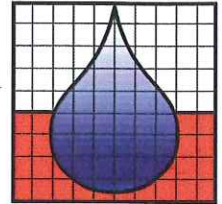


BGD

BODEN- UND GRUNDWASSERLABOR GMBH
DRESDEN



Ergebnisbericht

Untersuchungen von Sedimentproben des Kulkwitzer Sees (Südbecken)

Auftraggeber: Stadt Leipzig
Amt für Umweltschutz
Prager Str. 118-136
04317 Leipzig

Bearbeiter: Dr. rer. nat. I. Guderitz
Dipl. Hydr. B. Heinrich

BGD-Projekt: 10-014

Dresden, 20.08.2010


Dr.-Ing. C. Nitsche

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die
DGA Deutsche Gesellschaft für Akkreditierung mbH akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Verfahren.


DGA-PL-3183.00

BGD Boden- und Grundwasserlabor GmbH Dresden · ein Unternehmen der GICON-Gruppe

Stammsitz Dresden
Tiergartenstraße 48
01219 Dresden

Telefon (03 51) 43 89 90 30
Telefax (03 51) 43 89 90 39

E-Mail: post@bgd-gmbh.de, Internet: www.bgd-gmbh.de

Niederlassung Wolfen
Greppiner Straße 6
06766 Wolfen

Telefon (0 34 94) 66 70 260
Telefax (0 34 94) 66 70 269

Bankverbindung: Commerzbank
BLZ: 850 800 00 Kto.: 01 597 279 00
SWIFT: DRES DE FF 850
IBAN: DE 14 8508 0000 0159 7279 00

Geschäftsführer
Dr.-Ing. Claus Nitsche
Amtsgericht Dresden
HRB 8955 am 24. Januar 1994

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung	2
2	Methodik der Untersuchungen	2
3	Ergebnisse der Untersuchungen.....	5
4	Quellen.....	10

Anlagen:

- Anlage 1: Probenahme-Protokolle, Tiefenprofile
Anlage 2: Untersuchungsergebnisse (Prüfbericht 0810/2)
-

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	RKUS 1, Schnitt 0-10 cm.	4
Abbildung 2-2:	RKUS 2, Oberfläche Sediment.	5
Abbildung 3-1:	Anteile der Phosphorfraktionen (gesamt) in den Sedimenten des Kulkwitzer Sees (Südbecken).....	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vor-Ort-Ansprache der Sedimentliner (Probenahme 15.07.2010)	3
Tabelle 2-2:	Zuordnung der vorgefundenen Sedimentschichten (pro Liner) zu den untersuchten Mischproben	4
Tabelle 3-1:	Untersuchte P-Fractionen in den Sedimentproben	6
Tabelle 3-2:	P-Konzentrationen über Grund unter Sauerstoffmangel-Bedingungen (2001-2009)	8

1 Veranlassung und Zielstellung

Im Südbecken des Kulkwitzer Sees wurde im ersten Halbjahr 2010 eine relativ schnell abnehmende Sauerstoff-Konzentration im Hypolimnion festgestellt. Unter diesen Bedingungen wurde erwartet, dass nach Eintreten anaerober Bedingungen über dem Sediment hier ein P-Freisetzung aus dem Sediment einsetzt. Um das Wirksamwerden dieser seeinternen P-Quelle und deren Folgen zu vermeiden, wurde erwogen, eine Tiefenwasserbelüftung im Südbecken zu installieren.

Als fachliche Grundlage einer solchen, nicht unaufwändigen Maßnahme wurde durch das Umweltamt der Stadt Leipzig, in Zusammenarbeit mit der Landesdirektion Leipzig, eine Sedimentuntersuchung für zwei tiefe Bereiche des Südbeckens beauftragt. Nach Auswertung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollte eine diesbezügliche Kurzbewertung zur Notwendigkeit einer solchen Tiefenwasserbelüftung erfolgen.

Die vorliegenden Sedimentuntersuchungen sind weiterhin als Vorarbeit zur geplanten Aktualisierung der limnologischen Gutachtens von 2002 (BGD 2002) zu betrachten.

2 Methodik der Untersuchungen

Die Sedimentprobenahme erfolgte am 15. Juli 2010 analog der detaillierten Leistungsbeschreibung zur Sedimentprobenahme im LMBV-Merkblatt „Montanhydrologisches Monitoring der LMBV“, Stand 2007.

Entnommen und untersucht wurden zwei Seesedimente aus dem Südbecken des Kulkwitzer Sees. Es wurde der tiefe Bereich bei der UBG-Messstelle im Südbecken sowie ein südlich davon gelegener, ebenfalls tiefer Bereich beprobt (Koordinaten - siehe Tabelle 2-1).

Zur Einschätzung der Sedimentbeschaffenheit und zur Bewertung der Ergebnisse wurden die vor der Beprobung Tiefenprofile für die Milieuparameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoff-Konzentration und Sauerstoffsättigung aufgenommen (siehe Tabelle 2-1 und BGD-Prüfbericht 0810/2 in Anlage 3).

Die Sedimentproben wurden ungestört mittels UWITEC-Sedimentstecher (durchsichtiges Plexiglas, 60 cm Länge, Durchmesser 6 cm) entnommen. Es erfolgte pro Messstelle die parallele Entnahme von 4 Linern.

Die Kerne wurden umgehend dicht verschlossen und gekühlt in das Labor transportiert.

Die Liner wurden im Labor zunächst visuell auf ihre Schichtenfolge untersucht, um auf dieser Basis die Festlegung zu den Entnahmebereichen für die drei geplanten Proben zu treffen. Erwartungsgemäß unterschieden sich die Liner pro Messstelle voneinander, so dass die in Tabelle 2-2 zusammengestellten Schichten zu einer Mischprobe vereinigt wurden.

Diese Mischprobe wurde gründlich homogenisiert und den Analysen zugeführt. Nach Entnahme der dafür notwendigen Menge wurde die restliche Probenmenge für die Gewinnung des Porenwassers verwendet.

Tabelle 2-1: Vor-Ort-Ansprache der Sedimentliner (Probenahme 15.07.2010)

Probenbez.	RKUS 1	RKUS 2
Labor-Nr.	1462 - 1464/10	1465 – 1467/10
Rechtswert	4517862	4517886
Hochwert	5685266	5685112
Entnahmetiefe [m]	26,7	23,1
Messwert über Grund (aus Tiefenprofilen):		
Wassertemperatur [°C]	4,8	4,8
pH-Wert	7,62	7,33
Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]	1770	1680
Redoxpotential [mV]	360	330
Sauerstoff-Konzentration [mg/l]	5,0	5,2
Sauerstoff-Sättigung [%]	39	41
Substrat	0-6 cm: fS, u, t, org 6-20 cm: mS, fs 20-30 cm: g, bk	0-8 cm: fS, u, t, org 8-25 cm: mS, fs, g, bk
Konsistenz	0-6 cm: pastös 6-30 cm: fest	0-8 cm: pastös 8-25 cm: fest
Farbe	0-2 cm hellbraun, schwarz 2-4 cm schwarz, grau 4-4,5 cm orange 4,5-6 cm grau, braun 6-30 cm grau, braun	0-8 cm dunkelbraun, schwarz 8-25 cm grau, braun
Geruch	0-6 cm schwach faulig 6-30 cm ohne	0-8 cm schwach faulig 8-25 cm ohne

Zur Gewinnung des Porenwassers wurden die erforderliche Sedimentmenge unter anaeroben Bedingungen in Druckfiltrationszellen (0,45 µm CN-Filter) überführt. Das Porenwasser wurde mittels Stickstoff bei ca. 2 bar aus dem Substrat herausgefördert und der Analyse (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Eisen (gelöst), Orthophosphat, Gesamt-P) zugeführt.

Die detaillierte Zusammenstellung der Untersuchungsmethodik der Analysen und aller Ergebnisse ist mit dem Prüfbericht 0810/2 in Anlage 2 diesem Bericht beigelegt.

Tabelle 2-2: Zuordnung der vorgefundenen Sedimentschichten (pro Liner) zu den untersuchten Mischproben

Labor-Nr.	Probenbezeichnung	1. Liner	2. Liner	3. Liner	4. Liner
1462/10	RKUS1-1	0-5 cm	0-6 cm	0-8 cm	0-5 cm
1463/10	RKUS1-2	5-9 cm	6-20 cm	8-23 cm	-
1464/10	RKUS1-3	9-19 cm	20-30 cm	-	-
1465/10	RKUS2-1	0-8 cm	0-8 cm	0-8 cm	-
1466/10	RKUS2-2	8-25 cm	8-25 cm	8-25 cm	-
1467/10	RKUS2-K	-	-	-	0-15 cm

Die obere Schicht – ca. 5 bis 8 cm umfassend wies die in Abb. 2-1 gezeigte Bänderung der Ablagerungen auf. Sie zeigt sowohl eine Eisenhydroxidschichten als auch dunkelgraue Bereiche mit vermutlich lokal auftretenden anaeroben Bereichen. Eine organotrophe Schicht als obere Auflage konnte nicht festgestellt werden.

Die dritte Schicht (ab ca. 20 cm) repräsentiert offensichtlich den ursprünglichen Untergrund des Restloches vor Flutung und bestand aus einem mineralisch geprägten, grauen, teils mit Kohlestückchen durchsetzten Substrat.

An der südlich gelegenen Beprobungsstelle wurde diese dritte Schicht nicht mit den Linern erfasst. An dieser Stelle unterschied sich ein Liner deutlich von den anderen drei Linern, so dass dieser separat bearbeitet wurde. Im Unterschied zu den anderen Linern war hier durchweg kohleartiges Substrat anzutreffen. Dieser Befund bestätigt die Erfahrung der Bearbeiter bei der Sedimentuntersuchung in Tagebauseen bezüglich der großen Heterogenität der Sedimente. Dies zeigt sich bereits häufig in geringem Umkreis der Probenahmestelle.



Abbildung 2-1: RKUS 1, Schnitt 0-10 cm.

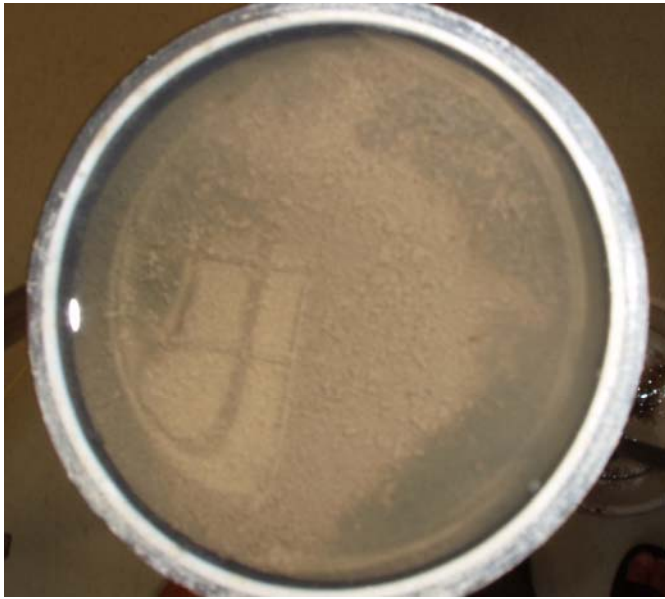


Abbildung 2-2: RKUS 2, Oberfläche Sedimentliner (Draufsicht)

3 Ergebnisse der Untersuchungen

Die obere Schicht stellt das autochthone Sediment des Kulkwitzer Sees dar, das für die Austauschprozesse mit dem Freiwasser im Hypolimnion von besonderer Bedeutung ist.

Diese Schicht weist im Kulkwitzer See einen Trockensubstanzgehalt von ca. 40 % dar. Der Glühverlust – als Maß für die organische Substanz - betrug 5 – 7% TS und war damit deutlich höher als in den darunter Schichten (1 - 3 % TS), aber wesentlich geringer als in organotroph geprägten Sedimenten. Das kohleartige Material, das an der Messstelle RKUS 2 vorgefunden wurde, wies mit einem Glühverlust von 60 % TS erwartungsgemäß einen sehr hohen organischen Anteil auf.

Das Porenwasser hat einen neutralen pH-Wert (bei RKUS 2 etwas höher) und wies eine mit dem Freiwasser vergleichbare hohe Mineralisierung von 2000-2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. In Übereinstimmung mit dem über Grund festgestellten Sauerstoffgehalt von aktuell ca. 5 mg/l wies die obere Schicht ein Redoxpotential von 250 mV (RKUS 1) und 80 mV (RKUS 2) auf und zeigt damit aerobe Bedingungen in der oberen Sedimentschicht zum Zeitpunkt der Beprobung an.

Die Konzentration gelösten Eisens unterschied sich an beiden Messstellen relativ deutlich: während an der tiefsten Messstelle RKUS 1 mit 9-20 mg/l relativ hohe Eisenkonzentrationen nachweisbar waren, war diese Konzentration an der etwas flacheren Messstelle RKUS 2 mit ca. 0,2 mg/l deutlich geringer. Orthophosphat konnte lediglich im Porenwasser der organischen Auflage der Messstelle RKUS 1 mit 0,03 mg P/l nachgewiesen werden. In allen anderen Proben konnten nur Werte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze gemessen werden. Diese war jedoch aufgrund der Eigenfärbung der Proben und der dadurch erforderlichen Verdünnung der Proben mit 0,02 mg P/l erhöht. Die Gesamtphosphor-Konzentration (gelöst) im Porenwasser beträgt in der oberen Schicht 0,035 bzw. 0,091 mg/l.

Auffällig sind die hohen Gesamt-Konzentrationen an Eisen, Calcium und Aluminium. Diese Konzentrationen waren in der oberen Schicht ebenfalls um den Faktor 2 – 4 höher als in den darunterliegenden Schichten und deuten deshalb deutlich auf die Bedeutung von Fällungsprodukten hin. Die mit 3,5 bzw. 3,9 % TS hohen Calcium-Konzentrationen sind mit großer Sicherheit auf die im See stattfindende Calcitfällung hin. Die mit ca. 3 % TS bzw. 2 % TS hohen Eisen- bzw. Aluminium-Konzentrationen in der oberen Schicht entstehen durch die Ausfällung von Eisen- und Aluminiumoxiden, bedingt durch die Einträge mit dem bergbaulich beeinflussten Grundwasser (BGD 2002).

Die Gesamtposphor-Konzentration betrug in den beiden Proben der oberen Schicht 610 mg/kg TS sowie 480 mg/kg TS. Gegenüber den darunter liegenden Schichten, die P-Konzentrationen von 170-240 mg/kg TS aufweisen (typisch für Tagebauseen im Anfangsstadium), ist in der autochthonen Sedimentauflage eine um den Faktor 2-3 höhere P-Konzentration vorhanden.

Um die Wirkung der Sedimente bezüglich der Trophieentwicklung abschätzen zu können, wurden die Proben mittels Phosphor-Fraktionierung nach PSENNER (1984), modifiziert nach HUPFER & GÄCHTER (1995), untersucht.

Die Anteile der Phosphor-Konzentrationen in den nacheinander durchgeführten Extraktionsschritten geben Auskunft über die Bindungsformen des Phosphors und damit auch Informationen über die Rücklösbarkeit aus dem Sediment. Von besonderem Interesse sind dabei der leichtlösliche und der unter reduktiven Bedingungen lösliche Phosphor, der unter bestimmten Bedingungen dem See wieder zugänglich werden kann. Als interne Phosphorquelle kann dieser Prozess zur Eutrophierung beitragen.

Untersucht wurden folgende Fraktionen :

Tabelle 3-1: Untersuchte P-Fraktionen in den Sedimentproben

NH ₄ Cl-Fraktion	im Interstitialwasser befindlicher Anteil, labil an Oberflächen adsorbierter Phosphor (z.B. an Calciumkarbonaten)
BD-Fraktion	unter reduzierenden Bedingungen löslicher P-Anteil, diese Phosphorfraktion liefert den wesentlichen Teil des in eutrophen Gewässern hypolimnisch rückgelösten Phosphors
NaOH-Fraktion	an Metalloxiden (Fe, Al) gebundenes P, durch OH ⁻ austauschbar, auch in Mikroorganismen, Detritus oder Huminstoffen gebundener P, schwer remobilisierbar
HCl-Fraktion	karbonatische Anteile und Apatit-P, schwer remobilisierbar
Rest-Fraktion	refraktärer organischer Phosphor, nicht remobilisierbar

Die Untersuchungsergebnisse der P-Fraktionen (gesamt) für das Sediment im Südbecken des Kulkwitzer Sees zeigt Abbildung 3-1. Daran wird deutlich, dass die für eine Phosphorrücklösung relevanten Fraktionen, die NH₄Cl- und BD-Fraktion, in diesem Sediment nahezu keine Rolle spielen.

Leichtlöslicher Phosphor (NH₄Cl-Fraktion) war in keiner Probe nachweisbar, reduktiv löslicher Phosphor war mit ca. 10 % in der oberen Auflage und 3-7 % in der darunter liegenden Schicht nur in sehr geringen Konzentrationen enthalten.

In der oberen Sedimentschicht waren 30 bzw. 35 % des Phosphors in der NaOH-Fraktion enthalten, die in diesen Sedimenten den an Metalloxiden gebundenen Phosphor repräsentieren. Das wird bedingt durch die Bindung von Phosphor an Eisen- und Aluminiumoxiden, die durch den Eintrag über das Grundwasser im See entstehen, sedimentieren und zu einer P-Mitfällung und Festlegung in dieser Bindungsform führen. Ca. 50-60 % des Phosphors sind in der HCl-Fraktion (karbonatische Anteile und Apatit-P, z.B. auch im Ergebnis der Calcitfällung) sowie in der refraktären Fraktion fest gebunden.

In der darunter liegenden Schicht ist der Anteil unlöslich gebundenen Phosphors prozentual mit 70 bzw. 90 % am Gesamtphosphor noch höher als in der oberen Auflage. Der P-Anteil in der NaOH-Fraktion ist hier dementsprechend geringer (ca. 20 %).

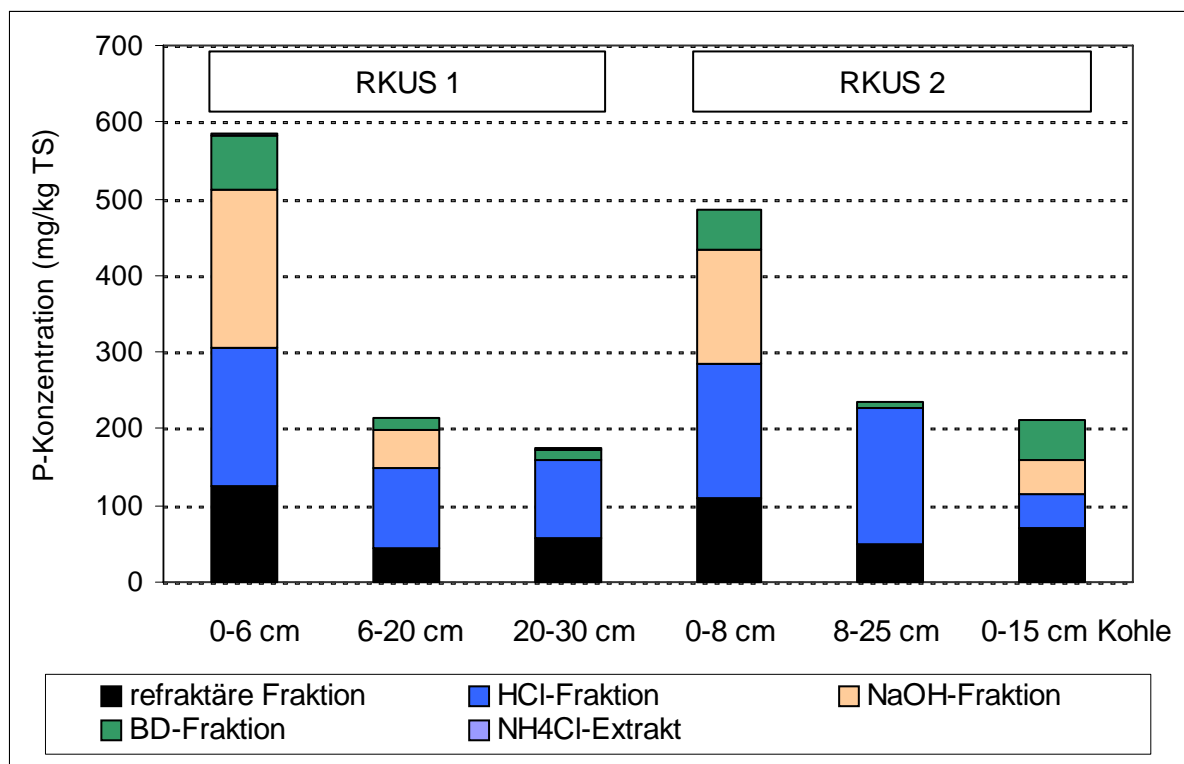


Abbildung 3-1: Anteile der Phosphorfractionen (gesamt) in den Sedimenten des Kulkwitzer Sees (Südbecken)

Als weiteres Kriterium für die Stabilität der Phosphorbindungen in diesen Sedimenten wurde das molare Verhältnis zwischen den Aluminium- und Eisenkonzentration sowie der Phosphorkonzentration geprüft (MPS-Faktor, molarer Metall-Phosphor-Summenquotient, nach Maaßen 2003). Er liegt in allen sechs Proben des Südbeckens zwischen 70 und 80.

Damit liegt dieser Faktor weit über dem als kritisch in Bezug auf P-Remobilisierung angegebenen Faktor von 17 (Maaßen 2003) und zeigt die hohe Bindungskapazität dieser Sedimente für Phosphor.

Neben der hohen Beständigkeit der Phosphorbindungen im Sediment des Kulkwitzer Sees sprechen aber auch die bisher beobachteten limnologischen Verhältnisse gegen die Gefahr einer P-Freisetzung aus dem Sediment.

Dazu wurde anhand der seit 2001 vorliegenden Monitoringergebnisse (Quelle: LDL//UBG) geprüft, ob unter Sauerstoffmangelbedingungen erhöhte P-Konzentrationen in der über Grund entnommenen Probe des Südbeckens nachweisbar waren. Das Ergebnis dieser Recherche ist in Tabelle 3-2 zusammengestellt. Dabei wurden alle Situationen eines Jahres berücksichtigt, in denen nach den Tiefenprofilen über Grund (ca. 1 m) eine Sauerstoffkonzentration unter 2 mg/l vorlag. Die Gegenüberstellung zeigt, dass während der vergangenen neun Jahre zu keinem Zeitpunkt bei Sauerstoffmangel erhöhte P-Konzentrationen nachgewiesen wurden. Das deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen aus dem Jahr 2002 (BGD 2002, Tab. 4.5-2), die für die Jahre 1994 bis 2000 zum gleichen Ergebnis gekommen waren.

Tabelle 3-2: P-Konzentrationen über Grund unter Sauerstoffmangel-Bedingungen (2001-2009)

Datum	Sauerstoff	Gesamt-P	o-Phosphat-P
	mg/l	mg/l	mg/l
24.09.2001	1,7	0,026	< 0,006
10.10.2002	0,4	< 0,04	< 0,01
09.09.2003	2,0	0,01	< 0,005
13.11.2003	0,1	0,01	0,01
19.10.2004	2,1	0,026	< 0,003
21.09.2004	1,3	0,021	< 0,003
15.11.2004	1,2	0,019	< 0,003
27.09.2005	2,2	0,017	< 0,005
07.11.2005	0,7	0,03	0,003
05.09.2006	2,1	0,011	n.a.
05.10.2006	2,1	0,012	n.a.
02.11.2006	1,7	0,009	n.a.
21.10.2008	1,2	0,006	0,007
20.10.2009	2,6	< 0,01	< 0,01
09.11.2009	0,9	< 0,01	< 0,01
30.11.2009	0,8	0,011	< 0,01

Die dargestellten Ergebnisse zur Geochemie der Sedimente, zu den P-Bindungsformen (PSENNER-Fraktionierung) sowie dem Zusammenhang zwischen den Sauerstoffverhältnissen und P-Konzentrationen über dem Sediment lassen die Schlussfolgerung zu, dass in diesen Sedimenten ein redoxunabhängiger Mechanismus der P-Bindung wirksam ist. Wie HUPFER und LEWANDOWSKI (2008) in ihrem Übersichtsartikel beschrieben, können solche redoxunabhängigen P-Bindungsprozesse vielfältiger Natur sein.

Für die Sedimente des Kulkwitzer Sees sind diesbezüglich die geochemische Charakteristik – insbesondere die hohen Aluminium-Konzentrationen – zu nennen, für die bereits mehrfach eine hohe und redoxunabhängige P-Bindung nachgewiesen wurde (ULRICH 1997).

Für diese Hypothese sprechen sowohl die hohen Aluminium-Konzentrationen im Sediment sowie auch die Verteilung des in den einzelnen Fraktionen bestimmten, löslichen Aluminiums im Zuge der P-Fraktionierung. Hier konnte festgestellt werden, dass 85-95 % des Aluminiums erst in der refraktären Fraktion enthalten waren, d.h. in schwerlöslicher Form vorliegen. Selbst in der HCl-Fraktion waren nur 4-8 % des Aluminiums zu erfassen.

Für die Sedimente des Kulkwitzer Sees bedeutet dies, auch unter zusätzlicher Berücksichtigung der hohen Eisenkonzentrationen, eine sehr hohe P-Bindungskapazität, die unter diesen geochemischen Bedingungen als weitgehend redoxunabhängig eingeschätzt wird. Da unter diesen Bedingungen Sauerstoffmangel nicht zur P-Freisetzung aus dem Sediment führt, ist eine Belüftung des Hypolimnions im Kulkwitzer See zur Vermeidung dieses Prozesses nicht notwendig. Aufgrund der hohen P-Bindungskapazität dieser Sedimente ist mit P-Freisetzung aus dem Sediment in absehbarer Zeit und unter den gegebenen Trophiebedingungen nicht zu erwarten.

4 Quellen

- BGD 2002: Limnologisches Gutachten für den Kulkwitzer See, II. Phase, BGD Boden- und Grundwasserlabor GmbH Dresden, 11. März 2002.
- Hupfer, M., Gächter, R. (1995): Einfluss der hypolimnischen Belüftung auf die P-Immobilisierung im Sediment des Sempachersees; In: Jaeger, D., Koschel, R. (Hrsg.); Verfahren zur Sanierung und Restaurierung stehender Gewässer; S. 99-113, Fischer Verlag Stuttgart (Limnologie aktuell Bd. 8).
- Hupfer, M. Lewandowski, J. (2008): Oxygen controls the phosphorus release from lake sediments – a long-lasting paradigm in limnology, Internat. Rev. Hydrobiol. 93, (4-5), 415-432.
- Maaßen S., I. Röske, D. Uhlmann: Chemical and microbial composition of sediments in reservoirs with different trophic state; Internat. Rev. Hydrobiol. 88 (5), 508-518.
- Psenner, R., Pucsko, R., Sager, M. (1984): Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten – Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen; Arch. Hydrobiol./Suppl. 70(1984), 111-155.
- Ulrich, K. U. (1997): Effects of land use in the drainage area on phosphorus binding and mobility in the sediment of four drinking-water reservoirs; Hydrobiol. 345, 21-39.