

Beitrag zum Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes "Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Auguthochwasser 2002", Freiberg, 27.-29. August 2003:

Schwebstoff- und Schwermetalldeposition im Bitterfelder Muldestausee während des August-2002-Hochwassers der Mulde

F.W. Junge¹, K. Jendryschik¹, B. Scharf², P. Morgenstern³, H.-C. Treutler³, W. Czegka¹, C. Hanisch¹, L. Zerling¹, A. Arnold¹

¹ Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Arbeitsstelle Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten, Karl-Tauchnitz-Straße 1, 04107 Leipzig (Tel.: 0341-7115318, Fax: 0341-7115344; E-Mail: junge@saw-leipzig.de)

² UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Gewässerforschung, Brückstraße 3a, 39114 Magdeburg

³ UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Analytik, Permoserstraße 15, 04303 Leipzig

Einleitung

Seit 1975 wird die Mulde, einer der am stärksten schadstoffbelasteten Nebenflüsse der Elbe, durch das Restloch des ehemaligen Braunkohlentagebaues Muldenstein geleitet. Langjährige Untersuchungen zur Hydrodynamik, zum Sedimentationsgeschehen und zur Schwermetallbilanz weisen den dadurch entstandenen Bitterfelder Muldestausee (Fläche: 6,1 km², Volumen: 118 Mio. m³; Einzugsgebiet: 6170 km²) als bedeutsame Sediment- und Schadstoffsenke für das Gebiet der unteren Mulde und Elbe aus (ZERLING et al. 2001). Da die dem Muldestausee zugelieferten Schwebstoff- und Schadstofffrachten in extremer Weise von der Wasserführung abhängig sind, kommt der Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Hochwasserereignis und Depositionsrate eine zentrale Bedeutung zu. Die Fracht eines einzigen Hochwasserereignisses, kann diejenige einer mehrmonatigen Niedrigwasserperiode mehrfach übersteigen (JENDRYSCHIK 2003),

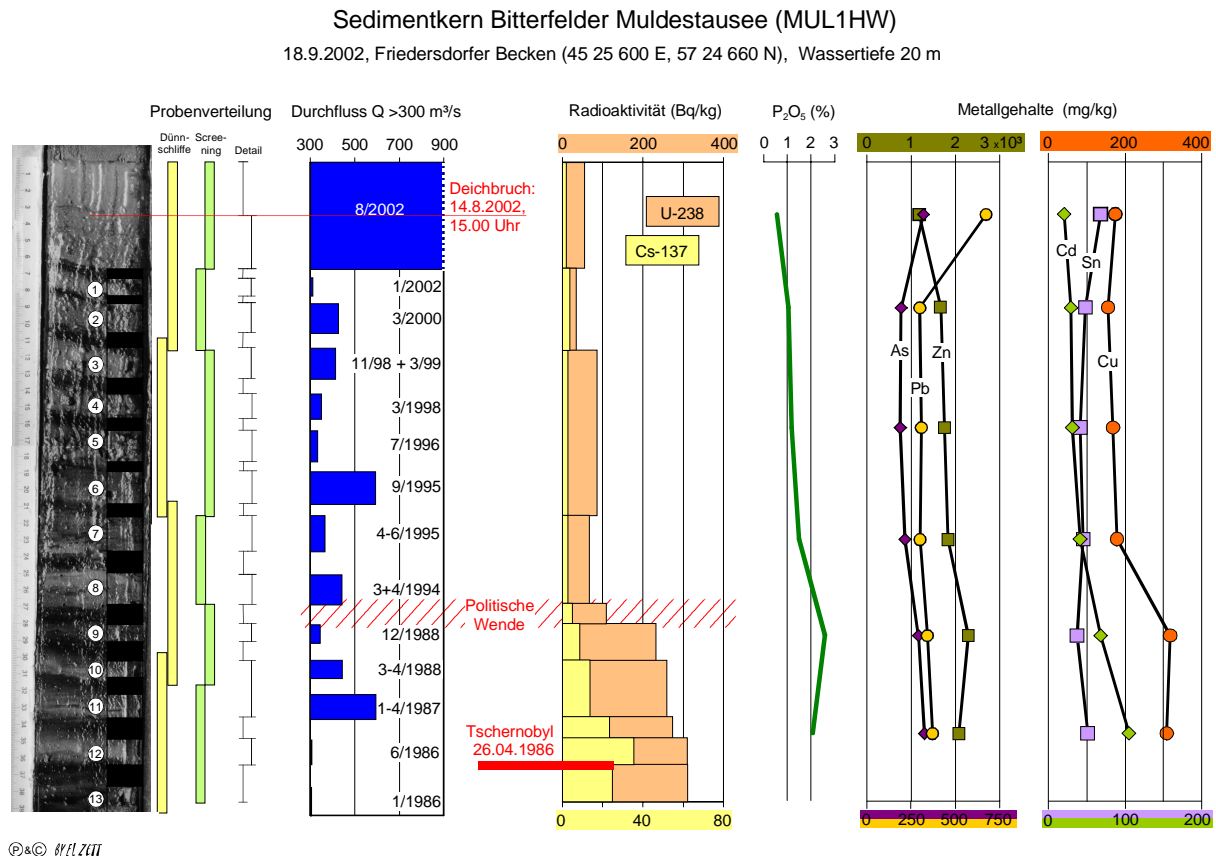
Für die Einschätzung der Auswirkungen des August-2002-Hochwassers auf das Sedimentationsgeschehen im Bitterfelder Muldestausee wurden a) Sedimentuntersuchungen, b) Schwebstoffmessungen, c) Messungen zum Oberflächenrelief und d) Untersuchungen am Wasserkörper durchgeführt. Dadurch waren insbesondere Aussagen zu den Veränderungen der Schwebstoff- und Sedimentqualität und zur Wirksamkeit des Bitterfelder Muldestausees als Sedimentfalle bei Extremhochwässern möglich.

Sedimentuntersuchungen

Sowohl im April 2002 als auch im September 2002 wurden insgesamt acht Sedimentkerne aus dem Friedersdorfer Becken und aus dem Hauptbecken des Muldestausees entnommen. Kurzkerne wurden mittels des Mondseecorers insbesondere für die ungestörte Erfassung der jüngsten Seeablagerungen gewonnen. Zudem wurden mit den von einer Schwimmplattform abgeteuften Kernbohrungen die im Muldestausee seit Flutungsbeginn 1975 in den beiden Teilbecken abgesetzten Seesedimente durchteuft und in ihrer Mächtigkeit erfasst. Die Kerne wurden im Labor für die geochemischen Untersuchungen (RFA, AAS) einerseits in größere Teilbereiche umfassende Screeningproben und andererseits in hochaufgelöste, häufig einzelne Lagen beinhaltende Detailproben zerlegt.

Die seit 1975 mit der Flutung im ehemaligen Tagebaurestloch abgesetzten rezenten Seesedimente bestehen makroskopisch aus einer cm-Wechselagerung (Lamination) von dunklen, schwärzlich-grauen bis schwarzen, organikreichen Lagen (sommerliche, biogen

gesteuerte Seesedimentbildung) und von hellen, gelb bis gelblichgrauen Lagern mit höheren klastischen Anteilen (Hochwasserlagen).



© & © BY EL ZUM

Abb. 1: Beschreibung eines Sedimentkernes aus dem Bitterfelder Muldestausee nach dem August-2002-Hochwasser

Aufbau des 39 cm langen Kernes, zeitliche Einordnung und Verteilung ausgewählter Radionuklide (^{238}U , ^{137}Cs), P_2O_5 als Indikator der organischen Belastung und Gehalte ausgewählter Elemente und Schwermetalle

(Die Elementgehalte wurden mittels RFA an der Gesamtfraktion bestimmt. In den rechten beiden Spalten sind die oberen Skalen gültig für Zn bzw. Cu; die unteren Skalen für As, Pb bzw. Cd, Sn.)

Konnectierungen mit Durchflußdaten der Mulde seit 1975 geben die Möglichkeit, die in den Kernen auftretenden Ereignislagen konkreten Hochwässern der Mulde mit einem Durchfluss größer $300 \text{ m}^3/\text{s}$ zu zuordnen. Darüber hinaus bilden markante Zeitmarken:

- das durch den Tschernobyl-Fallout (26.4.1986) hervorgerufene und in den Kernen nachgewiesene eng begrenzte ^{137}Cs -Aktivitätsmaximum,
- der seit der politischen Wende (1989-90) einsetzende deutliche Rückgang in der organischen Belastung (Phosphor) und
- der mit der Schließung der berg- und hüttenmännischen Industrie im Muldeeingangsgebiet ebenfalls einhergehende Trend abnehmender Element- und Isotopenkonzentrationen (u.a. Zn, Cd, Pb, Cu, As ^{238}U ; **Abb. 1**).

Im Vergleich zu den seit 1975 beobachteten Hochwasserereignissen erbrachte der Sedimenteintrag der Mulde während des August 2002-Hochwassers an den Bohrpunkten, einen um das 5-fache höheren Sedimentauftrag an Feinstmaterial auf die Seebodenoberfläche. Dabei werden Ereignisse im Hochwasserablauf im Aufbau des jüngsten Sedimentes widerspiegelt (z.B. abrupte Korngrößenwechsel in Folge der Deichbrüche zur Goitsche). Mit dem Sedimentauftrag ist eine deutliche, offenbar aus abgeschwemmten Haldenmaterial verursachte Erhöhung der Gehalte an den Elementen Sn, As und Pb im Oberflächensediment nachweisbar. Hingegen fügen sich die Gehalte der Elemente Zn, Cd, Cr, Ni und Cu des Hochwassersedimentes in den seit den neunziger Jahren allgemein beobachteten Trend einer Verbesserung der Sedimentqualität ein (**Tab. 1**).

Tabelle 1: Mittlere Elementgehalte im Sediment des Bitterfelder Muldestausees in Abhängigkeit vom Depositionszeitraum

	As ppm	Pb ppm	Sn ppm	Zn ppm	Cd ppm	Cr ppm	Ni ppm	Cu ppm
August-2002-Hochwasserlage	251	537	64	1225	21	111	76	160
„Postwendezeit“	171	294	44	1676	34	120	89	170
„Vorwendezeit“	283	340	46	2153	94	216	118	321
„Untergrund“	16	38	7	110	4	83	32	27
Gesamtoberflächen-sediment 1991 ^{a)}	219	320	k.A.	2570	78	180	119	292
Anreicherungsfaktor in August2002-Hochwasserlage gegenüber Zeitabschnitten:								
„Postwende“	1,5	1,8	1,4	0,7	0,6	0,9	0,9	0,9
„Vorwende“	0,9	1,6	1,4	0,6	0,2	0,5	0,6	0,5

Angegeben sind die Medianwerte der an der Gesamtfraktion mittels RFA ermittelten Elementgehalte. Die Gehalte der Zeitabschnitte „Postwendezeit“ und „Vorwendezeit“ erfolgte auf der Basis der zeitlichen Zuordnung der Sedimentkernabschnitte. Den „Untergrund“ bilden die das Seesediment unterlagernden tertiären Schichten (ehemalige Tagebauoberfläche).^{a)} nach BORN (1996); k.A. = keine Angaben.

Schwebstoffmessungen

Im Hochwasserzeitraum vom 13.8.2002 bis 21.08.2002 wurden 27 zeitlich fixierte Schwebstoffproben aus der Mulde an ihrem Eintritt in den Bitterfelder Muldestausee (Zufluss) bei Pouch entnommen. Der Austritt der Mulde aus dem Bitterfelder Muldestausee bei Friedersdorf (Ablauf) wurde während dieses Zeitraumes mit 13 Stichproben belegt.

Das August-Hochwasser wird am Zufluss zum Muldestausee durch ein ausgeprägtes, mindestens 71 Stunden anhaltendes und stark differenziertes Maximum in den Schwebstoffgehalten der Mulde ausgewiesen, das spätestens am 13.8.2002 11.45 Uhr einsetzt und bis maximal zum 16.8.2002 12.45 Uhr anhält. Die Schwebstoffgehalte schwanken zwischen 263 und 831 mg/l, wobei mit den Stichproben fünf Schwebstoffpeaks erfasst werden konnten, die durch Maximalgehalte ausgewiesen (504 bis 831 mg/l) und durch Abschnitte deutlich geringerer Schwebstoffführung (263 bis 487 mg/l) voneinander getrennt sind. Das Niveau hoher Schwebstoffführung der Mulde am Zufluss wird deutlich vor dem Auftreten des höchsten Wasserstandes bzw. Durchflusses und des damit einhergehenden Leitfähigkeitminimums (bis 210 µS/cm) erreicht. Der höchste Wasserstand am Pegel Bad Düben trat am 14.8.2002 um 10.00 Uhr auf, unter Berücksichtigung einer ca. 4,5-stündigen Verschiebung auf Grund der Laufzeit der Hochwasserwelle bis zum Muldestausee, war der höchste Durchfluss am Zufluss am 14.8.2002 zwischen 5 und 6 Uhr erreicht. Damit eilte der Beginn des Schwebstoffmaximums am Zufluss dem Durchflussmaximum um ca. 18 Stunden voraus. Am 14.8.2002 um 19.35 Uhr erreicht das Schwebstoffmaximum mit einer gemessenen Schwebstoffmenge von 262 mg/l den Ablauf, wobei hier das Niveau hoher Schwebstoffführung (>192 mg/l) ca. 24 Stunden (14.8. 2002 bis 15.8.2002) aufrecht erhalten blieb.

Aus den Schwebstoffmessungen abgeleitete erste Abschätzungen zur Menge der während des Hochwassers im Staubereich sedimentierten Schwebstoffe zeigen, dass ca. 70 % der Zuflussfracht an Feinstschweb im Bitterfelder Muldestausee zur Ablagerung gelangte. Die berechnete Gesamtzuflussfracht beträgt dabei ca. 85527 t, wobei ihre Berechnung allerdings in der Hochwasserspitze mit geschätzten Durchflusswerten erfolgen musste und dadurch als Minimalfracht anzusehen ist. Aber schon diese zeigt, dass das August-2002-Hochwasser, im Vergleich zu den am Zufluss zum Muldestausee berechneten Schwebstofffrachten der Jahre 1991 bis 2001 (JENDRYSCHIK 2003), eine Sonderstellung einnimmt und nur in Hinblick auf seine Sedimentfracht vom März-Hochwasser 2000 übertroffen wird.

Oberflächenrelief- und Wasserkörperuntersuchungen

Die Verweildauer der Suspensionsfracht der Mulde im Wasserkörper des Muldestausees und damit die Menge der am Seegrund abgesetzten Feinstsedimente ist abhängig von den im Flusstausee herrschenden Strömungsverhältnissen. Um den Einfluss von Extremhochwässern auf die Wasserzirkulation zu bewerten, wurden während des Hochwasserereignisses (16.08.2002) und nach Einstellung normaler Durchflußverhältnisse (18.09.2002), Tiefenprofile der Parameter Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung und Trübung des Seewasserkörpers aufgenommen.

Im Sommerhalbjahr ist der Wasserkörper des Muldestausees mit der Ausbildung eines Epi-, Meta- und Hypolimnions stabil geschichtet. Die beobachtete Dreigliederung äußert sich in einer signifikanten Abnahme von Temperatur, Sauerstoffsättigung, pH-Wert und Leitfähigkeit mit der Tiefe. Mit den im Jahresverlauf sinkenden Temperaturen, die eine raschere Abkühlung der Mulde im Vergleich zum großen Seewasserkörper mit seiner weit höheren Wärmekapazität verursachen, führt die Mulde dem See kälteres Wasser zu und sinkt entsprechend der höheren Dichte in größere Seetiefen ab. Sinken die Muldewassertemperaturen unter 10 °C, gelangt das kalte Muldewasser bis auf den Grund des Sees. Dort breitet es sich über den Boden als Kaltwassersee aus und verdrängt von unten das wärmere und leichtere Seewasser an die Oberfläche und zum Ablauf. Zurück bleibt ein See mit einheitlicher Temperatur und hoher Sauerstoffsättigung. Die saisonale, häufig im Oktober-November einsetzende winterliche Zirkulationsperiode hat begonnen.

Mit den während des August-2002-Hochwassers erfolgten Seemessungen wird erstmals gezeigt, daß auch bei Sommerhochwässern mit extremen Durchflüssen die Schichtung im Seewasserkörper aufgehoben und der Zustand einer vollständigen Zirkulation erreicht werden kann. Die Mulde zeigte am 16.08.2002 eine mittlere Temperatur von 18,6 °C, die allein nicht ausreichen würde, um unter normalen Verhältnissen ein Aufbrechen der Seewasserschichtung zu verursachen. Auf Grund des extremen Durchflusses und des damit einhergehenden kraftvollen Einströmens der Mulde in den Stauseebereich gelangte das Muldewasser bis in die Tiefenbereiche des Seegrundes und gab damit den Anstoß für die beginnende Durchmischung. Ausdruck dessen sind die durch die tief einströmende Mulde, im gesamten Seekörper (Haupt- und Friedersdorfer Becken) beobachteten geringen vertikalen Gradienten in der Temperatur zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser und die mit der Tiefe deutlich zunehmenden Gehalte an Sauerstoff und Schwebstoff (steigende Trübung). Unterstützt werden diese Beobachtungen durch vergleichende Echolotungen, die erste Hinweise auf hochwasserbedingte Nivellierungsprozesse des im Hauptbecken des Muldestausees von Kiprippen und Schüttkegel bestimmten Seebodenreliefs erkennen lassen. Wie die Ergebnisse der Messungen am 18.9.2002 zeigen, stellte die schon im August 2002 durch das Hochwasser initiierte vollständige Durchmischung den Beginn der saisonal bedingten winterlichen Zirkulationsperiode dar. In beiden Teilbecken des Muldestausees stellte sich 2002 nach dem August-Hochwasser keine stabile Temperaturschichtung mehr ein.

Schlußfolgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen den Bitterfelder Muldestausee als bedeutsame Sedimentfalle bei Extremhochwässern für das untere Mulde- und Elbegebiet. Sie dokumentieren ihn als Referenzobjekt zur Einschätzung des Potentials von Tagebaurestlöchern bei ihrer Einbeziehung in Konzepte zum vorbeugenden regionalen Hochwasserschutz.

Literatur

- BORN J. (1996): Sedimentgeochemie des Muldestausees bei Bitterfeld.- *Heidelberger Beitr. Umwelt-Geochemie* 9: 226 S.
- JENDRYSCHIK K. (2003): Schwebstofffrachten der Mulde am Zufluss zum Bitterfelder Muldestausee in den Jahren von 1991 bis 2001 und die Sedimentation im See.- *Jb. Sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig*, 2001-2002: 240-249
- ZERLING L., MÜLLER AN., JENDRYSCHIK K., HANISCH CHR., ARNOLD A. (2001): Der Bitterfelder Muldestausee als Schadstoffsenke. Entwicklung der Schwermetallbelastung von 1992 bis 1997.- *Abh. d. Sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, Math.-nat. Kl.* 59, H. 4: 69 S.