

Abschlußbericht

zum Projekt

"Schadstoffsenke Muldestausee – Aktuelles Potenzial und jüngste Entwicklung seit 2002"

Baustein 29 des Sedimentmanagementkonzepts der FGG Elbe als nationaler Beitrag zum IKSE- Sedimentmanagementkonzept

Auftraggeber (AG):

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Umweltschutz Hamburg, Abteilung Wasserwirtschaft, Projekt ELSA der Freien und Hansestadt Hamburg



Auftragnehmer:

Dr. habil. Frank W. Junge (junge-erdwissen)
–Freier Berater Geowissenschaften–
Gewerbepark Rösl, Pönitzer Weg 2, 04425 Taucha
fwjunge@gmx.de / Tel. 01638447559



Verteiler: zwei Exemplare an Auftraggeber (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg) und ein Exemplar an verantwortlichen Koordinator des Bausteins 29 des Sedimentmanagementkonzepts der FGG Elbe (Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt; LHW)

Auftragnehmer

Taucha, den 06.11.2013

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Geographie und Grunddaten Muldestausee	4
3. Untersuchungsergebnisse Sedimentkerne	7
3.1. Beschreibung Sedimentkerne	7
3.1.1. Sedimentkerne aus dem Hauptbecken	7
3.1.2. Sedimentkerne aus dem Friedersdorfer Becken	11
3.2. Geochemie (anorganische Schadstoffe)	14
3.2.1. Qualität der im Muldestausee lagernden Sedimente	14
3.2.2. Verteilungstrends der im Muldestausee lagernden anorganischen Schadstoffe	15
3.2.3. Schlussfolgerungen	31
3.3. Geochemie (organische Schadstoffe)	32
4. Untersuchungsergebnisse Konzentrationsvergleich gelöst/partikulär	36
5. Muldestausee als Schadstoffsенke	38
5.1. Gibt es Veränderungen in der Ökosystemleistung des Muldestausees?	38
5.1.1. Sedimentrückhalt	38
5.1.2. Schwermetallrückhalt	46
5.2. Wie hoch sind die entsprechenden Frachtanteile (t/a) der elberelevanten Schadstoffe (Schwermetalle) und welche Schadstoffmengen sind bisher im Muldestausee abgelagert?	48
5.3. Welche mögliche zeitliche Dauer hat die Wirksamkeit des Muldestausees als Sediment- und Schwermetallsenke? – Lebensdauer des Muldestausees.	51
5.4. Besteht in absehbarer Zeit aus hydraulischer Sicht ein Erfordernis die belasteten Sedimente aus dem Muldestausee zu entfernen?	54
5.5. Bei welchen Hochwässern ist eine Mobilisierung möglich und welche Aus- wirkungen hat eine etwaige Schadstoffremobilisierung für den Unterstrom?	55
5.6. Gibt es Möglichkeiten einer längerfristigen Akkumulation der Sedimente im Muldestausee durch zusätzliche Maßnahmen und für einen verbesserten Rückhalt der als elberelevant ausgewiesenen Schadstoffe im Muldestausee?	56
5.7. Ist mit den in Sachsen oberhalb des Muldestausees geplanten Maßnahmen zukünftig eine Einhaltung der Umweltqualitätsnormen gemäß OGewV im Muldestausee zu erwarten? Wenn nein, welche Qualitätsziele sind erreichbar?	60
6. Zusammenfassung	61
Literatur	
Verzeichnis der Abbildungen	
Verzeichnis der Tabellen	
Anlagen	

1. Einleitung

Die Mulde gehört auf Grund ihrer hydrographischen Lage als Vorfluter für Grubenwässer und aus Altlastbereichen der ehemaligen Bergbaureviere des Erzgebirges zu dem Nebenfluss der Elbe, der ein extrem hohes kontinuierliches Verlagerungs- und Austragungspotenzial von ökotoxikologisch wirksamen (Halb)Metallen (Cd, Pb, Zn, As, Hg) aufweist. Resuspendierung und Verlagerung von metallbelasteten Altsedimenten aus dem Muldeinzugsgebiet bei Hochwässern führen zu ihrer Sedimentation auf den Retentionsflächen der Auengebiete im Unterlauf der Mulde und zum Eintrag in den Elbestrom mit Auswirkungen bis in den Sedimentationsraum des Hamburger Hafens und des Nordsee-Ästuars. Für den Rückhalt von Schadstoffen im Gewässersystem der Elbe mit ihren Nebenflüssen kommt den im Einzugsgebiet vorhandenen und für eine Sedimentation bevorzugten wasserberuhigten Zonen in Form von Stauanlagen, Polderflächen, Bühnenfeldern, Auen eine besondere Rolle zu. Ihr Rückhaltvermögen, der Fixierungsgrad der Schadstoffe und die Dauer des Sedimentrückhalts bestimmen zusammen mit der Abschätzung möglicher ökotoxikologischer Gefährdungen das Schadstoffsedimentmanagement.

Langjährige Schwebstoff-, Metallfracht- und Sedimentuntersuchungen an der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Arbeitsgruppe „Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten“) weisen den von der vereinigten Mulde durchströmten Bitterfelder Muldestausee als die bedeutende langjährige Sedimentfalle für das untere Elbesystem bezüglich metallbelasteter Schwebstoffe aus. Auch seine Wirksamkeit für den Sediment- und Schadstoffrückhalt bei extremen Durchflüssen ist durch Untersuchungen zum extremen Augusthochwassers 2002 belegt. Die im Muldestausee seit 1975 abgesetzten Sedimente erweisen sich in summa als ein sehr gutes Archiv zur Rekonstruktion der Schadstoffentwicklung im gesamten Muldeinzugsgebiet und zur Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Gefährdungspotenzials. Am Beispiel des Bitterfelder Muldestausees wird in besonderem Maße nicht nur die Bedeutung von Stauanlagen im Flusseinzugsgebiet für den Sedimentrückhalt deutlich, sondern auch die Möglichkeit ihre Sedimentarchive als Monitoring für Maßnahmen des Schadstoffmanagement zu nutzen (ZERLING u.a. 2001, JUNGE u.a. 2004a-c, KÄMPF u.a. 2012).

Angesichts der großen ökologischen und ökonomischen Bedeutung des Muldestausees als nachhaltig wirksame Schadstoffsенke und als bedeutsamer Einflussfaktor bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie für das Untere Muldesystem ist der Hauptfokus im vorliegenden Auftragsbericht auf die Untersuchung der Entwicklung der Schwermetallbelastung der Mulde und auf die Prüfung einer möglichen Veränderung der Schwermetalldeposition während der letzten 10 Jahre, insbesondere seit dem Jahrhunderthochwasser 2002, gerichtet. Dabei werden auf der Grundlage aktueller Untersuchungen und unter Einbeziehung der bis 2002 vorliegenden Altdaten für das Schadstoffsedimentmanagementkonzept (SSMK) der Elbe notwendige Aussagen zur möglichen Veränderung der Ökosystemleistung des Muldestausees, Abschätzungen zur zeitlichen Dauer und Qualität seiner Wirksamkeit, zum Rückhalt bei Extremhochwässern und zu möglichen Maßnahmen der Optimierung seiner Funktion als Schadstoffsенke abgeleitet.

2. Geographie und Grunddaten Muldestausee

Der Bitterfelder Muldestausee entstand 1975 durch Verlegung eines etwa zehn Kilometer langen Abschnitts der Mulde aus dem Gelände des damals neu zu erschließenden Tagebaus Goitsche (heutiger Große Goitzschensee bzw. Bernsteinsee), westlich von Pouch und Mühlbeck. Er stellt einen der bedeutendsten, künstlich angelegten Durchflusseen mit einem mittleren Durchfluss der Mulde (MQ) von rund $64,7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (MQ 1961 bis 1990; Station Bad Dübener Heide) dar und befindet sich etwa 5 km nordöstlich von Bitterfeld, am Westrand der Dübener Heide zwischen den Ortslagen Pouch, Mühlbeck, Friedersdorf und Schlaitz. Verlegt wurde die Mulde durch den Tagebau Muldenstein, aus dem von 1955 bis 1975 ca. 126 Mio. Tonnen Braunkohle gefördert und ca. 439 Mio. m^3 Abraum bewegt wurden.

Mit der Flutung entstand ein durch zwei Restlöcher gekennzeichneter See von $6,1 \text{ km}^2$ Fläche und 118 Mio. m^3 Wasserinhalt. Über eine bei Friedersdorf errichtete, ca. 4,7 m hohe Staumauer verlässt die Mulde den See. Der Bitterfelder Muldestausee ist morphologisch dreigeteilt. Er besteht aus einem ca. $4,8 \text{ km}^2$ großen Hauptbecken am Zulauf der Mulde bei Pouch und einem nur ca. $0,65 \text{ km}^2$ großen Nebenbecken am Ablauf bei Friedersdorf. Beide Bereiche sind durch einen ca. 5 m tiefen, etwa 300 m breiten und ca. 1200 m langen, schlauchförmigen Abschnitt verbunden. Auf das bis maximal 32 m tiefe Hauptbecken entfallen etwa 95 % des gesamten Wasservolumens des Stausees. Das kleinere Friedersdorfer Becken ist maximal 24 m tief. Der gesamte Muldestausee ist 5,85 km lang und maximal 1,9 km breit. Seine mittlere Wassertiefe beträgt 19,5 m. In beiden Becken fällt die Unterwasserböschung bereits wenige Meter vom Ufer entfernt steil ab. Diagonal durch den nördlichen Hauptbeckenteil zieht sich von Südosten nach Nordosten der sog. Bärenholzrücken hin, ein fossiler Strandwall und Dünenzug der Bitterfelder Küstenlandschaft vor 25 Mio. Jahren (Oberoligozän), der vom Kohleabbau ausgespart, heute im Bitterfelder Muldestausee eine Flachzone mit Wassertiefen um 10 m darstellt.

Der Seeboden des Bitterfelder Muldestausees im Hauptbecken ist stark reliefiert mit engscharigen Tiefenbereichen, hervorgerufen durch die von der Strömung noch nicht nivellierten Kiprippen. Das kleinere Friedersdorfer Becken hingegen weist eine trogförmige Form mit ausgeglichenem Seebodenrelief auf. Im Nordwesten des Hauptbeckens wurde eine kleine Vogelschutzinsel künstlich angelegt. Im Bereich des Zulaufes der Mulde haben sich durch Schüttung grobkörnigen Materials in den See (Deltabildung) mehrere, vom Muldestrom durchbrochene Inseln entwickelt, die inzwischen bewachsen sind und nur noch während größerer Hochwässer überflutet werden.

Die Flutung des Bitterfelder Muldestausees begann am 30. April 1975 und war im Dezember 1975 abgeschlossen. Sein Wasserspiegel liegt je nach Stauhöhe bei ca. +79 m über NN. Ursprüngliche Aufgabe des Sees war die Brauchwasserversorgung der chemischen Industrie im Raum Bitterfeld/Wolfen. Heute dient er der Naherholung, zum Wassersport, zum Angelsport und der Naturschutzbildung (Naturschutzzentrum „Haus am See“). Bis zu 23 verschiedene Fischarten sind im Muldestausee nachgewiesen. Mit dem Bau von Fischtreppe am Zu- und Ablauf ist seit 2008 die Durchgängigkeit des Muldestausees für Fische erreicht.

Der Durchfluss der Mulde durch den Bitterfelder Muldestausee führt zur Ablagerung feinkörniger Sedimente im See, die auch einen Großteil der dem Einzugsgebiet der Mulde entstammenden Metallfracht (Cd, Pb, As, Zn, Ni, Cr, Cu) binden. Ihr effektiver Rückhalt im Seebecken hat den Bitterfelder Muldestausee die Funktion einer bedeutenden Schwebstoff- und Schwermetallsenke für die untere Mulde und Elbe zugewiesen.

Tabelle 1: Grunddaten des Muldestausees

	Muldestausee (insges.)	Hauptbecken	Friedersdorfer Becken
Fläche (ha)	615	490	69
Tiefe (m) (mittel / max.)	19,5 (mittel)	21 / 32	19,5 / 24
Wasservolumen (Mio. m ³)	118	102	15
Einstauhöhe (m)	4,5		
Speichervolumen (Mio. m ³)	20		
Einzugsgebiet (km ²)	6170		
NNW (m ³ /s)	Pegel Bad Düben: 1,4 (1911)		
MQ (m ³ /s)	Pegel Bad Düben: 64,7 (1961-1990)		
HHQ (m ³ /s)	Pegel Bad Düben: 1920 (1954); 1760 (2002); 1810 (2013)		

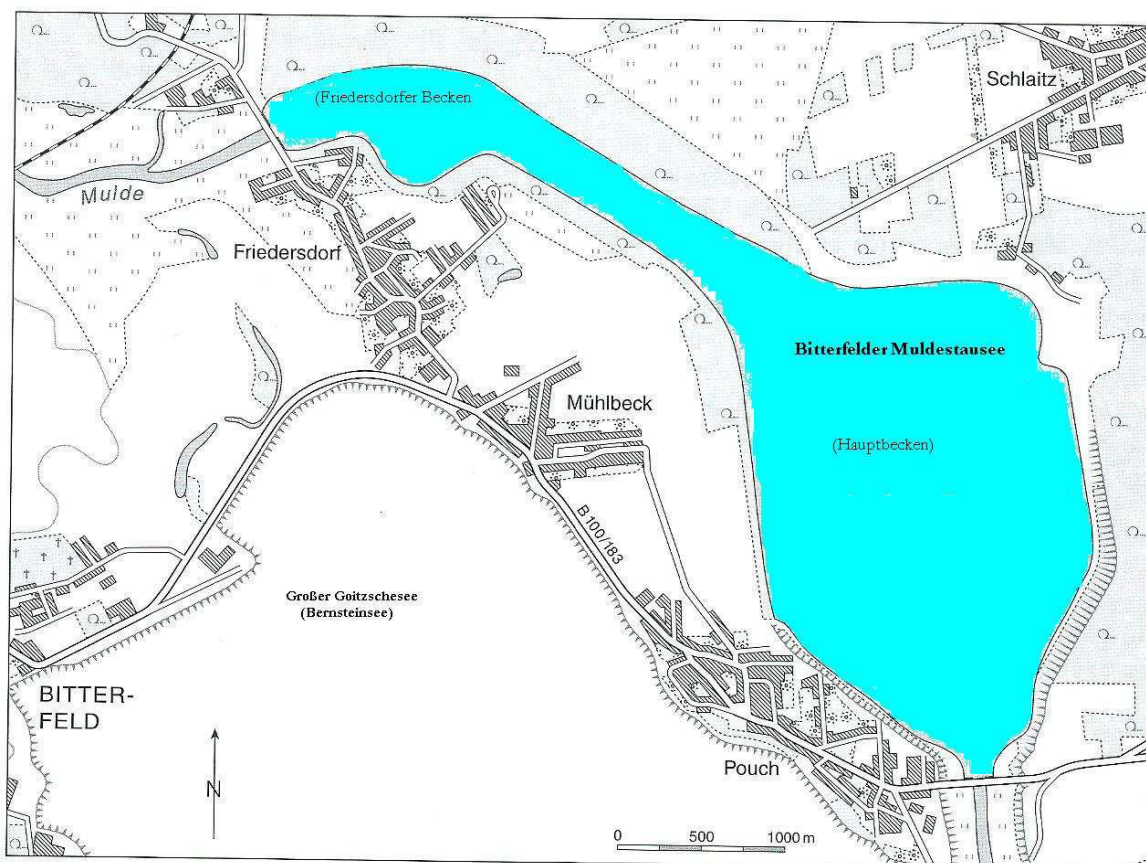


Abb 1: Geographische Lage des Bitterfelder Muldestausees

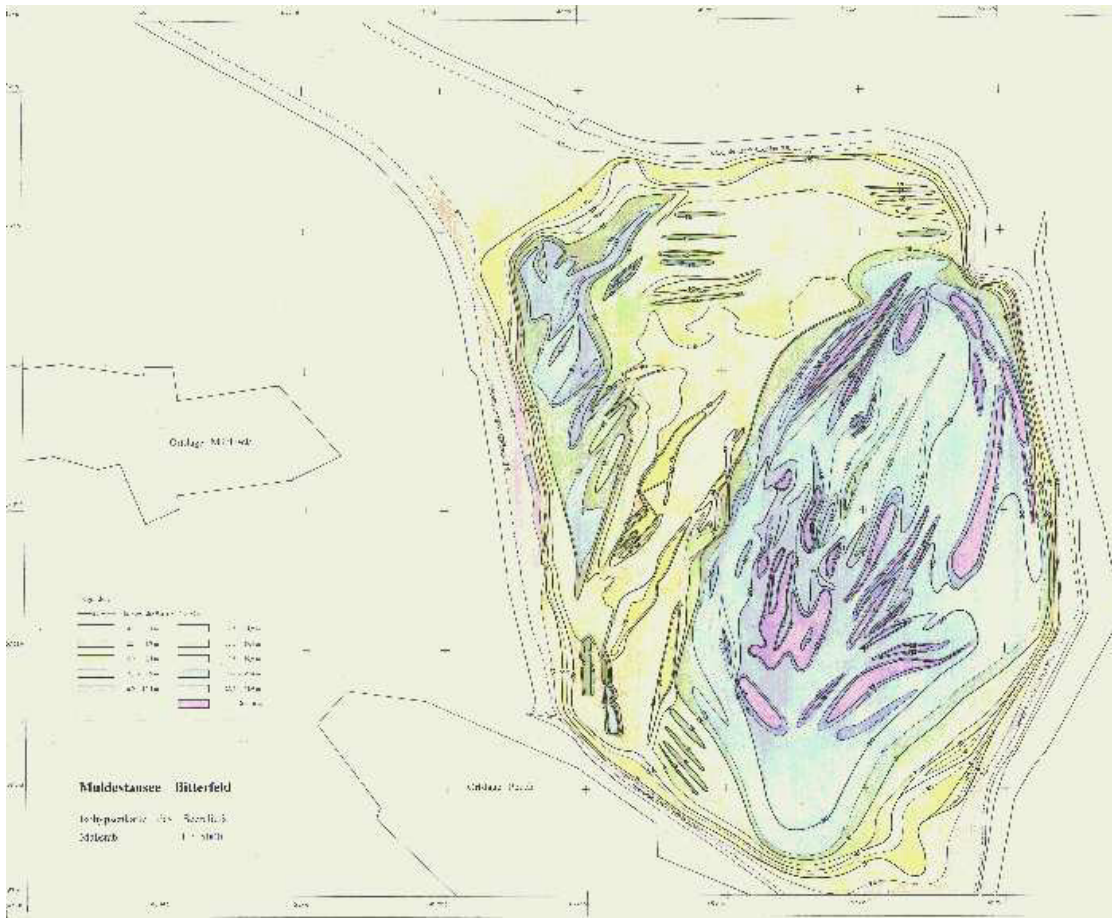


Abb 2: Reliefkarte des Hauptbeckens des Bitterfelder Muldestausees. Deutlich sichtbar ist die Teilung des Hauptbeckens in zwei Tiefenbereiche, die durch den das Seebecken querenden Bärenholzrücken voneinander getrennt sind.

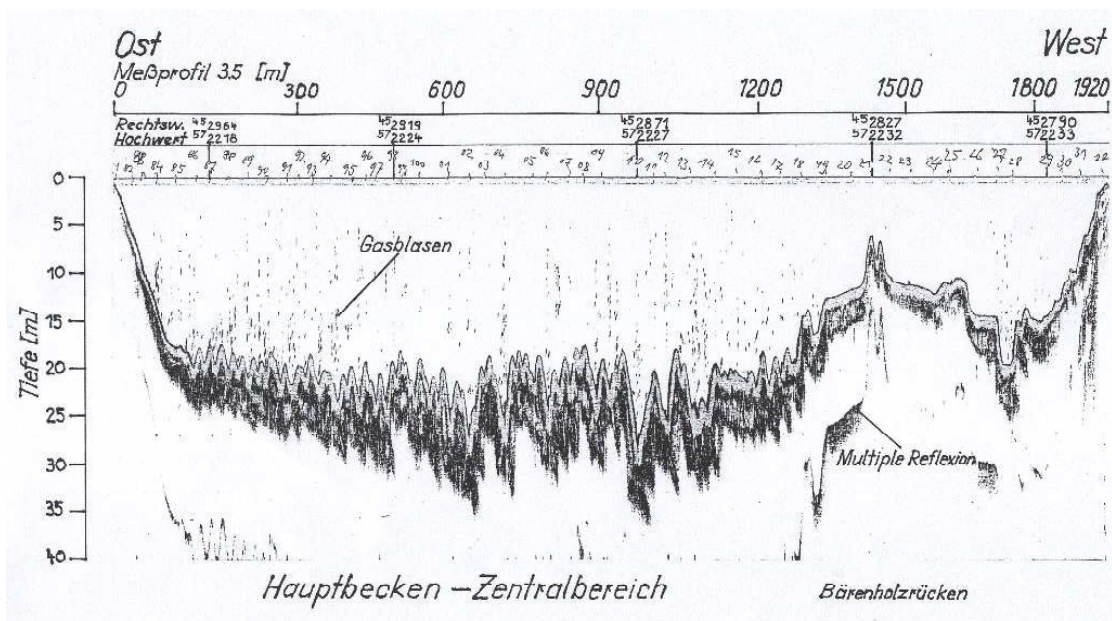


Abb 3: Das Seebodenrelief des Bitterfelder Muldestausees in einem Ost-West verlaufenden Profil durch das Hauptbecken.

3. Untersuchungsergebnisse Sedimentkerne

Im Juli 2012 wurden aus dem Hauptbecken und dem Friedersdorfer Becken des Muldestausees erneut mehrere Sedimentkerne mit dem Mondseecorer entnommen. Die zeitliche Einordnung der in den Kernen auftretenden Schichten wurde entsprechend der in Junge u.a. (2004a-c) dargestellten Methode durchgeführt. Die Auswertung der lithologischen und geochemischen Befunde erfolgte unter Einbeziehung der Ergebnisse, die an in 2002 entnommenen Sedimentkernen aus den beiden Beckenbereichen des Muldestausees erzielt werden konnten. Eine Konnektierung der in 2002 und in 2012 entnommenen Sedimentkerne war an Hand der lithologischen und geochemischen Merkmale sehr gut möglich. Die beim Hochwasser 2002 abgesetzte Sedimentlage erwies sich dabei als eine ausgesprochene Leitmarke. Eine Übersicht über die insgesamt aus dem Muldestausee vorliegenden und untersuchten Sedimentkerne ist in **Tabelle 2** gegeben.

Tabelle 2: Zusammenstellung der aus dem Muldestausee entnommenen Sedimentkerne

			Rechtswert (E)	Hochwert (N)		Kerntiefe	Untersuchungen
	Hauptbecken						
	Mul4	April 2002	4528690	5722080	27,0	2,00	Lith., Geoch.
	Mul4HW	Sept. 2002	4528680	5722080	20,0	0,36	Lith., Geoch.
	MuSt-HB1	Juli 2012	4529624	5722375	21,8	0,29	Lith.
	MuSt-HB2	Juli 2012	4528762	5722929	19,0	0,31	Lith., Geoch.
	MuSt-HB3	Juli 2012	4528238	5722774	10,0		Reserve
	MuSt-HB4	Juli 2012	4528861	5721442	20,0		Reserve
	MuSt-HB8	Juli 2012	4529110	5722559	22,0		Reserve
	Friedersd. B.						
	Mul1	April 2002	4525610	5724670	21,0	1,60	Lith., Geoch.
	Mul1Mo	April 2002	4525610	5724670	21,0	0,28	Lith., Geoch.
	Mul1HW	Sept. 2002	4525600	5724660	20,0	0,38	Lith., Geoch.
	MuSt-FB5	Juli 2012	4525903	5724631	19,5		Reserve
	MuSt-FB6	Juli 2012	4525874	5724748	20,0	0,30	Lith.
	MuSt-FB7	Juli 2012	4525688	5724772	20,5	0,39	Lith., Geoch.

3.1. Beschreibung der untersuchten Sedimentkerne

3.1.1. Sedimentkerne aus dem Hauptbecken:

Kern Mul4 (April 2002): Mit dem im April 2002 gewonnenen 2 m langen Kern wurde das hier insgesamt 1,35 m mächtige und seit 1975 abgelagerte Seesediment durchteuft. Das Liegende des Seesedimentes bestand aus grauweißen bis braunen, stark kohligem und häufig laminierten Tertiärton (**Abb. 4, rechts: unterer Kernabschnitt**). Das Seesediment war makroskopisch in mehrere Abschnitte unterteilbar: Die obersten 20 cm erscheinen als ungeschichteter, z.T. dünnlaminiertes schwarzer organikreicher Schluff. Darunter folgt ein ca. 10 cm umfassender Bereich mit zwei ca. 4 cm mächtigen hellen Lagen, getrennt voneinander durch eine 2 cm mächtige dunkle Lage. Der nächstfolgende, ca. 25 cm umfassende liegende Abschnitt besteht aus einer engen Wechsellagerung von mehreren 0,5 cm mächtigen gelblichgrauen und schwarzen Laminen, wobei die hellen Lagen den Gesamteindruck bestimmen (**Abb 4, links: oberer Kernabschnitt**). Ab einer Teufe von ca. 0,55 m ist ein deutlicher Farbwechsel im Sediment von hell nach dunkel festzustellen (**Abb 4, mitte: mittlerer Kernabschnitt**). Ab hier bis zur Grenze

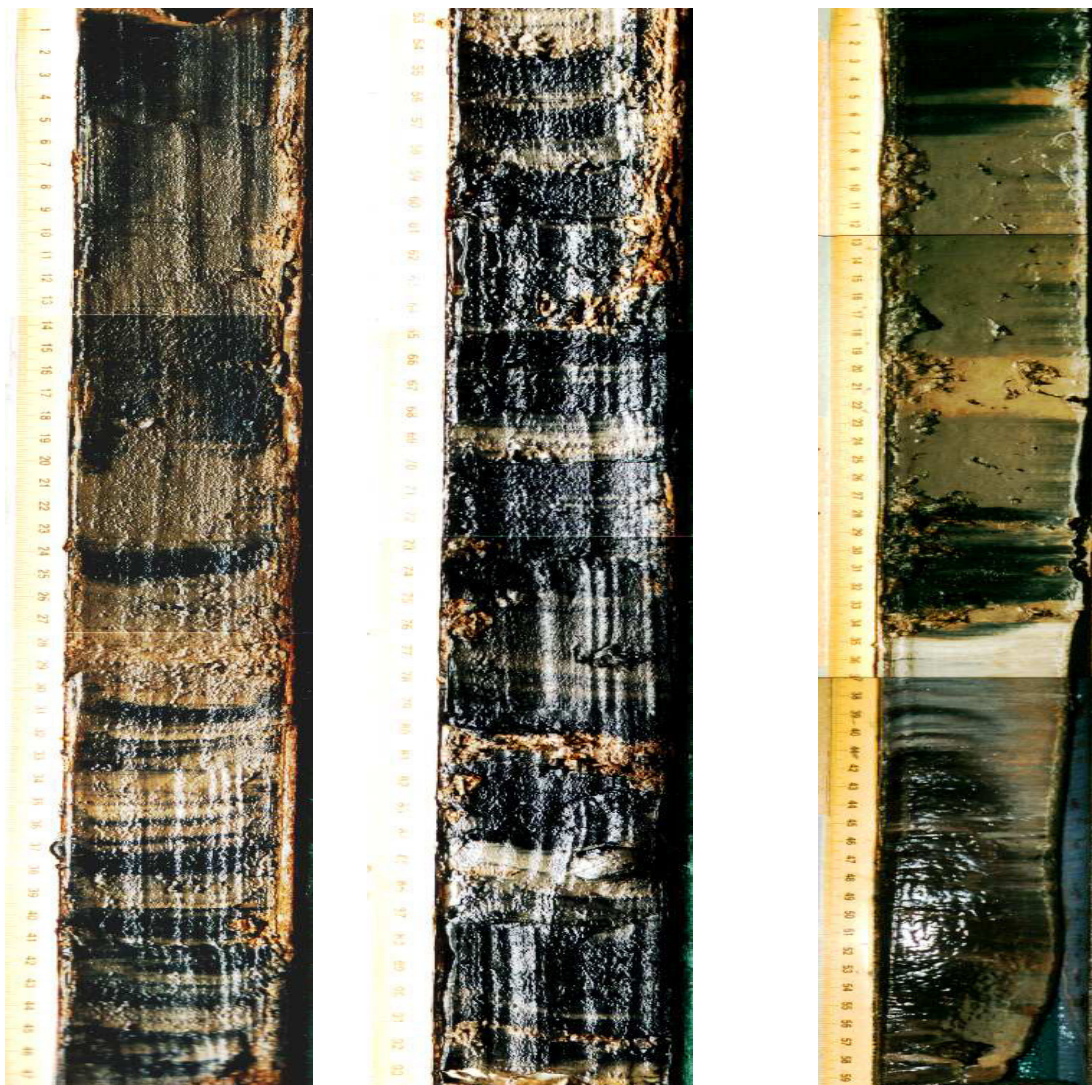
des tertiären Liegenden überwiegen die schwarzen organikreichen lagen und die farblichen Unterschiede zwischen den Laminen erscheinen verschwommen. Einzelne helle, z.T. bis 3 cm mächtige gröbere lagen unterbrechen die organikreiche Sedimentation, so vor allem bei den Profiltiefen 69-70 cm, 80-81 cm, 84-85 cm, 93-94 cm und 119-121 cm.

Ordnet man den Kern Mul4 zeitlich ein (Abb. 4), so dokumentiert der obere heller erscheinende Kernabschnitt die Sedimentationsperiode seit 1990 („Wende“) mit reduziertem Organikeintrag. Der mittlere Kernabschnitt ist der durch hohe Organikeinträge gekennzeichneten Sedimentation zu DDR-Zeiten (1975- ca. 1990) zu zuordnen. Durch die geochemischen Daten wird diese zeitliche Einordnung bestätigt. Der untere Kernabschnitt besteht ausschließlich aus den ehemaligen Tagebaufuss aufbauenden, tertiärem Liegendensediment.

Oberer Kernabschnitt

Mittlerer Kernabschnitt

Unterer Kernabschnitt



Kern Mul4 (Hauptbecken) vom April 2002

Abb 4: Kern Mul4 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (April 2002).

Kern Mul4HW (September 2002): Der im September 2002 nach dem extremen August-Hochwasser gewonnene ca. 35 cm mächtige Kurzkern ist deutlich laminiert und lässt sich makroskopisch in drei Abschnitte gliedern. Die oberen 6 cm werden von der zweigeteilten hellen Hochwasserlage vom August 2002 eingenommen. Darunter folgt ein ca. 18 cm mächtiger, nach unten deutlich dunkler werdender Abschnitt, der aus einer Wechsellagerung mehrerer schwärzlich-grauer, dunkler und grau-gelber bis gelber heller Lagen aufgebaut ist. Dieser ist dem Zeitabschnitt der Sedimentation seit 1990 („Wende“) zu zuordnen. Ab einer Tiefe von ca. 25 cm bis zum Kernende überwiegen bei Beibehaltung der Lamination, die schwarzen, durch einen hohen organischen Anteil hervorgerufenen Farben in beiden Lagentypen. Dieser liegende Abschnitt entspricht dem während der DDR-Zeit (seit 1975- ca. 1990)) abgesetzten Seesediment (**Abb. 5**).

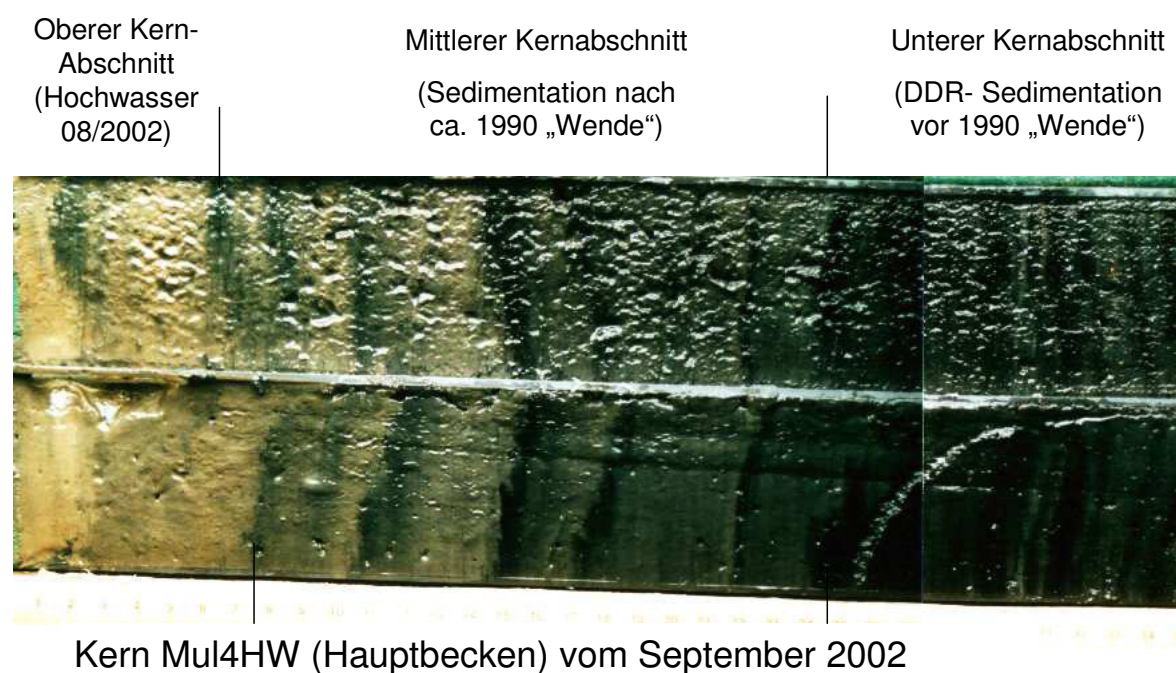
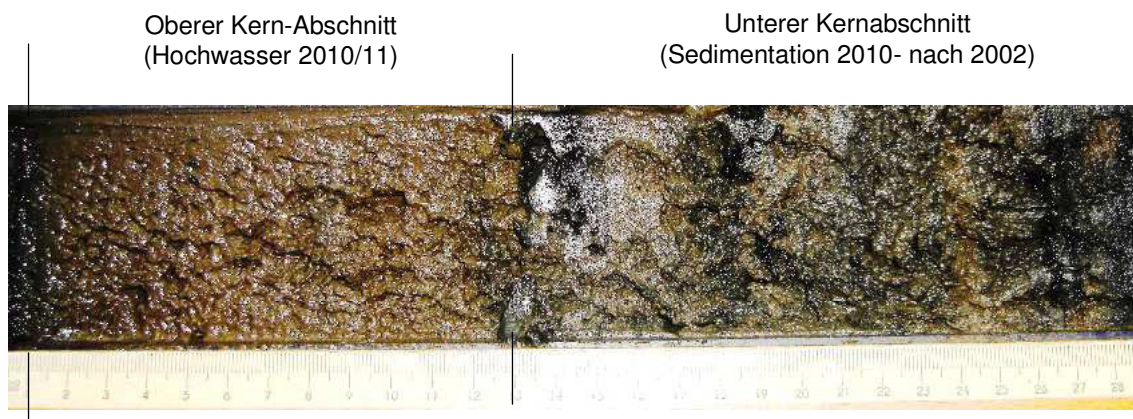


Abb 5: Kern Mul4HW aus dem Hauptbecken des Muldestausees (September 2002).

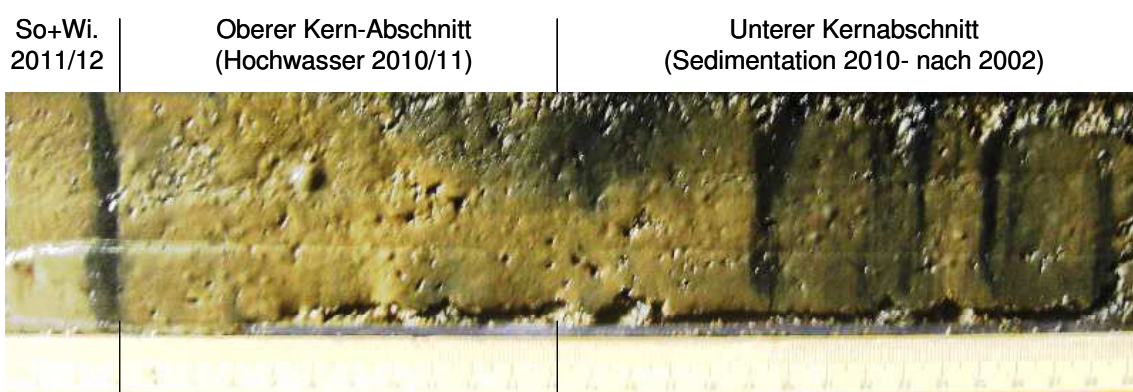
KernMuSt-HB1 (Juli 2012): Der knapp 30 cm lange Kurzkern zeigt eine ausgesprochene Zweiteilung. Die oberen 12,5 cm bestehen aus einem ungeschichteten, rötlichgelb (erhöhter Fe-Anteil) gefärbten Schluff. Als jüngste Schicht deutet sich auf dem Top dieser Massivschicht eine (wahrscheinlich bei der Kernentnahme nicht erfasste) dunklere Lage mit höheren Anteilen an Organik an. Die mächtige Ereignislage wird mit dem extremen Winterhochwasser 2010/2011 in Zusammenhang gebracht, welches Tagesdurchflussspitzen bis 730 m³/s (16.01.2011) aufwies. Der Abschnitt unterhalb der Ereignislage bis zur Kernbasis (Kernabschnitt 12,5- 29 cm) weist eine deutliche Lamination auf. Er besteht aus sechs dunklen, organikreichen Lagen, die jeweils von hellen, ebenfalls rötlichgelb gefärbten Ereignislagen unterbrochen werden. Die Unterschiede zwischen den beiden Lagentypen erscheinen bis auf die obersten zwei organikreichen Lagen und die schwarze, organikreiche Basislage des Kerns eher verschwommen. Die Hochwasserlage von 2002 wurde im vorliegenden Kurzkern nicht erreicht (**Abb. 6**).



Kern MuSt-HB1 (Hauptbecken) vom Juli 2012

Abb 6: Kern MuSt-HB1 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (Juli 2012).

Kern MuSt-HB2 (Juli 2012): In dem ebenfalls im Juli 2012 aus dem Hauptbecken entnommenen, 30 cm lange Vergleichskern MuSt-HB2 wird das extreme Winterhochwasser von 2010/2011 durch eine weitgehend undifferenzierte, 12 cm mächtige, rötlich-gelb gefärbte Ereignislage widerspiegelt. Sie wird überlagert von einer organikreichen, dunklen Lage (Sommer 2011) und einer das Oberflächensediment widerspiegelnden hellen Lage (Winterhalbjahr 2011/2012). Der Abschnitt unterhalb der Ereignislage bis zur Kernbasis (Kernabschnitt 15 - 30 cm) weist eine deutliche Lamination auf, wobei mindestens drei dunkle, organikreiche Lagen diesen charakterisieren. Die Hochwasserlage von 2002 wurde im vorliegenden Kurzkern ebenfalls nicht erreicht (Abb. 7).



Kern MuSt-HB2 (Hauptbecken) vom Juli 2012

Abb 7: Kern MuSt-HB2 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (Juli 2012).

3.1.2. Sedimentkerne aus dem Friedersdorfer Becken.

Kern Mul1 (April 2002): Mit diesem im April 2002 entnommenen Kern wird das Seesediment durchteuft und der oberste Bereich der tertiären Schichten (ehemalige Tagebauoberfläche) erfasst. Das Seesediment besitzt eine Gesamtmächtigkeit von 56 cm und weist nur in seinem unteren Bereich (ab 25 cm Teufe) eine Lamination auf. Der obere Teil des Kernes ist makroskopisch weitgehend ungeschichtet, z.T. durch auftretende helle Fläsern und schmitzen undeutlich laminiert. Die oberste Schicht wird von einer 3 cm mächtigen gelblichgrauen tonigen Lage eingenommen. Der bei einer Teufe von 25 cm beginnende laminierte Bereich zeigt insgesamt 17 helle Ereignislagen (Hochwässer). Bei einem insgesamt sehr dunklen Gesamteindruck (hohe Organikanteile) sind die Grenzen zwischen den hellen und dunklen Lagen verschwommen. Die mittlere Mächtigkeit der hellen Lagen beträgt in diesem Abschnitt 8,2 mm ($\pm 3,8$ mm; im Maximum 19 mm), die der dunklen 10,3 mm ($\pm 3,2$ mm). Der Übergang zur tertiären Auflage bei 56 cm Teufe erscheint als lithologisch scharfe Grenze zwischen dunklen organikreichen Seesediment im hangenden und einem gelblichgrau bis –braun gefärbten Ton.

Kern Mul1Mo (April 2002): Der insgesamt rd. 28 cm lange im April 2002 gewonnene Kurzkern besteht ausschließlich aus Seesediment (**Abb. 8, links**). Die Tertiärauflage (ehemalige Tagebauoberfläche) wurde mit diesem Kern nicht erreicht. Das erbohrte Seesediment lässt insgesamt 13 helle Ereignislagen (Hochwässer) erkennen. Sie weisen eine mittlere Mächtigkeit von 10,2 mm ($\pm 4,5$ mm; im Maximum 20 mm) auf. Die mit ihnen in Wechsellagerung stehenden dunklen Lagen besitzen eine mittlere Mächtigkeit von 7,2 mm ($\pm 2,3$ mm). Makroskopisch ist die Lamination im oberen, 17 cm mächtigen Teil des Kernes sehr deutlich ausgebildet (starke Farbunterschiede, scharfe Lagengrenzen). Der untere Teil des Kernes zeigt hingegen geringere Farbunterschiede, verschwommenere Lagengrenzen und macht einen dunkleren Gesamteindruck (höherer Organikanteil). Oberhalb dieser lithologischen Grenze sind acht helle Ereignislagen und sieben dunkle, organikreiche Lagen erkennbar. Die jüngste, oberste Sedimentschicht wird von einer hellen Lage eingenommen. Sie widerspiegelt die mehr klastisch bestimmte Sedimentation im Zeitraum Winter/Frühjahr 2001/2002 (bis April 2002).

Kern Mul1HW (September 2002): Der nach dem Extremhochwasser vom August 2002 gewonnene rd. 40 cm lange Kern besteht durchgängig aus laminiertem Seesediment mit insg. 14 hellen und 13 dunklen Lagen (**Abb. 8, mitte**). Makroskopisch ist der Kern deutlich zweigeteilt, wobei der oberste ca. 26 cm umfassende und insgesamt heller erscheinende Abschnitt aus einer Wechsellagerung von 9 hellen Ereignislagen und 8 dunklen, organikreichen Lagen mit scharfen Schichtgrenzen besteht. Der rd. 14 cm mächtige untere Kernabschnitt erscheint durch höhere Organikanteile signifikant dunkler. Die Lagengrenzen sind verschwommen. Er wird der Sedimentation vor 1989/90 („Wende“) zugeordnet. Die jüngste dunkle Lage des Kernes widerspiegelt die überwiegend biogen-bestimmte Sedimentation im Sommerzeitraum 2002. Den Top des Kernes Mul1HW bildet eine rd. 55 mm mächtige, helle Ereignislage, die dem Extremhochwasser August 2002 zugeordnet werden kann. Sie erscheint hinsichtlich Farbe und Korngröße zweigeteilt: Die unteren, gröberen 26 mm sind von gelblichgrauer Farbe, die oberen 29 mm sind bei höheren Feinanteilen gelblich gefärbt. Die mittlere Dicke der hellen Lagen (ohne August 2002-Hochwasserlage) beträgt ca. 16,6 mm ($\pm 4,4$ mm; im Maximum 25 mm).



Abb. 8: Aufbau und Korrelation des Seesedimentes in zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommenen Sedimentkernen aus dem Friedersdorfer Becken des Bitterfelder Muldestausees (links: Kern Mul1 vom April 2002; Mitte: Kern Mul1HW vom September 2002; rechts: Kern MuSt-FB7). Hochwasserlagen (hell) unterbrechen die organische Sedimentation (dunkel).

Kern MuSt-FB7 (Juli 2012): Der rd. 39 cm lange Kern lässt bei deutlicher Lamination makroskopisch eine Viertelung erkennen und ist mit den im April bzw. September 2002 entnommenen Sedimentkernen korrelierbar (**Abb. 8, rechts**). Die untersten 10 cm des Kernes MuSt-FB7 (Kernabschnitt-1 28,5 – 39 cm) erscheinen trotz erkennbarer Wechsellagerung, mit allerdings verschwommenen Lagengrenzen, durch erhöhte Organikanteile makroskopisch dunkel und widerspiegeln die Sedimentation zu DDR-Zeiten („Vorwende“). Darüber folgt ein aus mindestens 6 hellen Ereignislagen bestehender Abschnitt (Kernabschnitt-2 rd. 14 – 28,5 cm) mit deutlicher Lagendifferenzierung. Darüber folgt eine im Kern erkennbare, zweigeteilte und rd. 2 cm dicke Ereignislage, die dem August-Hochwasser von 2002 zugeordnet werden kann (Kernabschnitt-3). Die obersten rd 12 cm des Kernes (Kernabschnitt-4) widerspiegeln die Sedimentation im Zeitraum 2002-2012. Im oberen Teil dieses Sedimentpaketes fällt eine mächtige, gelblich gefärbte Ereignislage auf, die mit dem Extremhochwasser im Winter 2010/2011 in Verbindung gebracht werden kann.

KernMuSt-FB6 (Juli 2012): Der rd. 31 cm lange Kern MuSt-FB6 zeigt bezüglich seines Aufbaus deutliche Parallelen zum ebenfalls im Juli 2012 entnommenen Kern MuSt-FB7. Auffällig ist das Auftreten einer rd. 2,5 cm mächtigen, farblich zweigeteilten Ereignislage im Teufenbereich 7-9,5 cm. Sie widerspiegelt die Sedimentation während des August2002-Extremhochwassers. Diese Ereignislage trennt den Kern von seinem unteren Abschnitt ab, der durch einen dunklen Basisbereich mit verschwommenen Lagengrenzen (Teufenbereich 19-30 cm) ausgewiesen ist und die Sedimentation zu DDR-Zeiten dokumentiert. Der obere Teil bis zur Hochwasserlage 2002 ist durch deutlich voneinander abgerenzte helle und dunkle Lagen ausgewiesen. Die obersten 7 cm des Kernes spiegeln die Seesedimentation der letzten 10 Jahre wider. Auch hier ist das Extremhochwasser vom Winter 2010/2011 durch eine (differenzierte) mächtige helle Lage, die den Top des Kernes bildet, erkennbar (**Abb. 9**).

Oberer Kern-Abschnitt (2002-2012)	Mittlerer Kern-Abschnitt (1989/90 („Wende“) -2012)	Unterer Kern-Abschnitt (vor 1989/90 („Wende“))
HW 2010/11	HW 2002	



Kern MuSt-FB6 (Friedersdorfer Becken) vom Juli 2012

Abb 9: Kern MuSt-FB6 aus dem Friedersdorfer Becken des Bitterfelder Muldestausees (Juli 2012).

3.2. Geochemie (anorganische Schadstoffe)

Untersucht wurden die anorganischen Schadstoffe Arsen, Blei, Cadmium, Zink, Kupfer, Chrom, Nickel, Quecksilber, Uran, sowie die Elemente Eisen und Mangan in zwei Sedimentkernen aus dem Friedersdorfer Becken (Kern MuSt-FB7 vom Juli 2012) und aus dem Hauptbecken (Kern MuSt-HB2 vom Juli 2012) des Bitterfelder Muldestausees. Der Konzentrationsverlauf der untersuchten Parameter ist in den **Abbildungen 10 bis 13** (Friedersdorfer Becken) und in den **Abbildungen 14 bis 17** (Hauptbecken) dargestellt. Die Ergebnisse der Kernuntersuchungen von 2002, die als Vergleich dienen, sind in der **Abbildung 18** (Friedersdorfer Becken; Kern MU11HW) und der **Abbildung 19** (Hauptbecken; Kerne MUL4 und MUL4HW) ersichtlich.

3.2.1. Qualität der im Muldestausee lagernden Sedimente

Die im Muldestausee lagernden Sedimente können gemäß der Klassifizierung des Schadstoff/Sedimentmanagementkonzeptes und in Hinblick auf die darin betrachteten anorganischen Schadstoffe (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) als deutlich belastete Sedimente eingestuft werden. Bis auf Chrom, dessen mittleren und Maximalgehalte unterhalb des festgelegten Oberen Schwellenwertes liegen, überschreiten die Gehalte aller anderen anorganischen Schadstoffe im Seesediment des Muldestausees die festgelegten Grenzwerte des Sedimentmanagementkonzeptes (siehe **Tabelle 3**).

Tabelle 3: Metallgehalte der Sedimente im Muldestausee (insgesamt, Haupt- und Friedersdorfer Becken) im Vergleich mit den Schwellenwerten des Schadstoff/Sedimentmanagementkonzeptes für anorganische Stoffe

	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
<i>Unt. Schwellenwert</i>	<7,9	<0,22	<26	<14	<0,15	<3	<25	<200
<i>Ob. Schwellenwert</i>	>40	>2,3	>640	>160	>0,47	>3	>53	>800
Muldestausee (insgesamt):								
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	271	57	121	240	0,95	105	343	2184
Minimum	130	15	62	73	0,46	59	88	527
Maximum	620	230	380	600	2,60	220	866	5000
Anzahl n	62	146	62	62	62	146	146	146
Faktor Oberer Schwellenwert	6,8	24,8	0,2	1,5	2,0	35	6,4	2,7
Hauptbecken:								
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	172	43	77	204	0,77	92	310	1984
Minimum	130	16	69	120	0,46	67	211	1200
Maximum	240	162	87	584	1,10	156	424	3350
Anzahl n	20	58	20	58	20	58	58	58
Faktor Oberer Schwellenwert	4,3	18,7	0,1	1,3	1,6	31	5,8	2,5
Friedersdorfer Becken:								
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	319	67	142	264	1,03	114	365	2316
Minimum	170	15	62	73	0,57	59	88	527
Maximum	620	230	380	600	2,60	220	866	5000
Anzahl n	42	88	42	88	42	88	88	88
Faktor Oberer Schwellenwert	8,0	29,1	0,2	1,7	2,2	38	6,9	2,9

Die höchste Belastung weisen die Elemente Nickel (im Mittel bis 38-fache Überschreitung des Oberen Schwellenwertes), Cadmium (bis 29-fach), gefolgt von Arsen (bis 8-fach), Blei (bis 6-

fach), sowie Zink, Quecksilber und Kupfer (1,7 bis 2,9-fache Überschreitung) auf. Festzustellen ist, dass die in den Seesedimenten gemessenen Minimalgehalte an Nickel, Cadmium, Arsen und Blei noch deutlich oberhalb des Oberen Schwellenwertes liegen. Die höchsten Konzentrationen an anorganischen Schadstoffen liegen im Friedersdorfer Becken (im Vergleich zum Hauptbecken) vor, was auf die bevorzugte Sedimentation organikreicher Feinsedimente in diesem Bereich des Muldestausees zurückzuführen ist.

Erfasst wurden weiterhin die Gehalte der nicht im Sedimentmanagementkonzept verankerten Metalle Uran, Eisen und Mangan (**Tabelle 4**). Während Mangan und Eisen nur eine leichte Anreicherung bezogen auf den Hintergrundwert des Tongesteinsstandards (nach WEDEPOHL 1968) aufweisen, ist in den Sedimenten des Muldestausees eine 11-fache Erhöhung der Urangelhalte gegenüber dem zugezogenen Vergleichswert des Tongesteinsstandards zu beobachten. Dabei ist, wie auch bei den anderen Metallen, eine höhere Konzentration in den Sedimenten des Friedersdorfer Beckens im Vergleich zum vorgelagerten Hauptbecken festzustellen.

Tabelle 4: Gehalte von Uran, Eisen und Mangan in den Sedimenten des Muldestausees (insgesamt, Haupt- und Friedersdorfer Becken) im Vergleich zu den Gehalten im Tongesteinsstandard.

	U mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg
<i>Tongesteinsstandard nach Wedepohl</i>	3,7	47200	850
Muldestausee (insgesamt):			
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	41	51558	1456
Minimum	14	35100	590
Maximum	170	80100	3232
Anzahl n	62	62	62
Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)	11	1,1	1,7
Hauptbecken:			
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	18	43555	1049
Minimum	14	39400	870
Maximum	23	50100	1330
Anzahl n	20	20	20
Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)	4,8	0,8	1,2
Friedersdorfer Becken:			
Mittelwert (<20µm-Fraktion)	52	55369	1650
Minimum	15	35100	590
Maximum	170	80100	3220
Anzahl n	42	42	42
Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)	14	1,2	1,9

3.2.2. Verteilungstrends der im Muldestausee lagernden anorganischen Schadstoffe

Die im Muldestausee lagernden anorganischen Schadstoffe sind unter anoxischen Bedingungen im Seesediment gebunden. Das im Mittel im Hauptbecken bis 2m mächtige, im Friedersdorfer Becken bis 0,5 m mächtige feinkörnige, überwiegend tonig-schluffige organikreiche Schlammpaket weist eine deutliche vertikale Zonierung hinsichtlich der Schadstoffbelastung auf. Dabei ist eine Differenzierung mit höher belasteten Sedimenten in

tieferen Bereichen und abnehmenden Kontaminationsgrad zur Seebodenoberfläche festzustellen (Tabellen 5 und 6).

Tabelle 5: Metallgehalte der Sedimente im Muldestausee (insgesamt), aufgeschlüsselt nach Ablagerungszeitraum/Sedimenttiefe und im Vergleich mit den Schwellen- bzw. Grenzwerten des Schadstoff / Sedimentmanagementkonzeptes für anorganische Stoffe

Muldestausee (insgesamt) ($<20\mu\text{m}$ -Fraktion) (Mittelwert; Min-Max)	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
<i>Unt. Schwellenwert</i>	$<7,9$	$<0,22$	<26	<14	$<0,15$	<3	<25	<200
<i>Ob. Schwellenwert</i>	>40	$>2,3$	>640	>160	$>0,47$	>3	>53	>800
„Nachwende“ 2002-2012: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 0-12 cm; Hauptb. 0-50 cm	188 130-300 (n=32)	21 16-27 (n=32)	77 62-87 (n=32)	140 110-170 (n=32)	0,80 0,46-1,1 (n=32)	78 67-100 (n=32)	292 210-370 (n=32)	1593 1200-2060 (n=32)
Faktor Oberer Schwellenwert	4,7	9,1	0,12	0,88	1,7	26	5,5	2,0
Hochwasser 2002: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 12-15 cm; Hauptb. 50-55 cm	230 220-240 (n=3)	24 15-32 (n=8)	88 82-93 (n=3)	175 160-187 (n=8)	1,0 1,0-1,0 (n=3)	82 78-90 (n=8)	549 313-866 (n=8)	1685 1240-2103 (n=8)
Faktor Oberer Schwellenwert	5,8	10,4	0,14	1,1	2,1	27	10,3	2,1
„Nachwende“ 1990-2002: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 15-30 cm; Hauptb. 55-110 cm	286 170-440 (n=14)	45 17-136 (n=59)	122 17-136 (n=59)	198 73-400 (n=59)	0,82 0,57-1,4 (n=14)	99 59-160 (n=59)	309 88-477 (n=59)	2044 527-3450 (n=59)
Faktor Oberer Schwellenwert	7,1	19,6	0,19	1,2	1,7	33	5,8	2,6
„Vorwende“ 1975-1990: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 30-50 cm; Hauptb. 110-200 cm	471 260-620 (n=13)	104 38-230 (n=47)	237 150-380 (n=13)	372 159-600 (n=47)	1,5 0,9-2,6 (n=13)	136 89-220 (n=47)	386 243-590 (n=47)	2847 1595-5000 (n=47)
Faktor Oberer Schwellenwert	11,8	45,2	0,37	2,3	3,2	45	7,3	3,6

Die höchsten Schadstoffgehalte sind im Hauptbecken ab einer Tiefe von ca. 1m, im Friedersdorfer Becken ab einer Tiefe von 30 cm unter Seegrund festzustellen. Sie widerspiegeln den durch aktive Schadstoffeinträge der Berg- und Hüttenindustrie aus dem ost- und westerzgebirgischen Industrie- und Erzrevier gekennzeichneten Zeitraum von 1975 bis ca. 1990 (DDR). Maximalgehalte an Cadmium bis 230 mg/kg, an Zink bis 5000 mg/kg, Blei bis 590 mg/kg, Nickel bis 220 mg/kg, Kupfer bis 600 mg/kg, Arsen bis 620 mg/kg und Uran bis 100 mg/kg kennzeichnen diesen „Reicherzbasishorizont“ des Seesedimentes („Vorwende“ 1975-1990). Alle im Schadstoff/Sedimentmanagementkonzept (SSMK) erfassten anorganischen Schadstoffe liegen mit ihren Konzentrationen im Muldestauseesediment oberhalb des darin verankerten Oberen Schwellenwertes (Ausnahme Chrom).

Mit der Stilllegung und Reduzierung der punktuellen Schadstoffeinträge in Folge des Zusammenbruches der DDR-Industrie ist ein deutlicher Rückgang in der Schadstoffbelastung und damit eine kontinuierliche Verbesserung der Sedimentqualität festzustellen. Eine Halbierung der Elementkonzentrationen im Sediment, bei noch vorliegender Überschreitung des Oberen Schwellenwertes des SSMK ist die Folge. Die sowohl makroskopisch in den Sedimentkernen erkennbare und durch ihren markant hohen Blei-Gehalt (Verdoppelung des mittleren Bleigehaltes auf 549 mg/kg) ausgewiesene Hochwasserlage vom August 2002 deckelt diesen ca. 50 cm (Hauptbecken) bzw. ca. 15 cm mächtigen Bereich des Seesedimentes ab. Die oberen 50

cm (Hauptbecken) bzw. 12 cm (Friedersdorfer Becken) des Seesedimentes widerspiegeln die Sedimentation der letzten ca. 10 Jahre (2002-2012). Die darin gefundenen Konzentrationen zeigen, dass sich der seit 1990 einsetzende Trend einer kontinuierlichen Verbesserung der Sedimentqualität fortsetzt. Gegenüber dem Zeitraum 1990-2002 haben sich die Gehalte im Zeitraum 2002-2012 um 20-30% (As, Cr, Cu, Zn) bzw. um 50% (Cd, U) reduziert und sind nur zum Teil stagniert (Hg). Die hohen Bleigehalte (maximal bis 866 mg/kg), die das Sediment des Hochwassers vom August 2002 charakterisieren, werden von den im letzten Jahrzehnt abgesetzten Sedimenten ebenfalls nicht erreicht. Die Gehalte liegen im „Nachwende“-Niveau von 1990-2002 (**Tabelle 5**).

Tabelle 6: Gehalte von Uran, Eisen und Mangan in den Sedimenten des Muldestausees (insgesamt), aufgeschlüsselt nach Ablagerungszeitraum/Sedimenttiefe und im Vergleich zu den Gehalten im Tongesteinsstandard.

Muldestausee (insgesamt) (<20µm-Fraktion) (Mittelwert; Min-Max)	U mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg
<i>Tongesteinsstandard nach Wedepohl</i>	3,7	47200	850
„Nachwende“ 2002-2012: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 0-12 cm; Hauptb. 0-50 cm	18 14-32 (n=32)	45913 39400-59900 (n=32)	1260 870-2590 (n=32)
<i>Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)</i>	4,9	0,97	1,5
Hochwasser 2002: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 12-15 cm; Hauptb. 50-55 cm	21 19-23 (n=3)	52533 49800-55000 (n=3)	1290 1210-1350 (n=3)
<i>Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)</i>	5,7	1,1	1,5
„Nachwende“ 1990-2002: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 15-30 cm; Hauptb. 55-110 cm	43 24-83 (n=14)	54264 35100-73100 (n=14)	1673 590-3220 (n=14)
<i>Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)</i>	11,6	1,1	2,0
„Vorwende“ 1975-1990: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 30-50 cm; Hauptb. 110-200 cm	100 59-170 (n=13)	62315 38500-80100 (n=13)	1744 1010-2400 (n=13)
<i>Faktor Tongesteinsstandard (Wedepohl)</i>	27,0	1,3	2,1

Die in den **Tabellen 5 und 6** dokumentierten Trends der Veränderung der Sedimentqualität können durch die Konzentrationsverläufe der anorganischen Schadstoffe in den untersuchten Sedimentkernen von 2012 visualisiert werden. Der Kern MuSt-FB7 aus dem Friedersdorfer Becken, der den Zeitraum vor 1990 bis Juli 2012 dokumentiert, visualisiert den Langzeittrend der Sedimentqualität (**Abbildungen 10, 12, 14, 16**). Die zeitliche Zuordnung der in ihm auftretenden Ereignislagen geht unter Nutzung der in JUNGE u.a. (2004 b,c) publizierten Methode aus **Tabelle 7** hervor. Aus den Konzentrationsverläufen des Kerns MuSt-HB2 aus dem Hauptbecken, mit dem der Zeitraum etwa seit 2004 erfasst ist, wird die jüngste Entwicklung der letzten 10 Jahre in der Sedimentqualität widergespiegelt (**Abbildungen 11, 13, 15, 17**), wobei hier besonders das Winterhochwasser 2010/11 (max. Durchfluss 730 m³/s) seinen Niederschlag findet.

Tabelle 7: Zeitliche Zuordnung der Ereignislagen im Sedimentkern MuSt-FB7 (Friedersdorfer Becken) aus dem Bitterfelder Muldestausee zu Hochwasserereignissen der Mulde mit einem Tagesdurchflusswert $Q \geq 300 \text{ m}^3/\text{s}$ seit 1975.

Schicht (Lage)	Zeitraum mit Tages- $Q \geq 300 \text{ m}^3/\text{s}$ <i>Zeitraum mit Tages-$Q < 300 \text{ m}^3/\text{s}$</i>	Hochwasserzeitraum (Datum)	Tagesdurchfluss Q (HW-Spitze; in m^3/s)	Kernabschnitt	Probe
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2012</i>				
9 hell	Winterhalbjahr 2011/2012			0-3 cm	1
9 hell	HW-SoHj. 2011	01.08.2011	260		
<i>(dunkel)</i>	<i>Sommer 2011</i>				
8 Hell	HW-WiHj. 2010/2011	06.02.2011 08.01.-24.01.2011 13.12.-14.12.2010	214 730 (16.01.2011) 285 (13.12.2010)		
<i>(dunkel)</i>	<i>(Spätsommer 2010)</i>			3-4 cm	2
7 Hell	HW-SoHj. 2010	28.09.-03.10.2010 08.-09.08.2010 04.06.-05.06.2010	530 (29.09.2010) 346 (09.08.2010) 263 (04.06.2010)	4,0-5,0	3
<i>(dunkel)</i>	<i>(Sommer 2010)</i>				
6 Hell	HW-WiHj. 2009/2010	23.03.2010 27.02.-28.02.2010	204 213 (27.02.2010)		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2009</i>			5-5,5 cm	4
5 Hell	HW-WiHj. 2008/2009	28.02.-31.03.2009	319 (17.03.2009)		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2008</i>			5,5-7,0 cm	5
4 Hell	HW-WiHj. 2007/2008	13.04.-17.04.2008 21.01.2008 08.12.-14.12.2007 12.11.-16.11.2007 30.09.2007	419 (13.04.2008) 215 221 (8./9.12.2007) 291 (13.11.2007) 236		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2006+2007</i>				
3 Hell	HW-WiHj. 2005/2006	27.03.-08.04.2006 11.03.2006	596 (29.03.2006) 291		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2005</i>				
2 Hell	HW-WiHj. 2004/2005	18.03.-31.03.2005 12.02.-18.02.2005 20.11.-26.11.2004	564 (20.03.2005) 559 (14.02.2005) 328 (24.11.2004)	9,0-9,5 cm	9
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2004</i>			9,5-10 cm	10
1 (hell)	HW-WiHj. 2003/2004	12.05.2004 03.02.-06.02.2004	255 272 (04.02.2004)	10-11 cm	11
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2003</i>			11-12 cm 12-12,5 cm 12,5-13 cm	12 13 14
0 hell	HW-WiHj. 2002/2003	31.12.2002-07.01.2003 01.12.-04.12.2002 20.11.-25.11.2002	489 (04.01.2003) 319 (02.12.2002) 296 (21.11.2002)	13-14 cm 14-15,5 cm	15 16
	HW-SoHj. 2002	13.08.-18.08.2002	≥ 800		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2002</i>			15,5-16 cm	17
-1 hell	HW-WiHj. 2001	29.01.2002-30.01.2002	310 (30.01.2002)	16-17,5 cm	18
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 2000+2001</i>			17,5-18 cm	19
-2 hell	HW-WiHj. 2000	10.03.2000-20.03.2000	426 (11.03.2000), 411 (19.03.2000)	18-19,5 cm	20
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 1999</i>			19,5-20,5 cm	21
-3 hell	HW-WiHj. 1999	03.03.1999-07.03.1999	414 (04.03.1999)	20,5-21,5 cm	22
	HW-WiHj. 1999	03.11.1998	305		
<i>dunkel</i>	<i>Sommer 1998</i>			21,5-22 cm	23
-4 hell	HW-WiHj. 1998	19.03.1998	344	22-23 cm	24
<i>dunkel</i>	<i>Winter 1996+Sommer 1997</i>			23-23,5 cm	25
-5 hell	HW-SoHj. 1996	10.07.1996	334	23,5-24,5	26

				cm	
<i>dunkel</i>	Winter 1995+Frühsommer 1996			24,5-25 cm	27
-6 hell	HW-Spätsommer 1995	02.09.1995-04.09.1995	<u>588</u> (03.09.1995)	25-26,5 cm	28
<i>dunkel</i>	Sommer 1995 (Juli/August)			26,5-27 cm	29
-7 hell	HW-Frühsommer 1995	03.06.1995-04.06.1995	360 (04.06.1995)	27-28,5 cm	30
	HW-WiHj. 1995	15.05.1995	263		
	HW-WiHj. 1995	19.04.1995-21.04.1995	363 (20.04.1995)		
<i>dunkel</i>	Sommer 1994			28,5-29 cm	31
-8 hell	HW-WiHj. 1994	14.04.1994	308	29-29,5 cm	32
	HW-WiHj. 1994	16.03.1994-18.03.1994	<u>444</u> (17.03.1994)		
<i>dunkel</i>	Zeitraum 1989-1993		„Wende“	29,5-30 cm	33
-9 hell	HW-WiHj. 1989	20.12.1988-26.12.1988	311 (20.12.1988)	30-31 cm	34
			336 (26.12.1988)		
<i>dunkel</i>	Sommer 1988			31-32 cm	35
-10 hell	HW-WiHj. 1988	22.03.1988-9.4.1988	309 (09.04.1988)	32-33 cm	36
			<u>441</u> (28.03.1988)		
<i>dunkel</i>	Sommer 1987			33-34 cm	37
-11 hell	HW-WiHj. 1987	11.04.1987-14.04.1987	<u>547</u> (12.04.1987)	34-35 cm	38
			377 (30.03.1987)		
			365 (11.02.1987)		
			<u>591</u> (01.01.1987)		
<i>dunkel</i>	Sommer 1986			35-36 cm	39
-12 hell	HW-Frühsommer 1986	31.05.1986-01.06.1986	266 (01.06.1986)	36-37 cm	40
<i>dunkel</i>	Frühsommer 1986			37-38 cm ← "Tschernobyl"	41
-13 hell	HW-WiHj. 1986	21.01.1986	292	38-39 cm	42
xx (<i>dunkel</i>)	Zeitraum 1984-1986	Niedrigwasserperiode (einzelne Tages-Q bis max. 266)			
-14 (hell)	HW-SoHj. 1983	06.08.1983-08.08.1983	<u>657</u> (07.08.1983)		Ab hier Ereignisse nicht mehr vom Kern MuSt-FB7 erfasst
xx (<i>dunkel</i>)	Sommer 1982 + Winter 1983				
-15 (hell)	HW-WiHj. 1982	01.02.1982	368		
			343		
			327		
xx (<i>dunkel</i>)	Sommer 1982				
-16 (hell)	HW-WiHj. 1981	11.03.1981-17.03.1981	<u>859</u> (13.3.81)		
			301		
xx (<i>dunkel</i>)	Winter 1980 + Sommer 1981				
-17 (hell)	HW-SoHj. 1980	23.07.1980-25.07.1980	<u>569</u> (24.7.80)		
xx	Frühsommer 1980				
-18	HW-WiH80	29.04.1980-04.05.1980	358 (3.5.80)		
			308 (7.2.80)		
xx	Sommer 1978 + 1979	Niedrigwasserperiode (einzelne Tages-Q bis max. 279)			
-19	HW-Frühsommer 1978	09.05.1978-11.05.1978	<u>641</u> (10.5.78)		
xx	Spätsommer 1977 + Winter 1978				
-20	HW-SoH77	12.08.1977-13.08.1977	344 (13.8.77)		
xx	Sommer 1976 + Winter 1977				
-21	HW-WiH1976	13.01.1976-18.01.1976	<u>605</u> (16.1.76)		
xx	Sommer 1975				
Flutungsbeginn des Muldestausees: 1.5.1975					

Kern
 MuSt-FB7
 (19.7.2012)

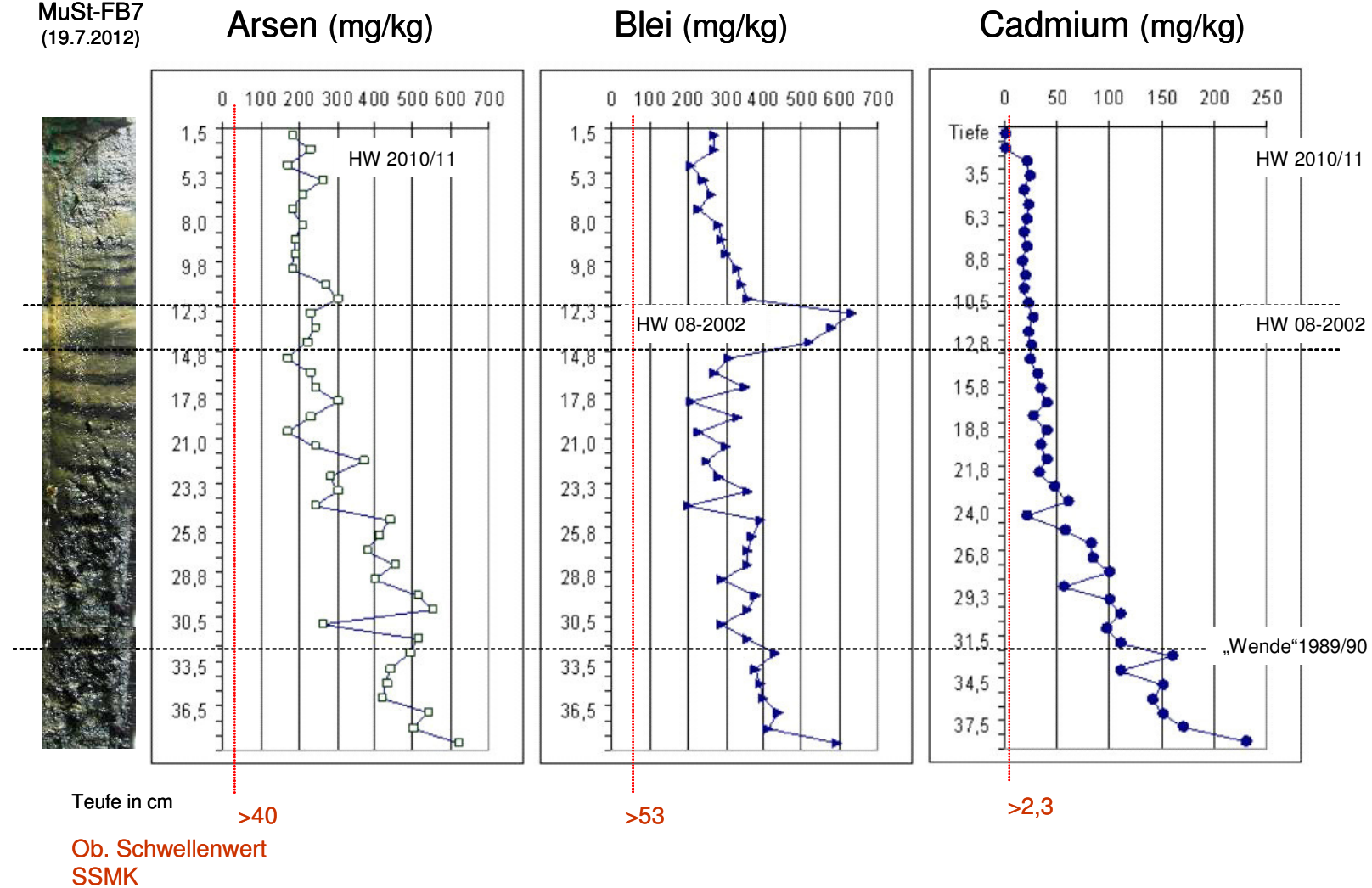


Abb. 10: Verteilung der Elemente Arsen, Blei, Cadmium im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-HB2
 (19.7.2012)



HW 2010/11



HW 2007/08



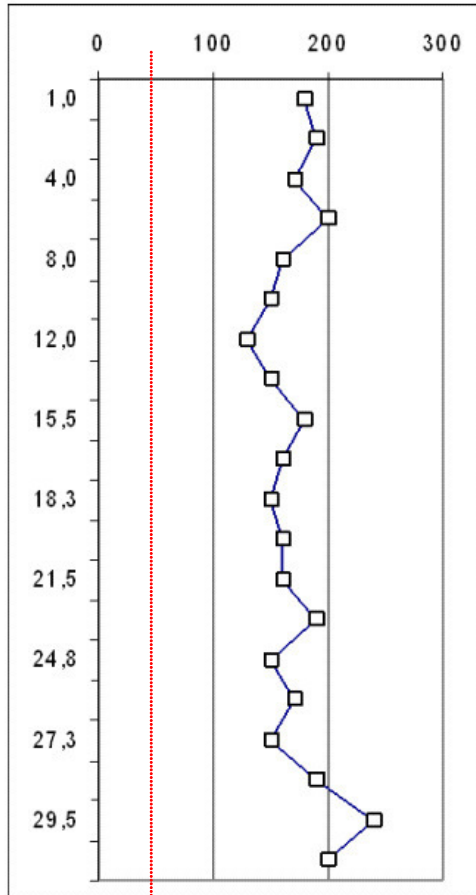
HW 2005/06



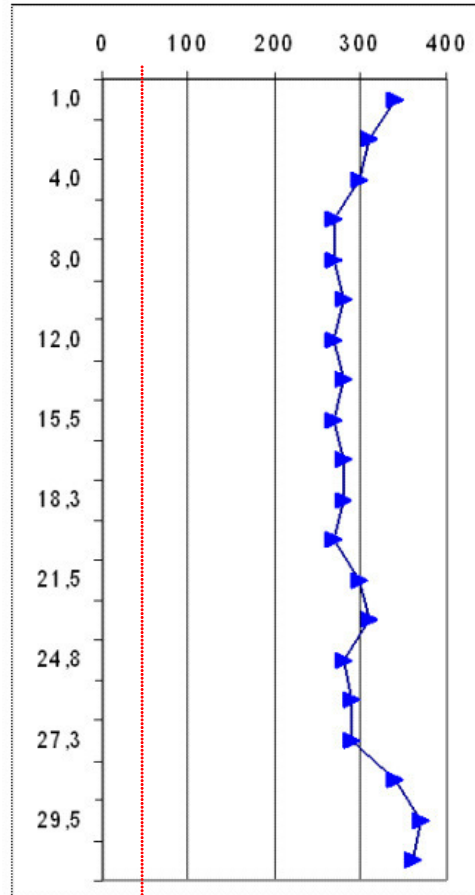
HW 2004/05



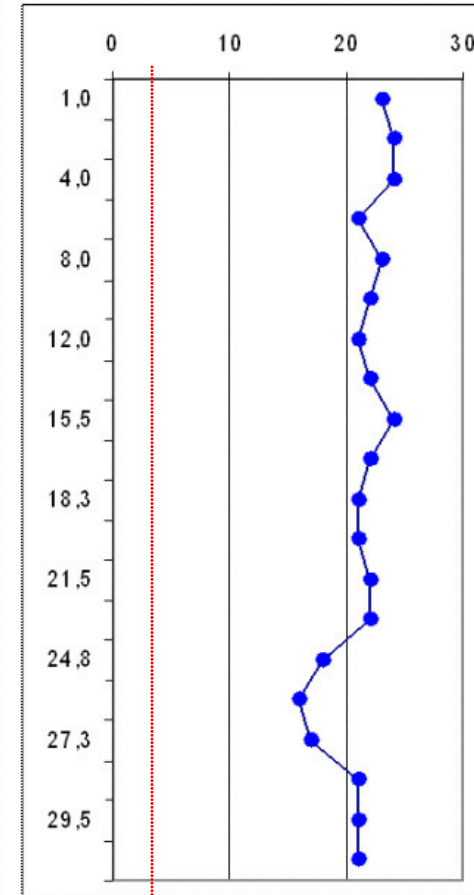
Arsen (mg/kg)



Blei (mg/kg)



Cadmium (mg/kg)



Teufe in cm

Ob. Schwellenwert >40
 SSMK

>53

>2,3

Abb. 11: Verteilung der Elemente Arsen, Blei, Cadmium im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-FB7
 (19.7.2012)

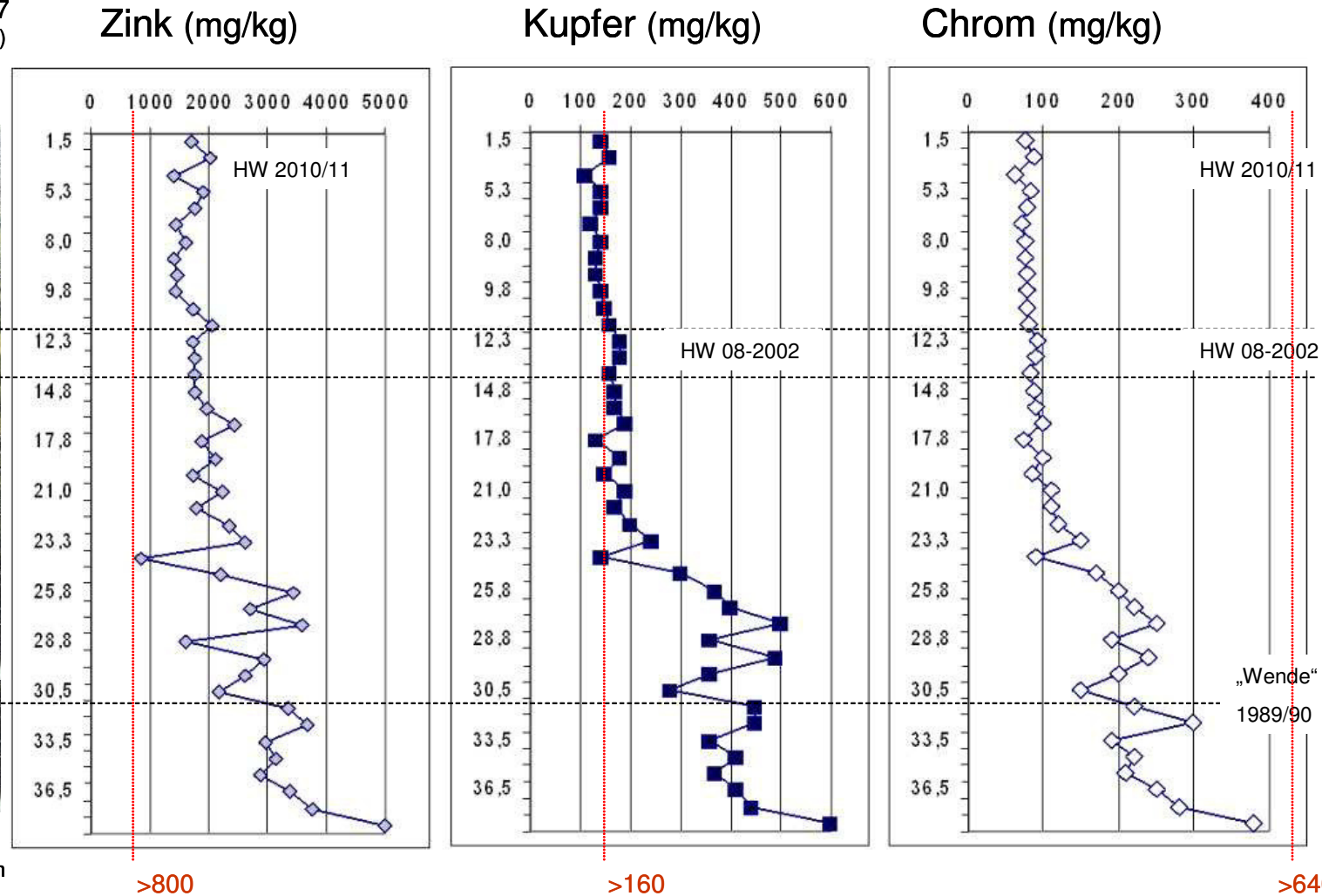
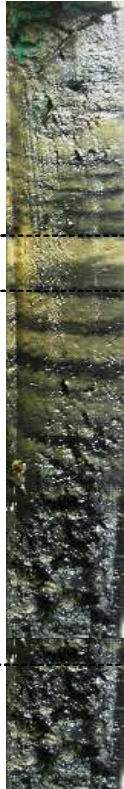


Abb. 12: Verteilung der Elemente Zink, Kupfer, Chrom im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-HB2
 (19.7.2012)



HW 2010/11



HW 2007/08



HW 2005/06



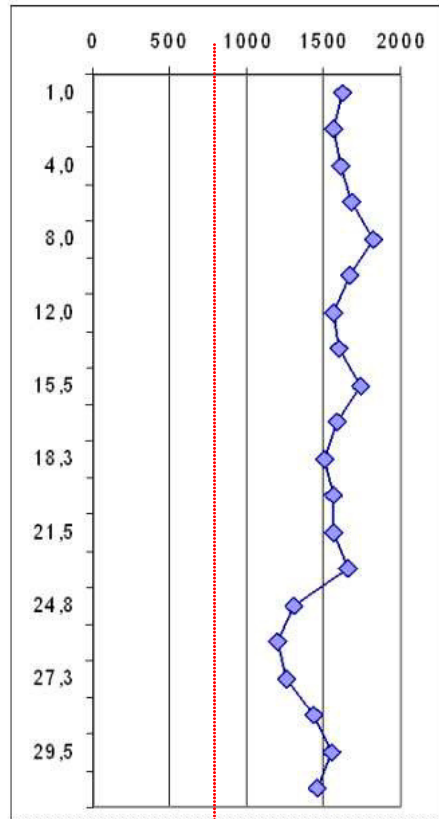
HW 2004/05



Teufe in cm

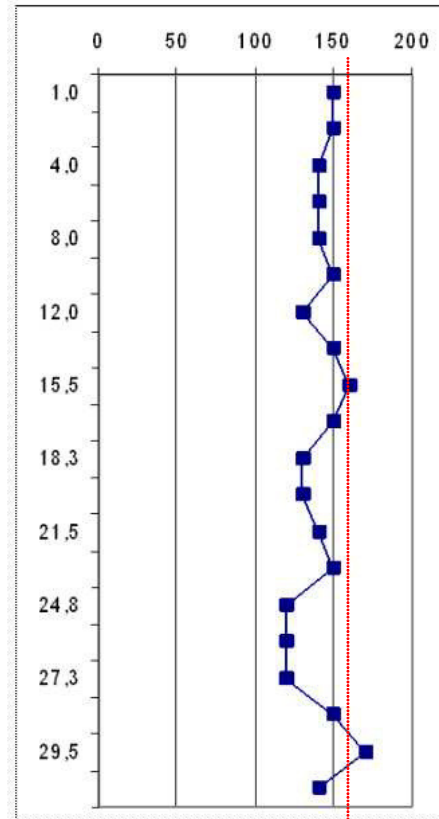
Ob. Schwellenwert
 SSMK

Zink (mg/kg)



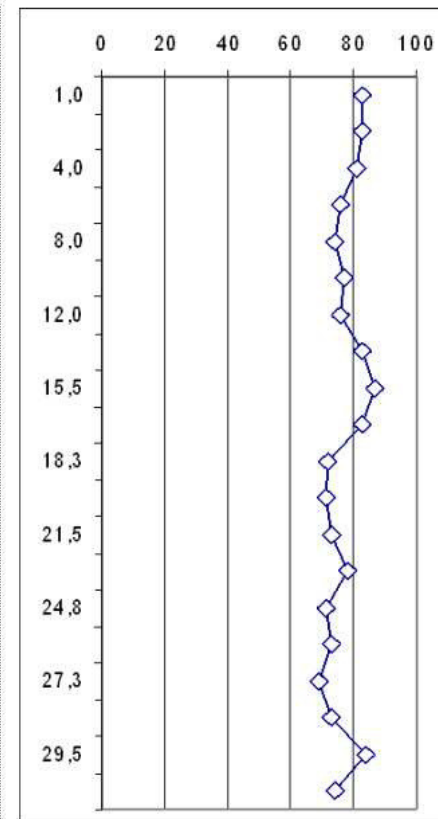
>800

Kupfer (mg/kg)



>160

Chrom (mg/kg)



>640

Abb. 13: Verteilung der Elemente Zink, Kupfer, Chrom im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-FB7
 (19.7.2012)

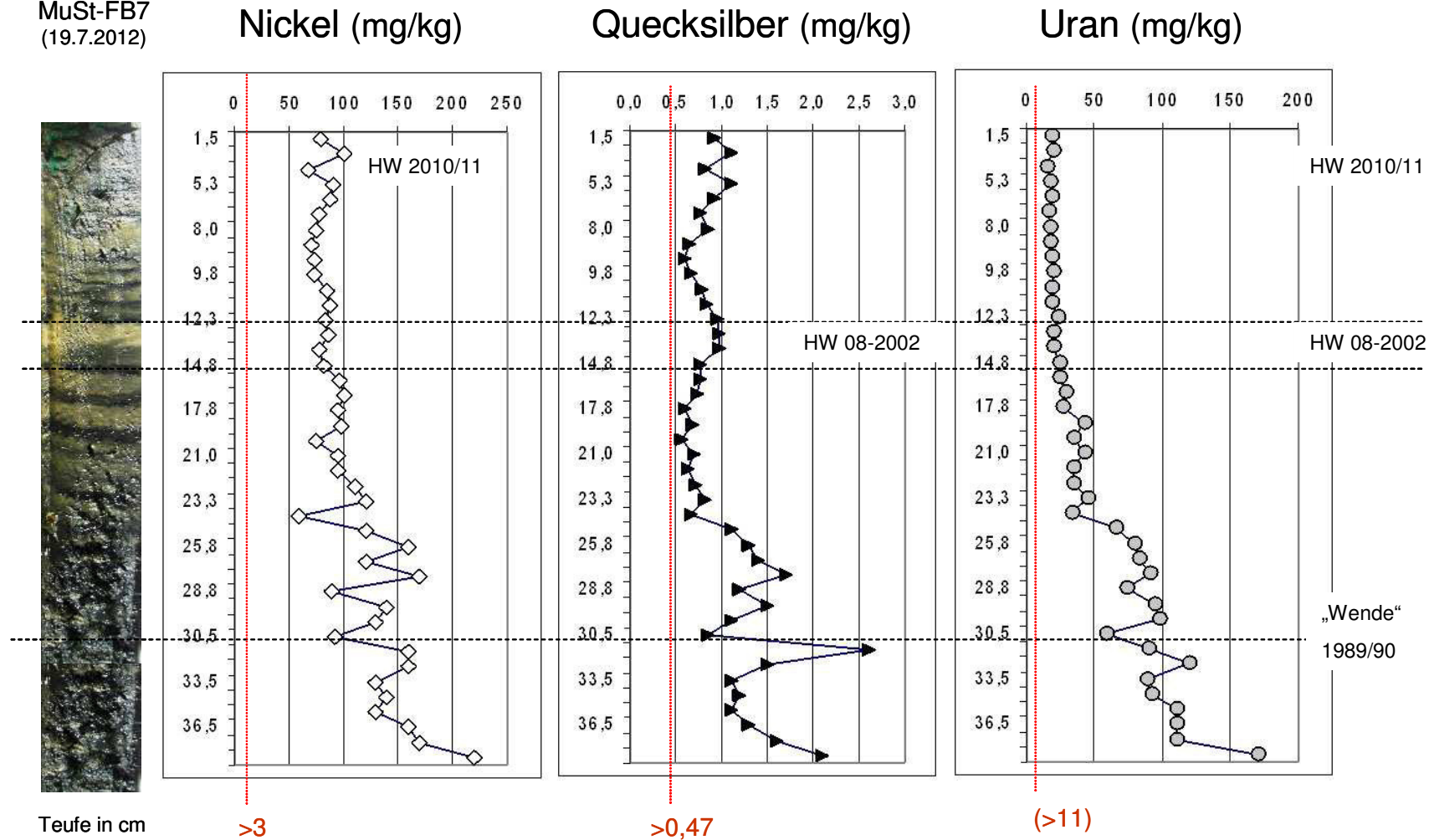


Abb. 14: Verteilung der Elemente Nickel, Quecksilber, Uran im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken).

Kern
 MuSt-HB2
 (19.7.2012)



HW 2010/11



HW 2007/08



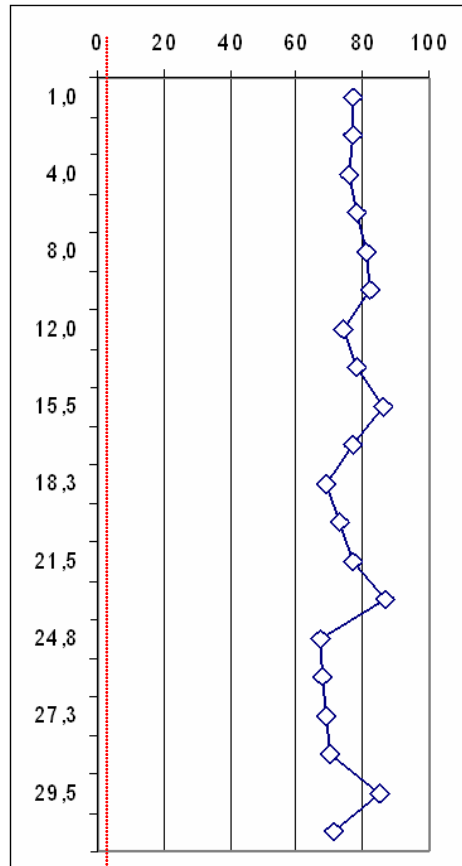
HW 2005/06



HW 2004/05

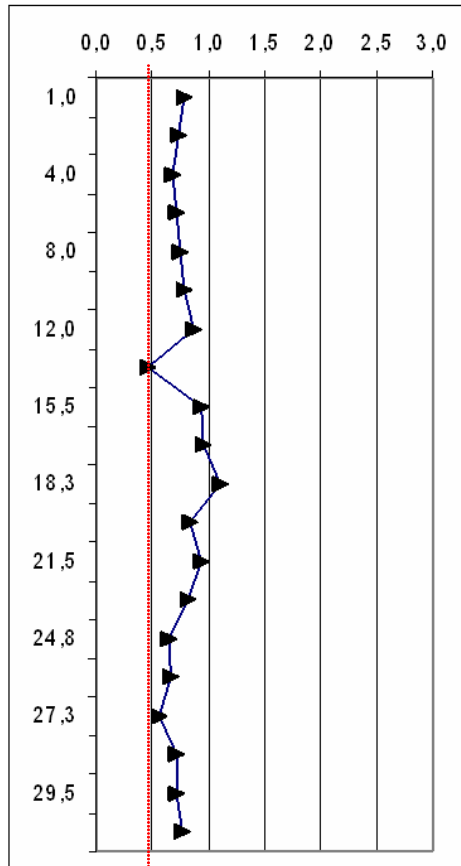


Nickel (mg/kg)



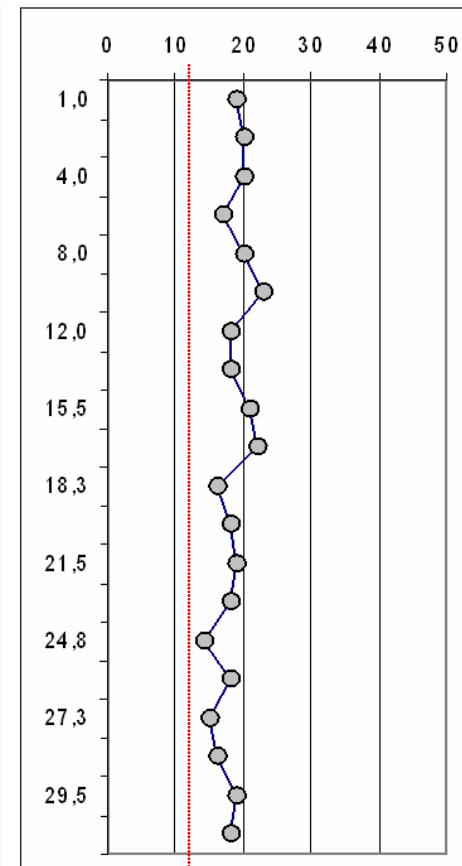
>3

Quecksilber (mg/kg)



>0,47

Uran (mg/kg)



>11

Teufe in cm

Ob. Schwellenwert
 SSMK

Abb. 15: Verteilung der Elemente Nickel, Quecksilber, Uran im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-FB7
 (19.7.2012)

Eisen (mg/kg)

Mangan (mg/kg)

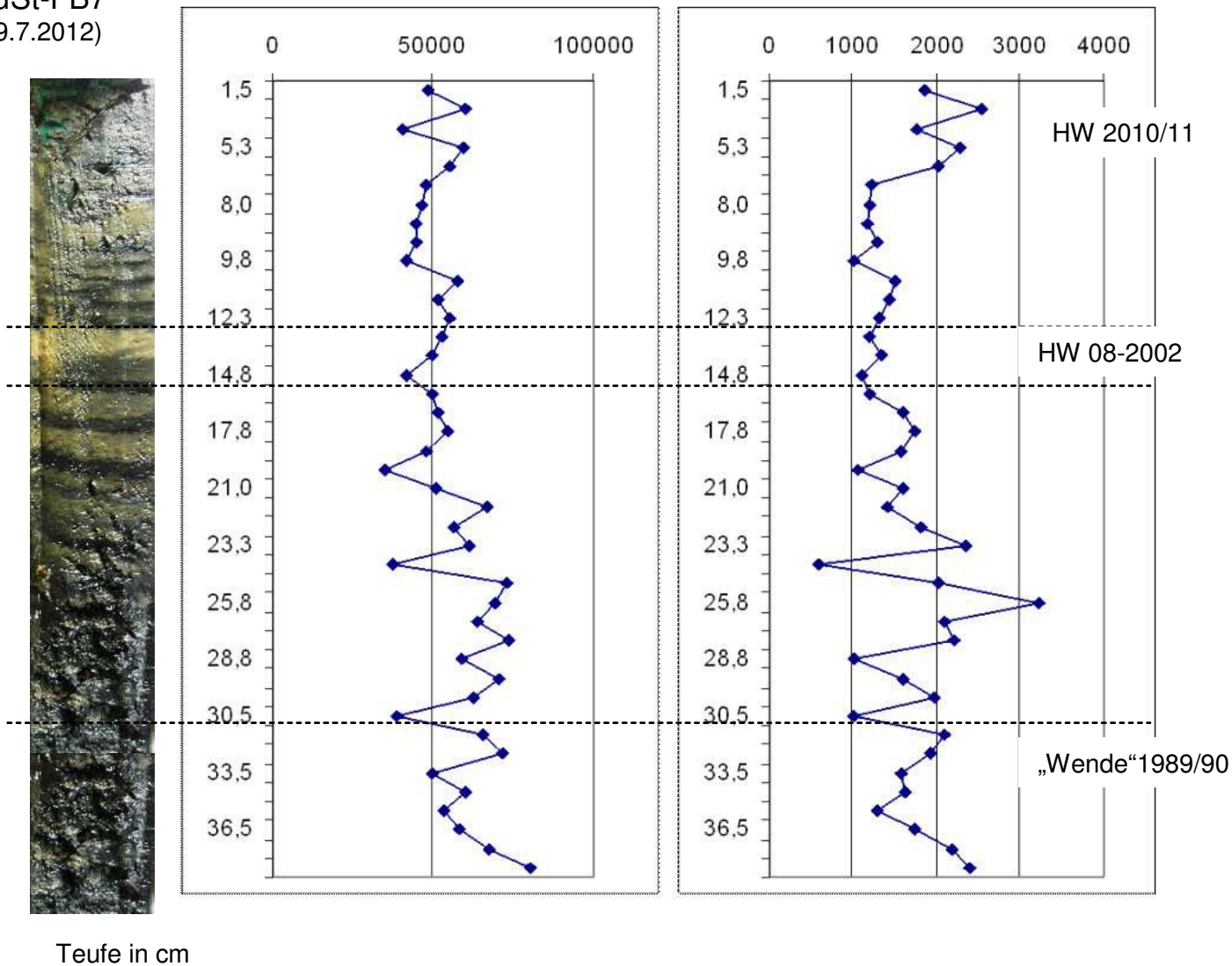
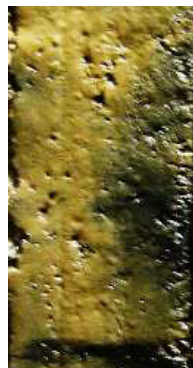


Abb. 16: Verteilung der Elemente Eisen und Mangan im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.

Kern
 MuSt-HB2
 (19.7.2012)



HW 2010/11



HW 2007/08



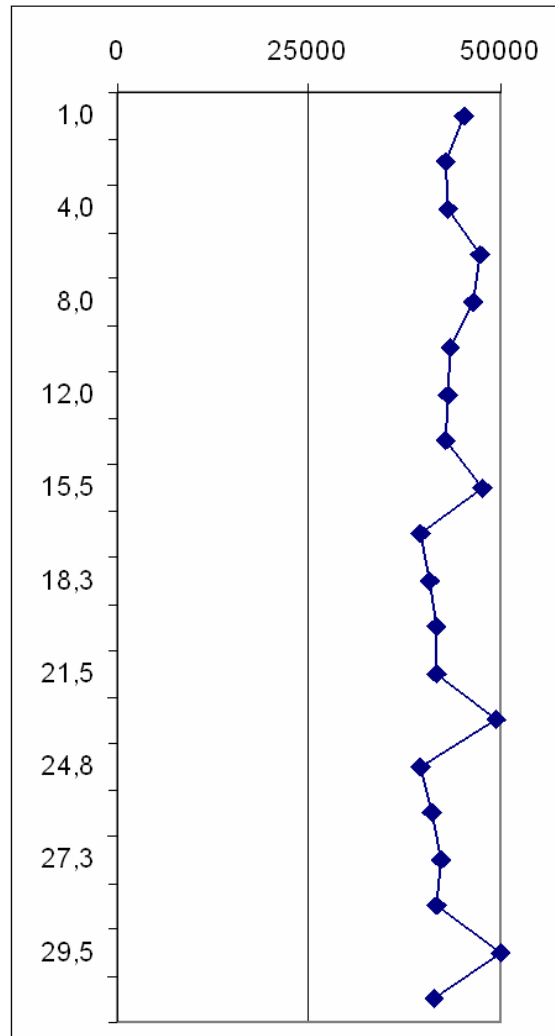
HW 2005/06



HW 2004/05



Eisen (mg/kg)



Mangan (mg/kg)

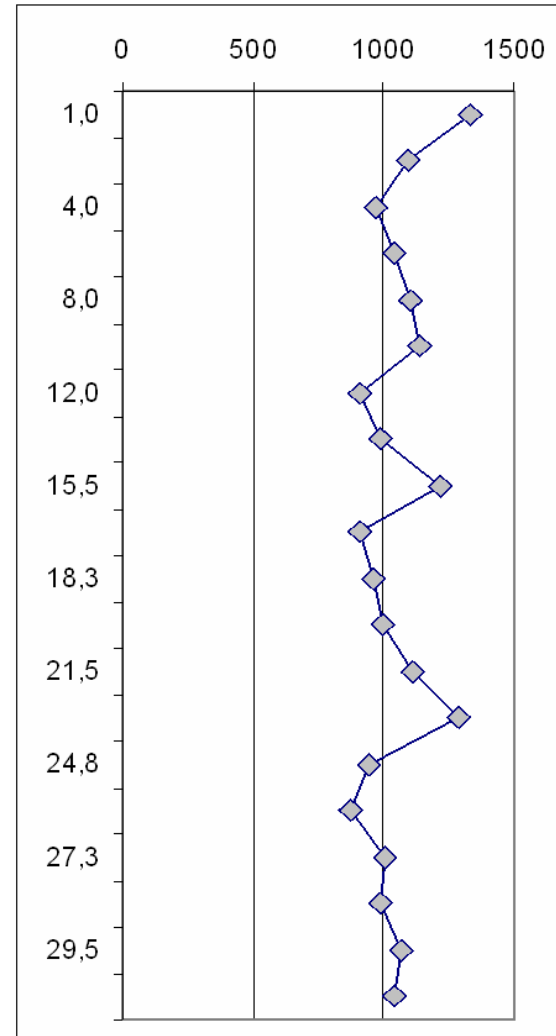
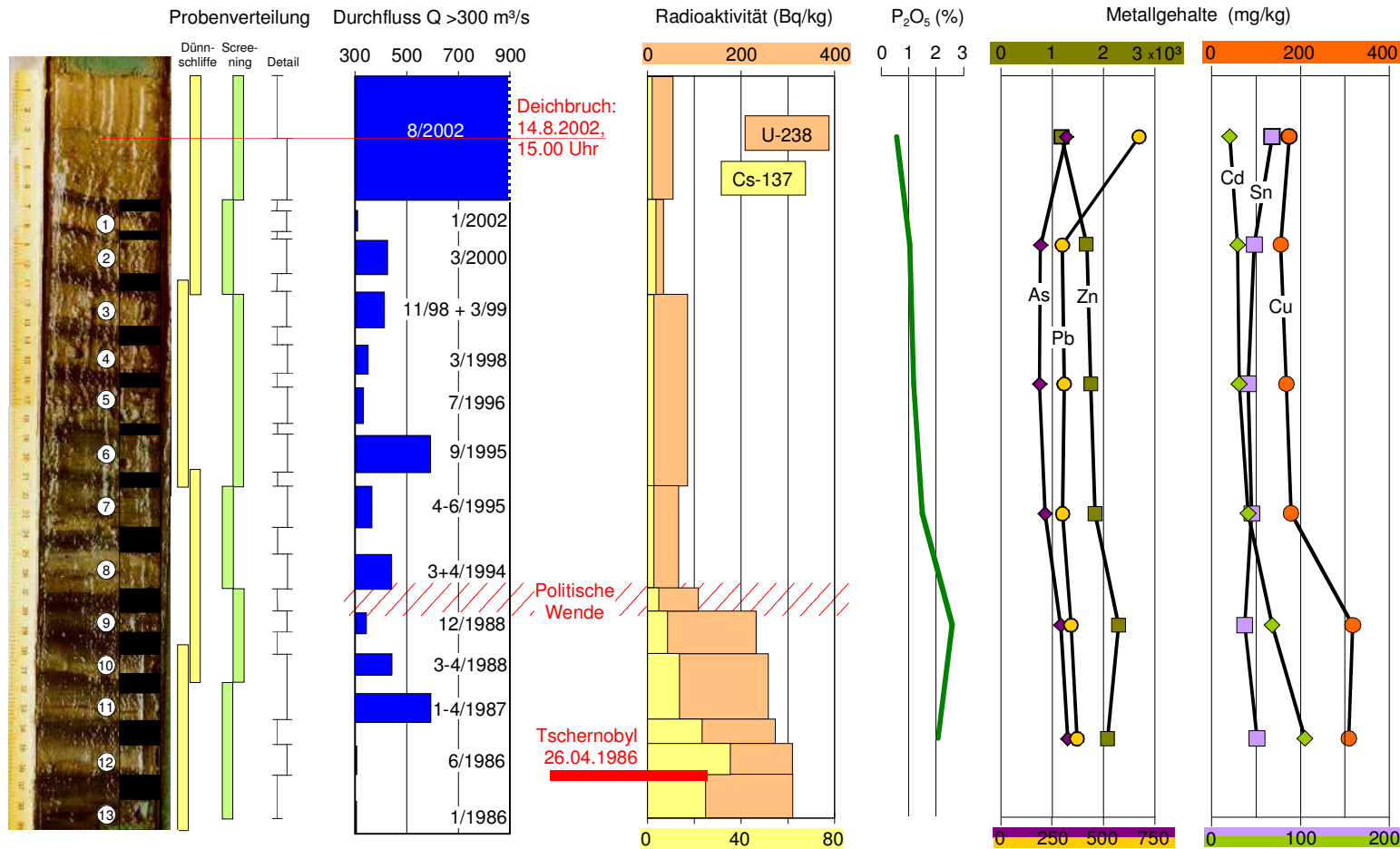


Abb. 17: Verteilung der Elemente Eisen und Mangan im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Sedimentkern Bitterfelder Muldestausee (MUL1HW)

18.9.2002, Friedersdorfer Becken (45 25 600 E, 57 24 660 N), Wassertiefe 20 m



© & © by E Zett

Abb. 18: Ergebnisse radiometrischer (¹³⁷Cs, ²³⁸Uran) und geochemischer (As, Pb, Zn, Cd, Sn, Cu) Untersuchungen am im September 2002 entnommenen Kern Mul1HW aus dem Friedersdorfer Becken des Muldestausees.

Sedimentkerne Bitterfelder Muldestausee – Hauptbecken –

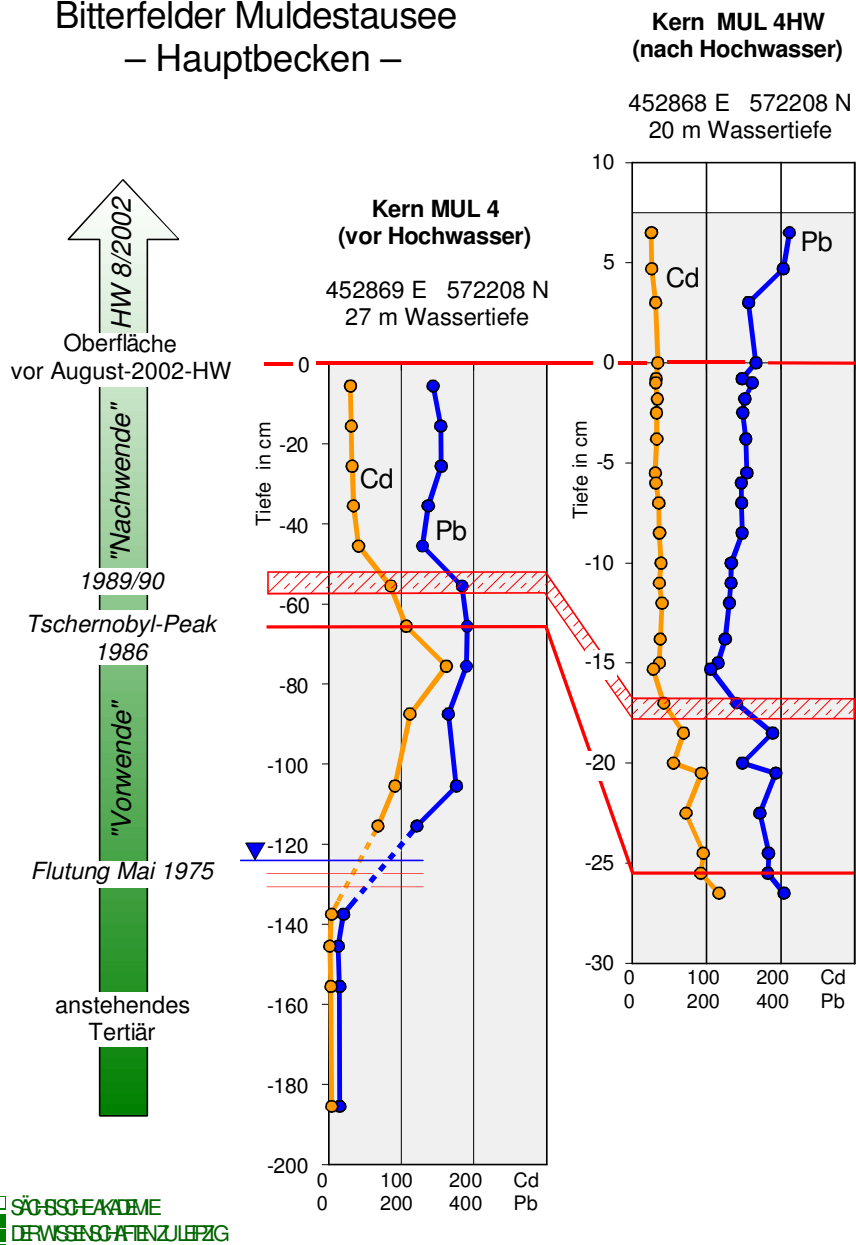


Abb. 19: Konzentrationsverlauf der Elemente Cadmium und Blei in den 2002 entnommenen Sedimentkernen aus dem Hauptbecken des Muldestausees

Arsen, Blei, Cadmium zeigen im für Aussagen zum Langzeittrend untersuchten Kern MuSt-FB7 aus dem Friedersdorfer Becken (**Abb. 10**) einen deutlich abnehmenden Trend ihrer Konzentrationen. Dabei sinken die Gehalte an Arsen und Blei von ca. 600 mg/kg (vor 1990) auf ein Niveau von 200-300 mg/kg. Der Hauptkontaminant Cadmium verzeichnet dabei den größten Konzentrationsrückgang von ca. 220 mg/kg auf Gehalte kleiner 20 mg/kg. Alle drei Elemente liegen aber noch deutlich über dem Oberen Schwellenwert des Schadstoffmanagementkonzeptes. Interessant ist, dass der durch das Hochwasser vom August 2002 verursachte Extremeintrag von Blei mit Gehalten bis ca. 630 mg/kg den Gesamttrend der Sedimentqualitätsverbesserung nicht unterbricht. Das Extremereignis vom August 2002 dokumentiert sich im Sedimentkern als Konzentrationspeak an Blei, der als Markerhorizont zur Kennzeichnung dieses Ereignisses genutzt werden kann (siehe auch **Abbildungen 18, 19**), allerdings auf das nach dem Hochwasser 2002 abgesetzte Sediment und das aktuelle Oberflächensediment keinen Einfluss hat. Dies wird besonders im vergleichsweise auf niedrigem Niveau verlaufenden, ausgeglichenen Konzentrationsverlauf der Elemente im Kern MuSt-HB2 aus dem Hauptbecken deutlich (**Abb. 11**). Die dabei noch oberhalb des Oberen Grenzwertes des SSMK gemessenen Konzentrationen schwanken bei Arsen zwischen 150 und 200 mg/kg, bei Blei um 300 mg/kg und bei Cadmium um 20 mg/kg. Interessant ist, dass die im dokumentierten Zeitraum 2004-2012 stattgefundenen und im Sedimentkern als Ereignislagen erkennbaren Hochwässer, die durch zum Teil sehr hohe Durchflüsse gekennzeichnet waren (Winter 2004/05 mit bis 559 m³/s; Winter 2005/06 mit bis 596 m³/s; Winter 2007/08 mit bis 419 m³/s und Winter 2010/11 mit bis 730 (!) m³/s), im Gegensatz zum Sommerhochwasser vom August 2002 durch keine erhöhten Schadstoffeinträge ausgewiesen sind. Dies ist verursacht offenbar einerseits durch die bei diesen Ereignissen fehlenden extremen Haldenabträge im Oberlauf, wie auch durch den allgemein stärkeren Verdünnungseffekt durch siliklastischen Bodenabtrag bei Winterhochwässern.

Zink, Kupfer, Chrom dokumentieren mit ihren Konzentrationsverläufen ebenfalls einen Trend deutlich abnehmender Belastung seit 1989/90 (**Abb. 12**). Während die Zinkgehalte mit Werten um 1600 mg/kg sich noch oberhalb des Oberen Grenzwertes des SSMK bewegen, liegen die um 80 mg/kg gemessenen Chromgehalte deutlich, und die um 150 mg/kg schwankenden Kupfergehalte geringfügig unterhalb der Oberen Schwellenwerte des SSMK. Bezüglich dieser letztgenannten Elemente ist das seit dem Jahrhunderthochwasser vom August 2002 angesetzte Sediment als nicht belastet einzuschätzen (**Abb. 13**).

Nickel, Quecksilber, Uran weisen im Sediment des Muldestausees Konzentrationen auf, die trotz einer seit Anfang der 1990er Jahre verzeichneten Gehaltsabnahme noch deutlich oberhalb des Oberen Schwellenwerte des SSMK liegen (**Abbn. 14, 15**). Im Gegensatz zur hohen Schwankungsbreite der Gehalte aller drei Elemente bis Mitte der 1990er Jahre, ist seit dieser Zeit der abnehmende Konzentrationstrend durch eine sehr geringe Variabilität der Gehalte gekennzeichnet. Die Gehalte an Nickel schwanken um 80 mg/kg, diejenigen an Quecksilber um 0,75 mg/kg und an Uran um 20 mg/kg. Bei Hochwässern sind im Gegensatz zum Zeitabschnitt vor der Stilllegung und Sanierung bergbaulicher Anlagen im Oberlauf der Mulde seit Mitte der 1990er Jahre keine erhöhten Einträge in das Sediment des Muldestausees feststellbar.

Eisen, Mangan lassen mit ihren Konzentrationsverläufen in den untersuchten Sedimentkernen keinen generellen Langzeittrend erkennen (**Abbn. 16, 17**). Mit ihrem weitgehend kongruenten Gehaltsverläufen widerspiegeln sie im wesentlichen Schwankungen der Redoxverhältnisse im Sediment. Niedrige Konzentrationen weisen auf mehr reduktive Bedingungen, ein Anstieg der Gehalte auf Fällungsprozesse im Sediment unter mehr oxischen Bedingungen (Fe-Mn-Hydroxide) hin. Auftretende Hochwässer mit ihrer stark schwankenden Wasserführung und damit schwankenden Sauerstoffzufuhr dokumentieren sich in stark wechselnden Eisen- und Mangankonzentrationen im Sediment. In Verbindung mit hoher organischer Belastung, wie dies für die Mulde und den Muldestausee (polytrophe Verhältnisse) noch bis Mitte der 1990er Jahre ausgeprägt war, führen zu besonders wechselhaften Bedingungen der Eisen- und Manganfällung im Sediment und damit zu einer hohen Variabilität ihrer Gehalte. Die mittleren Eisengehalte im oberflächennahen Sediment des Muldestausees schwanken um ca. 5 %, diejenigen von Mangan zwischen 1000 und 2000 mg/kg.

3.2.3. Schlußfolgerungen

Das die Oberfläche des heutigen Seegrundes (2012) bildende Seesediment liegt mit seinen Gehalten an anorganischen Schadstoffen noch deutlich über dem Oberen Schwellenwert des Schadstoff/Sedimentmanagementkonzeptes (SSMK). Die höchste Überschreitung liegt bei den Elementen Nickel (26-fach), Cadmium (9,1-fach), Blei (5,5-fach) und As (4,7-fach) vor, danach folgen Zink (2,0-fach) und Quecksilber (1,7-fach). Uran ist mit 4,9-fachem Gehalt über dem Tongesteinsstandard ebenfalls noch stark erhöht.

Dabei ist interessant, dass die angetroffenen Konzentrationen von Chrom (hier zutreffend für das Seesedimentpaket insgesamt) und Kupfer im Oberflächensediment des Muldestausees von 2012 unterhalb des Oberen Schwellenwertes des SSMK liegen. Somit ist das Oberflächensediment des Muldestausees von 2012, sowohl im Haupt-, als auch im Friedersdorfer Becken, bezüglich der beiden Elemente Chrom und Kupfer als nicht belastet in Bezug auf die Klassifizierung gemäß dem Schadstoff/Sedimentmanagementkonzept) einzuschätzen. Eine positive Entwicklung, die Ausdruck des allgemeinen Trends einer langsamen, aber steten Verbesserung der Sedimentqualität seit 1990 auch im Muldesystem ist und bei den Schadstoffen, die keine Hauptkontaminanten im Muldesystem darstellen, am ehesten spürbar wird. Bei den das Muldesystem kennzeichnenden anorganischen Hauptschadstoffen Cd, As, Pb, Ni, Zn und U sind langsam abnehmende Gehalte nachweisbar; allerdings um ein Gehaltsniveau unterhalb des Oberen Schwellenwertes zu erreichen, sind die Prozesse der Verdünnung und Verlagerung, die zu einer „natürlichen Selbstreinigung“ führen, allein nicht ausreichend, um in kurzen Zeiträumen zu einer spürbaren Verbesserung der Sedimentqualität zu gelangen. Hier sind zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung des Schadstoffeintrages an den Eintragsquellen im Oberlauf der Mulde notwendig.

3.3. Geochemie (organische Schadstoffe)

Die Sedimente des Muldestausees wurden erstmals auf die organischen Schadstoffe der Pflanzenschutzmittel α -HCH, β -HCH, γ -HCH und δ -HCH, auf die polychlorierten Biphenyle (PCB) mit ihren Indikator-Kongeneren PCB-28 (2,4,4'-Trichlorbiphenyl), PCB-52 (2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl), PCB 101 (2,2,4,5,5 Pentachlorbiphenyl), PCB-138 (2,2',3,4,4',5-Hexachlorbiphenyl), PCB-153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl), PCB-180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl) sowie PCB-118 als Stellvertreter für die Gruppe der Dioxin-ähnlichen PCBs (2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl) untersucht. Einbezogen wurden in die Untersuchungen der Sedimentkernproben die im Schadstoff/Sedimentmanagementkonzept (SSMK) verankerten organischen Schadstoffe Pentachlorbenzen sowie die Gruppe der polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) mit 7 Hauptvertretern und der polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) mit 10 Indikatorverbindungen. Die Ergebnisse der Sedimentkernuntersuchungen bezüglich organischer Komponenten sind in **Tabelle 9** zusammengefasst. Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch Auswertungen vorliegender Daten des Gewässerkundlichen Landesdienstes Sachsen-Anhalt, die in den Jahren 2010 und 2011 jeweils eine Oberflächensedimentprobe aus dem Muldestausee hinsichtlich der zu betrachtenden Parameter α -HCH, β -HCH, γ -HCH, p,p`DDT, p,p`DDE, p,p`DDD, PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180, Pentachlorbenzen, HCB, Benzo(a)pyren, Anthrazen, Fluoranthen, Σ PAK 5 untersuchten. Ihre Ergebnisse sind in **Tabelle 8** zusammengestellt.

Tabelle 8: Organische Schadstoffe im Oberflächensediment des Muldestausees

	SSMK: Ob. Schwellenwert; $\mu\text{g}/\text{kg}$	2010 $\mu\text{g}/\text{kg}$	2011 $\mu\text{g}/\text{kg}$	Überschreitung Ob. Schwellenwert (SSMK)
α -HCH	>1,5	<3,0	<3,0	(nein)
β -HCH	>5	<3,0	<3,0	nein
γ -HCH	>1,5	<3,0	<3,0	(nein)
p,p`DDT	>3	2,0 (24-DDT)	4,0 (24-DDT)	(ja)
		21,0 (4,4-DDT)	20,0 (4,4-DDT)	
		85,0 (Summe DDT)	81,0 (Summe DDT)	
p,p`DDE	>6,8	2,0 (24-DDE)	4,0 (24-DDE)	(ja)
		19,0 (4,4-DDE)	26,0 (4,4-DDE)	(ja)
p,p`DDD	>3,2	20,0 (24-DDD)	17,0 (24-DDD)	
		43,0 (4,4-DDD)	31,0 (4,4-DDD)	
PCB-28	>20	<1,0	<1,0	nein
PCB-52	>20	<1,0	<1,0	nein
PCB-101	>20	<1,0	1,4	nein
PCB-118	>20	<1,0	<1,0	nein
PCB-138	>20	2,0	2,8	nein
PCB-153	>20	1,7	2,1	nein
PCB-180	>20	<1,0	1,5	nein
Pentachlorbenzen	>400	<1	<1	nein
HCB	>17	1	1	nein
Benzo(a)pyren	>600	270	300	nein
Anthrazen	>310	70	71	nein
Fluoranthen	>180	760	720	ja
Σ PAK 5	>2500	2140	1941	nein

Die Sedimente des Muldestausees weisen mit einigen wenigen Ausnahmen (p,p`DDE, p,p`DDE, p,p`DDD, Fluoranthen) keine großen Konzentrationsüberschreitungen im Vergleich zu den im Sediment/Schadstoff-Managementkonzept (SSMK) festgelegten Oberen Schwellenwerten auf.

Die Konzentrationen an **HCH-Verbindungen** und an **polychlorierten Biphenylen** liegen generell unterhalb 30 µg/kg, wobei die von der Probenmenge bestimmte Nachweisgrenze eine genauere Bestimmung nicht zuließ. Allerdings ist eine deutliche Überschreitung der Konzentration bei den für diese Verbindungen gültigen Oberen Schwellenwerten von >1,5 bzw. >5 µg/kg (HCH) und >20 µg/kg (PCB) nicht zu erwarten. Dies wird durch die Daten des Gewässerkundlichen Landesdienstes Sachsen-Anhalt bestätigt, die im Falle der HCH`s Konzentrationen im Oberflächensediment von kleiner 3,0 µg/kg zeigen. Im Falle der **PCB`s** liegen die Gehalte im Seesediment des Muldestausees im Konzentrationsbereich untersuchter Waldböden und -auflagen (30 µg/kg) und deutlich unterhalb z.B. der Konzentrationen (800 µg/kg), die in typisch ländlichen Böden entlang von Fahrbahnen gemessen wurden (BLUME (Hrsg.) 2004). Die Gehalte an **Pentachlorbenzen** im Muldestauseesediment liegen mit ebenfalls <30 µg/kg deutlich unterhalb des Oberen Schwellenwertes von 400 µg/kg. Auch die Grenzwerte der Klärschlammverordnung, die für die PCB`s 200 µg/kg TS je Einzelstoff betragen, werden von den Sedimenten des Muldestausees eingehalten.

Interessant stellt sich die Situation bei den **Dioxinen und Furanen** dar. Die Gehalte an PCDF/PCDD (in ng/TEQ/kg) im Seesediment, ermittelt unter Einbeziehung der für die einzelnen Verbindungen charakteristischen Toxizitätsfaktoren NAT/CCMS, bewegen sich bei Betrachtung des gesamten Muldestausees mit 23 ng/TEQ/kg im Bereich des mit >20 angegebenen Oberen Schwellenwertes der SSMK. Dabei liegen die Sedimente des Friedersdorfer Beckens mit einem mittleren Gehalt von 29 ng/TEQ/kg über dem Grenzwert, diejenigen des Hauptbeckens mit 14 ng/TEQ/kg unterhalb des Schwellenwertes. Die Hauptbelastung an Dioxinen und Furanen im Muldestausee ist generell an die tiefer liegenden und im Zeitraum 1975-1990 abgelagerten Sedimente gebunden. Mittlere Gehalte von 53 ng/TEQ/kg dieser im Hauptbecken mehr als 1 m und im Friedersdorfer Becken mehr als 0,3 m unterhalb des Seeboden liegenden Altsedimente belegen einen deutlich höheren Belastungsgrad. Überlagert wird dieses Sedimentpaket von den im „Nachwende“-Zeitraum 1990-2012 abgelagerten Sedimenten, die mit einem mittleren PCDF/PCDD-Gehalt von 14 ng/TEQ/kg ein deutlich unter dem Oberen Schwellenwert liegendes, weitgehend unbedenkliches Konzentrationsniveau besitzen. Es zeigt sich, dass auch für die organischen Schadstoffe, und hier insbesondere für die Dioxine und Furane, ein Belastungsrückgang im Eintrag in den Muldestausee seit Beginn der 1990er Jahre zu verzeichnen ist. Dies korrespondiert sehr gut mit dem auch für die anorganischen Schadstoffe im Muldestausee beobachteten Trend des Schadstoffrückgangs. Es zeigt sich auch im Falle der organischen Schadstoffe, dass die im Untergrund noch vorhandenen und durch höhere Schadstoffkonzentrationen ausgewiesenen Altsedimente von jüngerem, unbelasteterem Sedimentmaterial überlagert werden und zu einer „Abdeckung“ dieses Kontaminationspotenzials geführt haben. Sowohl in den aus DDR-Zeiten stammenden Altsedimenten („Vorwende“), wie auch in den geringer belasteten Sedimenten seit 1990 („Nachwende“) sind höhere Konzentrationen an Dioxinen (PCDD) gegenüber den Furanen (PCDF) zu beobachten. Als Hauptkontaminanten an Dioxinen (PCDD) treten 1,2,3,7,8,9-

Hexachlordibenzodioxin (bis maximal 12,9 ng/TEQ/kg in den Altsedimenten) und Octachlordibenzodioxin (bis maximal 13,5 ng/TEQ/kg in den Altsedimenten) in Erscheinung. Ihre Maximalkonzentrationen erreichen bei weitem nicht das Niveau untersuchter Proben unterhalb des Muldestausees, z.B. in Elbsedimenten und –Böden bei Wörlitz und Steckby, in denen um zehn- bis einhundertffach höhere (Octachlordibenzodioxin) bzw. vergleichbare Konzentrationen gemessen wurden (UMLAUF u.a. 2004). Bei den Furanen (PCDF) weisen die höchsten Konzentrationen, ebenfalls in den Altsedimenten, die PCDF's 2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran (bis maximal 6,0 ng/TEQ/kg) und 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran (bis maximal 2,7 ng/TEQ/kg) auf. Dabei handelt es sich um die heterocyklischen Verbindungen an Dioxinen und Furanen, die eine sehr geringe Wasserlöslichkeit (10^{-3} bis 10^{-5} mg/l), einen sehr geringen Dampfdruck (10^{-9} bis 10^{-10} hPa) und eine vom pH-Einfluss unabhängige sehr geringe Abbaurate sowohl im aeroben, wie auch im anaeroben Milieu aufweisen (nach N. LITZ, in BLUME (Hrsg., 2004). In Elbsedimenten aus Überschwemmungsgebieten unterhalb des Muldestausees werden ihre Konzentrationen um das Zehnfache überschritten (UMLAUF u.a. 2004).

Die **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK's)**, die u.a über Abträge aus Mineralölen, Bitumen, Pech, Teer, Ruß in die Umwelt gelangen und auch industrielle Verwendung (Pestizide, Farbstoffe, Pharmaka) finden, bewegen sich im Oberflächensediment des Muldestausee mit ihren Gehalten zwischen unterem und oberem Schwellenwert des SSMK und liegen damit unterhalb der festgelegten Schadstoffgrenze. Naphthalin als bedeutendstes PAK im Bereich industrieller Verwendung weist dabei Gehalte zwischen 140 und 220 µg/kg auf. Eine vergleichbare Situation unterhalb des Oberen Schwellenwertes liegender Gehalte findet sich bei Benzo(a)pyren und Anthrazen. Das durch diffuse Einträge in Folge unvollständiger Verbrennung organischen Materials (Kohle, Öl, Müll) bzw. durch Auto- und Industrieabgase (KfZ-Motor, Feuerungsanlagen) in die Atmosphäre und Umwelt gelangende **Anthrazen** zeigt im Oberflächensediment Gehalte um die 70 µg/kg. Das zur Gruppe der PAK's gehörende **Benzo(a)pyren** ist mit Gehalten um 270-300 µg/kg im Oberflächensediment nachweisbar.

Oberhalb des Oberen Schwellenwertes der SSMK und damit hinsichtlich auftretender Konzentrationen als ökotoxikologisch bedenklich einzuschätzen sind im Seesediment des Muldestausees die organischen Komponenten von **DDT und Metabolite (p,p`DDT, p,p`DDE, p,p`DDD)**, die überwiegend als Insektizide in der Vergangenheit eingesetzt und in die Umwelt gelangten. Ihre Konzentrationen überschreiten je nach Verbindung das Mehrfache des Oberen Schwellenwertes und dokumentieren damit das hohe Anreicherungsvermögen in Boden, Sediment und Biosphäre und die hohe Stabilität dieser Verbindungen. Ebenfalls als ökotoxikologisch bedenklich einzuschätzen sind die Gehalte an **Fluoranthen** im Oberflächensediment des Muldestausees, die hier eine bis drei- bis vierfache Überschreitung des Oberen Schwellenwertes des SSMK aufweisen.

Tabelle 9: Organische Schadstoffe in den Sedimenten des Muldestausees, aufgeschlüsselt nach Ablagerungsraum und –zeit.

(<20µm-Fraktion) (Mittelwert; Min-Max)	Oberer Schwellenwert nach SSMK	Muldestausee (insgesamt)	Hauptbecken	Friedersdorfer Becken	„Nachwende“ 1990-2012: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 0-30 cm; Hauptb. 0-110 cm	„Vorwende“ 1975-1990: Tiefenbereich: Friedersd. Becken 30-50 cm; Hauptb. 110-200 cm
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
HCH-α, HCH-γ HCH-β, HCH-δ	>1,5 >5	jeweils <30 (<10-<30)	jeweils <10 (<10-<10)	jeweils <30 (<10-<30)	jeweils <20 (<10-<20)	jeweils <30 (<10-<30)
PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180	>20	jeweils <30 (<10-<30)	jeweils <10 (<10-<10)	jeweils <30 (<10-<30)	jeweils <30 (<10-<30)	jeweils <30 (<10-<30)
Pentachlorbenzen:	>400	<30 (<10-<30)	<10 (<10-<10)	<30 (<10-<30)	<30 (<10-<30)	<30 (<10-<30)
	ng/TEQ/kg	ng/TEQ/kg	ng/TEQ/kg	ng/TEQ/kg	ng/TEQ/kg	ng/TEQ/kg
Dioxine (PCDD) (Summe):		19,46	7,69	25,97	12,80	45,50
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin		<5 (<1-<5)	<1 (<1-<1)	<5 (<1-<5)	<5 (<1-<5)	<5 (<1-<5)
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin		<1,55 (<0,5-3,1)	<1,3 (<0,5-1,3)	<3,1 (<0,5-3,1)	<1,0 (<0,5-<2,5)	<3,1 (<2,5-3,1)
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin		0,77 (0,29-2,20)	0,34 (0,29-0,36)	<0,94 (<0,5-2,2)	<0,45 (<0,5-0,72)	1,9 (1,6-2,2)
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin		1,96 (0,46-6,90)	0,64 (0,46-0,83)	2,84 (0,78-6,90)	1,0 (0,46-2,0)	5,9 (4,8-6,9)
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin		1,62 (0,48-5,00)	0,65 (0,48-0,83)	2,27 (0,91-5,00)	0,85 (0,48-1,2)	4,7 (4,4-5,2)
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin		4,22 (1,19-12,90)	1,62 (1,19-2,29)	6,00 (1,53-12,90)	2,13 (1,19-4,44)	12,60 (12,3-12,9)
Octachlordibenzodioxin		4,34 (1,75-13,50)	2,14 (1,75-3,21)	5,82 (1,95-13,50)	2,36 (1,75-3,21)	12,29 (11,08-13,5)
Furane (PCDF) (Summe):		8,54	6,06	11,52	8,69	14,37
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran		1,25 (1,00-1,60)	1,23 (1,00-1,60)	1,27 (1,10-1,50)	1,25 (1,0-1,5)	1,25 (1,1-1,4)
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran		0,27 (0,15-0,40)	0,23 (0,15-0,31)	<0,32 (<0,25-0,40)	<0,25 (<0,25-0,31)	0,33 (0,25-0,4)
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran		3,77 (2,80-6,00)	3,20 (2,80-3,60)	4,15 (2,90-6,00)	3,5 (2,8-4,6)	4,8 (3,6-6,0)
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran		1,37 (0,87-2,10)	1,06 (0,87-1,30)	1,58 (1,30-2,10)	1,27 (0,87-1,60)	1,8 (1,5-2,1)
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran		0,86 (0,45-1,80)	0,55 (0,45-0,70)	1,06 (0,65-1,80)	0,72 (0,45-1,10)	1,4 (1,0-1,8)
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran		<0,5 (<0,1-<0,5)	<0,1 (<0,1-<0,1)	<0,5 (<0,1-<0,5)	<0,25 (<0,1-<0,5)	<0,5 (<0,1-<0,5)
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran		<0,67 (0,38-1,20)	0,49 (0,38-0,63)	<0,81 (<0,5-1,20)	<0,56 (<0,5-0,86)	1,05 (0,89-1,2)
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran		0,94 (0,06-2,73)	0,41 (0,06-0,59)	1,30 (0,55-2,73)	0,57 (0,06-1,13)	2,42 (2,10-2,73)
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran		0,08 (<0,03-0,15)	<0,04 (<0,03-0,04)	<0,09 (0,05-0,15)	<0,06 (<0,03-0,08)	0,10 (0,05-0,15)
Oktachlordibenzofuran		0,35 (0,18-0,79)	0,21 (0,18-0,26)	0,44 (0,25-0,79)	0,26 (0,18-0,41)	0,72 (0,64-0,79)
PCDF/PCDD (Dioxine/Furane)*	>20	23 (12-57)	14 (12-13)	29 (14-57)	15,5 (12-22)	53 (49-57)

(* gerundet; in ng/TE/kg NATO/CCMS)

4. Untersuchungsergebnisse Konzentrationsvergleich gelöst/partikulär

Die Wirksamkeit des Bitterfelder Muldestausees als Schadstoffs Senke wird ebenfalls deutlich beim Vergleich von Daten zu den gelösten und partikulären (schwebstoffgebundenen) Konzentrationen der betrachteten Metalle und Metalloide (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, U, Zn) oberhalb und unterhalb des Muldestausees.

Der Vergleich von Zu- und Ablauf des Muldestausees dokumentiert mit der Passage des Muldestausees bei allen betrachteten anorganischen Schadstoffkomponenten eine deutliche Abnahme der an den Schwebstoff partikulär gebundenen Elementkonzentrationen (ZERLING u.a. 2001). Die Konzentrationen im Schwebstoff am Auslauf erreichen zwischen 10 bis 25 % ihrer am Zulauf des Muldestausees gemessenen Ausgangswerte. Eine deutliche Differenzierung hinsichtlich der Elementeigenschaften (bevorzugte Affinität zu gelösten bzw. partikulären Transport) ist dabei nicht erkennbar. Eine wesentlich geringere Reduzierung erfolgt bei der gelösten Elementfracht, deren Konzentrationen am Ablauf zwischen 78 bis 93 % der am Zulauf gemessenen Konzentrationen einnehmen, wobei Konzentrationserhöhungen insbesondere bei Nickel und Mangan zu beobachten sind.

Die Auswertung von Daten zu den Veränderungen der Elementkonzentrationen in der Mulde im Schwebstoff (partikulär) und im Wasser (gelöst) im Oberlauf (Station Bad Dübren) und im Unterlauf der Mulde (Station Dessau) lässt trotz unterschiedlicher Datenquellen (Broekaert u.a. 2004; freiverfügbare Daten des Fachinformationssystems der FGG Elbe; unpubl. Daten LFULG Sachsen) ebenfalls einige allgemeine Trends zur Schadstoffentwicklung und zur Wirksamkeit des Muldestausees als Schadstoffs Senke erkennen (**Tabelle 10**):

- Im Zeitraum der letzten 20 Jahre ist ein deutlicher Rückgang der Elementkonzentrationen (gelöst und partikulär) bei allen betrachteten anorganischen Schadstoffen zu beobachten und reflektiert den allgemeinen Belastungsrückgang im Einzugsgebiet der Mulde.
- Die Wirksamkeit des Muldestausees als Schadstoff Senke wird durch im Jahresvergleich sichtbare, niedrigere Elementkonzentrationen im Unterlauf gegenüber dem Oberlauf dokumentiert. Dies betrifft mit einigen Ausnahmen sowohl die gelöste, als auch die partikulär gebundene Elementfracht. Bei der gelösten Elementfracht bilden Ausnahmen die redoxsensitiven Elemente Fe und Mn; bei der partikulären Fracht sind zeitweilig höhere Konzentrationen im Unterlauf zusätzlich noch bei den mäßig partikulär-affinen bis mäßig gelöst-affinen Elementen Ni, U, Zn und As zu Beginn der 1990er Jahre erkennbar.
- Durch den allgemeinen Belastungsrückgang und die Wirksamkeit der Schadstoff Senke des Muldestausees sind unterhalb des Muldestausees die Konzentrationen in der Wasserphase der Mulde seit 1991 bis 2010/11 bei den Elementen Uran auf ein Gehaltsniveau von 20 %, bei Blei von 27 %, bei Cadmium und Chrom von 31 %, bei Nickel von 58%, bei Zink von 69 % und bei Kupfer von 92 % der 1991 im Oberlauf gemessenen Ausgangskonzentrationen zurückgegangen.
- Durch den allgemeinen Belastungsrückgang und die Wirksamkeit der Schadstoff Senke des Muldestausees ist unterhalb des Muldestausees ein Rückgang der Konzentrationen in der Schwebstoff- bzw. partikulären Phase der Mulde seit 1991 bis 2010/11 bei den Elementen Uran auf 15 %, Cadmium auf 23 %, Chrom auf 29 %, Kupfer auf 40 %, Zink auf 58 %, Blei auf 71 %, Nickel auf 82% und Arsen auf 86% der 1991 im Oberlauf gemessenen Ausgangskonzentrationen zu verzeichnen.

Tabelle 10: Veränderung der mittleren Konzentrationen (gelöst, partikulär) ausgewählter anorganischer Schadstoffe im Muldelauf zwischen Bad Dübén (vor Muldestausee) und Dessau (hinter Muldestausee)

		vor Muldestausee			nach Muldestausee		
		Konzentration (gelöst), µg/l			Konzentration (gelöst), µg/l		
		1991/93	2003	2010/11	1991/93	2003	2010/11
As	mgel	8,0	11,8	5,6	3,7	11	
Cd	mpart	1,1	(0,7)	0,34	0,5	(1,0)	0,35
Pb	stpart	5,2	(9,4)	0,4	3,6	(4,1)	1,4
Cr	stpart	3,2	3,5	0,5	4,2	1,9	<1,0
Cu	mpart	3,9	3,6	2,8	3,4	3,0	3,6
Ni	mgel	8,1	9,9	3,3	7,6	10,7	4,7
Zn	mgel	51	28	34	46	8,6	35
U	mgel	10,4	5,8	1,9	10,0	5,6	2,1
Fe	stpart	96	551	59	83	610	219
Mn	mpart	70	32	49	65	115	77
Datenquelle		a	a	c	a	a	b
		vor Muldestausee			nach Muldestausee		
		Konzentration (partikulär), mg/kg			Konzentration (partikulär), mg/kg		
		1991/93	2003		1991/93	2003	2010/11
As	mgel	204	102		547	65	175
Cd	mpart	72	13		40	9,2	16,8
Pb	stpart	341	231		298	91	242
Cr	stpart	302	167		469	72	89
Cu	mpart	244	104		243	57	98
Ni	mgel	126	97		150	81	103
Zn	mgel	2930	1100		4180	736	1712
U	mgel	110	15		154	4,8	17
Fe	stpart	31500	29800		111000	16700	42954
Mn	mpart	3140	3540		5340	4000	10960
Datenquelle		a	a		a	a	b
Datenquellen: a - BROEKAERT u.a (2004); b - Fachinformationssystem (FIS) der FGG Elbe; c – LFULG Sachsen							

5. Muldestausee als Schadstoffsenke

5.1. Gibt es Veränderungen in der Ökosystemleistung des Muldestausees?

5.1.1. Sedimentrückhalt

Allgemeine Randbedingungen. Die Verfüllung des Muldestausees erfolgt gleichzeitig durch die von der Mulde mitgebrachte Grobfracht (Sand und Kies), als auch durch die im Stauseebereich abgesetzte, überwiegend aus organikreichen Feinstschlämmen (Schluff- und Tonfraktion) bestehende Feinstfracht. Um die Zeitdauer seiner Verfüllung und damit seiner Wirksamkeit als Sedimentfalle abzuschätzen sind für beide Komponenten, d.h. für die Grobfracht und die Feinstfracht, gesonderte Betrachtungen und Mengenabschätzungen notwendig. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Ablagerung beider Frachtanteile innerhalb des Muldestausees in unterschiedlichen Sedimentationsbereichen stattfindet. Die Gliederung des rd. 6,15 km² großen Muldestausees in die Teilbereiche Poucher bzw. Hauptbecken (4,90 km²), Verbindungsbett (0,56 km²) und Friedersdorfer Becken (0,69 km²) bedingen eine deutliche laterale Gradierung der in den Muldestausee gelangenden Sedimentfracht. Während die Grobfracht aus Sand und Kies weitgehend im Zulaufbereich der Mulde bei Pouch zum Absatz kommt und deltaartig eine fortschreitende Verfüllung des Hauptbeckens bewirkt, gelangt die Feinstfracht sowohl im Hauptbecken (Zentral- und hinterer Bereich), als auch im Friedersdorfer Becken zur Sedimentation. Durch das vorgeschaltete Hauptbecken, das bezogen auf die Grobfracht die Funktion eines Klärbeckens einnimmt, kommen im Friedersdorfer Becken zur Zeit ausschließlich Feinstsedimente zur Ablagerung. Dies wird durch Ergebnisse vergleichender Untersuchungen von Sedimenten aus Haupt- und Friedersdorfer Becken bestätigt (JUNGE u.a. 2004a), die für letzteres höhere Gehalte an Organik (Glühverlust) und daran gebundene Schwermetalle (u.a. Zn, Cu, Cd, Pb, Ni) aufweisen. Für den Sedimentationsverlauf des Friedersdorfer Beckens ergibt sich daraus eine gegenüber dem Hauptbecken langsamere Füllung und ein längeres Offenhalten dieses Teilbereiches im Zuge der Verlandung des Muldestausees durch Muldesediment. Für die Beurteilung der Dauer der Wirksamkeit der Sedimentsenke Muldestausee erscheint damit auch eine getrennte Betrachtung der zwei tiefen Teilbereiche von Hauptbecken (bis 28 m tief; Mittel 21 m) und Friedersdorfer Becken (bis 24 m tief; Mittel 19,5 m) notwendig. In dem beide Teilbereiche verbindenden, flachen (5m), schlauchförmigen, ca. 300 m breiten und bis 1700 m langen Verbindungsbett findet als Durchströmungsbereich der Mulde keine wesentliche Sedimentation statt.

Bisherige Sedimentkernuntersuchungen aus dem Bitterfelder Muldestausee zeigen (JUNGE u.a. 2004b, 2004c), dass die in den Kernen deutlich sichtbaren Ereignislagen bei Hochwässern zum Absatz kamen, die durch Durchflüsse größer 300 m³/s charakterisiert sind (entspricht der 4,5-fachen Erhöhung des mittleren Durchflusses der Mulde am Pegel Bad Düben, dem nächstgelegenen Pegel im Oberlauf; MQ für 1961 bis 1990 = 64,8 m³/s). Gestützt wird dies ebenfalls durch Ergebnisse von Bilanzabschätzungen der Schwebstofffracht. So zeigen die auf langjährigen Meßreihen der Jahre 1991 bis 2002 gestützten Untersuchungen zum Schwebstoffeintrag in den Muldestausee, dass der Haupteintrag der Schwebstofffracht in den Muldestausee an Hochwasserereignisse gebunden ist (Jendryschik 2003). Dabei besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Menge der in den Muldestausee eingetragenen Schwebstoffe und dem maximal auftretenden Durchfluss (Tabelle 11). Mit dem Auftreten von Ereignissen, die einen Durchfluss größer 150 m³/s aufweisen, ist eine Zunahme der im

Muldestausee verbleibenden Schwebstoffmenge um den Faktor 3 zu beobachten. Bei Hochwässern mit einem Durchfluss größer $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ist eine nochmalige Verdreifachung der Schwebstoffmenge festzustellen, wobei dann pro Ereignis bis 75000 Tonnen Schwebstoff im Stausee zur Sedimentation gelangen können, und sie dann als deutliche Lagen im Sediment erkennbar sind. Zum Vergleich sei angemerkt, dass während des Jahrhunderthochwassers im August 2002 allein 60924 t Schwebstoffe im Muldestausee zum Absatz gelangten ((JUNGE u.a. 2004a), die einen sichtbaren Sedimentzuwachs erkennen ließen.

Der Rückhalt der Schwebstofffracht im Muldestausee erweist sich unabhängig vom Durchfluss und von der Menge der eingetragenen Schwebstoffe als relativ konstant. Bilanzabschätzungen dokumentieren, dass bezogen auf die Monatsfracht im Mittel ca. 87% und **bezogen auf die Jahresfracht im Mittel ca. 93 % der den Muldestausee erreichenden Schwebstoffe zur Sedimentation gelangen**. Unabhängig davon war mitunter in Ausnahmefällen, und zwar sowohl bei Niedrigwasserperioden (z.B. Winter 2000/01; Rückhalt 45-65%), wie auch bei Extremhochwässern (z.B. August 2002; Rückhalt 71%) ein geringerer Schwebstoffrückhalt zu beobachten.

Tabelle 11: Zusammenhang zwischen Durchfluss, prozentualem Rückhalt und Menge der im Muldestausee zurückgehaltenen Schwebstofffracht (Auswertezeitraum 1991-2002)

Maximaler Durchfluss im Monat (in m^3/s)	Monatl. Rückhalt in % der Zulauffracht	Monatliche Schwebstoffsedimentation im Muldestausee (Rückhalt in Tonnen)		
Durchflussintervall	Mittelwert	Mittelwert	Min	Max
< 65	89	1040	57	5136
65 - 100	89	3351	716	15064
101 - 150	82	5978	1088	13738
151 - 200	88	17381	1257	46427
201 - 250	91	18684	11863	34850
251 - 300	65	20638	9397	36175
>300	86	68333	28882	149821

Feinstfracht – Methode I: Ermittlung der im Muldestausee abgelagerten Schwebstofffracht aus Schwebstofffrachtdaten.

Voraussetzungen und Annahmen (Methode I). Basis bilden die im Zeitraum 1991-2001 am Zu- und Ablauf des Muldestausees gemessenen Schwebstoffdaten (zusammenfassend publiziert in Jendryschik 2003) und die Durchflussdaten der Mulde am Pegel Bad Dübren seit 1975 zur Ermittlung und Kennzeichnung der Hochwasserereignisse. Aus der Auswertung der im Zeitraum 1991 bis 2001 erhobenen Schwebstoffbilanzen ergeben sich die folgenden Modellansätze und Ergebnisse, die die Grundlage zur Abschätzung der im Muldestausee seit 1975 abgelagerten Schwebstoffmengen und der mittleren im Stausee sedimentierten Schwebstofffracht sind (**Tabelle 12**):

Die jährlich, dem Muldestausee zugeführte Schwebstoffmenge beträgt

- bei fehlendem Hochwasser mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: mittlerer Eintrag von rd. 75000 Tonnen Schwebstoff pro Jahr
- bei Auftreten von 1-2 Hochwässern mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: mittlerer Eintrag von rd. 170000 Tonnen Schwebstoff pro Jahr
- bei Auftreten von 3 und mehr Hochwässern mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: mittlerer Eintrag von rd. 350000 Tonnen Schwebstoff pro Jahr

Bei einem durchschnittlichen Rückhalt der in den Muldestausee gelangten Schwebstofffracht von 93 % (entspricht dem beobachteten, mittleren jährlichen Schwebstoffrückhalt) verbleiben im Stausee

- bei fehlendem Hochwasser mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: rd. 69700 Tonnen Schwebstoff pro Jahr
- bei Auftreten von 1-2 Hochwässern mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: rd. 158100 Tonnen Schwebstoff pro Jahr
- bei Auftreten von 3 und mehr Hochwässern mit Durchfluss größer 300 m³/s im Jahr: rd. 325200 Tonnen Schwebstoff pro Jahr.

Nach der in [GRÖSCHKE \(2007\)](#) publizierte Abhängigkeit des Feststoffgehaltes und der Feststoffdichte ergibt sich bei Feststoffdichte von 2,5 g/cm³ und einem Feststoffgehalt von 0,4 kg/kg (=Wassergehalt von 60%) eine Schlammichte von 1,3 g/cm³. Diese wird als Schlammichte des im Muldestausee abgesetzten Schwebstoffes für die Volumenberechnung angenommen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen (Methode I). Im 35-jährigen Zeitraum 1975-2010 sind im Muldestausee insgesamt ca. 5,23 Mio. Tonnen Schwebstoff zur Ablagerung gelangt, was einer jährlich sedimentierten Schwebstofffracht von rd. 147450 t/a entspricht. Dies entspricht einem **am Seegrund des Muldestausees abgesetzten Schlammvolumen (Schwebstoff) von ca. 4,03 Mio. m³** (4026480 m³), wobei sich daraus eine **jährliche Schlammsedimentation von ca. 0,11 Mio. m³/Jahr** (113422 m³/Jahr) ergibt. Bezogen auf die Gesamtstauseefläche des Muldestausees von 6,15 km², die das Hauptbecken (4,90 km²), das Verbindungsbett (0,56 km²) und das Friedersdorfer Becken (0,69 km²) umfasst, ergibt sich daraus ein mittlerer jährlicher Schlamm dickenzuwachs von ca. 1,8 cm/Jahr. Berücksichtigt man, dass die in den Muldestausee eingebrachte Schwebstofffracht im Wesentlichen bei der Passage der Mulde in den beiden Teilbecken zum Absatz gelangt und im Verbindungsbett keine Sedimentation stattfindet, so erhöht sich der **mittlere jährliche Schlamm dickenzuwachs auf ca. 2,0 cm/Jahr.**

Auswertungen der Schwebstofffrachten der Jahre 1992 bis 1997 am Bitterfelder Muldestausee ([ZERLING u.a. 2001](#)) dokumentieren vergleichbare Daten und Größenordnungen, wobei einem jährlichen Eintrag von rund 163300 Tonnen Schwebstoff, ein jährlicher Austrag von 13300 Tonnen gegenübersteht, was einer jährlich sedimentierten Schwebstofffracht von 150000 t/a und einer Sedimentationsrate von 92 % im Muldestausee entspricht.

Tabelle 12: Berechnung der im Muldestausee abgelagerten Menge an Schwebstoff aus der Schwebstofffrachtabschätzung (1975-2011; Methode I)

	Zulauf (t)	Ablauf (t)	Rück- halt (%)	Schwebstoff- sedimentatio- n (t)	Sediment- Volumen (m ³)	Anzahl HW (>300)	max. Durch- fluss im Jahr (m ³ /s)
05/1975	37500	2625	93	34875	26827	0	
1976	170000	11900	93	158100	121615	1	605
1977	170000	11900	93	158100	121615	1	344
1978	170000	11900	93	158100	121615	1	641
1979	75000	5300	93	69700	53615	0	279
1980	350000	24800	93	325200	250154	3	569
1975-1980:				904075 t	695441 m³		
1981	350000	24800	93	325200	250154	3	859
1982	170000	11900	93	158100	121615	2	368
1983	170000	11900	93	158100	121615	1	657
1984	75000	5300	93	69700	53615	0	266
1985	75000	5300	93	69700	53615	0	170
1986	75000	5300	93	69700	53615	0	266
1987	350000	24800	93	325200	250154	4	591
1988	170000	11900	93	158100	121615	2	441
1989	75000	5300	93	69700	53615	0	203
1990	75000	5300	93	69700	53615	0	135
1981-1990:				1473200 t	1133228 m³		
1991	53254	3323	93,7	49931	38408	0	187
1992	83089	6812	91,8	72277	55598	0	209
1993	97650	5409	94,5	92241	70955	0	243
1994	146496	14008	90,4	132488	101914	2	444
1995	346944	20420	94,1	326524	251172	3	588
1996	124589	8163	93,4	116426	89558	1	334
1997	78900	6036	92,3	72864	56049	0	179
1998	207823	12805	93,8	195018	150014	2	344
1999	119223	8793	92,6	110430	84946	1	414
2000	242179	20119	91,6	222060	170815	1	426
1991-2000:				1390259 t	1069429 m³		
2001	59316	5616	90,5	53700	41308	0	198
2002	350000	24800	93	325200	250154	4	>800
2003	75000	5300	93	69700	53615	0	275
2004	170000	11900	93	158100	121615	1	328
2005	170000	11900	93	158100	121615	2	564
2006	170000	11900	93	158100	121615	1	596
2007	75000	5300	93	69700	53615	0	291
2008	170000	11900	93	158100	121615	1	419
2009	170000	11900	93	158100	121615	1	319
2010	170000	11900	93	158100	121615	2	530
2001-2010:				1466900 t	1128382 m³		
2011	170000	11900	93	158100	121615	1	730
Summe 1975-2010	5628424 t	11097		5234434 t	4026480 m³		

Daten der Jahre 1991 bis 2001 sind am Muldestausee erhobene Messdaten (Jendryschik 2003). Die anderen Jahre beinhalten aus diesem Messdatenfundus hochgerechnete Daten (kursive Zahlen).

Feinstfracht – Methode II: Ermittlung der im Muldestausee abgelagerten Feinstfrachtmenge aus Sedimentkerndaten.

Voraussetzungen und Annahmen (Methode II). Aus vom Seegrund des Muldestausees entnommenen Sedimentkernen kann ebenfalls die seit 1975 im Muldestausee insgesamt zur Ablagerung gelangte Menge, wie auch die mittlere Sedimentationsrate an Feinsediment abgeschätzt werden (Methode II). Grundlage hierfür bildet die durch Ereignislagen und geochemische Marker sehr gute zeitliche Einordnung der in den Jahren 2002 bis 2012 aus dem Muldestausee entnommenen Sedimentkerne (JUNGE u.a. 2004b, 2004c). Die Ergebnisse (**Tabelle 13**) ergaben für den Muldestausee insgesamt (ohne Verbindungsbett) einen mittleren jährlichen Schlamm dickenzuwachs von ca. 2,8 cm/Jahr, der eine vergleichbare Größenordnung mit den Berechnungen aus den Schwebstofffrachtdaten (Methode I) widerspiegelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Sedimentauftrag in beiden Teilbecken deutlich unterschiedlich ist. Während im Sedimentationsraum des vorgeschalteten Hauptbeckens im Mittel 5,4 cm Schlamm pro Jahr zum Absatz gelangen, liegt die mittlere Sedimentationsrate im nachgeschalteten Friedersdorfer Becken bei ca. 1,5 cm/Jahr. In dem zwischen diesen Sedimentationsräumen liegenden, vergleichsweise flachen, schmalen und sandigen Verbindungsbett ist keine nennenswerte Sedimentation zu beobachten.

Tabelle 13: Sedimentationsraten in Sedimentkernen aus dem Muldestausee (Methode II)

Kern-Nr.	Entnahme-Datum	Kernabschnitt	(Berechnungsgrundlage)		Mittl. Sedimentations-rate (cm/Jahr)
			Auftrag (cm)	Zeit (Jahre)	
Friedersdorfer Becken:					
Mul1Mo	April 2002	1989-2002	17	13	1,3
Mul1HW	Sept. 2002	1989-2002	27	13	2,1
		1986-2002	36	16	2,2
		1986-1989	9	3	3,0
MuStFB7	Juli 2012	1989-2012	30	23	1,3
		1989-2002	14,5	13	1,1
		2002-2012	13	10	1,3
MuStFB6	Juli 2012	2002-2012	9,5	10	1,0
		1989-2012	19	23	0,8
		1989-2002	9,5	13	0,7
				Mittel:	1,5
Poucher bzw. Hauptbecken:					
Mul4	April 2002	1975-2002	135	27	5,0
		1989-2002	55	13	4,2
Mul4HB	Sept. 2002	1989-2002	25	13	1,9
MuStHB2	Juli 2012	2010-2012	19	2	9,5
MuStHB1	Juli 2012	2010-2012	12,5	2	6,3
				Mittel:	5,4
Muldestausee (insgesamt):				Mittel:	2,8

Ergebnisse und Schlussfolgerungen (Methode II). Legt man die aus den Sedimentkernen ermittelten Sedimentationsraten zugrunde, die auf im Muldestausee real beobachteten Verhältnissen basieren, und berechnet daraus für die einzelnen Beckenbereiche die jährlichen Schlammzuwächse (Methode II-1), so ergeben sich jährliche Schlammzuwächse für das Friedersdorfer Becken (0,69 km²) von 10350 m³/Jahr (was einem Schwebstoffeintrag von 13455 t/Jahr entsprechen würde) und für das Hauptbecken (4,90 km²) von 264600 m³/Jahr (entspricht einem daraus abgeleiteten Schwebstoffeintrag von 343980 t/Jahr). Beide zusammen ergeben für den Muldestausee insgesamt eine **mittlere jährliche Schlammsedimentation von ca. 0,27 Mio. m³/Jahr** (274950 m³/Jahr). Legt man diese aus den Sedimentationsraten der Teilbecken ermittelte Zahl zugrunde, so sind im Muldestausee seit Beginn der Flutung **rund 9,76 Mio. m³ Feinstschlamm** zur Ablagerung gelangt, was einer jährlich sedimentierten Schwebstofffracht von rd. 357435 Tonnen entspricht.

Betrachtet man den Sedimentationsraum Muldestausee insgesamt (ohne Verbindungsbett; Methode II-2) mit seinem ermittelten mittleren jährlichen Schlamm dickenzuwachs von ca. 2,8 cm/Jahr (siehe Tabelle 3), so ergibt sich eine **mittlere jährliche Schlammsedimentation von ca. 0,16 Mio. m³/Jahr** (156520 m³/Jahr), was einer Schwebstoffsedimentation im Muldestausee insgesamt von rd. 203476 Tonnen pro Jahr entspricht. Für den bisherigen Flutungszeitraum 1975-2010 berechnet sich daraus ein im Muldestausee **deponiertes Schlammvolumen von rd. 5,56 Mio. m³** (entspricht rd. 7,22 Mio. Tonnen Schwebstoff).

Methodenvergleich. Abschätzungen der Sedimentationsraten an Feinsediment sind einerseits aus den Schwebstoffmengen, die dem Muldestausee zugeführt werden, und andererseits aus direkten Untersuchungen des im Muldestausee lagernden Seesediment möglich. Ihre Ergebnisse zeigen beträchtliche Unterschiede (**Tabelle 14**), wobei die aus den Seesedimentuntersuchungen abgeleiteten Sedimentmengen bis zu 4-fach höhere Werte ergeben. Die aus Schwebstoffmessungen abgeschätzten Sedimentmengen sind deutlich geringer. Dabei ist zu beachten, dass die Hauptschwebstoffmobilisierung vorzugsweise bei Hochwasserereignissen stattfindet, so dass ihre Berücksichtigung für Schwebstofffrachtabschätzungen unabdingbar erscheint. Auf der Basis des mittleren Durchflusses (MQ) ermittelte jährlichen Schwebstofffrachten widerspiegeln deshalb nur minimale Frachten.

Die auf der Basis der Schwebstofffrachten der Mulde berechnete jährliche Schlammsedimentation (Methode I) fällt mit 0,11 Mio. m³/Jahr (= 147450 t/Jahr Schwebstoff) um das 2,4-fache geringer aus, als der aus dem real festgestelltem Sedimentzuwachs in den Sedimentkernen (Methode II) ermittelte Schlammzuwachs von 0,27 Mio. m³/Jahr (Betrachtung aufgeschlüsselt nach Teilbecken; Methode II-1) bzw. von 0,16 Mio. m³/Jahr (Betrachtung Mittelwert Muldestausee insgesamt; Methode II-2). Diese Unterschiede haben dann auch Konsequenzen bei der Beurteilung der im Muldestausee am Seegrund derzeit lagernden Schlamm- bzw. Schwebstoffmengen. Je nach angewandeter Methode, schwanken die abgeschätzten Volumina zwischen 4,03 Mio. m³ Schlamm (entspricht 5,23 Mio. t Schwebstoff; Methode I), 5,56 Mio. m³ Schlamm (entspricht rd. 7,22 Mio. t Schwebstoff; Methode II-2) und 9,76 Mio. m³ Schlamm (entspricht rd. 12,67 Mio. t Schwebstoff; Methode II-1).

Bei Beurteilung und dem Vergleich der Werte ist unabhängig von den Unsicherheiten ihrer Ausgangsdaten zu beachten, dass bei den allein auf den Schwebstofffrachten der Mulde

beruhenden Abschätzungen (siehe **Tabelle 12**), die seeinternen Prozesse der Sedimentbildung keine Berücksichtigung finden. Dies gilt insbesondere für das in den Sommermonaten häufig im Muldestausee beobachtete starke Algenwachstum, das durch die hohen Nährstoffgehalte der Mulde bedingt ist und begünstigt wird. Dieses seeinterne Algenwachstum mit der Herausbildung auch von organikreichen Algenmatten bildet einen zusätzlichen Faktor der Sedimentbildung am Seegrund. Die auf den Frachtdaten der Station Bad Dübén und auch die nach Methode I berechneten geringeren jährlichen Sedimentationsraten spiegeln deshalb nicht in vollem Umfang die reale Situation des Schlammzuwachses wider und sind deshalb als Minimalwerte zu betrachten. Weitere Unsicherheiten für die Berechnungen aus den Schwebstofffrachtdaten ergeben sich bei der Annahme der Schlammichte und der Beurteilung der Sedimentkompaktion am Seegrund. Für die weiteren Abschätzungen zur Zeitdauer der Wirksamkeit der Sedimentsenke Muldestausee werden deshalb den nach Methode II berechneten mittleren jährlichen Schlammzuwachsrate eine größere Glaubwürdigkeit zugeschrieben.

Tabelle 14: Vergleich der nach unterschiedlichen Methoden bestimmten Schwebstoffmengen und Sedimentationsraten

Methode - Basis		Berechnungsgrundlage	Zulauf t/Jahr	Sedimentation Muldestausee (t/Jahr)	Ablauf (t/Jahr)
1	Schwebstoff -fracht	Schwebstofffracht Bad Dübén auf Basis MQ; Sedimentationsrate 93% der Zulauffracht	87588	81457	6131
2	Schwebstoff -fracht	Schwebstofffracht aus Zu- und Ablaufmessungen Muldestausee (ZERLING u.a. 2001)	163300	150000	13300
3	Schwebstoff -fracht	Schwebstofffracht aus Zu- und Ablaufmessungen Muldestausee (JENDRYSCHIK 2003; Methode I)	158547	147450	11097
4	Seesediment	Muldestausee (insgesamt); mittl. Sedimentzuwachs 2,8 cm/Jahr (Methode II-2)		203476	
5	Seesediment	Muldestausee (aufgeschlüsselt nach Teilbecken; Methode II-1); mittl. Sedimentzuwachs Friedersdorfer Becken: 1,5 cm/Jahr; Hauptbecken: 5,4 cm/Jahr .		357435	

Grobfracht – Abschätzung der im Muldestausee abgelagerten Grobsedimentfracht

Neben transportiertem Feinstmaterial (Schwebstoffe) setzt sich die Fracht der Mulde bei Ihrer Passage des Muldestausees aus Grobmaterial zusammen, dass überwiegend aus Sand und Kies, aber auch aus einer Vielzahl von Blockmaterial besteht. Dieses wird bevorzugt am Einlauf der Mulde bei Pouch sedimentiert bzw. kommt spätestens im Bereich des Hauptbeckens zum Absatz. Der Rückhalt der Grobfracht durch die Senke des Muldestausees und der damit verbundene Geschiebeverlustes hat eine Tieferlegung des Gerinnes der Mulde unterhalb des Muldestausees zur Folge (Vetter 2008). Im Vergleich zum Gerinne oberhalb des Muldestausees

beträgt Tieferlegung im Zeitraum von 1975 bis 2001 ca. 1,30 m, d.h. ca. 4,8 cm pro Jahr. Erkennbar ist die Sedimentation des Grobmaterials im Muldestausee durch seit Ende der 1990er Jahre als über den Wasserspiegel reichende und dem Einlaufbereich der Mulde bei Pouch vorgelagerte Inseln, die die Oberfläche eines in den See hineingeschütteten Deltas bilden. Erkenntnisse zur Sedimentation der Grobfracht im Deltabereich liegen durch die Untersuchungen von Schmidt (1996, 1998), Vetter (1999) sowie Vetter und Schmidt (2002) vor. Sie zeigen, dass die mit der Flutung des Muldestausees 1975 beginnende Schüttung des Deltas asymmetrisch erfolgte, wobei Sedimentmächtigkeiten bis 24 m auf der östlichen Seite und Auflagerungshöhen von 8 bis 10 m im zentralen und westlichen Einlaufbereich auftreten. Das bilanzierte Volumen des im Zeitraum von 1975 bis 2001 aufgeschütteten Deltas beträgt ca. 10 Mio. Kubikmeter, d.h. 410000 Tonnen Feststoff pro Jahr, wobei ca. 102500 Tonnen pro Jahr auf die Geschiebefracht fallen (Vetter 1999). Nach Untersuchungen von Schmidt (1996, 1998) beträgt die Geschiebefracht einschließlich der „suspendierten Bodenfracht“ im Deltabereich ca. 90000 Tonnen pro Jahr. Die Sedimentzufuhr der Grobfracht erfolgt sehr ungleichmäßig, wobei der Großteil der Fracht bei hohen Wasserständen (Hochwasser) stattfindet, d.h. Anzahl und Stärke der Hochwässer pro Jahr bestimmen nicht die aus Grob- und Schwebstofffracht sich zusammensetzende Gesamtfracht. Aus der abgeschätzten Grob sedimentfracht von 90000 bis 102500 Tonnen pro Jahr berechnet sich unter Annahme einer Dichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$, die als mittlere Sanddichte angenommen wird (Dichte trockener Sand $1,6 \text{ g/cm}^3$; Dichte nasser Sand $1,3 \text{ g/cm}^3$; Gröschke 2007), eine **mittlere jährliche Grobfrachtsedimentation von ca. 60000 m³/Jahr bzw. ca. 68333 m³/Jahr.**

Schlussfolgerungen: Wie hoch ist die die mittleren Sedimentationsrate (t/a) des Muldestausees?

Abschätzungen der mittleren Sedimentationsrate können einerseits auf der Basis von Schwebstoffmessungen erfolgen, andererseits aus direkten Untersuchungen der im Muldestausee abgelagerten Seesedimente abgeleitet werden. Erstere setzen eine Datenbasis an kontinuierlichen und durchflussverknüpften Schwebstoffmessungen voraus, die eine adäquate Bestimmung der Schwebstofffracht zulassen. Da diese häufig nicht vorliegt sind derartige Abschätzungen nur unter Zuhilfenahme des mittleren Jahresdurchflusses und/oder unter ereignisspezifischer Betrachtung (Berücksichtigung einzelner Hochwässer) gegeben. Aus diesem Grunde können aus Schwebstoffmessungen abgeleitete Sedimentationsraten nur als Minimalwerte betrachtet werden. Dem gegenüber kommen Abschätzungen von Sedimentationsraten aus direkten Sedimentuntersuchungen den realen Verhältnissen wesentlich näher. Minimiert werden hier die Aussagen durch offene Antworten auf Fragen der Kompaktion, der Flächenausdehnung des Sedimentes u.a. Die aus direkten Sedimentuntersuchungen abgeleiteten Sedimentationsraten stellen eher Maximalwerte dar.

Die an der Station Bad Düben oberhalb des Muldestausees auf der Basis des mittleren Jahresdurchflusses MQ ermittelte Fracht von 87588 t/a ist deutlich geringer, als die tatsächlich am Zulauf des Muldestausees aus langjährigen Schwebstoffmessungen (unter Berücksichtigung von Hochwasserereignissen!) ermittelte Schwebstofffracht von 163300 t/a (ZERLING u.a. 2001) bzw. von 158547 t/a (JENDRYSCHIK 2003). Der Rückhalt der Schwebstofffracht im Muldestausee, ermittelt durch Bilanzrechnungen an Zu- und Ablauf, erweist sich unabhängig vom Durchfluss und von der Menge der eingetragenen Schwebstoffe als relativ konstant, wobei

bezogen auf die Jahresfracht im Mittel 92 bis 93 % der den Muldestausee erreichenden Schwebstoffe im See zur Sedimentation gelangen. Im Mittel entspricht dies einer, nur aus dem Schwebstoffeintrag der Mulde resultierenden, jährlich sedimentierten Schwebstofffracht im Muldestausee von ca. 147450 t/a bis 150000 t/a. Aus dem realen Sedimentzuwachs im Muldestausee berechnete mittlere Sedimentationsraten sind mit 203476 t/a (Muldestausee insgesamt) bzw. 357435 t/a (ermittelt aus Sedimentationsraten von Sedimentkernen der Teilbecken von Haupt- und Friedersdorfer Becken) deutlich höher. Sie beinhalten zusätzlich den durch seeinterne Prozesse (z.B. Algenbildung) verursachten Anteil des Sedimentzuwachses. Die Sedimentationsrate der im Zulaufbereich mit Deltabildung abgesetzten Grobsedimentfracht (Kies, Sand, Geschiebe) wird auf 90000 bis 102500 Tonnen t/a abgeschätzt (Arbeiten nach VETTER, SCHMIDT). Insgesamt kommen damit im Muldestausee jährlich maximal ca. 450000 t Sediment (Fein- und Grobfracht) zur Ablagerung, wobei davon ca. 80 % die schadstofftragende Schwebstofffracht einnimmt.

5.1.2. Schwermetallrückhalt

Mit dem seit 1975 erfolgten Durchströmen der Vereinigten Mulde durch das Braunkohlentagebaurestloch Muldenstein erbringt der Bitterfelder Muldestausee mit seinem seit dieser Zeit wirksamen Sediment- und Schadstoffrückhalt eine nicht unerhebliche überregionale Ökosystemleistung für die Gewässer- und Sedimentqualität des unteren Elbesystems bis Hamburger Hafen und Nordsee. Mit der Sedimentation eines Großteils der organikreichen Schwebstoff- und Feinsedimentfraktion (Ton, Schluff) im Muldestausee ist auch der Rückhalt eines Großteils der anorganischen Schadstoffe (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn, ferner U, Fe und Mn) verbunden, die überwiegend den Altlasten und Entwässerungsstollen des erzgebirgischen Berg- und Hüttenwesens (Freiberger und Zwickauer Mulde) entstammen. Damit werden sie dem weiteren Transport im unteren Mulde- und weiteren Elbestrom entzogen. Vergleiche der Jahresfrachten an Schadstoffen, die im Bereich der unteren Elbe, am Punkt Schnackenburg (Elbe-km 475; Jahresfracht von 1999; PEPELNIK u.a. 2004) gemessen werden, mit jenen die im Muldestausee zur Ablagerung gelangen, machen die überregionale Ökosystemleistung des Muldestausees besonders deutlich. Je nach zugrunde gelegter Berechnungsmethode (Schwebstofffracht bzw. Seesediment; siehe auch **Tabellen 16 und 17**) würde sich bei fehlender „Schadstoffsenke Muldestausee“ die derzeitig am Punkt Schnackenburg gemessene Jahresfracht an Schadstoffen (in Tonnen) signifikant erhöhen, im Falle von Cadmium (Jahresfracht Schnackenburg: 6,5 t) um 34 bis 246 %, von Nickel (74 t) um 7 bis 45 %, von Kupfer (85 t) um 19 bis 87 %, von Zink (890 t) um 13 bis 80 %, von Arsen (49 t) um 28 bis 128 %, von Quecksilber (1,4 t) um 20 bis 35 % und von Blei (57 t) um 53 bis 196 %. Diese Angaben verdeutlichen die hohe Bedeutung des Muldestausees insbesondere für die mulderelevanten Schadstoffe Cadmium, Blei und Arsen.

Das Rückhaltevermögen des Muldestausees an Schwebstoffen und daran gebundene anorganische Schadstoffe ist seit 1975 anhaltend und unverändert. Gestützt wird diese Aussage u.a. durch Sedimentkernuntersuchungen aus dem Muldestausee. Sie belegen zum einen eine kontinuierliche und weitgehend gleich bleibende Schlammsedimentationsrate, die im Hauptbecken im Mittel 5,4 cm/Jahr und im Friedersdorfer Becken im Mittel 1,5 cm /Jahr beträgt. Zum anderen dokumentieren die im Sediment fixierten hohen

Schadstoffkonzentrationen nicht nur den erfolgten Schadstoffrückhalt im Muldestausee seit 1975, sondern auch die im Oberlauf des Muldestroms durch Schwebstoff- und Schadstoffmessungen dokumentierten langjährigen Veränderungen, die einen Rückgang des Schadstoffeintrages seit 1990 zeigen (siehe Arbeiten von A. Greif), werden ebenfalls in den Sedimenten des Muldestausees widergespiegelt.

Die Funktion des Schadstoffrückhaltes des Muldestausees beruht vorwiegend auf der Sedimentation der an die partikuläre Substanz (Schwebstoff) gebundenen und mit der Mulde in den See eingebrachten Schadstoffe. In Abhängigkeit von der eingebrachten Schadstofffracht und dem elementspezifischen Bindungsverhalten und Schadstofftransport (partikulär, gelöst) ergibt sich ein für jeden Schadstoff spezifischer Rückhalt (in % der Zulauffracht). Für die überwiegend partikulär transportierten Schadstoffe (Fe, Pb, Cr, Cd, Cu) liegt der Rückhalt bezogen auf die Zulauffracht zwischen 87 und 71 %, bei den Schadstoffen mit höheren gelösten Anteilen (Zn, As, Ni, U) zwischen 50 und 39 %. Im Ergebnis von Detailuntersuchungen zu den Metallfrachten an Zu- und Ablauf des Muldestausees ergeben sich die in **Tabelle 15**, nach Schadstoff aufgeschlüsselten mittleren Sedimentationsraten im Muldestausee bezogen auf die am Muldestausee abgeschätzte Zulauffracht (Rückhalt in %; ZERLING u.a. 2001; JENDRYSCHIK 2003):

Tabelle 15: Prozentualer Rückhalt der Schadstoffelemente As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, U sowie Fe und Mn im dem Muldestausee zugeführten Schwebstoffs

Rückhalt in % der Zulauffracht an Schwebstoff					
Schwebstoff (%)	As (%)	Cd (%)	Cr (%)	Cu (%)	Hg (%)
93	52	72	71	71	86
Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)	U (%)	Fe (%)	Mn (%)
32	84	50	39	87	36

5.2. Wie hoch sind die entsprechenden Frachtanteile (t/a) der elberelevanten Schadstoffe (Schwermetalle) und welche Schadstoffmengen sind bisher im Muldestausee abgelagert?

Die Mengen der im Muldestausee jährlich abgesetzten und in die Betrachtung einbezogenen elberelevanten anorganischen Schadstoffe sind abhängig von der eingebrachten Schadstofffracht (Menge und Schadstoffgehalt) und ihrem elementspezifischen Bindungsverhalten und Schadstofftransport (partikulär, gelöst). In erster Linie gelangt nur der primär an die partikuläre Fraktion gebundene Schadstoffanteil im See zur Sedimentation, es sei denn seeinterne Prozesse führen zur Ausfällung gelöst transportierter Schadstoffanteile, z.B. durch zusätzliche Bindung an sich im See entwickelnde und später zur Sedimentation gelangende Biomasse (Algen). Abschätzungen zur Menge der anorganischen Schadstoffe, die im Muldestausee zur Sedimentation gelangen (Metallfracht in Tonnen pro Jahr) können einerseits auf der Basis von Schwebstoffmessungen erfolgen, andererseits auf der Grundlage von Untersuchungen der schon im See abgesetzten Seesedimente. Beide Methoden angewendet auf den Muldestausee führen zu Ergebnissen, die in ihren Relationen der einzelnen Elementanteile zueinander weitgehend übereinstimmen, allerdings hinsichtlich ihrer absoluten Frachtanteile beträchtliche Unterschiede aufweisen (**Tabelle 16**).

Insgesamt zeigt sich, dass, unabhängig von der angewendeten Abschätzungsmethode (Schwebstoff, Seesediment), die im Muldestausee abgelagerte Schadstoffmenge im wesentlichen der abnehmenden Reihenfolge der Elemente Eisen (mehrere tausend Tonnen pro Jahr), Zink, Mangan (mehrere hundert Tonnen pro Jahr), Blei, Kupfer, Arsen, Chrom, Nickel (mehrere zehner Tonnen), Cadmium, Uran (über fünf Tonnen pro Jahr) und Quecksilber (weniger als eine Tonne pro Jahr) folgt. Betrachtet man die absoluten Mengen, so unterscheiden sich die Ergebnisse je nach angewendeter Methode (Schwebstoff, Seesediment) beträchtlich, wobei die aus den Seesedimentuntersuchungen ermittelten Frachten gegenüber jenen der Schwebstoffmessungen um das zwei- bis vierfache höher ausfallen (**Tabelle 16**).

Die niedrigsten Frachtanteile der Sedimentation im Muldestausee ergeben sich bei Zugrundelegung der am Pegel Bad Dübren oberhalb des Muldestausees ermittelten Schwebstoff- und Metallfrachten (Methode 1 in Tabelle 6), wobei die Berechnung auf der Basis des mittleren Jahresdurchflusses MQ erfolgte. Dies bedingt, dass der auf die Menge der Fracht beträchtliche Einfluss von Durchflussspitzen (Hochwässer) weitgehend nivelliert wird und die auf Schwebstoffdaten nach Methode 1 berechneten Frachten nur als **Minimalwerte** anzusehen sind. Ersichtlich wird dies allein an der berechneten mittleren Fracht an im Muldestausee jährlich abgelagerten Schwebstoff von 81457 Tonnen pro Jahr, die nur wenig höher ist, als die zum Beispiel allein während des Auguthochwassers 2002 vom Muldestausee zurückgehaltene Fracht von ca. 60924 Tonnen.

Eine wesentlich verlässlichere Größenordnung zum Schadstoffrückhalt erhält man durch Differenz-Schwebstoffmessungen am Zufluss und am Ablauf des Muldestausees, wobei dadurch jährlich auftretende hochwasserbedingte Schwebstoffspitzen eine bessere Berücksichtigung finden (Methode 2 in Tabelle 6). Allerdings wird der durch zusätzliche seeinterne Prozesse (z.B. organische Bindungs- und Fällungsprozesse gelöst transportierter Schadstoffanteile) bedingte Schwebstoff- und Schadstoffabsatz dabei ebenfalls nicht erfasst. Mit den jährlich rund 150000 Tonnen Schwebstoff (ZERLING u.a. 2001; JENDRYSCHIK 2003), die dem Muldeunterstrom durch die Wirkung des Muldestausees entzogen werden, gelangen im Mittel rund 60 % an Cadmium

und Blei, zwischen 40 bis 50% an Chrom und Arsen, zwischen 15 bis 25% an Kupfer und Nickel, sowie rund 7% an Hg der mittleren Jahresfracht der Elbe bei Schnackenburg im Muldestausee zur Sedimentation.

Die auf der Basis der Sedimentkernuntersuchungen abgeschätzten Schwebstoff- und Schadstoffmengen ergeben für Cadmium, Blei, Arsen und Chrom eine im Muldestausee jährlich abgesetzte Schadstoffmenge, die die gemessene mittlere Jahresfracht der Elbe bei Schnackenburg (PEPELNIK u.a. 2004) deutlich übersteigt. Insbesondere für die Elemente Cadmium und Blei, aber auch für Arsen zeigt sich hier der, auch im Vergleich zur Elbe, besonders hohe Belastungsgrad der Mulde an diesen Schadstoffen und damit ihre Funktion als potenzieller Zulieferer dieser Elemente in das Elbesystem hinein zu wirken. Der Muldestausee erbringt gerade in dieser Hinsicht mit seinem Rückhalt der Schadstofffracht an Cadmium, Blei und Arsen eine bedeutsame und bis in das Elbesystem hineinreichende, wirksame Ökosystemleistung. Die vom Muldestausee zurückgehaltene Schadstoffmenge, bezogen auf die Jahresfracht der Elbe bei Schnackenburg und abgeleitet aus den Schadstoffgehalten der Seesedimente, beläuft sich bei Zink und Kupfer auf maximal 80 bis 90%, bei Nickel auf maximal 30 bis 40% sowie bei Quecksilber auf maximal 20%. Die im Muldestausee abgesetzten Seesedimente enthalten sowohl Schadstoffe, die als Schwebstoffe mit der Mulde in den Stausee eingebracht und dort sedimentiert wurden, als auch Schadstoffe, die an die im Muldestausee gebildete und sedimentierte Biomasse (Algen) gebunden sind. Die hohe Bindungsfähigkeit seeinterner Biomasse (Algen) für Metalle wird am Beispiel der Schmalblättrigen Wasserpest (*Elodea nuttallii*) deutlich (ZEHNSDORF u.a. 2001). So fanden sich in saisonalen *Elodea*-Algenproben aus dem ebenfalls von Muldewasser mit hohen Nährstoffgehalten gespeisten Goitschensee Nickelgehalte bis zu 194 mg/kg (Trockenmasse). Sie weisen auf eine Fixierung des vorrangig gelöst transportierten Nickels durch die saisonale Biomasse hin. Beide schadstoffenthaltenden Komponenten (Schwebstoffe, seeinterne Biomasse) ergeben die im Muldestauseesediment fixierte Gesamtschadstoffmenge. Die aus dem Seesediment abgeleiteten Sedimentationsraten an Schadstoffen können deshalb als Obergrenzen bzw. **Maximalwerte** für das im Muldestausee lagernde Schadstoffpotential betrachtet werden. Unter der Berücksichtigung der in den zwei Teilbecken (Friedersdorfer Becken, Hauptbecken) des Muldestausees beobachteten spezifischen Sedimentationsraten und Gehalte ergaben sich die höchsten Werte (Methode 4 in Tabelle 6), während die Annahme einer mittleren Sedimentationsrate und von mittleren Schadstoffgehalten zu etwas geringeren, aber möglicherweise den realen Verhältnissen am nächsten kommenden Abschätzungen führten (Methode 3 in Tabelle 6). Letztere können nach Einschätzung des Bearbeiters als mögliche Richtwerte zur Einschätzung der tatsächlich im Muldestausee vorhandenen Schadstoffmengen und Frachtanteile gelten. Gleiches gilt für die Abschätzungen der bisher im Muldestausee seit seiner Flutung 1975 abgelagerten Sediment- und Schadstoffmengen (Tabelle 17).

Gesicherte Einschätzungen zur Fracht und zur Sedimentationsrate an organischen Schadstoffen im Muldestausee sind mit derzeitiger Datenlage nicht möglich. Umfangreiche Schwebstoffmessungen wie bei den anorganischen Schadstoffen (Metalle) vorliegend wären Voraussetzung. Es zeigt sich aber, dass das Oberflächensediment des Muldestausees mit seinen Schadstoffgehalten unterhalb des Oberen Schwellenwertes des SSMK liegt (PCDF/PCDD, Pentachlorbenzen; mit hoher Wahrscheinlichkeit auch anzunehmen für HCH und PCB) und somit eine gegenwärtige und zukünftige Gefährdung durch Austrag von Frachten organisch belasteter Sedimente aus dem Muldestausee auszuschließen ist.

Tabelle 16: Abschätzung der Schweb- und Schadstoffsedimentationsraten im Muldestausee und Vergleich mit Elbefracht (Angaben in Tonnen pro Jahr)

Methode - Basis		Schwebstoff (t/a)	As t/a	Cd t/a	Cr t/a	Cu t/a	Hg t/a	Ni t/a	Pb t/a	Zn t/a	U t/a	Fe t/a	Mn t/a
1	Schwebstofffracht	81457	14	2,2	6,1	16,4	0,5	5,8	30,5	116	2,8	3,6	133
2	Schwebstofffracht (Gehalte <20µm)	150000	19	4,1	12	22	0,1	12	35	192	5,0	5616	197
3	Seesediment (Gehalte <20µm)	203476	55	12	25	49	0,22	21	70	444	8,3	10491	296
4	Seesediment (Gehalte <20µm)	357435	63	16	28	74	0,28	33	112	714	6,9	22432	383
<i>Jahresfracht 1999 (in t) in Schnackenburg (Elbe-km 475; Pepelnik u.a. 2004)</i>			<i>49</i>	<i>6,5</i>	<i>24</i>	<i>85</i>	<i>1,4</i>	<i>74</i>	<i>57</i>	<i>890</i>			

Tabelle 17: Abschätzung der Sediment- und Schadstoffmengen im Muldestausee (1975-2010) (Angaben in Tonnen)

Methode - Basis		Schwebstoff (Mio. t)	As (t)	Cd (t)	Cr (t)	Cu (t)	Hg (t)	Ni (t)	Pb (t)	Zn (t)	U (t)	Fe (t)	Mn (t)
1	Schwebstofffracht	2,89	504	78	217	582	18	206	1083	4118	99	128	4707
2	Schwebstofffracht (Gehalte <20µm)	5,32	674	146	426	781	3,6	426	1242	6816	177	199368	6993
3	Seesediment (Gehalte <20µm)	7,22	1958	412	874	1734	7,9	758	2478	15776	296	372424	10517
4	Seesediment (Gehalte <20µm)	12,7	2253	557	1008	2617	10	1178	3960	25333	245	796334	13598

Erläuterungen: Bei den Abschätzungen nach den Methoden 1 und 2 bildet die Schwebstoff- und Schadstofffracht der Mulde die Grundlage der Berechnungen, wobei die Methode 1 die Datenbasis der Messungen an der Station Bad Dübren nutzt (Frachtberechnung auf Grundlage mittlerer Jahresdurchfluss MQ) und die Ergebnisse der Methode 2 auf Messungen und Bilanzrechnungen der Schweb- und Schadstofffracht (Gehalte <20µm) am Zu- und Ablauf des Muldestausees (ZERLING u.a. 2001; JENDRYSCHIK 2003) unter Berücksichtigung der Extremereignisse (Hochwässer) beruhen. Basis der Berechnungen nach den Methoden 3 und 4 bildet das Seesediment mit seiner Sedimentationsrate und seinen Schadstoffgehalten. Die Ergebnisse der Methode 3 beruhen auf der Annahme der in den Sedimentkernen beobachteten mittleren Sedimentationsrate an Feinschlamm von 2,8 cm pro Jahr und auf den mittleren Schadstoffgehalten des Seesedimentes für den Muldestausee insgesamt, diejenigen der Methode 4 auf mittleren Sedimentationsraten und Schadstoffgehalten des Sedimentes in den zwei Sedimentationsräumen bzw. Teilbecken (Friedersdorfer Becken, Hauptbecken) des Muldestausees. Die Abschätzungen erfolgten unter Berücksichtigung der an der <20µm-Fraktion des Schwebstoffes bzw. des Seesedimentes ermittelten Elementgehalte.

5.3. Welche mögliche zeitliche Dauer hat die Wirksamkeit des Muldestausees als Sediment- und Schwermetallsenke? – Lebensdauer des Muldestausees

Ausgangsgrunddaten:

Friedersdorfer Becken: Fläche: 0,69 km²; mittlere Tiefe: 19,5 m

Hauptbecken: Fläche: 4,90 km²; mittlere Tiefe: 21 m

Sowohl für das Hauptbecken, als auch für das Friedersdorfer Becken wird die Form einer elliptisch geformten Badewanne angenommen mit einem Volumen entsprechend der Gleichung:

$$\text{Volumen} = 2/3 \Pi * \text{Fläche} * \text{Tiefe}$$

Berechnungen und Ergebnisse:

- I. Berechnung auf Schwebstoffdatenbasis (Methode I):

Ia. Jährliche Gesamtfracht von 173422 m³/Jahr, zusammengesetzt aus 113422 m³/Jahr Schlamm und 60000 m³/Jahr Grobfracht

→ berechnete Füllungsdauer für Muldestausee: 1243 Jahre

- II. Berechnung auf Basis Sedimentkerndaten (Methode II; Teilbeckenbetrachtung):

IIa. Hauptbecken (Methode II-1; Annahme beckenspezifische Sedimentationsrate):

Fall 1: Jährliche Gesamtfracht von 324600 m³/Jahr, zusammengesetzt aus 264600 m³/Jahr Schlamm und 60000 m³/Jahr Grobfracht bzw.

Fall 2: Jährliche Gesamtfracht von 324600 m³/Jahr, zusammengesetzt aus 264600 m³/Jahr Schlamm und 68333 m³/Jahr Grobfracht (Fall 2)

→ berechnete Füllungsdauer für Hauptbecken des Muldestausees: 664 Jahre (Fall 1)

→ berechnete Füllungsdauer für Hauptbecken des Muldestausees: 647 Jahre (Fall 2)

Daraus ergibt sich eine **mittlere Füllungsdauer für das Hauptbecken von etwa 650 Jahren.**

IIb. Friedersdorfer Becken (Methode II-1; Annahme beckenspezifische Sedimentationsrate):

Fall 1: Über gesamten Zeitraum jährliche Gesamtfracht von 10350 m³/Jahr (nur Schlamm; keine Grobfracht)

→ berechnete Füllungsdauer für Friedersdorfer Becken des Muldestausees: 2723 Jahre

Fall 2-1: Bis Zeitpunkt der kompletten Verfüllung des Hauptbeckens von ca. 650 Jahren

(siehe IIa) jährliche Gesamtfracht von 10350 m³/Jahr (nur Schlamm; keine Grobfracht)

und ab Zeitpunkt der kompletten Verfüllung des Hauptbeckens von ca. 650 Jahren (siehe IIa)

jährliche Gesamtfracht von 173422 m³/Jahr, zusammengesetzt aus 113422 m³/Jahr Schlamm (= jährliche Schlammzufuhr Muldestausee; Methode A) und 60000 m³/Jahr (Fall2-1a) bzw. 68333 m³/Jahr (Fall2-1b) Grobfracht

→ berechnete Füllungsdauer für Friedersdorfer Becken des Muldestausees: 774 Jahre (Fall 2-1a)

→ berechnete Füllungsdauer für Friedersdorfer Becken des Muldestausees: 768 Jahre (Fall 2-1b)

Daraus ergibt sich eine **mittlere Füllungsdauer für das Friedersdorfer Becken von etwa 770 Jahren.**

- **Berechnung auf Basis der Sedimentkerndaten** (Methode II-2; Annahme **mittlere Sedimentationsrate**):

Jährliche Gesamtfracht von 216520 m³/Jahr, zusammengesetzt aus 156520 m³/Jahr Schlamm und 60000 m³/Jahr Grobfracht

→ berechnete Füllungsdauer für Hauptbecken des Muldestausees: 995 Jahre

Schlussfolgerungen:

Für eine den realen Verhältnissen am besten angepasste Abschätzung ist eine getrennte Betrachtung der beiden Sedimentationsräume von Hauptbecken und Friedersdorfer Becken, die Zugrundelegung der aus den Sedimentkernen abgeleiteten Frachtdaten (Methode II) und die Anwendung eines dynamischen Sedimentationsmodells notwendig. Unter Zugrundelegung dieser Prämissen ergibt sich eine Lebensdauer des Bitterfelder Muldestausees mit seinem Hauptsedimentationsbereich des Hauptbeckens von mindestens 650 Jahre, in der er seine hohe Wirksamkeit als Sedimentfalle für das obere Muldesystem erfüllen wird. Innerhalb dieses Zeitraumes wird der Muldestausee durch die sich im See absetzenden Sedimente stetig verfüllt. Die Sedimente bestehen einerseits aus der durch die Mulde mitgebrachten Grob- (Kiese, Sande) und Feinfracht (organikreiche Schluffe, Tone), und andererseits aus den im See überwiegend durch organische Produktivität seeintern gebildeten organikreichen Feinsedimenten. Die Verfüllung betrifft beide Beckenbereiche des Muldestausees (Hauptbecken, Friedersdorfer Becken), allerdings mit unterschiedlicher Verfüllungsgeschwindigkeit und -grad. Für die Fracht der Mulde wirkt das zuerst durchströmte Hauptbecken als vorrangiges „Klärbecken“, in welchem sowohl Kiese und Sande abgelagert werden (Deltabildung), als auch ein Teil der Feinfracht sedimentiert wird. Im muldeabwärts, nachgelagerten Friedersdorfer Becken kommen aufgrund der „Klärbeckenfunktion“ des Hauptbeckens während dieser Zeit nur Feinsedimente zur Ablagerung. Mit der kompletten Verfüllung des Hauptbeckens beginnt der wesentliche Eintrag der Grobfracht der Mulde auch in den noch offenen See des Friedersdorfer Teilbeckens und führt schließlich zusammen mit der ebenfalls sedimentierenden Feinfracht zu einer Verlandung auch dieses Bereiches. Die Abschätzungen zeigen, dass nach etwa 650 Jahren die komplette Verlandung des Hauptbeckens erreicht ist und nach einer nochmaligen Dauer von ca. 120 Jahren auch das Friedersdorfer Becken keinen Sedimentationsraum mehr bieten wird. Hinsichtlich der Funktion des Bitterfelder Muldestausees als bedeutender Rückhalt für die Sedimentfracht der Mulde zu wirken, ergibt sich daraus, dass diese Funktion noch ca. 650 Jahre in vergleichbarer Form (Hauptbecken und Friedersdorfer Becken als Sedimentationsraum) und danach noch 120 Jahre in verminderter Form (nur Friedersdorfer Becken als Sedimentationsraum) gegeben ist. **Insgesamt wird der Bitterfelder Muldestausee noch mindestens 770 Jahre eine bedeutende und überregional wirksame Sedimentfalle im unteren Muldesystem sein und damit einen Rückhalt für den Eintrag der schadstoffbelasteten Schwebstofffracht in das Flusssystem der Elbe bis Hamburger Hafen und Nordsee bieten.**

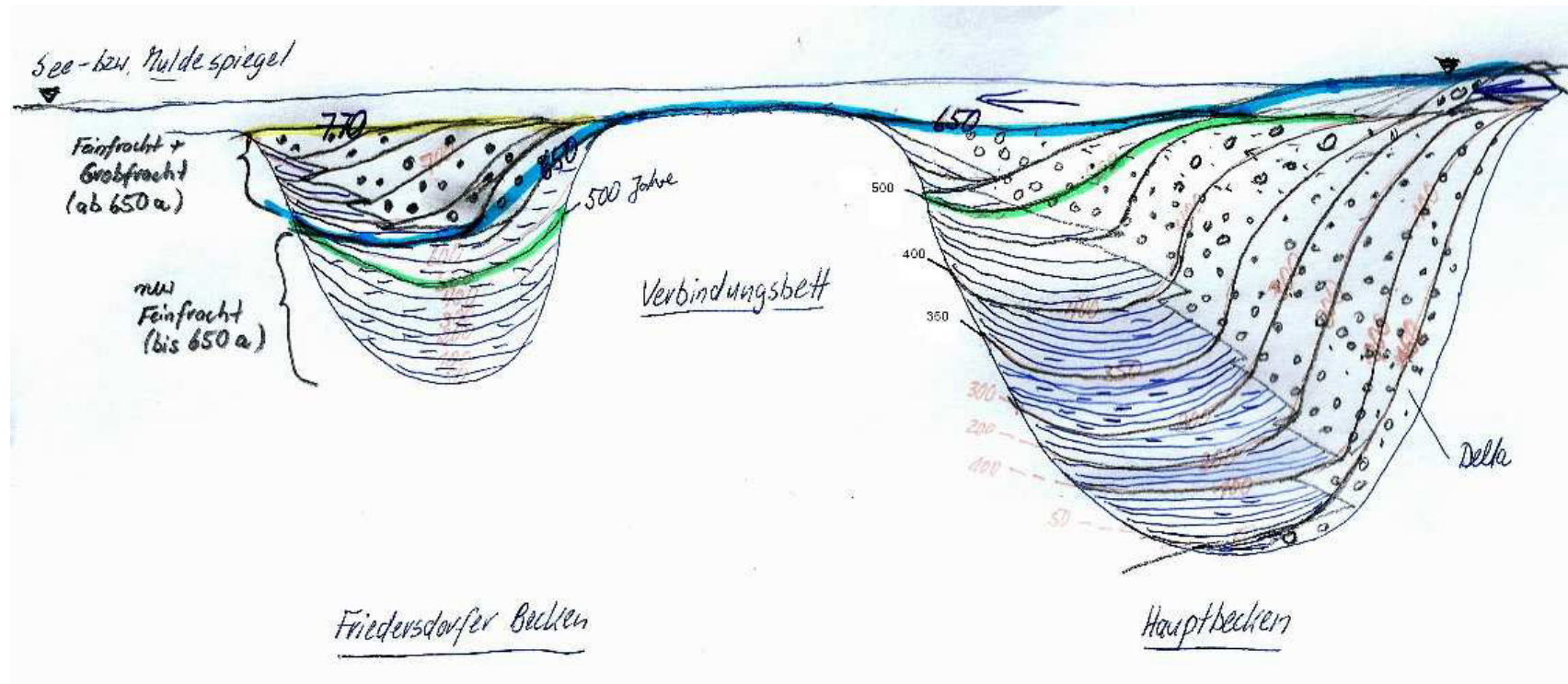


Abb. 20: Sedimentationsmodell Bitterfelder Muldestausee

5.4. Besteht in absehbarer Zeit aus hydraulischer Sicht ein Erfordernis die belasteten Sedimente aus dem Muldestausee zu entfernen?

In absehbarer Zeit besteht aus ökosystemanalytischer, als auch aus hydraulischer Sicht **kein** Erfordernis die belasteten Sedimente aus dem Muldestausee zu entfernen.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Belastung der unteren Elbe durch schadstoffhaltige Schwebstoffe ohne die Existenz des Bitterfelder Muldestausees erheblich höher läge, nämlich bei langfristiger Betrachtung um mindestens 30 % (JUNGE u.a. 2004; ZERLING u.a. 2001; Schmidt 1996). Die Metallfracht der Elbe wäre ohne die Existenz des Muldestausees bei Cadmium um die Hälfte bis das 2,5-fache, bei Blei um die Hälfte bis das 1,9-fache; bei Arsen um ein Drittel bis das 1,3-fache und bei Chrom um die Hälfte bis das 1,2-fache höher als jetzt. Bei Kupfer, Nickel, Zink und Quecksilber wären die Frachten um mindestens ein Viertel erhöht. Gleichfalls deutliche Erhöhungen wären bei Abwesenheit des Muldestausees bei Uran und Eisen anzunehmen. Der Muldestausee erbringt mit seinem Rückhalt eine bedeutsame Ökosystemleistung für die Reduzierung der Schadstofffracht der Elbe sowie der Nordsee im Bereich des Hamburger Hafens.

Die im Muldestausee lagernden anorganischen Schadstoffe (Metalle) sind im Seesediment in anoxischer Form gebunden und damit dem hydraulischen System „Fluss“ mit seinen Prozessen des Austrages und der Verlagerung weitgehend entzogen. Hochbelastete Sedimente liegen im Muldestausee in Sedimenttiefen von >1 m (Hauptbecken) bzw. >30 cm Tiefe (Friedersdorfer Becken), wobei vor allem im Friedersdorfer Becken und auch in den zuflussabgewandten Bereichen des Hauptbeckens die höchsten Konzentrationen anzutreffen sind.

Bedeutsam ist, dass eine Tiefenerosion in diesen Bereichen durch die Mulde mit der Folge des Anschnittes dieser hochbelasteten Bereiche bisher nicht festzustellen ist. Die in verschiedenen Jahren und aus verschiedenen Bereichen entnommenen Seesedimentkerne weisen eine kontinuierliche, ungestörte Schichtung an Feinsediment auf. Die in den Kernen erkennbaren Hochwasserlagen sind innerhalb der Beckenbereiche des Muldestausees über größere Distanzen korrelierbar. Dies beweist eine weitgehend kontinuierliche Sedimentation der mit Schadstoffen belasteten Feinsedimente. Erosive Erscheinungen mit Tiefenwirkungen im Abtrag des Seebodenoberflächensedimentes von kleiner 1 cm wurden bisher nur im zuflussnahen Bereich der Mulde des Hauptbeckens beobachtet. Sie betreffen in der Regel die dort vorliegenden gröberen Sedimentfraktionen (Schluff-, Feinsand), die durch keine bzw. nur eine untergeordnete Schadstoffbindung charakterisiert sind. Die schadstoffreichen Feinsedimente sind durch ihre Sedimentation in zuflussfernen Bereichen größerer Tiefe vor Erosionsprozessen weitgehend geschützt.

Überlagert und abgedeckt werden die tiefer liegenden hochbelasteten Bereiche des feinen Seesedimentes durch den Auftrag weniger belasteter Sedimente, in denen sich der generelle Rückgang der Schadstoffbelastung seit Beginn der 1990er Jahre dokumentiert. Der Auftrag unbelasteter Sedimente macht sich in der verbesserten Qualität des Oberflächensedimentes am Seeboden des Muldestausees bei allen betrachteten organischen (PCDF/PCDD, Pentachlorbenzen, HCH, PCB) und anorganischen (Metalle) Schadstoffen bemerkbar. Im Falle der anorganischen Schadstoffe Kupfer und Chrom führte der Rückgang zu Konzentrationen, die unterhalb der Oberen Schwellenwerte liegen und damit als „unbedenklich“ entsprechend des Sediment/Schadstoffmanagementkonzeptes (SSMK) eingeschätzt werden können. Bei den

Hauptkontaminanten Cadmium ist eine Abnahme auf ein Fünftel, bei Arsen auf ein Drittel, bei Nickel und Zink auf die Hälfte und bei Blei auf zwei Drittel der Konzentrationen vor 1990 im Oberflächensediment festzustellen.

5.5. Bei welchen Hochwässern ist eine Mobilisierung möglich und welche Auswirkungen hat eine etwaige Schadstoffremobilisierung für den Unterstrom?

Zur Wirksamkeit des Muldestausees bei Extremhochwasser. Der Muldestausee erfüllt auch bei extremen Hochwasserereignissen (max. Durchfluss $>800 \text{ m}^3/\text{s}$; Station Bad Dübén) seine Schwebstoff- und Schwermetall-Rückhaltfunktion, allerdings im Vergleich zu normalen Durchflüssen mit etwas reduzierter Sedimentationsrate. Aussagen hierfür ergeben sich aus Untersuchungen des Auguthochwassers 2002. Von den ca. 85530 Tonnen Schwebstoff, die während dieses Ereignisses den Einlaufbereich des Muldestausees passierten, gelangten ca. 60925 Tonnen im Muldestausee zur Sedimentation, was einer Sedimentationsrate von rd. 71 % der Zulaufmenge entspricht. Bei normalen Durchflüssen werden im Mittel 92 bis 93 % der den Muldestausee erreichenden Jahresfracht an Schwebstoffen im See sedimentiert.

Bedeutsam für die Einschätzung des Schwebstoff- und Schadstoffrückhalts während Extremhochwässern ist des Weiteren, dass ein Teil der Feinstfracht ($<20 \mu\text{m}$), die durch ein hohes Bindungsvermögen an Schadstoffen gekennzeichnet ist, den Muldestausee unter Bedingungen maximaler Durchflüsse passieren kann. Obgleich im Vergleich zur Gesamtfracht diese den Muldestausee passierende Schadstofffracht mengenmäßig untergeordnet ist, können mit ihr Maximalwerte der Konzentration an Schadstoffen im Unterlauf erreicht werden. Besonders erkennbar wird dies bei Extremhochwässern, während derer im Oberlauf der Mulde eine bedeutsame Schwermetallmobilisierung durch Haldenabtrag stattfand, wie im August 2002 der Fall. Die hochwasserspezifische Mobilisierung widerspiegelte sich hier zum einen in einem Konzentrationsmaximum der als Seesediment abgesetzten Schwebstofffracht (Hochwasserlage). Zum anderen durch während des Hochwassers auftretende mehrere Schwebstoffpeaks, wobei die Hauptwelle des Schwebstoffmaximums dem Durchflussmaximum während des Auguthochwassers 2002 rund 18 Stunden vorauseilte.

Die bei Extremhochwässern auftretenden Konzentrationsmaxima an Schwermetallen betreffen hauptsächlich die stark bis mäßig partikulär gebundenen Haupt-Kontaminanten des Muldesystems, insbesondere Blei und Kupfer, weit weniger Cadmium und Zink. Im Sediment der Hochwasserlage 2002 wurden Maximalkonzentrationen an Blei von 673 mg/kg erreicht. Es zeigt sich allerdings, dass bei Hochwässern mit vergleichbaren Durchflüssen, aber untergeordnetem Schadstoffangebot durch verstärkten Haldenabtrag im Oberlauf, nicht in jedem Fall diese Konzentrationsspitzen auftreten, die dann gebunden an die Feinstfraktion die Möglichkeit haben ohne Deposition im Muldestausee in den Unterlauf zu gelangen. So konnten bei den zahlreichen Hochwässern der 2000er Jahre mit ebenfalls sehr hohen Durchflüssen (Winterhochwässer 2004/05, 2005/06, 2007/08, 2010/11: maximale Durchflüsse zwischen 419 bis $730 \text{ m}^3/\text{s}$); keine erhöhten Konzentrationen festgestellt werden. Und dies bei mit dem Extremhochwasser vom August 2002 vergleichbarer Sedimentationsrate (erkennbar an der Mächtigkeit der abgesetzten Ereignislagen in den Sedimentkernen).

Dies zeigt, dass der zusätzlichen (extrem)hochwasserinduzierten Mobilisierung von Schwermetallen aus dem Oberlauf durch Haldenabtrag und sonstige Vorgänge eine besondere Rolle für den Wirkungsgrad der Rückhaltfunktion des Muldestausees bei Extremdurchflüssen zukommt. D.h. in einem derartigen Fall ist die Möglichkeit der Belastung des Unterstroms des Muldestausees am ehesten gegeben. Damit haben Maßnahmen zur Haldensicherung und zur Schadstoffquellenreduzierung im Oberlauf der Mulde eine besondere Bedeutung für die Belastung des Muldestroms unterhalb des Muldestausees, da die dabei mobilisierte und besonders an die Feinfraktion gebundene Schadstoffmenge den Muldestausee passieren kann.

Die Möglichkeit eines höheren Schadstoffeintrages in den Unterstrom scheint bei extremen Sommerhochwässern eher gegeben zu sein, als bei extremen Winterhochwässern. Bei der Auswertung der Hochwasserlagen im Seesediment des Muldestausees ist auffällig, dass maximale Konzentrationen offenbar während Sommerhochwässer eher wirksam sind, während bei Winterhochwässern durch Verdünnungsprozesse (Schneesmelze, erhöhter klastischer Bodenabtrag durch minimierten Vegetationsaufwuchs) diese offenbar minimiert werden.

Das Auftreten von Konzentrationspeaks (Daten LHW Sachsen-Anhalt) an Blei (585 mg/kg) und Kupfer (137 mg/kg) im Schwebstoff unterhalb des Muldestausees (Mulde Dessau) im Verlauf des Sommerhochwassers vom Juni 2013 dokumentiert offenbar für dieses Ereignis vergleichbare Bedingungen einer temporär verminderten Sedimentation eines Teil der an die partikuläre Feinstfracht (<20 µm) gebundenen Hauptkontaminanten (hier vor allem Blei). Allerdings fallen die erreichten Konzentrationen geringer als beim Hochwasser 2002 aus. Eine Überprüfung dieser Aussagen zur Widerspiegelung des Extremhochwassers Juni 2013 auf das Sediment des Muldestausees ist in Planung.

5.6. Gibt es Möglichkeiten einer längerfristigen Akkumulation der Sedimente im Muldestausee durch zusätzliche Maßnahmen und für einen verbesserten Rückhalt der als elberelevant ausgewiesenen Schadstoffe im Muldestausee?

Im Vordergrund von Handlungsmaximen im Sedimentmanagement des Muldestausees sollte die weitere Stabilisierung und Effektivierung des „Sedimentationsraumes Muldestausee“ mit seiner überregional wirksamen Ökosystemleistung stehen. Dies sollte durch geeignete Maßnahmen der Steuerung des hydrologischen Systems im Muldestausee erreicht werden, die eine Tiefenerosion der Mulde im Seebecken verhindern und zu einem möglichst lang andauernden und einem breit gefächerten Durchlaufweg der Mulde mit dem Effekt einer hohen Schwebstoff-Sedimentationsrate führen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Grad der Einflussmöglichkeit und Wirksamkeit primär vom Abflussgeschehen der Mulde bestimmt wird.

Im Ergebnis von Untersuchungen zum Gewässerbodenauftrag durch Vergleich der Digitalen Geländemodelle (DGM) von 1975 (Ausgangszustand) und 2005 wurden durch die MIDIC GmbH 2005 Echolotmessungen durchgeführt, die zu einer Verifizierung der Auf- und Abtragungsgebiete im Muldestausee führten (BIEDERMANN 2005). Ablagerungsräume sind danach insbesondere der Einlaufbereich des Muldestausees, in dem sich ein Delta ausgebildet hat, dessen Verlandungsprozess mit der Ausbildung mehrerer Inseln im Einlaufbereich sichtbar wird. Der bis maximal 1 m tiefe Flachbereich des Deltas besitzt vom Einlauf des Muldestausees bis zum Abfall des Gewässergrundes an der Deltafront (einschließlich der entstandenen Inselbereiche) eine Ausdehnung von rund 350 m. 250 m vor der Mauer des Tosbecken beträgt

der aus dem DGM-Vergleich berechnete Massenauftrag von 1975 bis November 2005 ca. 4,2 m, was in diesem Bereich einem mittleren jährlichen Zuwachs von 14 cm entspricht. Unmittelbar am Einlauf beträgt der festgestellte jährliche Sedimentauftrag seit 1975, der zur Inselbildung führte rund 80 cm (24 m Sedimentmächtigkeit im Zeitraum 1975-2005). Weitere Sedimentations- und Verlandungsbereiche im Hauptbecken des Muldestausees finden sich an seinem westlichen Ufer und entlang seines durch einen Tiefenbereich abgegrenzten östlichen Ufers.



Abb. 21: Blick von Muldebrücke bei Pouch über den Einlaufbereich des Muldestausees mit sichtbarer Delta- und Inselbildung (März 2013).

Der Verlauf des Muldestroms im Hauptbecken veränderte sich in Abhängigkeit vom Durchfluss mit dem Verlandungsprozess im Deltabereich, oberflächlich sichtbar auch an der Inselbildung im Einlaufbereich (**Abb. 21**). Der zentrale Zutritt der Mulde in den Muldestausee verursachte zuerst eine im wesentlichen zentrale Passage der Mulde durch das Hauptbecken. Mit der Herausbildung des Deltas wurde ein Teil ihres Hauptstromes nach Osten abgelenkt, so dass heute die Mulde neben ihrem zentralen Durchfluss, das Hauptbecken im wesentlichen entlang seiner östlichen Böschung passiert und hier die Ausbildung eines Tiefenbereiches („Prallhangsituation“) hervorruft. Als Abtragungsgebiete bzw. als Gebiete eines erosives Einschneiden der Mulde, sind der Bereich des östlichen Ufers und der zentrale Bereich des Hauptbeckens vor dem Bärenholzrücken ausgewiesen. Die aus den DGM-Abschätzungen abgeleitete Sedimentbilanz zeigt, dass im Hauptbecken einem Eintrag durch die Mulde von insgesamt 16,82 Mio. Kubikmeter Sediment ein Abtrag von 2,27 Mio. Kubikmeter Sediment im Zeitraum 1975 bis 2005 gegenüberstehen (BIEDERMANN 2005). Für die zukünftige Prognose der Sedimentbilanz (Massenzuwachs), der Entwicklung seines Seebodenreliefs und der spezifischen Ablagerungs- und Abtragungsbereiche innerhalb des Muldestausees (Hauptbecken) sind in langjährigen Abständen vergleichende Echotomessungen und DGM-Auswertungen seines Seebodenreliefs notwendig. Sie sind die Voraussetzung, um über mögliche Steuerungsmaßnahmen einen optimalen langfristigen Sedimentrückhalt im Muldestausee zu gewährleisten, der einerseits von der allgemeinen Durchflusssituation (Niedrigwasser, Hochwasser), und andererseits auch vom

Durchflussverlauf der Mulde mit der Ausbildung spezifischer Akkumulations- und Erosionsbereiche im Muldestausee abhängt. Letztgenannter Faktor ist möglicherweise beeinflussbar.

Steuerungsmaßnahmen an den Staustufen, mit denen eine Einflussnahme auf den Seespiegel im Muldestausee möglich ist, sollten der Ausbildung einer dauerhaften Fixierung des Muldeverlaufes im Hauptbecken des Muldestausee entgegenwirken. So würde zum Beispiel durch die Handlungspriorität dauerhaft niedriger Seespiegel die Ausbildung eines hydrodynamisch festgelegten mäanderartigen Muldeverlaufes im Hauptbecken befördert, der die Gefahr einer Tiefenerosion mit dem Abtrag auch der tiefer liegenden hochbelasteten Altsedimente, in sich trägt. Anzustreben ist ein möglichst weit verzweigter, wechselnder („braided river“) Verlauf des Muldestroms im Hauptbecken, der durch eher hohe und wechselnde Seespiegel befördert werden kann.

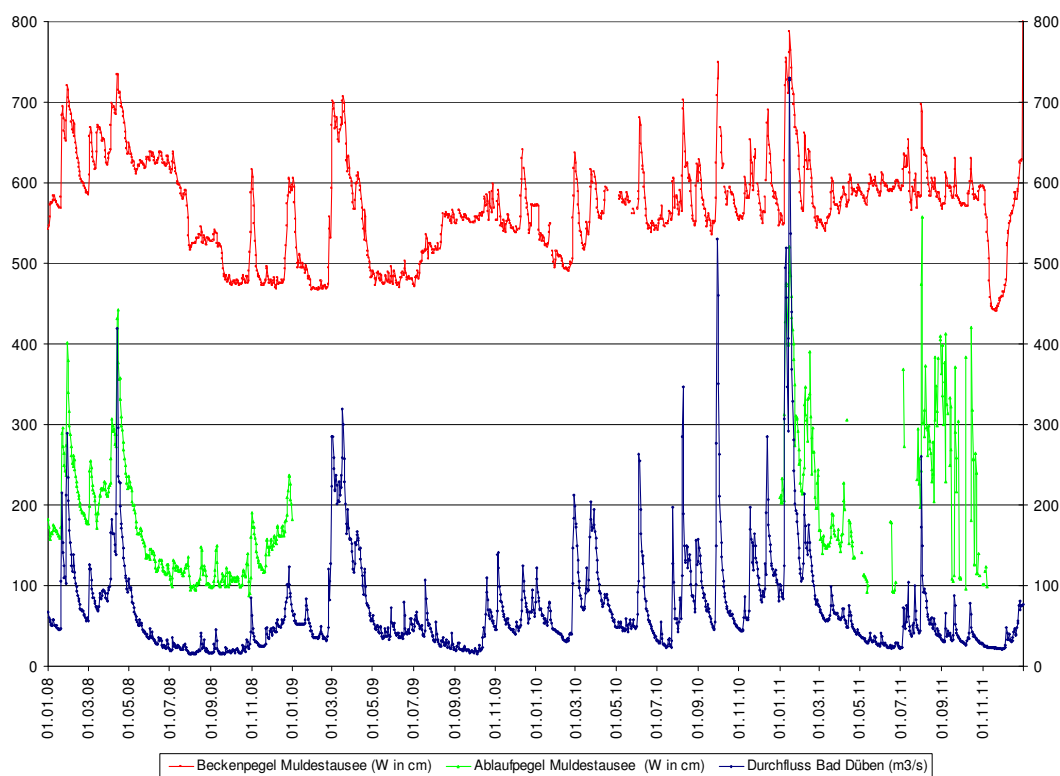


Abb. 22: Verläufe von Durchfluss der Mulde am Pegel Bad Dübener See (in m^3/s ; blau), Beckenpegelstand (in cm; rot) und Ablaufpegelstand (in cm; grün) des Muldestausees der Jahre 2008 bis 2011 (Daten: Talsperrenbetrieb Blankenburg; LHW Sachsen-Anhalt Halle)

Bezüglich der Schadstoffakkumulationsrate sind Einflussmöglichkeiten durch Steuerungsmaßnahmen nur auf die partikulär transportierte Schadstofffracht (Schwebstoffe) gegeben und von den jeweiligen Abflussbedingungen abhängig. So würden Maßnahmen, die zu längeren Verweilzeiten des Muldestroms im Seebecken führen und im allgemeinen hohe Seespiegelstände und damit auch größere Wasservolumina (= größere Schwebstoffmengen im Seebecken) bedingen, nicht nur den Vorteil haben, die Gefahr einer Tiefenerosion mit Austrag

der tief liegenden Altsedimente zu minimieren, sondern mit ihnen wären dann auch günstigere Voraussetzungen für eine Erhöhung der Akkumulationsrate an Feinst-Schwebstoffen im Muldestausee gegeben, die auch einen Großteil der zugeführten Schadstofffracht tragen. Bei längeren Verweilzeiten und damit zwangsläufig abnehmender Fließgeschwindigkeiten würden sich die Sedimentationsbedingungen des am meisten mit Schadstoffen belasteten Feinstschwebs verbessern. Allerdings liegen Untersuchungen und Abschätzungen zu Einfluss und Wirksamkeit der Staustufenschwankungen des Muldestausees auf den an die Feinst-Schwebstoffe gebundenen Schadstoffrückhalt bisher noch nicht vor.

Auswertungen von Daten zu den Becken- und Ablaufpegelständen des Muldestausees der Jahre 2008 bis 2011, die seitens des Talsperrenbetriebes Blankenburg und des Landesbetriebes für Hochwasserschutz- und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW Sachsen-Anhalt) für die vorliegenden Auswertungen freundlichst zur Verfügung gestellt wurden, zeigen in erster Linie die Durchflussabhängigkeit der Muldestauseepegel (siehe **Abb. 22**).

Starke Schwankungen des Durchflusses im Jahreslauf spiegeln sich in entsprechenden Schwankungen des Becken- und Ablaufpegels des Muldestausees wider. So schwankte der Beckenpegel (Wasserstand) des Muldestausees im Verlauf des weitgehend durchflussarmen Jahres 2009 um 2,40 Meter (Variation des Durchflusses um $303 \text{ m}^3/\text{s}$), des Jahres 2008 um 2,66 Meter (Variation des Durchflusses um $404 \text{ m}^3/\text{s}$), des Jahres 2010 um 2,88 Meter (Variation des Durchflusses um $508 \text{ m}^3/\text{s}$) und innerhalb des Jahres 2011 um 4,88 Meter (Variation des Durchflusses um $709 \text{ m}^3/\text{s}$). Das heißt der Seespiegel des Muldestausees wies im belegten Zeitraum eine Schwankung zwischen 3 bis 5 m auf. Einen vergleichbaren Trend im Zeitraum 2008-2011 zeigt der Ablaufpegel des Muldestausees mit Schwankungen zwischen 3,54 und 4,66 Meter.

Aussagen zu den Wassermengen im Muldestausee zwischen Höchst- und Niedrigwasserstand können aus dem durch beträchtliche Winterhochwässer mit maximalen Durchflüssen bis $730 \text{ m}^3/\text{s}$ (Januar 2011) geprägten Jahr 2011 abgeschätzt werden. Bei einem mittlerem Wasservolumen des Muldestausees von 118 Mio. m^3 führte das Seebecken in 2011 im Minimum 104,6 Mio. m^3 und im Maximum 135,8 Mio. m^3 Wasser. D.h. die Differenz der Wassermengen (mit entsprechenden Schwebstoffanteilen!) im Muldestausee innerhalb eines Jahres betrug rund 31 Mio. m^3 . Dies gibt einen Hinweis auf die (maximale) Größenordnung der Schwankung der Wasservolumina im Staubereich des Muldestausees und damit auch einen Hinweis auf die Größe der Einflussnahme auf die Sedimentationsbilanz schadstoffführenden Feinschwebs. Wie hoch an den genannten, vordergründig vom Durchfluss bestimmten Seespiegelschwankungen die Komponente des steuertechnischen Einflusses ist, bedarf seitens des Bearbeiters einer erweiterten Recherche; Beratung und Information durch die für die Stauseeführung zuständige Einrichtung und kann zur Zeit nicht verifiziert werden.

Da ein Großteil der als elberelevant ausgewiesenen Schadstoffe der Mulde in partikulärer Form gebunden ist (z.B. Pb, Cd), sieht der Autor durch Maßnahmen der Staustufenregelung, die auch den Faktor des Sedimentrückhalts einschließen, auf lange Sicht die Möglichkeit der Einflussnahme auf einen verbesserten Schadstoffrückhalt im Muldeunterlauf und Elbestrom. All diese Maßnahmen müssen sich natürlich in das aktuelle Durchflussgeschehen einpassen, technologisch machbar sein und auch den notwendigen Maßnahmen im Hochwasserfall entsprechen.

5.7. Ist mit den in Sachsen oberhalb des Muldestausees geplanten Maßnahmen zukünftig eine Einhaltung der Umweltqualitätsnormen gemäß OGewV im Muldestausee zu erwarten? Wenn nein, welche Qualitätsziele sind erreichbar?

Für die Sedimente des Muldestausees ist ein seit rund 20 Jahren zu verzeichnender anhaltender Trend der Qualitätsverbesserung zu beobachten, der alle im Schadstoffsedimentmanagementkonzept (SSMK) verankerten Schadstoffe betrifft, allerdings in unterschiedlichem Maße. Während die Gehalte bei den organischen Schadstoffen, ausgenommen Fluoranthen und DDT/Metabolite, bis 2012 im Oberflächensediment ein weitgehend ökotoxikologisch unbedenkliches und unter dem Oberen Schwellenwert des SSMK liegendes Niveau erreicht haben, trifft dies bei den anorganischen Schadstoffen nur auf Chrom und Kupfer zu. Alle anderen anorganischen Schadstoffe und hier insbesondere die Hauptkontaminanten des Muldesystems Blei, Cadmium, Arsen, Nickel und Zink liegen trotz Reduzierung ihrer Konzentrationen auf die Hälfte bis ein Viertel ihrer Ausgangsgehalte vor 1990, noch deutlich über den festgelegten Schadstoffgrenzen.

Der Großteil der Reduzierung ist zurückzuführen auf den Zusammenbruch und die Stilllegung der bergbaulichen Anlagen vor 20 Jahren und auf nachfolgende Maßnahmen der Haldensanierung, Haldensicherung und Stauanlagenberäumung. Damit wurde ein Prozess der Selbstreinigung in Gang gesetzt, der durch Verdünnung mit unbelastetem natürlichem Bodenmaterial zu einer steten Reduzierung der Schadstoffe im Sediment führt. Während in Einzugsgebieten, die weitgehend nur durch punktuelle Schadstoffquellen gekennzeichnet waren (z.B. Weiße Elster), dieser Prozess der natürlichen Selbstreinigung in den letzten 20 Jahren häufig zu Sedimentqualitäten unterhalb der festgelegten Grenzwerte geführt hat, trifft dies für das Einzugsgebiet der Mulde und damit auch für die Qualität der Sedimente des Muldestausees nicht zu. Der Langfristtrend der Schadstoffbelastung hängt hier entscheidend von der Reduzierung der kontinuierlichen Schadstoffeinträge aus den Gruben- und Entwässerungsstollen der ehemaligen Erzbergbaureviere im Oberlauf ab. Allein ein Viertel bis ein Drittel der Cadmiumfracht der Freiburger Mulde wird dem Verträgliche Gesellschaftsstollen des Freiburger Reviers zugeschrieben (frdl. Mitt. A. Greif). Dies macht deutlich, dass nur mit einer Reduzierung dieser Einträge an den Schadstoffquellen im Oberlauf auf lange Sicht auch eine Einhaltung der Umweltqualitätsnormen gemäß OGewV im Muldestausee möglich ist.

Ohne Maßnahmen der Schadstoffreduzierung im Oberlauf der Mulde wird insbesondere bei den Hauptschadstoffen Cadmium, Blei, Arsen und Zink der beobachtete Trend der Gehaltsabnahme in den Sedimenten des Muldestausees sich zwar weiterhin fortsetzen, aber viele Jahrzehnte benötigen. Durch die qualitative Kopplung der Muldestauseesedimente an die kontinuierlichen Schadstoffausträge aus den bergbaulichen Grubenbauen und Stollen im Oberlauf der Mulde ist ohne Maßnahmen an den Eintragsquellen im Oberlauf auch keine sprunghafte Beschleunigung in der Verbesserung der Sedimentqualität des Muldestausees zu erwarten. Eine über Jahrzehnte langsame asymptotische Annäherung der Schadstoffgehalte an den Oberen Schwellenwert der SSMK ist in diesem Falle anzunehmen. Eine generelle Verschlechterung der Belastungssituation ist bei fehlenden Maßnahmen der Schadstoffreduzierung an den Quellen allerdings auch nicht zu erwarten, wobei aber eine zeitweilige Verschlechterung der Sedimentqualität (eventuell auch mit Auswirkungen bis in den Unterlauf wie beim Hochwasser 2002) bei zukünftig auftretenden Extremhochwässern nicht auszuschließen ist.

6. Zusammenfassung

Die Vereinigte Mulde durchströmt seit 1975 das Braunkohlentagebaurestloch Muldenstein. Mit der Ausbildung des Muldestausees und der Schaffung von großflächigen wasserberuhigten Zonen im Gewässersystem Mulde begann ein wirksamer Sediment- und Schadstoffrückhalt mit überregionaler Wirkung für die Gewässer- und Sedimentqualität des unteren Elbesystems bis Hamburger Hafen und Nordsee.

Das Rückhaltevermögen des Muldestausees an Schwebstoffen und daran gebundene anorganische Schadstoffe ist seit 1975 anhaltend und unverändert. Untersuchungen von Sedimentkernen belegen eine kontinuierliche und weitgehend gleich bleibende Schlammsedimentationsrate. Die im Stauseesediment fixierten hohen Schadstoffkonzentrationen belegen einen Rückgang des Schadstoffeintrages seit 1990, der mit den im Oberlauf des Muldestroms durch Schwebstoff- und Schadstoffmessungen langjährigen Veränderungen korrespondiert.

Der Rückhalt der Schwebstofffracht im Muldestausee erweist sich unabhängig vom Durchfluss und von der Menge der eingetragenen Schwebstoffe als relativ konstant, wobei bezogen auf die Jahresfracht im Mittel 92 bis 93 % der den Muldestausee erreichenden Schwebstoffe im See zur Sedimentation gelangen. Die mittlere Sedimentationsrate, ermittelt aus Sedimentationsraten von Sedimentkernen der beiden Teilbecken (Haupt- und Friedersdorfer Becken) des Muldestausees beträgt 357435 t/a und beinhaltet nicht nur den Schwebstoffeintrag, sondern zusätzlich auch den durch seeinterne Prozesse (z.B. Algenbildung) verursachten Anteil des Sedimentzuwachses. Insgesamt kommen im Muldestausee jährlich maximal ca. 450000 t Sediment (Fein- und Grobfracht) zur Ablagerung, wobei davon ca. 80 % die schadstofftragende Schwebstofffracht einnimmt. Die mittlere Sedimentationsrate beträgt im Hauptbecken 5,4 cm/Jahr und im Friedersdorfer Becken 1,5 cm /Jahr.

Der Bitterfelder Muldestausee wird insgesamt noch mindestens 770 Jahre eine bedeutende und überregional wirksame Sedimentfalle im unteren Muldesystem sein.

Die im Muldestausee lagernden Sedimente sind bezogen auf die anorganischen Schadstoffe As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn gemäß der Klassifizierung des Schadstoffsedimentmanagementkonzeptes (SSMK) als deutlich belastete Sedimente einzustufen. Bis auf Chrom und Kupfer, dessen mittlere und Maximalgehalte im Oberflächensediment 2012 unterhalb des festgelegten Oberen Schwellenwertes liegen, überschreiten die Gehalte aller anderen anorganischen Schadstoffe im Seesediment des Muldestausees die vorgeschlagenen Oberen Schwellenwerte gemäß SSMK. Die höchsten Konzentrationen an anorganischen Schadstoffen liegen im Friedersdorfer Becken vor, was auf die bevorzugte Sedimentation organikreicher Feinsedimente in diesem Bereich des Muldestausees zurückzuführen ist. Mit der Stilllegung und Reduzierung der punktuellen Schadstoffeinleiter in Folge des Zusammenbruches der DDR-Industrie ist ein deutlicher Rückgang in der Schadstoffbelastung und damit eine kontinuierliche Verbesserung der Sedimentqualität festzustellen. Gegenüber dem Zeitraum 1990-2002 haben sich die Gehalte im

Zeitraum 2002-2012 um 20-30% (As, Cr, Cu, Zn) bzw. um 50% (Cd, U) reduziert und zum Teil stagnieren sie (Hg).

Die Sedimente des Muldestausees weisen bei den organischen Schadstoffen mit einigen wenigen Ausnahmen (p,p`DDE, p,p`DDE, p,p`DDD, Fluoranthen) keine großen Konzentrationsüberschreitungen im Vergleich zu den im Sediment/Schadstoff-Managementkonzept (SSMK) festgelegten Oberen Schwellenwerten auf. Die Hauptbelastung an Dioxinen und Furanen im Muldestausee ist generell an die tiefer liegenden und im Zeitraum 1975-1990 abgelagerten Sedimente gebunden. Auch im Falle der organischen Schadstoffe zeigt sich, dass die durch höhere Schadstoffkonzentrationen ausgewiesenen Altsedimente von unbelastetem Sedimentmaterial überlagert werden und zu einer „Abdeckelung“ dieses Kontaminationspotenzials geführt haben.

In absehbarer Zeit besteht aus ökosystemanalytischer, als auch aus hydraulischer Sicht kein Erfordernis die belasteten Sedimente aus dem Muldestausee zu entfernen. Die im Muldestausee lagernden anorganischen Schadstoffe (Metalle) sind im Seesediment in anoxischer Form gebunden und damit dem hydraulischen System „Fluss“ mit seinen Prozessen des Austrages und der Verlagerung weitgehend entzogen. Hochbelastete Sedimente liegen im Muldestausee in Sedimenttiefen von >1 m (Hauptbecken) bzw. >30 cm Tiefe (Friedersdorfer Becken) vor.

Die in verschiedenen Jahren und aus verschiedenen Bereichen entnommenen Seesedimentkerne weisen eine kontinuierliche, ungestörte Schichtung an Feinsediment auf, die eine stattgefundene Tiefenerosion ausschließt. Die in den Kernen erkennbaren Hochwasserlagen sind innerhalb der Beckenbereiche des Muldestausees über größere Distanzen korrelierbar. Dies beweist eine weitgehend kontinuierliche Sedimentation der mit Schadstoffen belasteten Feinsedimente. Erosive Erscheinungen mit Tiefenwirkungen im Abtrag des Seebodenoberflächensedimentes von kleiner 1 cm wurden bisher nur im zuflussnahen Bereich der Mulde des Hauptbeckens beobachtet. Sie betreffen in der Regel die dort vorliegenden gröberen Sedimentfraktionen (Schluff-, Feinsand), die durch keine bzw. nur eine untergeordnete Schadstoffbindung charakterisiert sind. Die schadstoffreichen Feinsedimente sind durch ihre Sedimentation in zuflussfernen Bereichen größerer Tiefe vor Erosionsprozessen weitgehend geschützt.

Im Vordergrund von Handlungsmaximen im Sedimentmanagement des Muldestausees sollte die weitere Stabilisierung und Effektivierung des „Sedimentationsraumes Muldestausee“ mit seiner überregional wirksamen Ökosystemleistung stehen. Dies sollte begleitend durch geeignete Maßnahmen der Steuerung des hydrologischen Systems im Muldestausee erreicht werden, die eine Tiefenerosion der Mulde im Seebecken verhindern und zu einem möglichst lang andauernden und einem breit gefächerten Durchlaufweg der Mulde mit dem Effekt einer hohen Schwebstoffsedimentationsrate führen.

Steuerungsmaßnahmen an den Staustufen, mit denen eine Einflussnahme auf den Seespiegel im Muldestausee möglich ist, sollten der Ausbildung einer dauerhaften Fixierung des Muldeverlaufes im Hauptbecken des Muldestausees entgegenwirken. Bezüglich der Schadstoffakkumulationsrate sind Einflussmöglichkeiten durch Steuerungsmaßnahmen nur auf die partikulär transportierte

Schadstofffracht (Schwebstoffe) gegeben und von den jeweiligen Abflussbedingungen abhängig. So würden Maßnahmen, die zu längeren Verweilzeiten des Muldestroms im Seebecken führen und im allgemeinen hohe Seespiegelstände und damit auch größere Wasservolumina (= größere Schwebstoffmengen im Seebecken) bedingen, nicht nur den Vorteil haben, die Gefahr einer Tiefenerosion mit Austrag der tief liegenden Altsedimente zu minimieren, sondern mit ihnen wären dann auch günstigere Voraussetzungen für eine Erhöhung der Akkumulationsrate an Feinst-Schwebstoffen im Muldestausee gegeben, die auch einen Großteil der zugeführten Schadstofffracht tragen. Bei längeren Verweilzeiten und damit zwangsläufig abnehmender Fließgeschwindigkeiten würden sich die Sedimentationsbedingungen des am meisten mit Schadstoffen belasteten Feinstschwebs verbessern. Allerdings liegen Untersuchungen und Abschätzungen zu Einfluss und Wirksamkeit der Staustufenschwankungen des Muldestausees auf den an die Feinst-Schwebstoffe gebundenen Schadstoffrückhalt bisher noch nicht vor.

Da ein Großteil der als elberelevant ausgewiesenen Schadstoffe der Mulde in partikulärer Form gebunden ist (z.B. Pb, Cd), sieht der Autor durch Maßnahmen der Staustufenregelung, die auch den Faktor des Sedimentrückhalts einschließen, auf lange Sicht die Möglichkeit der Einflussnahme auf einen verbesserten Schadstoffrückhalt im Muldestausee und damit auch ein gewisses Schadstoffreduzierungspotenzial für den Muldeunterlauf und Elbestrom. All diese Maßnahmen müssen sich natürlich in das aktuelle Durchflussgeschehen einpassen, technologisch machbar sein und auch den notwendigen Maßnahmen im Hochwasserfall entsprechen. Unabhängig einer für das Sedimentmanagement optimalen Staustufenregelung ist eine Einhaltung der Umweltqualitätsnormen gemäß OGeV im Muldestausee nur möglich, wenn eine Reduzierung der Einträge an den Schadstoffquellen im Oberlauf der Mulde erfolgt. Sie sind für eine Verbesserung der Belastungssituation als vorrangig einzustufen.

Für ein langfristiges Monitoring der Rückhaltefunktion des Muldestausees sind im Abstand von wenigstens 10 Jahren (im Falle des Auftretens von Extremhochwässern auch in kürzerer Periode) vergleichende Sedimentkernuntersuchungen aus den beiden Teilbecken (Friedersdorfer Becken, Hauptbecken) zu empfehlen. Mit den Ergebnissen sind Aussagen zur Entwicklung der Schadstoffeinträge aus dem Gesamteinzugsgebiet der Mulde und zur Qualität der Stauseesedimente kostengünstig und ohne größeren logistisch-technischen Aufwand einer sonst dafür notwendigen Schwebstoffprobenahmekampagne möglich. Zur Überprüfung und Verifizierung von Maßnahmen zur Optimierung seiner Rückhaltefunktion und für die zukünftige Prognose seiner Sedimentbilanz (Massenzuwachs), der Entwicklung seines Seebodenreliefs und der spezifischen Ablagerungs- und Abtragungsbereiche innerhalb des Muldestausees (Hauptbecken) sind in gleichen langjährigen Abständen vergleichende Echolotmessungen und DGM-Auswertungen seines Seebodenreliefs ergänzend ratsam.

Forschungsbedarf am Muldestausee ergibt sich hinsichtlich der bisher noch weitgehend offenen Frage nach der Bindung von Metallen durch seeintern gebildete organische Substanz (Algen) und der damit einhergehenden Sedimentation vorwiegend organisch gebundener Schadstoffe. Damit wäre es möglich die ablaufenden Prozesse der Schadstoffsedimentation im Seebecken weiter zu verifizieren und zu besseren Schadstoffbilanzen zu gelangen.

Literatur

- BIEDERMANN F. (2005): Muldestausee Friedersdorf. DGM Gewässerboden.- unveröff. Abschlußbericht MIDIC GmbH: 10 S.
- BLUME H.-P. (Hrsg.) (2004): Handbuch des Bodenschutzes.- ecomed-Verlag, 3. Aufl.: 916 S.
- BROEKAERT J.A.C., SIEMENS V., KRUGMANN T., SCHLENKER A. (2004): AP 3.8. Schwermetall- und Arsenverlagerung in der Vereinigten Mulde.- In: „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“, GELLER W., OCKENFELD K., BÖHME M., KNÖCHEL A. (Hrsg.): 173-182
- GRÖSCHKE A. (2007): Eisenhaltige Schlämme aus Grubenwasserreinigungsanlagen des Lausitzer Braunkohlereviere.- unveröff. Diss. TU Cottbus
- JENDRYSCHIK K. (2003): Schwebstofffrachten der Mulde am Zufluss zum Bitterfelder Muldestausee in den Jahren 1991 bis 2001 und die Sedimentation im See.- Jb. 2001-2002, Sächs. Akad. Wiss. zu Leipzig: 240-249
- JUNGE F.W., HANISCH C., ZERLING L., CZEGKA W., ARNOLD A., JENDRYSCHIK K., MORGENSTERN P., TREUTLER H.-CH., SCHARF B. (2004a): AP 3.6. Untersuchungen im Bitterfelder Muldestausee zu den Auswirkungen des Hochwassers vom August 2002 auf die Schwermetallgehalte von Schwebstoffen und Sedimenten.- In: „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“, GELLER W., OCKENFELD K., BÖHME M., KNÖCHEL A. (Hrsg.): 136-158
- JUNGE F.W., K. JENDRYSCHIK, P. MORGENSTERN, H.-C. TREUTLER, L. ZERLING (2004b): Hochwasserereignisse und ihre Widerspiegelung im rezenten Seesediment eines Flußstausees.- *Eiszeitalter und Gegenwart* 54, Hannover: 124-137 (2 Abb., 2 Tab.)
- JUNGE F.W., K. JENDRYSCHIK, P. MORGENSTERN, H.-C. TREUTLER, L. ZERLING (2004c): Sediment cores from river dams used as flood archives.- *Studia Quaternaria* 21: 187-195
- KÄMPF L., BRAUER A., DULSKI P., FEGER K.-H., JACOB F., KLEMT E. (2012): Sediment imprint of the severe 2002 summer flood in the Lehmühle reservoir, eastern Erzgebirge (Germany).- *E&G Quaternary Science Journal* 61, 1: 3-15
- MÜLLER AN., HANISCH C., ZERLING L., LOHSE M., WALTHER A. (1998): Schwermetalle im Gewässersystem der Weißen Elster.- Abh. Sächs. Akad. Wiss. zu Leipzig 58, 6: 199 S.
- PEPELNIK R., NIEDERGESÄB R, ERBSLÖH B., AULINGER A., PRANGE A. (2004): AP 3.2. Längsprofiluntersuchungen zur Beurteilung von Auswirkungen des Hochwassers vom August 2002 auf die Wasser- und Sedimentqualität der Elbe.- Endbericht BMBF-FKZ PTJ 0330492 „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“, GELLER W., OCKENFELD K., BÖHME M., KNÖCHEL A. (Hrsg.): 82-100
- SCHMIDT K.-H. (1998): Flutung der Tagebaurestlöcher des Bitterfelder Braunkohlereviere. Konsequenzen auf die Flusslandschaft der Mulde.- In: Frühauf M. & Hardenbicker U. (Hrsg.) „Geowissenschaftliche Umweltforschung im mitteldeutschen Raum.“, Halle: 67-75
- SCHMIDT K.-H. (1996): Geomorphologisch-sedimentologische Analyse der Mulde im Bereich des Muldestausees.- unveröff. Gutachten, Halle
- VETTER T. (2008): Hochwasserbegleitende Sohldynamik eines großen Flachlandflusses (Vereinigte Mulde, Sachsen-Anhalt) unter besonderer Berücksichtigung von gestörten Transportverhältnissen.- Greifswalder geographische Arbeiten 43, Greifswald: 174 S.

- VETTER T., SCHMIDT K.-H. (2002): Die Mulde in Sachsen-Anhalt. Veränderungen eines Fließgewässers im mitteldeutschen Industriegebiet.- *scientia halensis* 1/2002, Halle/Saale: 11-12
- VETTER T. (1999): Pressemitteilung Informationsdienst Wissenschaft: „Untersuchungen hallescher Wissenschaftler am Muldestausee bei Bitterfeld in Sachsen-Anhalt“.- <http://idw-online.de/pages/de/news15597>
- UMLAUF G., CHRISTOPH E.H, BIDOGLIO G. (2004): AP 3.1. Dioxinanalysen an ausgewählten Proben in Überschwemmungsgebieten.- In: „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“, Geller W., Ockenfeld K., Böhme M., Knöchel A. (Hrsg.): A498-A505
- ZERLING L., MÜLLER AN., JENDRYSCHIK K., HANISCH C., ARNOLD A. (2001): Der Bitterfelder Muldestausee als Schadstoffsene.- *Abh. Sächs. Akad. Wiss. zu Leipzig* 59, 4: 69 S.
- ZEHNSDORF A., KORN U., PRÖTER J., NAUMANN D., SEIRIG M., RÖNICKE H., PIEPER B. (2011): Schmalblättrige Wasserpest (*Elodea nuttallii*) als Cosubstrat für Biogasanlagen.- *Landtechnik* 66, 2: 136-139

Verzeichnis der Abbildungen

Abb.1: Geographische Lage des Bitterfelder Muldestausees.

Abb.2: Reliefkarte des Hauptbeckens des Bitterfelder Muldestausees. Deutlich sichtbar ist die Teilung des Hauptbeckens in zwei Tiefenbereiche, die durch den das Seebecken querenden Bärenholzrücken voneinander getrennt sind.

Abb.3: Das Seebodenrelief des Bitterfelder Muldestausees in einem Ost-West verlaufenden Profil durch das Hauptbecken.

Abb.4: Kern Mul4 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (April 2002).

Abb.5: Kern Mul4HW aus dem Hauptbecken des Muldestausees (September 2002).

Abb.6: Kern MuSt-HB1 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (Juli 2012).

Abb.7: Kern MuSt-HB2 aus dem Hauptbecken des Muldestausees (Juli 2012).

Abb.8: Aufbau und Korrelation des Seesedimentes in zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommenen Sedimentkernen aus dem Friedersdorfer Becken des Bitterfelder Muldestausees (links: Kern Mul1 vom April 2002; Mitte: Kern Mul1HW vom September 2002; rechts: Kern MuSt-FB7). Hochwasserlagen (hell) unterbrechen die organische Sedimentation (dunkel).

Abb. 9: Kern MuSt-FB6 aus dem Friedersdorfer Becken des Bitterfelder Muldestausees (Juli 2012).

Abb. 10: Verteilung der Elemente Arsen, Blei, Cadmium im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.

Abb. 11: Verteilung der Elemente Arsen, Blei, Cadmium im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Abb. 12: Verteilung der Elemente Zink, Kupfer, Chrom im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.

Abb. 13: Verteilung der Elemente Zink, Kupfer, Chrom im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

Abb. 14: Verteilung der Elemente Nickel, Quecksilber, Uran im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken).

Abb. 15: Verteilung der Elemente Nickel, Quecksilber, Uran im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.

- Abb. 16:** Verteilung der Elemente Eisen und Mangan im Sedimentkern MuSt-FB7 vom Juli 2012 (Friedersdorfer Becken). Teufenangabe in cm.
- Abb. 17:** Verteilung der Elemente Eisen und Mangan im Sedimentkern MuSt-HB2 vom Juli 2012 (Hauptbecken). Teufenangabe in cm.
- Abb. 18:** Ergebnisse radiometrischer ($^{137}\text{-Cs}$, $^{238}\text{-Uran}$) und geochemischer (As, Pb, Zn, Cd, Sn, Cu) Untersuchungen am im September 2002 entnommenen Kern Mul1HW aus dem Friedersdorfer Becken des Muldestausees.
- Abb. 19:** Konzentrationsverlauf der Elemente Cadmium und Blei in den 2002 entnommenen Sedimentkernen aus dem Hauptbecken des Muldestausees.
- Abb. 20:** Sedimentationsmodell Bitterfelder Muldestausee.
- Abb. 21:** Blick von Muldebrücke bei Pouch über den Einlaufbereich des Muldestausees mit sichtbarer Delta- und Inselbildung (März 2013).
- Abb. 22:** Verläufe von Durchfluss der Mulde am Pegel Bad Dübén (in m^3/s ; blau), Beckenpegelstand (in cm; rot) und Ablaufpegelstände (in cm; grün) des Muldestausees der Jahre 2008 bis 2011 (Daten: Talsperrenbetrieb Blankenburg; LHW Sachsen-Anhalt Halle)

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Grunddaten des Muldestausees.

Tabelle 2: Zusammenstellung der aus dem Muldestausee entnommenen Sedimentkerne.

Tabelle 3: Metallgehalte der Sedimente im Muldestausee (insgesamt, Haupt- und Friedersdorfer Becken) im Vergleich mit den Schwellenwerten des Schadstoff/Sedimentmanagementkonzeptes für anorganische Stoffe.

Tabelle 4: Gehalte von Uran, Eisen und Mangan in den Sedimenten des Muldestausees (insgesamt, Haupt- und Friedersdorfer Becken) im Vergleich zu den Gehalten im Tongesteinsstandard.

Tabelle 5: Metallgehalte der Sedimente im Muldestausee (insgesamt), aufgeschlüsselt nach Ablagerungszeitraum/Sedimenttiefe und im Vergleich mit den Schwellen- bzw. Grenzwerten des Schadstoff / Sedimentmanagementkonzeptes für anorganische Stoffe.

Tabelle 6: Gehalte von Uran, Eisen und Mangan in den Sedimenten des Muldestausees (insgesamt), aufgeschlüsselt nach Ablagerungszeitraum/Sedimenttiefe und im Vergleich zu den Gehalten im Tongesteinsstandard.

Tabelle 7: Zeitliche Zuordnung der Ereignislagen im Sedimentkern MuSt-FB7 (Friedersdorfer Becken) aus dem Bitterfelder Muldestausee zu Hochwasserereignissen der Mulde mit einem Tagesdurchflusswert $Q \geq 300 \text{ m}^3/\text{s}$ seit 1975.

Tabelle 8: Organische Schadstoffe im Oberflächensediment des Muldestausees.

Tabelle 9: Organische Schadstoffe in den Sedimenten des Muldestausees, aufgeschlüsselt nach Ablagerungsraum und -zeit.

Tabelle 10: Veränderung der mittleren Konzentrationen (gelöst, partikulär) ausgewählter anorganischer Schadstoffe im Muldelauf zwischen Bad Dübren (vor Muldestausee) und Dessau (hinter Muldestausee)

Tabelle 11: Zusammenhang zwischen Durchfluss, prozentualem Rückhalt und Menge der im Muldestausee zurückgehaltenen Schwebstofffracht (Auswertezeitraum 1991-2002).

Tabelle 12: Berechnung der im Muldestausee abgelagerten Menge an Schwebstoff aus der Schwebstofffrachtabschätzung (1975-2011; Methode I).

Tabelle 13: Sedimentationsraten in Sedimentkernen aus dem Muldestausee (Methode II).

Tabelle 14: Vergleich der nach unterschiedlichen Methoden bestimmten Schwebstoffmengen und Sedimentationsraten.

Tabelle 15: Prozentualer Rückhalt der Schadstoffelemente As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, U sowie Fe und Mn im dem Muldestausee zugeführten Schwebstoffs.

Tabelle 16: Abschätzung der Schweb- und Schadstoffsedimentationsraten im Muldestausee und Vergleich mit Elbefracht (Angaben in Tonnen pro Jahr).

Tabelle 17: Abschätzung der Sediment- und Schadstoffmengen im Muldestausee (1975-2010) (Angaben in Tonnen).

Anlagen

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 01:** Klassifizierung gemäß Schadstoff / Sedimentmanagementkonzept (SSMK).
(Textexemplar (1 S.) + Berichts-CD: Datei A001-SSMK.doc)
- Anlage 02:** Prüfbericht Metalldaten der untersuchten Sedimentproben (Kerne MuSt-FB7, HB2), Labor Eurofins, Freiberg.
(Textexemplar (9 S.) + Berichts-CD: Datei A002-Prüfbericht-Metalle.doc)
- Anlage 03:** Prüfbericht Organikdaten der untersuchten Sedimentproben (Kerne MuSt-FB7, HB2), Labor Eurofins, Freiberg.
(Textexemplar (12 S.) + Berichts-CD: Datei A003-Prüfbericht-Organik.doc)
- Anlage 04:** Zusammenstellung aller Metalldaten untersuchter Kerne aus dem Muldestausee.
(nur Berichts-CD: Datei A004-insg-Met.xls)
- Anlage 05:** Zusammenstellung und Verteilungsprofile der Metalle in den untersuchten Kernen 2012 aus dem Muldestausee.
(nur Berichts-CD: Datei A005-2012-Met.xls)
- Anlage 06:** Zusammenstellung der organischen Schadstoffgehalte in den untersuchten Kernen 2012 aus dem Muldestausee.
(nur Berichts-CD: Datei A006-2012-Org.xls)
- Anlage 07:** Sedimentdaten 2010 und 2011 des gewässerkundlichen Landesdienstes Sachsen-Anhalt für Muldestausee (Probenahmedaten: 18.10.2010 und 13.10.2011)
(aus: www.sachsen-anhalt.de/.../Master../2010_Seen_Sedimente.pdf)
(Textexemplar (2 S.) + Berichts-CD: Datei A007-2010+11-GkdLLA-SA.doc)

Klassifizierung gemäß Schadstoff / Sedimentmanagementkonzept

Stand: April 2012
1a-T2-2012-04-11

Nr.	Stoff	Maßeinheit	Unterer Schwellenwert		Oberer Schwellenwert
			1	Hg	mg/kg
2	Cd	mg/kg	<0,22	0,22 – 2,3	>2,3
3	Pb	mg/kg	<25	25 – 53	>53
4	Zn	mg/kg	<(60)- 200	(60)-200 – 800	>800
5	Cu	mg/kg	<14	14 – 160	>160
6	Ni	mg/kg	<(3)		>(3)
7	As	mg/kg	<7,9	7,9 - 40	>40
8	Cr	mg/kg	<26	26 – 640	>640
9	α-HCH	µg/kg	<0,5	0,5 – 1,5	>1,5
10	β-HCH	µg/kg	<5		>5
11	γ-HCH	µg/kg	<0,5	0,5 – 1,5	>1,5
12	p,p'-DDT	µg/kg	<1	1 - 3	>3
13	p,p'-DDE	µg/kg	<0,31	0,31 – 6,8	>6,8
14	p,p'-DDD	µg/kg	<0,06	0,06 – 3,2	>3,2
15	PCB-28	µg/kg	<0,04	0,04 - 20	>20
16	PCB-52	µg/kg	<0,1	0,1 - 20	>20
17	PCB-101	µg/kg	<0,54	0,54 - 20	>20
18	PCB-118	µg/kg	<0,43	0,43 - 20	>20
19	PCB-138	µg/kg	<1	1 - 20	>20
20	PCB-153	µg/kg	<1,5	1,5 - 20	>20
21	PCB-180	µg/kg	<0,44	0,44 - 20	>20
22	Pentachlorbenzen	µg/kg	<1	1 - 400	>400
23	HCB	µg/kg	<0,0004	0,0004 - 17	>17
24	Benzo(a)pyren	mg/kg	<0,01	0,01 – 0,6	>0,6
25	Anthracen	mg/kg	<0,03	0,03 – 0,31	>0,31
26	Fluoranthren	mg/kg	<0,18		>0,18
27	∑ PAK 5	mg/kg	<0,6	0,6 – 2,5	>2,5
28	TBT	µg/kg	<0,02		>0,02
29	Dioxine und Furane	ng TEQ/kg	<4	4 - 20	>20

Ableitung:

Unterer Schwellenwert =

formal schärfste Anforderung (novelliert)

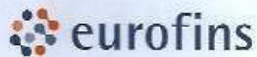
Oberer Schwellenwert =

1. de / cz UQN

2. ökotoxikologisch abgeleiteter Wert, Consensus 2 nach de Deckere et al. 2011, Consensus 2 = Probable Effect Level (concentrations above this level will certainly result in toxic effects)

3. R2 nach GÜBAK (R2: Dieses Material gilt als deutlich höher mit Schadstoffen belastet als Sedimente des Küstennahbereichs.)

4. Safe Sediment Value



Umwelt

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 1 von 9

EUROFINS Umwelt Ost GmbH - Niederlassung Freiberg
OT Tuttendorf, Gewerbepark "Schwarze Kiefern" D-09633 Halsbrücke

Dr. habil. Frank W. Junge
Rösl Gewerbepark, Pönitzer Weg 2

04425 Taucha

Titel: Prüfbericht zu Auftrag 11300095
Prüfberichtsnummer: Nr. 1011134001
"Dieser Prüfbericht ersetzt den Prüfbericht Nr. 1011134001 vom 28.02.2013"

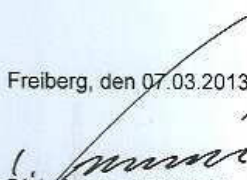
Projektnummer: Nr. 1011134
Projektbezeichnung: Sedimentproben
Probenumfang: 62 Proben
Probenart: Sediment
Probeneingang: 02.01.2013
Prüfzeitraum: 02.01.2013 - 28.02.2013

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Freiberg, den 07.03.2013


Dipl.-Chem. A. Ulbricht
Laborleiter



Niederlassung Freiberg
OT Tuttendorf, Gewerbepark "Schwarze Kiefern"
D-09633 Halsbrücke
Tel. +49 (0) 3731 2076 500
Fax +49 (0) 3731 2076 555
info_freiberg@eurofins.de

Hauptszitz:
Löbstedter Straße 78
D-07749 Jena
Info_jena@eurofins.de
www.eurofins-umwelt-ost.de

Geschäftsführer:
Dr. Ulrich Eiler
Dr. Benno Schmieder
Amtsgericht Jena HRB 202596
USt-ID.Nr.: DE 151 28 1997

Bankverbindung: NORD LB
BLZ 250 500 00
Kto 150 334 779
IBAN DE91 250 500 00 0150 334 779
BIC/SWIFT NOLA DE 2HXXX



eurofins

Umwelt

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 2 von 9

Projekt: Sedimentproben

Probenbezeichnung	1 MuSt-FB7 Probe 3,0-0,0	5 MuSt-FB7 Probe 7,0-5,5	6 MuSt-FB7 Probe 7,5-7,0	7 MuSt-FB7 Probe 8,5-7,5	8 MuSt-FB7 Probe 9,0-8,5	9 MuSt-FB7 Probe 9,5-9,0	10 MuSt-FB7 Probe 10,0-9,5	11 MuSt-FB7 Probe 11,0-10,0
Labornummer	113000414	113000415	113000416	113000417	113000418	113000419	113000420	113000421
Methode								

Parameter	Einheit	BG
-----------	---------	----

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	180	210	180	210	190	190	180	270
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	270	260	230	280	290	300	330	340
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	20	20	17	20	16	19	17	22
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	76	78	71	75	75	78	78	79
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	48300	55100	47900	46400	44600	44700	41900	57800
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	140	140	120	140	130	130	140	150
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1850	2020	1230	1210	1170	1300	1020	1510
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	79	88	78	74	71	73	73	85
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	0,92	0,92	0,76	0,86	0,65	0,60	0,67	0,79
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	18	18	16	17	17	18	19	18
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1720	1770	1450	1630	1410	1470	1440	1740

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 3 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	12 MuSt-FB7 Probe 12,0-11,0 113000422	13 MuSt-FB7 Probe 12,5-12,0 113000423	14 MuSt-FB7 Probe 13,0-12,5 113000424	15 MuSt-FB7 Probe 14,0-13,0 113000425	16 MuSt-FB7 Probe 15,5-14,0 113000426	17 MuSt-FB7 Probe 16,0-15,5 113000427	18 MuSt-FB7 Probe 17,5-16,0 113000428	19 MuSt-FB7 Probe 18,0-17,5 113000429
Probenbezeichnung										
Labornummer										
Methode										

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	300	240	220	170	230	240	300
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	360	580	520	310	270	350	210
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	27	22	23	31	33	40	26
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	81	93	82	88	89	100	74
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	51300	55000	49800	41600	50000	51700	54600
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	160	180	160	170	170	190	130
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1430	1310	1350	1100	1190	1590	1750
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	87	84	78	82	96	100	95
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	0,83	0,95	0,97	0,77	0,77	0,73	0,59
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	18	23	19	24	24	29	26
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	2060	1740	1760	1770	1980	2450	1880

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 4 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	Methode	20 MuSt-FB7 Probe 19,5-18,0 113000430	21 MuSt-FB7 Probe 19,5-20,5 113000431	22 MuSt-FB7 Probe 20,5-21,5 113000432	23 MuSt-FB7 Probe 22,0-21,5 113000433	24 MuSt-FB7 Probe 23,0-22,0 113000434	25 MuSt-FB7 Probe 23,5-23,0 113000435	26 MuSt-FB7 Probe 24,5-23,5 113000436	27 MuSt-FB7 Probe 25,0-24,5 113000437
-----------	---------	----	---------	---	---	---	---	---	---	---	---

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Parameter	Einheit	BG	Methode	20 MuSt-FB7 Probe 19,5-18,0 113000430	21 MuSt-FB7 Probe 19,5-20,5 113000431	22 MuSt-FB7 Probe 20,5-21,5 113000432	23 MuSt-FB7 Probe 22,0-21,5 113000433	24 MuSt-FB7 Probe 23,0-22,0 113000434	25 MuSt-FB7 Probe 23,5-23,0 113000435	26 MuSt-FB7 Probe 24,5-23,5 113000436	27 MuSt-FB7 Probe 25,0-24,5 113000437
Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	230	170	240	370	280	300	240	440
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	330	230	300	250	280	360	200	390
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	39	33	40	32	47	60	20	57
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	100	84	110	110	120	150	90	170
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	47700	35100	50900	66700	56500	61400	37500	73100
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	180	150	190	170	200	240	140	300
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1580	1070	1610	1420	1820	2360	590	2020
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	98	75	95	95	110	120	59	120
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	0,69	0,57	0,70	0,63	0,72	0,82	0,66	1,1
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	43	35	42	34	35	45	33	65
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	2120	1730	2240	1780	2350	2630	850	2200



Umwelt

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 5 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	Probenbezeichnung									
			28 MuSt-FB7 Probe 26,5-25,0 113000438	29 MuSt-FB7 Probe 27,0-26,5 113000439	30 MuSt-FB7 Probe 28,5-27,0 113000440	31 MuSt-FB7 Probe 29,0-28,5 113000441	32 MuSt-FB7 Probe 29,5-29,0 113000442	33 MuSt-FB7 Probe 30,0-29,5 113000443	34 MuSt-FB7 Probe 31,0-30,0 113000444	35 MuSt-FB7 Probe 32,0-31,0 113000445		
Labornummer	Methode											
Bestimmung an der Fraktion < 20 µm												
Arsen	mg/kg TS	0,8	410	380	450	400	510	550	260	510		
Blei	mg/kg TS	2	370	360	360	290	380	360	290	360		
Cadmium	mg/kg TS	0,2	82	83	100	55	100	110	96	110		
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	200	220	250	190	240	200	150	220		
Eisen	mg/kg TS	5	69400	63500	73500	58600	70500	62600	38500	65500		
Kupfer	mg/kg TS	1	370	400	500	360	490	360	280	450		
Mangan	mg/kg TS	1	3220	2100	2220	1010	1600	1970	1010	2100		
Nickel	mg/kg TS	0,1	160	120	170	89	140	130	92	160		
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	1,3	1,4	1,7	1,2	1,5	1,1	0,85	2,6		
Uran	mg/kg TS	0,2	79	83	91	73	94	98	59	90		
Zink	mg/kg TS	1	3450	2710	3580	1620	2950	2630	2180	3340		



Umwelt

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 6 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	Methode	36 MuSt-FB7 Probe 33,0-32,0 113000446	39 MuSt-FB7 Probe 35,0-36,0 113000447	43 MuSt-HB2 Probe 2,0-0,0 113000448	44 MuSt-HB2 Probe 3,0-2,0 113000449	45 MuSt-HB2 Probe 5,0-3,0 113000450	46 MuSt-HB2 Probe 7,0-5,0 113000451	47 MuSt-HB2 Probe 9,0-7,0 113000452	48 MuSt-HB2 Probe 11,0-9,0 113000453
Bestimmung an der Fraktion < 20 µm											
Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	490	420	180	190	170	200	160	150
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	430	400	340	310	300	270	270	280
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	160	140	23	24	24	21	23	22
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	300	210	83	83	81	76	74	77
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	71900	53500	45200	42900	43100	47400	46500	43400
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	450	370	150	150	140	140	140	150
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1930	1290	1330	1090	970	1040	1100	1140
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	160	130	77	77	76	78	81	82
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	1,5	1,1	0,78	0,74	0,69	0,72	0,75	0,78
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	120	110	19	20	20	17	20	23
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	3680	2870	1620	1570	1610	1680	1820	1670

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 7 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	Probenbezeichnung	49 MuSt- HB2 Probe 13,0-11,0	50 MuSt- HB2 Probe 15,0-13,0	51 MuSt- HB2 Probe 16,0-15,0	52 MuSt- HB2 Probe 17,5-16,0	53 MuSt- HB2 Probe 19,0-17,5	54 MuSt- HB2 Probe 20,0-19,0	55 MuSt- HB2 Probe 23,0-20,0	56 MuSt- HB2 Probe 24,0-23,0
Labornummer			113000454	113000455	113000456	113000457	113000458	113000459	113000460	113000461	
Methode											

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	130	150	180	160	150	160	160	190
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	270	280	270	280	280	270	300	310
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	21	22	24	22	21	21	22	22
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	76	83	87	83	72	71	73	78
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	43200	42800	47600	39400	40800	41700	41700	49400
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	130	150	160	150	130	130	140	150
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	910	990	1220	910	960	1000	1110	1290
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	74	78	86	77	69	73	77	87
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	0,87	0,46	0,94	0,96	1,1	0,83	0,93	0,81
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	18	18	21	22	16	18	19	18
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1560	1600	1740	1590	1510	1570	1570	1660

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 8 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	57 MuSt- HB2 Probe 25,5-24,0 113000462	58 MuSt- HB2 Probe 26,5-25,5 113000463	59 MuSt- HB2 Probe 28,0-26,5 113000464	60 MuSt- HB2 Probe 29,0-28,0 113000465	61 MuSt- HB2 Probe 30,0-29,0 113000466	62 MuSt- HB2 Probe 31,0-30,0 113000467	2 MuSt-FB7 Probe 4,0- 3,0 113000993	3 MuSt-FB7 Probe 5,0- 4,0 113000994	
Probenbezeichnung											
Labornummer											
Methode											

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	150	170	150	190	240	200	230	170
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	280	290	290	340	370	360	270	210
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	18	16	17	21	21	21	23	17
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	71	73	69	73	84	74	87	62
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	39500	41100	42300	41700	50100	41300	59900	40400
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	120	120	120	150	170	140	160	110
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	940	870	1010	990	1070	1040	2540	1760
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	67	68	69	70	85	71	100	67
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	0,64	0,67	0,57	0,71	0,71	0,76	1,1	0,82
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	14	18	15	16	19	18	20	15
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1300	1200	1260	1430	1550	1460	2020	1400



Umwelt

Prüfbericht zu Auftrag 11300095

Nr. 1011134001K1 Seite 9 von 9

Projekt: Sedimentproben

Parameter	Einheit	BG	Methodenbezeichnung	4 MuSt-FB7 Probe 5,5- 5,0	37 MuSt- FB7 Probe 34,0-33,0	38 MuSt- FB7 Probe 34,0-35,0	40 MuSt- FB7 Probe 36,0-37,0	41 MuSt- FB7 Probe 37,0-38,0	42 MuSt- FB7 Probe 38,0-39,0
			Probenbezeichnung	113000995	113000996	113000997	113000998	113000999	113001000
			Labornummer						
			Methode						

Bestimmung an der Fraktion < 20 µm

Arsen	mg/kg TS	0,8	DIN EN ISO 17294-2	260	440	430	540	500	620
Blei	mg/kg TS	2	DIN EN ISO 17294-2	240	380	390	440	410	590
Cadmium	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	22	110	150	150	170	230
Chrom gesamt	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	83	190	220	250	280	380
Eisen	mg/kg TS	5	analog DIN EN ISO 17294-2	59800	49500	60300	58000	67600	80100
Kupfer	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	140	360	410	410	440	600
Mangan	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	2290	1580	1630	1750	2180	2400
Nickel	mg/kg TS	0,1	DIN EN ISO 17294-2	91	130	140	160	170	220
Quecksilber	mg/kg TS	0,07	DIN EN 1483	1,1	1,1	1,2	1,3	1,6	2,1
Uran	mg/kg TS	0,2	DIN EN ISO 17294-2	17	88	92	110	110	170
Zink	mg/kg TS	1	DIN EN ISO 17294-2	1900	2970	3160	3390	3750	5000

EUROFINS Umwelt Ost GmbH Niederlassung Freiberg
OT Talsandorf, Gewerbepark „Schwarze Kiefern“ D-08632 Heidebrücke

Auftraggeber:

Dr. habil. Frank W. Junge
Rösl Gewerbepark, Pönitzer Weg 2

04425 Taucha

Prüfbericht Nr.: 11300095.1
(Seite 1 von 12 Seiten)

Projekt: Sedimentproben

Auftrag: Untersuchung von 10 Proben nach Vorgaben des Auftraggebers

Auftrag vom: 02.01.2013

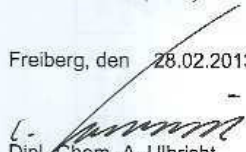
Prüfzeitraum: 02.01. bis 28.02.2013

Probenahme: Die Proben wurden vom Auftraggeber angeliefert!

Prüfverfahren: Bestimmung:

des Gefriertrockenrückstandes und Herstellung der Gefriertrockenmasse eines Schlammes	DIN 38414 (S 22)
der Organochlorpestizide/Lindan	DIN ISO 10382
von polychlorierten Biphenylen (PCB)	DIN EN 15308
von Polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF)	DIN 38414 (S 24)

Freiberg, den 28.02.2013


Dipl.-Chem. A. Ulbricht
Laborleiter

Proben werden, wenn nicht anders vereinbart oder fachlich begründet, 3 Monate im Labor aufbewahrt. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht ein Mitarbeiter unseres Labors genommen hat, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt! Dieser Prüfbericht darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS Umwelt Ost GmbH Ndl. Freiberg. Prüfberichte ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit! Fremdangaben in akkreditierten Laboratorien sind mit F und in akkreditierte Laboratorien des Firmenverbundes mit FF gekennzeichnet. Nicht akkreditierte Prüfverfahren sind mit N gekennzeichnet. Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB) Stand Januar 2011, sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit bei uns anfordern.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAKKS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.



Niederlassung Freiberg
OT Talsandorf, Gewerbepark „Schwarze Kiefern“
D-08632 Heidebrücke
Tel. +49 (0) 3731 2076 500
Fax +49 (0) 3731 2076 505
info_freiberg@eurofins.de

Hauptsitz:
Lobstedter Straße 75
D-07749 Jena
Info: jena@eurofins.de
www.eurofins-umwelt-ost.de

Geschäftsführer:
Dr. Ulrich Eiler
Dr. Benni Schneider
Anlagefeld Jena, HRB 202596
Ust-ID.Nr.: DE 151 28 1997

Bankverbindung: NORD LB
BLZ 250 500 00
Kto 150 334 779
IBAN DE91 250 500 00 0150 334 779
BIC:SWIFT NOLA DE 2HXXX

Tabelle Analyseergebnisse

Probe	5 MuSt-FB7 Probe 7,0-5,5	9 MuSt-FB7 Probe 9,5-9,0	15 MuSt-FB7 Probe 14,0-13,0	22 MuSt-FB7 Probe 20,5-21,5	35 MuSt-FB7 Probe 32,0-31,0	36 MuSt-FB7 Probe 33,0-32,0	43 MuSt-HB2 Probe 2,0-0,0	44 MuSt-HB2 Probe 3,0-2,0	48 MuSt-HB2 Probe 11,0-9,0	59 MuSt-HB2 Probe 28,0-26,5
Labor-Nr.:	113000415	113000419	113000425	113000432	113000445	113000446	113000448	113000449	113000453	1130004694
Parameter	Einheit	OS	OS	OS	OS	OS	OS	OS	OS	OS
HCH-alpha	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
HCH-beta	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
HCH-gamma	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
HCH-delta	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Summe PCB (Ballschmitter Skala)	mg/kg									
PCB 28	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 52	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 101	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 118	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 153	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 138	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCB 180	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Pentachlorbenzen	mg/kg	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Die Bestimmungsgrenzen wurden aufgrund der geringen Probenmenge geändert.

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 5 MuSt-FB7 Probe 7,0-5,5
 Labor-Nr.: 113000416
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 1	0,5	< 0,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	5,0	0,1	0,5
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	20	0,1	2,0
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	11	0,1	1,1
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin	248	0,01	2,48
Octachlordibenzodioxin	2970	0,001	2,970
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	11	0,1	1,1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,2	0,05	0,31
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	9,0	0,5	4,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	13	0,1	1,3
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	9,1	0,1	0,91
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	5,0	0,1	0,50
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	57	0,01	0,57
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	8,0	0,01	0,08
Octachlordibenzofuran	259	0,001	0,259
PCDF/PCDD *	3.630		19

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 9 MuSt-FB7 Probe 9,5-9,0
 Labor-Nr.: 113000419
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 5	1	< 5
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 5	0,5	< 2,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	< 5	0,1	< 0,5
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	8,4	0,1	0,84
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	10	0,1	1,0
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzodioxin	153	0,01	1,53
Octachlordibenzodioxin	1950	0,001	1,950
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	13	0,1	1,3
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	< 5	0,05	< 0,25
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,6	0,5	3,3
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	16	0,1	1,6
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	6,5	0,1	0,65
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 5	0,1	< 0,5
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	6,1	0,1	0,61
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	55	0,01	0,55
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 7	0,01	< 0,07
Octachlordibenzofuran	251	0,001	0,251
PCDF/PCDD *	2.480		14

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 15 MuSt-FB7 Probe 14,0-13,0
 Labor-Nr.: 113000425
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 5	1	< 5
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 5	0,5	< 2,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	5,9	0,1	0,59
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	7,8	0,1	0,78
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	9,1	0,1	0,91
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	208	0,01	2,08
Octachlordibenzodioxin	2450	0,001	2,450
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	12	0,1	1,2
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	< 5	0,05	< 0,25
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	5,7	0,5	2,9
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	15	0,1	1,5
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	11	0,1	1,1
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 5	0,1	< 0,5
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	< 5	0,1	< 0,5
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	69	0,01	0,69
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 7	0,01	< 0,07
Octachlordibenzofuran	289	0,001	0,289
PCDF/PCDD *	3.080		14

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 22 MuSt-FB7 Probe 20,5-21,5
 Labor-Nr.: 113000432
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 5	1	< 5
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 5	0,5	< 2,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	7,2	0,1	0,72
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	17	0,1	1,7
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	12	0,1	1,2
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	444	0,01	4,44
Octachlordibenzodioxin	2940	0,001	2,940
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	15	0,1	1,5
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,0	0,05	0,3
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	9,2	0,5	4,6
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	15	0,1	1,5
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	9,2	0,1	0,92
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 5	0,1	< 0,5
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	8,6	0,1	0,86
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	113	0,01	1,13
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 7	0,01	< 0,07
Octachlordibenzofuran	407	0,001	0,407
PCDF/PCDD *	4.000		22

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 35 MuSt-FB7 Probe 32,0-31,0
 Labor-Nr.: 113000445
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	6,1	0,5	3,1
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	16	0,1	1,6
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	48	0,1	4,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	44	0,1	4,4
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	1230	0,01	12,3
Octachlordibenzodioxin	11080	0,001	11,080
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	14	0,1	1,4
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	5,0	0,05	0,25
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	7,2	0,5	3,6
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	15	0,1	1,5
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	10	0,1	1,0
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	8,9	0,1	0,89
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	210	0,01	2,10
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	4,7	0,01	0,047
Octachlordibenzofuran	787	0,001	0,787
PCDF/PCDD *	13.500		49

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 36 MuSt-FB7 Probe 33,0-32,0
 Labor-Nr.: 113000415
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 5	1	< 5
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 5	0,5	< 2,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	22	0,1	2,2
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	69	0,1	6,9
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	50	0,1	5,0
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	1290	0,01	12,9
Octachlordibenzodioxin	13500	0,001	13,500
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	11	0,1	1,1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	8,0	0,05	0,40
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	12	0,5	6,0
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	21	0,1	2,1
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	18	0,1	1,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 5	0,1	< 0,5
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	12	0,1	1,2
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	273	0,01	2,73
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	15	0,01	0,15
Octachlordibenzofuran	636	0,001	0,636
PCDF/PCDD *	16.000		57

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 43 MuSt-HB2 Probe 2,0-0,0
 Labor-Nr.: 113000448
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	2,6	0,5	1,3
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	3,6	0,1	0,36
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	7,4	0,1	0,74
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	7,0	0,1	0,70
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	176	0,01	1,8
Octachlordibenzodioxin	1750	0,001	1,750
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	13	0,1	1,3
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,1	0,05	0,31
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	7,2	0,5	3,6
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	12	0,1	1,2
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	5,5	0,1	0,55
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	4,5	0,1	0,45
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	55	0,01	0,55
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 3	0,01	< 0,03
Octachlordibenzofuran	183	0,001	0,183
PCDF/PCDD *	2.230		15

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 44 MuSt-HB2 Probe 3,0-2,0
 Labor-Nr.: 113000449
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	1,8	0,5	0,9
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	3,5	0,1	0,35
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	8,3	0,1	0,83
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	8,3	0,1	0,83
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	229	0,01	2,29
Octachlordibenzodioxin	3210	0,001	3,210
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	10,0	0,1	1,00
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	3,0	0,05	0,15
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	5,5	0,5	2,8
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	8,7	0,1	0,87
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	4,5	0,1	0,45
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	3,8	0,1	0,38
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	59	0,01	0,59
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 3	0,01	< 0,03
Octachlordibenzofuran	263	0,001	0,263
PCDF/PCDD *	3.820		15

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 48 MuSt-HB2 Probe 11,0-9,0
 Labor-Nr.: 113000453
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	< 1	0,5	< 0,5
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	2,9	0,1	0,29
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	5,3	0,1	0,53
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	5,8	0,1	0,58
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	119	0,01	1,19
Octachlordibenzodioxin	1810	0,001	1,810
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	16	0,1	1,6
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	4,0	0,05	0,20
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,5	0,5	3,3
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	8,7	0,1	0,87
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	5,1	0,1	0,51
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	4,9	0,1	0,49
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	44	0,01	0,44
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	4,3	0,01	0,043
Octachlordibenzofuran	207	0,001	0,207
PCDF/PCDD *	2.240		12

* gerundete Werte

Bestimmung der Polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Probenbezeichnung: 59 MuSt-HB2 Probe 28,0-26,5
 Labor-Nr.: 113000464
 Probenart: Sediment

	Gehalt in ng/kg TS	Toxizitäts- faktor NATO/CCMS	Gehalt in ng/TE/kg TS NATO/CCMS
Dioxine			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin	< 1	1	< 1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin	1,8	0,5	0,9
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzodioxin	3,5	0,1	0,35
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzodioxin	4,6	0,1	0,46
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzodioxin	4,8	0,1	0,48
1,2,3,4,6,7,8,-Heptachlordibenzodioxin	120	0,01	1,20
Octachlordibenzodioxin	1770	0,001	1,770
Furane			
2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	12	0,1	1
1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	4,9	0,05	0,25
2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	6,1	0,5	3,1
1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	13	0,1	1,3
1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	7,0	0,1	0,70
1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	< 1	0,1	< 0,1
2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	6,3	0,1	0,63
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	5,7	0,01	0,057
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	< 3	0,01	< 0,03
Octachlordibenzofuran	182	0,001	0,182
PCDF/PCDD *	2.140		13

* gerundete Werte

2010

Gewässerkundlicher Landesdienst Sachsen-Anhalt

Zahlentafeln Standgewässer
Sediment

2010		Muldestausee		E1-Sediment				MST-Nr 2201199	
OWK-Nr VM02OW02-00		TYP-Gruppe Tagebausee				R-Wert 4528670		H-Wert 5722050	
Datum	Uhrzeit	PH	EnTiefe	O-PO4-P	P	FE	Dichte	WG	
		-	m	mg/l	mg/l	µg/l	g/ml	%	
18.10.2010	11:30	6,9	26,00	0,29	2,45	30500	1,200	54,8	
Datum	GV(WW)	KGFK63UM	AOX	N-GES	P	Ca	Mg	NI	
	Ma.-%	%	mg/kg TS	g/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
18.10.2010	12,2	78,0	70	4,8	2700	5860	6780	81	
Datum	ZN	CU	CR	PB	CD	FE	MN	HG	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
18.10.2010	1330	130	92	265	17	38700	1730	0,8	
Datum	AS	CLBZ	1,2DICLBZ	1,3DICLBZ	1,4DICLBZ	123-TCLBZ	124TRCLBZ	135TRCLBZ	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
18.10.2010	148,0	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Datum	SUMTRCLB	1235/1245TCLE	PECLBZ	HCB	2CLPH	3CLPH	4CLPH	23DICLPH	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	0,000	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	
Datum	25DICLPH	24DICLPH	26DICLPH	34DICLPH	35DICLPH	2451RCLPH	246TRCLPH	234TRCLPH	
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	
Datum	235TRCLPH	236TRCLPH	345TRCLPH	PCP	2346TRCLPH	2345TCIPH	2356TCLPH	A-HCH	
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 3,0	
Datum	B-HCH	G-HCH	D-HCH	SUMHCH	24-DDT	4,4-DDD	4,4-DDE	4,4-DDT	
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	< 3,0	< 3,0	< 3,0	0,0	2,0	43,0	19,0	21,0	
Datum	SUMDDT	24-DDD	24-DDE	PCB-28	PCB-52	PCB-101	PCB-138	PCB-153	
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	85,0	20,0	2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	2,0	1,7	
Datum	PCB-180	PCB-118	FLUORANTH	BZ(B)FL	BZ(K)FL	SUM(BZB+BZK)	BZ(A)PY	BZ(GH)PE	
	µg/kg TS	µg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
18.10.2010	< 1,0	< 1,0	0,780	0,320	0,190	0,5	0,300	0,260	
Datum	INDENOPYR	SUM(GHI+ID)	NAPHTHALI	ANTHRACEN	ACENAPHT	FLUOREN	PHENANT	PYREN	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	
18.10.2010	0,320	0,6	0,220	0,070	0,030	0,040	0,440	0,600	
Datum	BZ(A)AN	CHRYSEN	DB(AH)AN	SUM_7PAK	BUTYLSN	DIBUSN	TRBUSN	TRPHSN	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	
18.10.2010	0,310	0,300	0,006	2,140	< 10,0	< 10,0	15,0	< 10,0	
Datum	TEBUSN	OCTYLSN	DIOCTYLSN	TRCYHEXSN					
	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS					
18.10.2010	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0					

Sedimentdaten 2010 und 2011 des gewässerkundlichen Landesdienstes Sachsen-Anhalt für
 Muldestausee (Probenahmedaten: 18.10.2010 und 13.10.2011)
 Aus www.sachsen-anhalt.de/.../Master../2010_Seen_Sedimente.pdf

2011

Gewässerkundlicher Landesdienst Sachsen-Anhalt

Zahlentafeln Standgewässer

2011 Muldestausee		E1-Sediment						MST-Nr 2201199	
OWK-Nr VM02OW02-00		Seetyp: Tagebausee						R-Wert 4528670	H-Wert 5722050
Datum	Uhrzeit	PH	O-PO4-P	P	FE	Dichte	WG	GV(WV)	KGFK63UM
			mg/l	mg/l	µg/l	g/ml	%	Ma.-%	%
13.10.2011	10:00	6,9	< 0,01	0,13	74700	1,200	68,9	9,3	71,0

Datum	Uhrzeit	N-GES	P	Ca	Mg	Ni	ZN	CU	CR
		g/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
13.10.2011	10:00	4,2	2700,0	6280,0	6830,0	80,0	1350	136,0	94,0
							>QNöko	<=QNöko	<=1/2QNöko

Datum	Uhrzeit	PB	CD	FE	MN	HG	AS
		mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
13.10.2011	10:00	287,0	19,4	41600	1330	0,9	139,0
							>QNöko

Datum	Uhrzeit	CLBZ	1,2DICLBZ	1,3DICLBZ	1,4DICLBZ	123-TCLBZ	135TRCLBZ	PECLBZ	HCB
		mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
13.10.2011	10:00	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001

Datum	Uhrzeit	PCP	A-HCH	B-HCH	G-HCH	D-HCH	SUMHCH	24-DDT	4,4-DDD
		µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
13.10.2011	10:00	< 1,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	0,0	4,0	31,0

Datum	Uhrzeit	4,4-DDE	4,4-DDT	SUMDDT	24-DDD	24-DDE	PCB-28	PCB-52	PCB-101
		µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
13.10.2011	10:00	26,0	20,0	81,0	17,0	4,0	< 1,0	< 1,0	1,4

Datum	Uhrzeit	PCB-138	PCB-153	PCB-180	PCB-118	FLUORANTH	BZ(B)FL	BZ(K)FL	SUM(BZB+BZK)
		µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
13.10.2011	10:00	2,8	2,1	1,5	< 1,0	0,720	0,300	0,170	0,5

Datum	Uhrzeit	BZ(A)PY	BZ(GHI)PE	INDENOPYR	SUM(GHI+ID)	ANTHRACEN	PHENANT	NAPHTHALI	ACENAPHT
		mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
13.10.2011	10:00	0,270	0,240	0,300	0,5	0,071	0,440	0,140	0,035

Datum	Uhrzeit	FLUOREN	PYREN	BZ(A)AN	CHRYSEN	DB(AH)AN	SUM_7PAK	BUTYLSN	DIBUSN
		mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
13.10.2011	10:00	0,031	0,560	0,270	0,290	< 0,005	1,941	< 10,0	< 10,0

Datum	Uhrzeit	TRBUSN	TRPHSN	TEBUSN	OCTYLSN	DIOCTYLSN	TRCYHEXSN
		µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
13.10.2011	10:00	22,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0