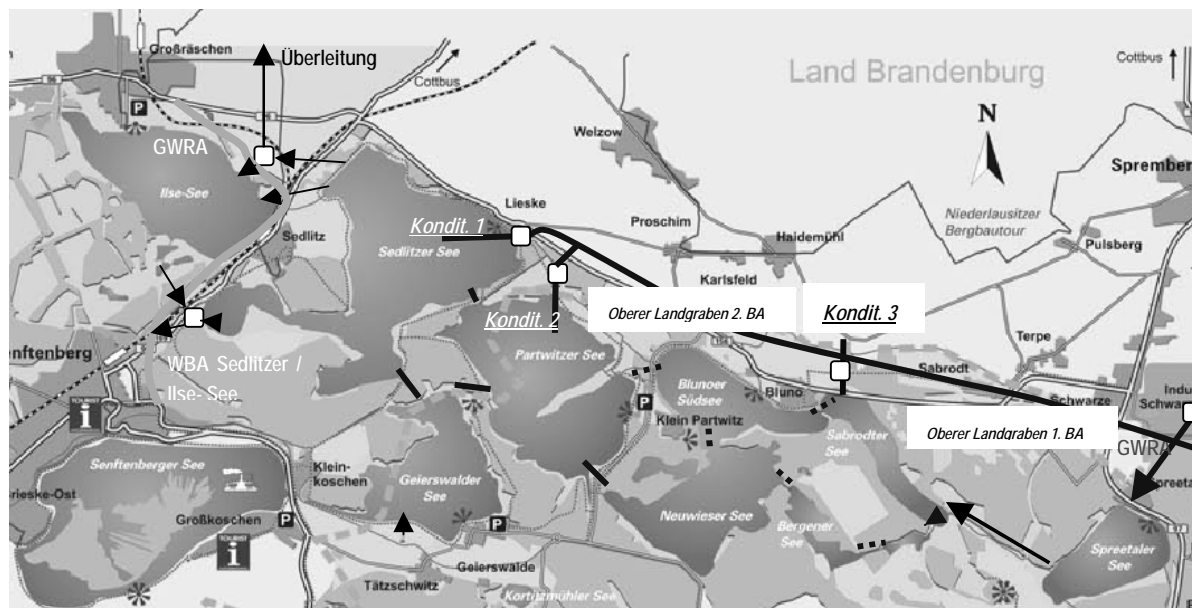
---

## 1 Die Lausitzer Seenkette

Mit der Lausitzer Seenkette entsteht die in Abbildung 1 dargestellte Tagebaufolgelandschaft. Die Tagebaufolgeseen dieser Kette werden insgesamt eine Fläche von über 5000 ha einnehmen. Die Flutung der Seenkette erfolgt über die Schwarze Elster, die Kleine Spree und den Oberen Landgraben, der Wasser aus der Spree heranführt, welches zu diesem Zweck aus der Neiße über den Schöps in die Spree übergeleitet wird. Eine unterstromige Rückführung in die Neiße bewirkt einen Bilanzausgleich zwischen den Flussgebieten. Das technische System der Wasserüberleitungen ist weitgehend fertiggestellt. Der Obere Landgraben existiert gegenwärtig bereits in seinem 1. Bauabschnitt bis zum Verteilerwehr Bluno. Der 2. Bauabschnitt befindet sich in der Ausführungsplanung. Zwischen dem Sedlitzer See, dem Partwitzer See und dem Geierswalder See bestehen bereits die schiffbaren Verbindungen Sornoer Kanal (Sedlitzer See - Geierswalder See), Barbara Kanal (Geierswalder See

- Partwitzer See) und Rosendorfer Kanal (Sedlitzer See - Partwitzer See). Weitere schiffbare Verbindungen und Schleusen befinden sich in der Planung. Ihre Lage wurde gleichfalls in Abb. 1 eingetragen. Die gegenwärtige Phase der Herstellung der Gewässer, d.h. das Erreichen der Zielwasserstände in den Tagebaufolgeseen und der Zielwasserqualität in ihnen wird voraussichtlich ca. 2015 in eine Phase der Nachsorge übergehen (ZSCHIEDRICH & BENTHAUS 2005). In der Nachsorge-Phase müssen die See-Wasserstände und die Gewässergüte stabilisiert werden. Es wird von einer im Einzelfall unterschiedlich langen und insgesamt stetig abnehmenden Nachsorge von mehreren Jahrzehnten ausgegangen.

Vorliegende Prognosen für die Entwicklung der Gewässerzustände in der Seekette besagen, dass eine Neutralisation mit den verfügbaren Wasserressourcen allein nicht erreichbar ist, so dass zusätzliche Maßnahmen erwogen werden müssen. Die Zufuhr von alkalisch konditioniertem Oberflächenwassers kann neben der Neutralisation das erforderliche Niveau der Pufferkapazität



**Abb. 1:** Die Lausitzer Seenkette mit den ins Auge gefassten Standorten einer alkalischen Konditionierung an den Einleitungspunkten aus dem Oberen Landgraben. Die Überleitungen, die als schiffbare Verbindungen fertig gestellt sind oder sich im Bau befinden, sind mit einer durchgezogenen Linie eingetragen. Die möglichen schiffbaren Verbindungen sind als unterbrochene Linie eingetragen.

gewährleisten. Mit dem Begriff Konditionierung wird hier eine Vorbehandlung des Wassers vor der Einleitung in die Tagebaufolgeseen verstanden. Die alkalische Pufferkapazität wird durch den auch in der Nachsorgephase weitergehenden Säureeintrag mehr oder weniger stark aufgezehrt und durch die Zufuhr des konditionierten Wassers wieder aufgefüllt. Als Standort der Anlagen ist der Seeuferbereich vorgesehen.

## 2 Vorschläge zur Wasserbehandlung

In der Studie des DGFZ (2005) wurde begründet vorgeschlagen, von der Pilotanlage des CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerkes der Vattenfall Mining and Generation AG in Schwarze Pumpe eine CO<sub>2</sub>-Transportleitung DN 150 in der Trasse des Oberen Landgrabens bis zum Sedlitzer See (gegebenenfalls auch weiter bis zum GWRA Rainitz) zu verlegen. Das CO<sub>2</sub> könnte

- den Zuläufen zum Sedlitzer See und zum Partwitzer See aus dem Oberen Landgraben unter Zugabe von gebranntem Kalk, Mergel oder Dolomit,
- dem Blunoer Südsee und dem Sabrodtter See über eine Rezirkulationsanlagen am Seeufer,

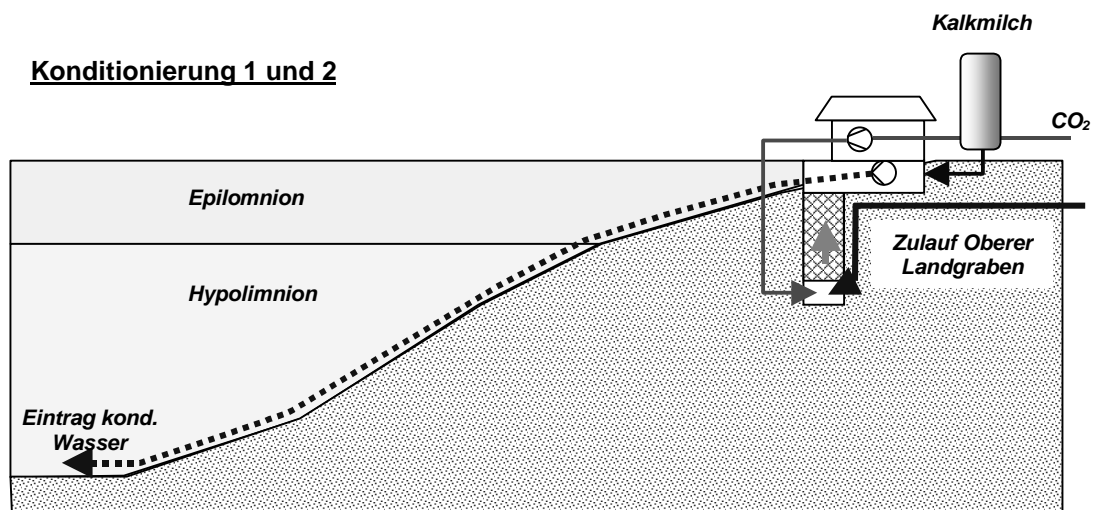
- einer Tankstation für das Seesanisierungsschiff bzw. die Sanierungsschiffe und
- gegebenenfalls auch der GWRA Rainitz

zugehen und dort das den Seen zuzuleitende Wasser und den Eisenhydroxidschlamm (EHS) alkalisch konditionieren.

### 2.1 Konditionierung der Zuläufe

Konditionieren bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der den Seen zugehende Wasser- bzw. EHS-Strom Alkalinität und damit Säurepuffervermögen durch die Bildung von Hydrogencarbonat und Hydroxid ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{Ca}^{2+}$  bzw.  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- + \text{Ca}^{2+}$ ) aufgeprägt wird. Um Verluste dieser den Wasser-Strömen konzentriert aufgeprägten Alkalinität durch Wiederausgasung von CO<sub>2</sub> mit der damit verbundenen Calcitfällung zu vermeiden, ist vorgesehen, die konditionierten Wasser in etwa 10 bis 20 m unter der Seeoberfläche in das Hypolimnion der Tagebauseen einzuleiten und dort den Vermischungsprozessen der Wind-getriebenen Seesirkulationsprozesse insbesondere in den Phasen der Frühjahr- und Herbstvollzirkulation zu unterwerfen.

Die Vermischung ist auch deshalb erforderlich, um die Konzentration von Ca<sup>2+</sup> und CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, die



**Abb. 2: Konditionierungsanlagen 1 und 2 am Seeufer zum Eintrag alkalisch behandelter Wässer.**

gem. nachfolgender stöchiometrischer Gleichung mögliche Calcitfällung und damit den Austrag von Alkalinität aus dem Seewasser zu minimieren ( $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ). Abbildung 2 zeigt hierzu eine der in DGFZ (2005) ins Auge gefassten Möglichkeiten der konstruktiven Gestaltung der Wassereinleitung aus dem Oberen Landgraben mit dem am Ufer eingetragenen  $\text{CO}_2$  und dem  $\text{CaO/MgO}$  in den Sedlitzer See, bzw. in den Partwitzer See.

In der Konditionierung 3 (Sabrodter See) könnte analog wie in der Konditionierung 1 und 2 gearbeitet werden. Es ist jedoch wünschenswert, dass kein Überlauf aus dem See erzeugt wird, bevor die Neutralisation und Konditionierung abgeschlossen ist. Daher soll unabhängig von der Zuführung von Oberflächenwasser neutralisiert bzw. konditioniert werden.

In den in Abb. 3 dargestellten Variante 1 wird Wasser aus dem See entnommen, mit  $\text{CO}_2$  und Kalk versetzt und anschließend zurück in das Hypolimnion eingeleitet. Für die Zuführung von Kalkhydrat wird eine Dosierung per Silo vorgesehen. In der Variante 2 soll der Kalk per Schiff bereitgestellt werden (In-Lake-Zufuhr), während dem Hypolimnion Kohlendioxid separat zugeführt wird. Für den  $\text{CO}_2$ -Eintrag kämen eine Anlage am Ufer, aber auch eine im See schwimmende Tiefenbegasung (analog Tiefenbelüftung) oder die Kombination einer Tiefenbelüftung mit dem Eintrag von  $\text{CO}_2$  in Frage. Die Anpassung von Anlagen der LMBV zur Tiefenbegasung (z.B. Großkayna), die sich in der Entwicklung und Erprobung befinden, erscheint möglich.

Die Konditionierungsanlagen würden voraussichtlich bis in die ersten Jahre der Nachsorgephase hinein betrieben werden müssen (bis ca. 2020). Im Anschluss an die stationäre Wasserbehandlung könnte dann eine gezielt Wasserbehandlung von Teilflächen mit einer mobilen Anlage erfolgen.

## 2.2 Einsatz eines See-Sanierungsschiffes

In DGFZ (2005) wurde weiter begründet vorgeschlagen, ein See-Sanierungsschiff auf den durch schiffbare Verbindungen verknüpften Seen zum Einsatz zu bringen. Das Schiff soll mit etwa 60 t Wasserverdrängung eine Nutzlast von 30 t aufnehmen können. Hierfür gibt es mehrere technische Ausführungsmöglichkeiten. So könnte das Schiff z.B. 30 t Kalkhydrat oder 30 t Soda oder 15 t Kalkhydrat und 15 t  $\text{CO}_2$ -Trockeneis oder 8 t Kalkhydrat und 7 t Flüssig- $\text{CO}_2$  bei 15 t Druckgefäßmasse laden.

Es ist vorgesehen, das Schiff einmal täglich in seinem Hafen (Liegeplatz) zu beladen und die Ausbringung in einer Schicht zu bewältigen. Geht man von 240 produktiven Arbeitstagen pro Jahr aus, so ließen sich jährlich etwa hundert Mio mol Alkalinität in die Seenkette eintragen. Dies bedeutet eine Leistung, die z.B. im Verhältnis zur ertüchtigten GWRA Rainitzta mit 125 Mio mol Alk/a bei 50 Mio  $\text{m}^3$  Wasserdurchsatz und bei einer Neutralisationsleistung von 2,5  $\text{mol/m}^3$  zu sehen wäre.

Das Schiff soll eine Schubkraft von rund 150 kW entwickeln und dadurch eine CARMANNsche-

Wirbelstraße erzeugen, in die die Alkalinität eingetragen und eingemischt wird. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h sollte so eine jährliche Seefläche behandelbar sein, die einem Mehrfachen der Gesamtfläche der Restseekette entspricht. Abb. 4 zeigt eine Skizze dieses Sanierungsschiffs und des tiefengesteuerten Eintrages des Alkalinität-Stroms.

Der Schiffseinsatz als In-Lake-Behandlungstechnologie ist vor allem in der Nachsorgephase besonders vorteilhaft, weil

- diese Seewasserbehandlung abgesehen vom Hafen (Liegeplatz des Schiffes) keiner stationären technischen Anlagen bedarf, wie z.B. bei der Regnertechnologie (siehe LUCKNER 2006 Abb. 12),

- die Einmischung der Alkalinisierungsstoffe durch den Schiffsantrieb erfolgt und keine zusätzliche Technik erfordert und
- der Einsatz mobil und bedarfsgerecht erfolgen kann (gegenenfalls ist auch der Einsatz von zwei See-Sanierungsschiffen notwendig).

Diese Art der Behandlung könnte die verschiedenen Seen bzw. Teilseen bedarfsgerecht bedienen. Sie wäre vergleichbar mit einer GPS-gestützten Bewirtschaftung von Ackerflächen mit unterschiedlichen, bodenabhängigen Nährstoffgaben (Precision Farming). Ein Beispiel für die auch langfristig unterschiedliche Entwicklung von Teilseen bildet der Senftenberger See, dessen Südsee eine signifikant vom Hauptsee abweichende Wasserbeschaffenheit aufweist.

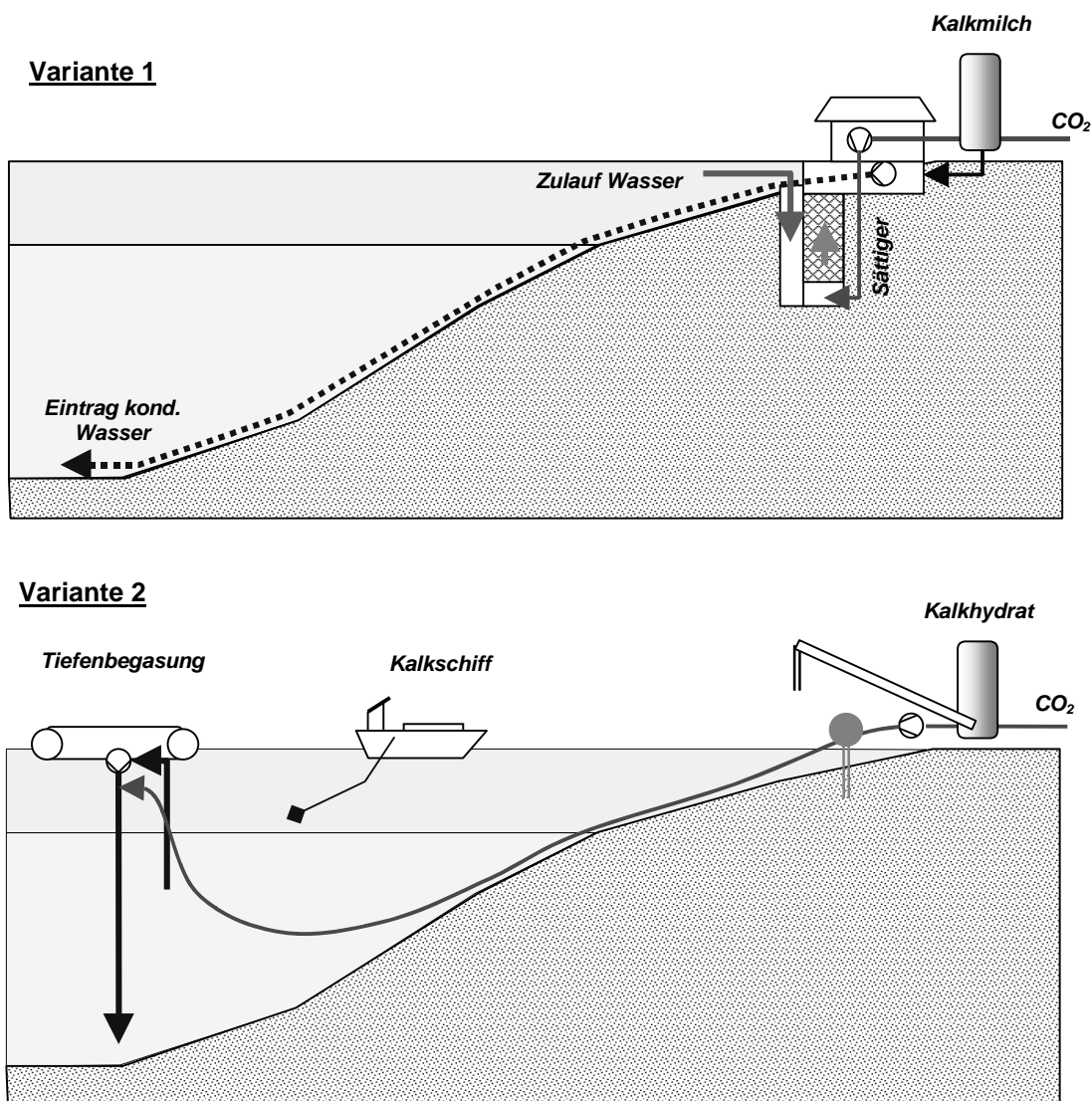
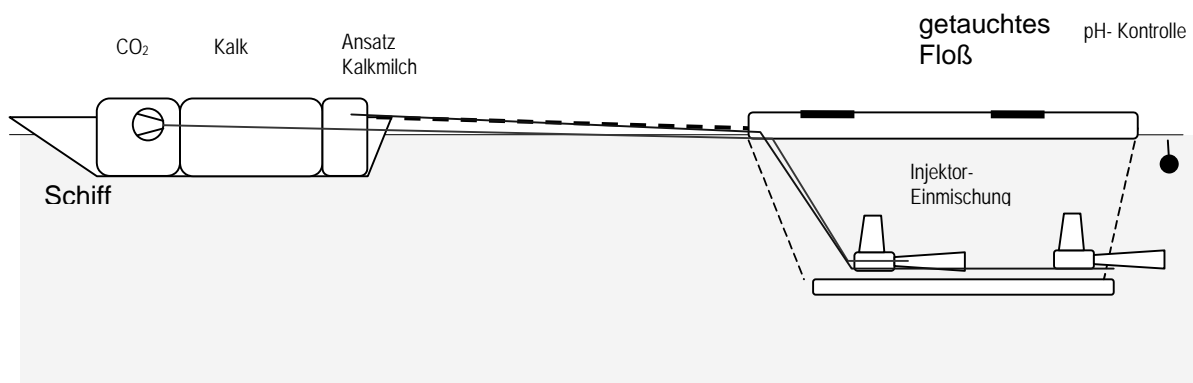


Abb. 3: Konditionierungsanlage 3 am Seeufer des Sabrotdter Sees, bzw. des Blunoer Südsees.



**Abb. 4:** Skizze des vorgeschlagenen Sanierungsschiffs und des tiefengesteuerten Alkalinitätseintrages (aus DGFZ 2005).

Der Einsatz der See-Sanierungsschiffe wäre für die gesamte Nachsorgephase vorzusehen. Die Außerbetriebnahme eines von zwei Schiffen und ein Rückfahren der Behandlungsleistung wären Möglichkeiten, um den Aufwand der Behandlung optimal an den Bedarf anzupassen. Das Ende der Nachsorgephase kann noch nicht mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Nachsorgephase II bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts läuft.

### 3 Diskussion

Für die Lausitzer Seenkette besteht voraussichtlich die Notwendigkeit einer wasserwirtschaftlichen Nachsorge bis 2027 und darüber hinaus. Um diese Aufgabe bestmöglich zu lösen, d.h. die gestellten Umweltziele kosteneffektiv zu erreichen, prüft die LMBV innovative Vorschläge. Zu diesen Vorschlägen zählen die dargestellten Technologien der Konditionierung des Flutungswassers und der Wasserbehandlung durch ein Sanierungs-Schiff.

Es ist das Ziel der wasserwirtschaftlichen Sanierung die Tagebaufolgeseen der Lausitzer Seenkette bis zum Jahr 2015 in einen neutralen und ausleitbaren Zustand zu versetzen. Mit den hier dargestellten Verfahren wird ein innovativer Lösungsvorschlag vorgestellt. Gegenstand dieses Konzepts ist

- das Erreichen und Aufrechterhalten einer neutralen Wasserbeschaffenheit in der Seenkette durch Anlagen zur Konditionierung des Flutungswassers mit CO<sub>2</sub> und Alkalien.

- die gezielte Behandlung einzelner Seen und Teilflächen im Zeitraum der Nachsorge durch ein oder zwei See-Sanierungsschiffe
- Der Verzicht auf Anlagen zur Neutralisation und Eisenfällung im Auslauf von Seen. Dies betrifft Anlagen zwischen dem Neuwieser See und dem Partwitzer See, im Auslauf des Sedlitzer und des Ilse Sees und die Grubenwasserreinigungsanlage Raintitza.

Die zu ergreifenden Maßnahmen müssen in ihrer Gesamtheit für die Seenkette durch örtlich auflösende Bilanzierungen als wirksam nachgewiesen werden. Für die hier dargestellten Vorschläge erfolgte der prinzipielle Nachweis, dass damit Stoffströme an Alkalien und CO<sub>2</sub> in der erforderlichen Größenordnung in die jeweiligen Seen eingetragen werden können. Auch zeigen Kostenschätzungen, dass diese Vorschläge wirtschaftliche Vorzüge besitzen.

Ein wesentliches Argument für die dargestellte Konditionierung und Seebehandlung wäre der mögliche langfristige Verzicht auf Wasserbehandlungsanlagen, die eine Neutralisation und Eisenfällung am Auslauf der Lausitzer Seenkette bewirken. Wenn diese Aufgabe bis zum Ende der ersten Nachsorgephase durch die Grubenwasserreinigungsanlage Raintitza bewältigt werden könnte und anschließend auf eine Behandlung verzichtet werden könnte, dann würde darin ein entscheidender Vorteil liegen.

## 4 Literatur

- DGFZ (2005): Rahmenkonzept für die Planung von Wasserbehandlungsanlagen (WBA) an der Schnittstelle zur öffentlichen Vorflut in der Lausitz, unveröffentlichte Studie im Auftrag der LMBV.
- LUCKNER, L. (2006): Sanierung einer Bergbaufolgelandschaft: Teil 1: Die Lösung des Wassermengen-Problems, Teil 2: Das Problem mit der Wasserqualität. Die Neutralisation der sauren Restseen, wwt Wasserwirtschaft Wassertechnik, Hefte 3-2006 und 4-2006.
- ZSCHIEDRICH, K. & BENTHAUS, F.-C. (2005): Braunkohlesanierung- bergbauliche und wasserwirtschaftliche Aufgaben, in: Proceedings des DGFZ, Heft 27, Fachtagung Nachsorge betriebsbedingter Boden- und Grundwasserschäden des Bergbaus nach der endgültigen Betriebsstillegung, ISSN 1430-01760.