

**ROLAND KOCH**\***ERKENNTNISSE AUS DER SANIERUNG VON STARK SAUREN  
UND SULFATHALTIGEN TAGEBAUSEEN AM BEISPIEL  
DES TAGEBAUSEES GRÄBENDORF****Key words:** mining lake, acidification, sulphate reduction, restoration procedure*S u m m a r y*

*Conclusions from the restoration of heavily acid and sulphate-containing mining lakes using the Gräbendorf mining lake as an example. With Lusatia's 16 open-cast mines till the year 1990, groundwater lowering to a depth of approx. 100 m below ground level has had considerable impacts on the situation in Lusatia as far as water management is concerned. After the closing of the open-cast mines they filled again with groundwater. The water qualities of the existing mining lakes and of those that are still to be created are often characterised by low pH values and high iron and sulphate concentrations, which, if not treated, may lead to a number of subsequent ecological and economic problems. Therefore different restoration technologies are applied to improve water quality sustainably. With 425 hectares the lake Gräbendorfer See is a mining lake of medium size in which the restoration procedure applied is flooding by water imported from the river Spree. Doing this, potentials and limits of flooding with imported water have been illustrated. Therefore for sustainable restoration subsequent measures are required. The results achieved and the measures required in the future are documented and prepared / analysed / processed in a German-Polish INTERREG III A project: "Presentation and assessment of the application of restoration procedures for the improvement of the water quality in mining lakes as well as of the groundwater in the euro-region and the lebusa land, which have been influenced by mining". This project will be implemented as a mirror project, i.e. each party has selected an appropriate mining lake for it. Thus we can exchange experience and technologies and, on the basis of this feasibility study (qualified task), can also tackle the joint restoration of further mining lakes.*

---

\* BTU Cottbus Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik Lehrstuhl Wassertechnik & Siedlungswasserbau

## Einleitung

### *Allgemeine Situation der Wasserqualität der Kippengrund- und Oberflächenwässer in der Lausitz*

#### Die Lausitz und der Bergbau

Die Lausitz liegt zwischen Görlitz und Berlin, der Neiße und Finsterwalde. Sie liegt damit in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen. Diese Lausitz ist geprägt von der Braunkohleindustrie, d.h. durch Braunkohletagebaue und Braunkohlekraftwerke. Bis 1990 gab es in der Lausitz 16 aktive Braunkohletagebaue, jetzt nur noch 5. Die Förderung von Braunkohle ist von 300 Mio t/a auf ca. 60 Mio t/a gesunken. Die Braunkohletagebaue haben natürlich einen sehr großen Einfluss auf die wasserwirtschaftliche Situation der Lausitz. Das liegt darin begründet, dass das Grundwasser im Bereich der Tagebaue auf eine Teufe von ca. 100 m unter Geländeoberkante abgesenkt wurde und wird. Mit den 16 Tagebauen ist somit eine Fläche von ca. 2200 km<sup>2</sup> beeinflusst worden. Das führte unter anderem dazu, dass solche Flüsse wie Spree, Schwarze Elster, Dahme, Malxe keine natürlichen Gewässer mehr sind, sondern künstlich mit Wasser aus den Tagebauen bespannt werden müssen. Damit verbunden war auch ein Grundwasserdefizit von ca. 14 Mrd. m<sup>3</sup> und das in einem Gebiet mit geringen Niederschlägen (450-550 mm /a). Mit der Stilllegung der Tagebaue füllten sich diese wieder mit Grundwasser und bilden jetzt die so genannte Lausitzer Seenplatte, wobei der natürliche Seewasserstand noch nicht bei allen 28 Tagebauseen der Lausitz erreicht wurde. Diese Tagebauseen sollen zukünftig wasserwirtschaftlich genutzt werden, unter anderem als Wasserspeicher für die schon genannten Vorfluter, um damit diese aquatischen Ökosysteme zu sichern.

#### Lausitz als Grenzregion zu Polen

In diesem Zusammenhang muss auch darauf verwiesen werden, dass auch der Grenzfluss Neiße für die Bereitstellung von Flutungswasser genutzt wird. Das heißt, dass auch die polnische Grenzregion einen Anteil bei der Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation in der Lausitz leistet. Zum anderen bekanntlich Wasser auch an keinen Ländergrenzen halt macht und so die wasserwirtschaftlichen Probleme der Regionen Lausitz und des Lebusa-Land doch auch in einem gewissen Zusammenhang zu betrachten sind, siehe auch Hochwasserschutz.

#### Folge des Braunkohlebergbaus im Lausitzer Revier

Als Folge des Braunkohlebergbaus im Lausitzer Revier unterliegt der regionale Wasserhaushalt somit starken Veränderungen. Die Wasserbeschafftheiten der vorhandenen und noch entstehenden Tagebauseen sind häufig durch die Verwitterungsprodukte der Pyritoxidation geprägt. Durch niedrige pH-Werte und hohe

Eisen- und Sulfatkonzentrationen wird eine wasserwirtschaftliche Nutzung dieser Ressourcen sehr stark beeinträchtigt. Mit der Einbindung der Tagebauseen in das hydrologische Abflusssystem wirkt deren ökonomisches und ökologisches Gefährdungspotential über den Seewasserkörper hinaus. Insbesondere zur Einleitung des Seewassers in die Vorflut sind zum Erreichen der Einleitbedingungen (Inhaltsstoffe) technische Maßnahmen erforderlich. Mehr als 10 Jahre nach der Stilllegung der meisten Tagebaue liegt das Grund- und Oberflächenwasserdefizit aber noch immer bei ca. 4,35 Mrd. m<sup>3</sup> im Bereich der Lausitz. Grundlage für die Entstehung der Tagebauseen ist der Wiederanstieg des Grundwassers. Dieses Grundwasser strömt unter anderem durch Kippenbereiche, was durch die vorhandenen Pyrit-Verwitterungsprodukte zu einer erheblichen Versauerung und starken Sulfatanreicherung in den Tagebauseen führt. Die durchschnittlichen pH-Werte betragen 3,0 und die Sulfatgehalte >1200 mg/l. Darüber hinaus kann der Füllungsprozess in den Tagebauseen durch Flutung mit Fremdwasser z.B. aus den Vorflutern Spree, Schwarze Elster und Neiße erfolgen. Nach dem jetzigen Erkenntnisstand ist auch bei ausreichendem Flutungswasser die Versauerung des Tagebauseewassers dadurch nicht allein zu kompensieren. Alle vorliegenden Studien und Messwerte deuten darauf hin, zumal die zugeführten Wassermengen unter den geplanten Werten liegen und mithin auch die Füllstände in den Tagebauseen nicht im Plan sind. Die niedrigen pH-Werte und die hohen Sulfatgehalte können bei Nichtbehandlung in Abhängigkeit von den geo-hydraulischen Verhältnissen zu einer Reihe von ökologischen und ökonomischen Folgeproblemen führen. Das sind u.a.:

- Versauerung des Wassers in den Vorflutern und damit Beeinträchtigung der Wasserqualität in den Vorfluter (Fischsterben, Zerstörung von Bauwerken in den Vorflutern durch Korrosion),
- Gefährdung von aquatischen und terrestrischen Schutzgebieten durch das anströmende Grundwasser (z.B. im Naturpark Niederlausitzer Landrücken, Naturschutzgebiete Schlabendorfer Bergbaufolgelandschaft, Teichlandschaft Buchwäldchen, Calauer Schweiz),
- Beeinträchtigung der Nutzungsmöglichkeiten der Seen (Tourismus, Fischerei) und im Vorgriff darauf eine wachstumshemmende Investitionszurückhaltung,
- und eine ausbleibende Wertsteigerung der Seen und der angrenzenden Grundstücke.

### Aktueller Sachstand

Im Verantwortungsbereich der LMBV in der Lausitz entstehen 28 Tagebauseen. Von diesen 28 Tagebauseen ist bereits bei einem die Flutung abgeschlossen, bei 16 Tagebauseen ist die Flutungsbereitschaft hergestellt und bei den restlichen 11 Tagebauseen wird diese vorbereitet. Nicht bei allem Tagebauseen ist eine Sanierung in vollem Umfang erforderlich. Wir gehen davon aus, dass 19 Seen Sanierungsmaßnahmen erfordern. Alle 28 Tagebauseen umfassen eine Wasserfläche von 14561 ha mit einem Seevolumen von insgesamt 2306 Mio. m<sup>3</sup> Wassers bei Erreichen des höchsten natürlichen Wasserstandes. Gegenwärtig sind 27% der Gesamtwassermenge der 28 Tagebauseen erreicht. Die Flutungsmenge beträgt zwischen 1 und 3 m<sup>3</sup>/s. Das aktuell erreichte Füllvolumen bleibt hinter den Sollwerten zurück, damit wird ein geringerer Verdünnungseffekt bezüglich des Sulfatgehaltes erreicht. Neben dem jeweiligen Wasserkörper der Tagebauseen sind auch noch zuströmende Kippengrundwässer zu behandeln, die in besonders hohem Maße (in Abhängigkeit der Grundwasserneubildung sowie der im Tagebausee vorhandenen Wasserstände und der sich einstellenden Böschungserosion) entsprechende Säurefrachten in die Tagebauseen eintragen.

## **Ökonomische und ökologische Zielsetzungen der Wassersanierung**

### Anforderungen an die Wasserqualität

Welche Werte letztlich erreicht werden müssen, hängt neben den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie für die Einleitung in öffentliche Gewässer, wie z.B. die Spree von den Nutzungszielen für die Seen ab. Für die Fischereiwirtschaft sind pH-Werte von 6,8 bis 7,2 sowie Sulfatgehalte < 400 mg/l erforderlich. In Badegewässern liegt, entsprechend der EU-Richtlinie des Rates 76/160/EWG über die Qualität der Badegewässer, der einzuhaltende pH-Wert im Bereich von 6 bis 9. Die Sulfatgehalte sollten hier ebenfalls bei < 400 mg/l liegen. Ein besonderes Problem stellen die Einleitbedingungen aus den Tagebauseen (Speichern) in die öffentlichen Vorfluter (Spree, Dahme, Schwarze Elster) dar. Da selbige noch nicht festgelegt sind, muss davon ausgegangen werden, dass hierfür Normen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) zu Anwendung kommen werden: pH-Wert mind. 6,0 und Sulfatgehalte < 400 mg/l. Bei Nichteinhaltung würde das bedeuten, dass gegen bestehende Bundes- und Landesgesetze verstoßen wird. Erschwert wird die Erreichung der angestrebten Werte auch dadurch, dass die Seen unterirdisch durch die Grundwasserströme teilweise miteinander in Verbindung stehen und verschiedene Seen aus touristischen Gründen auch oberirdisch durch Kanäle miteinander verbunden werden. Ferner können sich die sauren und sulfathaltigen lebensfeindlichen Kippeng-

rundwässer entsprechend der Dynamik des Wasserhaushaltes und der geohydraulischen Gegebenheiten in der Region Lausitz ausbreiten und die vorhandenen aquatischen Ökosysteme (Seen, Vorfluter, Auenlandschaften) und die Fluss- und See- sowie unterirdischen Bauwerke gefährden.

#### Entwicklungseffekte der Sanierung

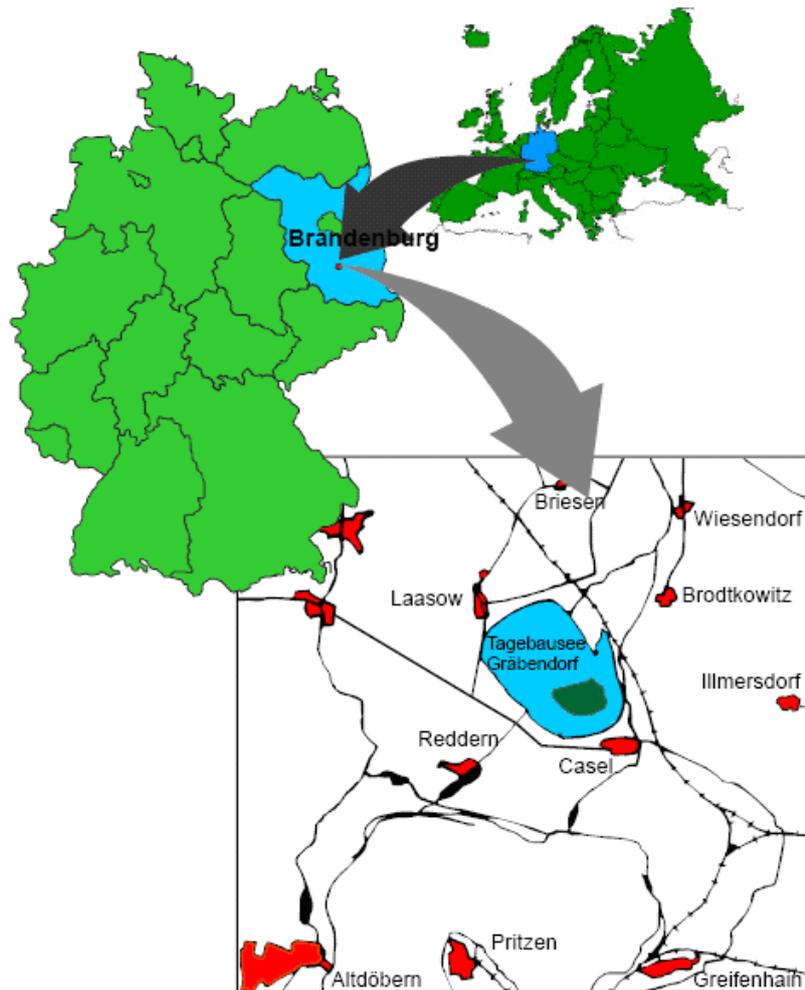
- Verhinderung der bestehenden wasserwirtschaftlichen Gefahren sowie Sicherung der Nutzung der Tagebauseen;
- Verbesserung des Landschaftsbildes und Schaffung einer ökologisch intakten Seen – und Naturlandschaft;
- Schaffung der zwingend notwendigen Voraussetzungen für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung der Euroregion Spree-Neiße-Bober;
- Realisierung von dauerhaften Arbeitsplätzen;
- Stabilisierung und Ausbau der vorhandenen Wirtschaft durch Verhinderung von Abwanderung bzw. Zuzug.

Für die umfangreiche wasserwirtschaftliche Nutzung der Tagebauseen ist es deshalb zwingend notwendig, neben der Flutung, nach technisch-technologischen Möglichkeiten zu suchen, die zu einer nachhaltigen Verbesserung der Wasserqualität des Kippengrund- und Oberflächenwassers führen. Den Stand der Arbeiten werde ich im 2 Teil meines Vortrages darstellen.

### **Sanierung des Tagebausees Gräbendorf**

#### ***Tagebausee Gräbendorf***

Der Gräbendorfer See liegt in der Region der Brandenburgischen Niederlausitz, ca. 20 km südwestlich von Cottbus und ist mit 425 Hektar ein mittelgroßer Bergbaufolgesee, der bei Abschluss der Flutung ein Wasservolumen von 93 Mio. m<sup>3</sup> haben wird.



### *Wasserqualität vor der Sanierung*

Der im Januar 1994 erstmalig erfasste initiale hydrochemische Zustand des ungepufferten bis sehr schwach gepufferten Sees mit einem pH-Wert von  $\text{pH} = 3,3$  blieb bis zum Frühjahr 1996 erhalten. Weitere folgende chemische Beschaffenheiten wurden unter anderem ermittelt:

Acidität:  $K_{\text{B}4,3} \approx 0,5 \dots 1,0 \text{ mmol/l}$

Elektrische Leitfähigkeit:  $1.200 \dots 1.700 \mu\text{S/cm}$

Sulfatkonzentration:  $600 \dots 800 \text{ mg/l}$

## Sanierungsziele

### *Wasserqualität*

Diese Werte stammen aus einem 2002 erstellten Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Tagebausee Gräbendorf

Kennwert	Soll (Prognose 1999)
pH-Wert	Ab Frühjahr bis Flutungsende konstant im neutralen bis schwach sauren Bereich um pH = 6,5
K <sub>S4,3</sub>	Ab Frühjahr 1999 mit K <sub>S4,3</sub> = 0,1 mmol/l schwach gepuffert Bei geringer Kippenerosion Anstieg der Pufferung auf K <sub>S4,3</sub> = 0,4 mmol/l bis 2002
Sulfat	Kontinuierlicher Rückgang ab Frühjahr 1999 von ca. 450 mg/l auf 320 ... 400 mg/l

### *Nutzungsziele*

Nach dem Erreichen des Endwasserstandes wird der Gräbendorfer See samt seinen Randbereichen einer differenzierten Nutzung als Bade- und Landschaftssee zugeführt: Während der nördliche und südwestlichste Teil des Sees für eine touristische Nutzung geeignet ist, bleiben im Südosten größere Teile dem Naturschutz vorbehalten. Am Nordufer ist die Errichtung eines Erholungsgebietes geplant. Im Norden von Casel ist zudem angrenzend an die Ortslage die Entwicklung eines attraktiven Wohnstandortes vorgesehen.

### *Sanierungsverfahren*

Nachfolgend aufgeführte Sanierungsverfahren können für eine nachhaltige Verbesserung der Wasserqualität angewendet werden.

Reaktive Wände	
	Passive reaktive Wände
	autotroph – ADAG (Aktiver Drain and Gate)
	heterotroph – ADAG
	funnel and gate
	Infilt-gate
	Düsenspritz-gate
Inlake-Verfahren	
	Aktiver Bioreaktor
	Eintrag von Carbo-Kalk- passives Verfahren
	Eintrag von Neutralisationsmittel mittels + Starkregner

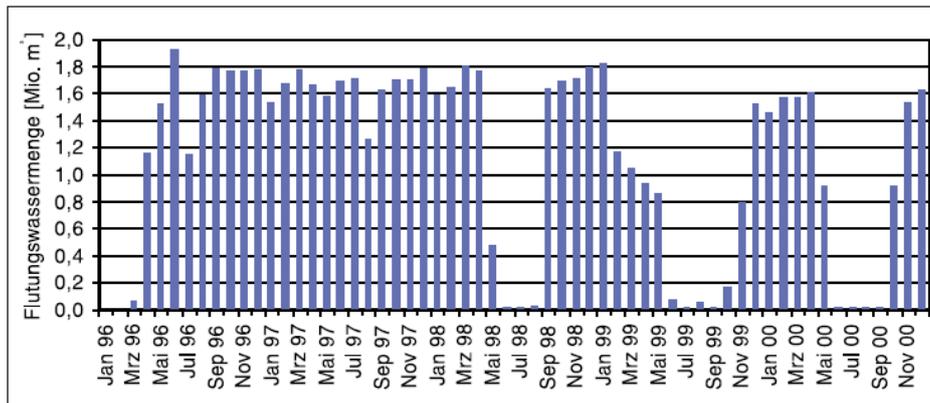
	+ Schwimmender Saugbagger (Sediment) / Mammutpumpe
	Biologische Nachhaltigkeit durch Eintrag von Biomasse (Algen)
	Matten, Teppiche
	CO <sub>2</sub> -Sequestrierung und Calciumoxid-Suspension
Flutung	
	Flutung aus Vorflutern mittels Fernwasserleitungen
	Überleitung aus Tagebauseen
Grubenwasserreinigungsanlagen	
	Anlagen zur Neutralisation und Fe
	Sulfatreduktion durch Nanofiltration
	SO <sub>4</sub>

### Eingesetzte Sanierungsverfahren

Zur wasserwirtschaftlichen Sanierung wird der Tagebausee Gräbendorf seit April 1996 mit Flusswasser geflutet. Hierbei werden im Mittel 36 ... 40 m<sup>3</sup>/min aus dem Südumfluter der Spree über eine 13 km lange Rohrleitung herangeführt. Die Fremdflutung musste im Sommerhalbjahr 1998, 1999 und 2000 aufgrund von Wassermangel in der Spree zeitweilig über 4 bis 5 Monate unterbrochen werden.

Die Fremdflutung des Tagebausees Gräbendorf hat bei einem Volumen des Wasserkörpers von etwa 7 Mio m<sup>3</sup> bzw. einem Füllstand von ca. 7% eingesetzt. Der frühe Flutungsbeginn bot günstige Voraussetzungen für die hydrochemische Entwicklung des Sees zu einem neutralen Gewässer.

April 1996: Beginn der Fremdflutung mit Spreewasser



### Sanierungserfolg – jetzige Wasserqualität

Der bisherige Flutungsverlauf hat die Prognosen grundsätzlich bestätigt und die Erwartungen an die hydrochemische Entwicklung des Gräbendorfer Sees weitestgehend erfüllt. Der See enthält derzeit kaum überschüssige Säuren. Andererseits ist der See praktisch nicht gepuffert und damit sehr anfällig gegenüber jeglichen Stoffeinträgen mit dem Grundwasser oder aus den Uferböschungen. Besonders nachteilig für die hydrochemische Entwicklung haben sich die sommerlichen Flutungsunterbrechungen erwiesen.

Kennwert	Ist (Messwerte)
pH-Wert	Starke Schwankungen des pH-Wertes zwischen pH = 4,0 und pH = 6,5 Kein nachhaltiges Erreichen ph-neutraler Verhältnisse
$K_{S4,3}$	Konstante schwache Pufferung im Beobachtungszeitraum mit $K_{S4,3} = 0,0$ ... 0,2 mmol/l Kein signifikanter Anstieg erkennbar
Sulfat	Zunächst konstantes Konzentrationsniveau bei 450 ... 500 mg/l Seit Mai 2001 leichter Anstieg auf etwa 550 ... 600 mg/l Seit etwa Januar 2002 wieder Rückgang der Konzentration

Mit der hydrochemischen Entwicklung des Tagebausees Gräbendorf werden die Potenzen aber auch die Grenzen der Fremdflutung gezeigt.

### Gegenwärtige Nutzung

Unmittelbar östlich des Dorfes Laasow realisiert die Internationale Bauausstellung (IBA) Fürst-Pückler-Land [www.iba-see.de](http://www.iba-see.de) derzeit das Projekt "Schwimmende Häuser Gräbendorfer See". Die Außenanlagen einer geplanten schwimmenden Siedlung wurden 2005/2006 fertig gestellt. Als erstes Haus wurde Am 1. August 2006 der Rohbau einer schwimmende Tauchschule auf einem Ponton errichtet. Am 16. August wurde in Beisein des brandenburgischen Ministerpräsidenten Matthias Platzeck die Tauchschule eröffnet.



### **Möglichkeiten der Nachsorge**

Das Flutungswasser- und Wasserbehandlungskonzept der LMBV den Gräbendorfer See betreffend sieht wie folgt aus:

- Nachsorge-Spülung des Gräbendorfer Sees während der nächsten etwa 15 Jahre bis 2022 mit Spreewasser und damit Bewahrung vor einer Wiederversauerung,
- Ausgleich der Zehrung des Gräbendorfer Sees und Gewährleistung des Mindestabflusses bis zur Einstellung stationärer Zustände etwa ab 2020 und
- Bereitstellung von sulfatarmem Flutungswasser für den Greifenhainer See aus dem Tagebaufolgesee Gräbendorf und aus der Spree zumindest während der nächsten 15 Jahre.

Vorraussetzung dafür natürlich ist das Wasserdargebot!!!

Alle bisherigen Erfahrungen, die unter anderem am Gräbendorfer See gesammelt worden sind, das seither Erreichte sowie die zukünftig noch erforderlichen Maßnahmen für eine nachhaltige Wirkung der Sanierung sollen dokumentiert und aufbereitet werden in dem nachfolgend kurz vorgestellten Deutsch-Polnischem EU-Projekt.

## Deutsch-Polnisches EU Projekt

### *Ziel des Projektes*

Wie uns hinreichend bekannt ist, gibt es im Lebusa- Land, dort wo in ähnlicher Weise Braunkohle wie in der Region Lausitz abgebaut wird, auch ähnliche wasserwirtschaftliche Probleme.

Aus diesem Grunde haben mein Lehrstuhl und der Lehrstuhl für der Technischen Universität Zielona Gora beschlossen, einen deutsch-polnischen EU-Antrag zu stellen zu dem Thema:

„Einsatz von effizienten Verfahren zur nachhaltigen Sanierung des geschädigten Wasserhaushaltes in Einzugsbereichen von Altlastgebieten und Bergbaufolgelandschaften, als Grundlage einer ganzheitlichen wirtschaftlichen, ökologischen und sozioökonomischen Entwicklung der Standorte“

Dieses Projekt wird als Spiegelprojekt realisiert. Das bedeutet, dass sich jede Partnerseite einen entsprechenden Tagebausee ausgewählt hat und dort entsprechende Untersuchungen anstellt, die geeignet erscheinen, diesen Tagebausee mit ökonomisch und ökologisch vertretbaren Mitteln wasserwirtschaftlich nutzbar zu machen. So können wir Erfahrungen und Technologien austauschen und auf der Grundlage dieser Machbarkeitsstudie (qualifizierte Aufgabenstellung) auch die gemeinsame Sanierung weiterer Tagebauseen herangehen.

Im Rahmen dieses deutsch-polnischen EU-Projektes werden nachfolgende Problemfelder von beiden Partnern bearbeitet:

- Wie werden die erforderlichen Grunddaten für die Sanierung ermittelt?
- Welche, und aus welchen Gesichtspunkten heraus werden für den Tagebausee die Nutzungsziele festgelegt?
- Welche Sanierungsverfahren für Kippengrund- und Oberflächenwässer wurden bisher (bzw. werden gegenwärtig) in entsprechenden Forschungsvorhaben erarbeitet und wie und mit welchem Erfolg wurden sie in der wasserwirtschaftlichen Praxis erprobt?
- Nach welchen Gesichtspunkten werden die Sanierungsverfahren für den jeweiligen Tagebausee ausgewählt?
- Welche Investitions- und Betriebskosten wurden für die einzelnen Sanierungsverfahren bisher ermittelt?
- Gibt es Kosten-Nutzen-Betrachtungen mit dem Ziel einer (teilweisen) Refinanzierung der Sanierungskosten?
- Welche gesetzlichen Grundlagen sind für die Sanierung des Wasserhaushaltes maßgebend: Bergrecht und/oder Wasserrecht und welche Rolle spielt hierbei die EU-Wasserrahmenrichtlinie?

### *Nutzung der Ergebnisse*

Durch den unmittelbaren Vergleich der Problemlösungen (Spiegelprojekt) wird es für die nachfolgenden Sanierungsmaßnahmen an den Tagebauseen möglich, effiziente und ökologisch wie ökonomisch vertretbare Sanierungslösungen zu planen und in die wasserwirtschaftliche Praxis umzusetzen. Das beinhaltet:

- Darstellung und Bewertung der verschiedenen Sanierungstechniken;
- Möglichkeiten der modellhaften Erfassung der geo-hydraulischen Verhältnisse für den zu untersuchenden Tagebausee;
- Darstellung der für den Tagebausee erforderlichen Sanierungsmaßnahmen und –techniken;
- Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten der einzusetzenden Sanierungsverfahren;
- Erfassung der Nutzungsmöglichkeiten des Tagebausees in Verbindung mit der erreichbaren Wasserqualität;
- Kosten –Nutzen- Analyse mit den Varianten:
  - Keine Sanierung des Tagebausees /Wasserhaushaltes (natural attenuation);
  - Nachsorgende Sanierung (Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Einleitbedingungen in die Vorflut) durch Grubenwasserreinigungsanlagen;
  - Präventive Sanierung durch Behandlung des anströmenden Kippengrundwassers und des Tagebauseewassers;
- Einschätzung der prinzipiellen Auswirkungen der Sanierung auf die Umwelt (Darstellung und Bewertung der Grundprinzipien der UVP);
- Erarbeitung eines Handlungsalgorithmus zur Umsetzung der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie (feasibility-Studie).

Ich denke in gleicher Weise sind die Probleme auf polnischer Seite anzugehen.

### **Weiterführende Arbeiten im Rahmen des EU-Projektes**

Mit Erreichen der Zielstellung des Projektes sollen die Ergebnisse genutzt werden, um insbesondere für nachfolgende Problemfelder Lösungen zu bieten:

- Aussagen zur wirtschaftlichen Entwicklung der Lausitz und des Lebusa Landes, d.h. nachzuweisen, dass die bergbaubeeinflusste Region durch eine effektive Sanierung, insbes. der Verbesserung der Wasserqualität in Ver-

- bindung mit entsprechenden Rekultivierungsmaßnahmen, sich zu einer für die Wirtschaft attraktiven Region entwickeln kann;
- Darstellung und Bewertung des Zusammenhanges zwischen den Kosten der Wassersanierung und der Nutzungsberechnung aus der Umsetzung der verschiedenen Nutzungsziele (Speicherwirtschaft, Fischerei, Tourismus, u.a.);
  - Einschätzungen zur ökologischen und sozioökonomischen Entwicklung der Lausitz als Grenzregion zum EU-Partner Polen, mit gleichen bergbaubedingten Problemen;
  - Bewertung der verschiedenen Sanierungsverfahren in ihrem Kosten-Nutzen-Verhältnis bei Berücksichtigung der verschiedenen Nutzungsziele der Tagebauseen;
  - Einschätzung der Entwicklung einer anthropogen gestalteten nachhaltigen Naturlandschaft für die Erhaltung einer sich selbst entwickelnden typischen Flora und Fauna (natural attenuation) sowie der Schaffung einer lebenswerten Umwelt;
  - Darstellung des Nutzens einer zielgerichteten Gefahrenabwehr durch die Unterbindung des Abströmens von saurem und stark sulfathaltigen Grund- und Tagebauseewassers unter dem Blickwinkel der Umsetzung der EU-WRRL; dabei geht es vor allem um den Erhalt intakter aquatischer Ökosysteme.

### Literature

1. KOCH R., SCHÖPKE, R., MANGOLD S., REGEL R., STRIEMANN A.: *Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Untergrundentsäuerung von Kippengrundwässern*. Heft 11, Eigenverlag des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau der BTU Cottbus
2. PREUß V.: *Entwicklung eines biochemischen Verfahrens zur Aufbereitung sulfathaltiger Wässer am Beispiel der Entsäuerung schwefelsaurer Tagebauseen*. Heft 9, Eigenverlag des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau der BTU Cottbus
3. KOCH C.: *Sanierung von Kippengrundwasser durch Neutralisation und Sulfatreduktion mittels in-situ-Reaktionswänden am Beispiel des Tagebausees Nordrandschlauch (Restseenkette Spreetal-Bluno)*. Heft 8, Eigenverlag des Lehrstuhls Wassertechnik und Siedlungswasserbau der BTU Cottbus
4. ROLLAND W., JANNACK K., GRÜNEWALD U.: *Standortbezogene Erfassung und Modellierung von Wasser- und Stoffflüssen in Kippen der Lausitzer Braunkohletagebaue unter Nutzung der Versuchsanlage auf der Innenkippe des Restsees Gräbendorf*. In: Hüttl, R. F.; Klem, D.; Weber, E.

- (Hrsg.): Ökologisches Entwicklungspotential der Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlerevier. Teubner, Stuttgart 2000, 275-288
5. LMBV Informationsbroschüre: *Sanierungsbericht 2005*
  6. LMBV Informationsbroschüre: *Daten und Fakten 2005*
  7. LMBV Informationsbroschüre: „Tagebau Gräbendorf 1981-1992“  
<http://www.lmbv.de>
  8. *Braunkohlebergbau und Sanierung im Raum Greifenhain/Gräbendorf . Landschaft im Wandel*; Informationsbroschüre der LMBV (Hsg.), Juni 2005
  9. DGFZ e. V./ DGC: *Durchführbarkeitsstudie zur Rehabilitation des Wasserhaushaltes der Niederlausitz auf der Grundlage vorhandener Lösungsansätze*. DGFZ e. V./ DGC GmbH, Dresden, März 1995
  10. HEMM M.; NIXDORF B.: *Entwicklungschancen für Tagebauseen am Beispiel Gräbendorfs in der Niederlausitz*: In: Schmitt, M.; Nixdorf, B. (Hrsg.): *Gewässerreport Nr. 4. BTUC-AR 5/98*: 50-59
  11. LMBV & BTUC: *Erfassung und Vorhersage der Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz als Basis für deren nachhaltige Steuerung und Nutzung. Wissenschaftlich-technisches Projekt*. BTU Cottbus, LMBV u.a., Cottbus/Senftenberg 1996/97
  12. Poster: HEMM M., JANNACK K., NIXDORF B.: *Entwicklungsstadien des Tagebausees Gräbendorf in der Niederlausitz, Deutschland*. 1998
  13. Poster: KÜHNE M., NIXDORF B., LEßMANN D.: *Morphologische Entwicklung des Tagebausees Gräbendorf (Niederlausitz) im Prozeß der Flutung und limnologische Auswirkungen*. 1997