

Reinigung schwermetallhaltiger Sedimente mithilfe von Pflanzen und Mikroorganismen

Überführung des Konditionierungsverfahrens in die Praxis^{*)}

Andreas Zehnsdorf, Petra Hoffmann, Heinz Seidel (Leipzig), Uwe Schlenker (Hafslau) und Roland A. Müller (Leipzig)

Zusammenfassung

Müssen schwermetallbelastete Sedimente aus Gewässern entnommen werden, kommen sie mit Luftsauerstoff in Kontakt und können durch Versauerung und der damit einhergehenden Mobilisierung der Schwermetalle zum Umweltproblem werden. Ein neu entwickeltes Verfahren befreit die schlammig-pastösen Gewässersedimente gezielt von den Schwermetallen und erzeugt ein krümelig-erdiges verwertbares Material. Der erste Schritt des Gesamtverfahrens, die Konditionierung der Sedimente mit Hilfe von Pflanzen und Mikroorganismen, wurde in einem Großversuch mit über 1 000 Tonnen Sediment erfolgreich in die Praxis überführt.

Schlagwörter: Gewässerschutz, Fließgewässer, Sediment, Behandlung, Schwermetall, Mobilisierung, Konditionierung, Bioleaching, Pflanzen, Mikroorganismen

DOI: 10.3243/kwe2011.10.003

Abstract

Treatment of Sediments Containing Heavy Metals with the Help of Plants and Microorganisms Practical Implementation of Conditioning Processes

If sediments that contain heavy metals must be removed from water bodies, they will get into contact with atmospheric oxygen and through acidification and the accompanying mobilization of heavy metals they may cause environmental problems. A new method has been developed that removes the heavy metals from the sludgy and paste-like sediments and produces a crumbly-earthly material that can be used further. The first step of the overall process, i.e. conditioning of sediments with the help of plants and microorganisms, was successfully implemented in practice in a large-scale experiment with more than 1,000 tons of sediments.

Key words: water pollution control, flowing water, sediment, treatment, heavy metal, mobilization, conditioning, bio leaching, plants, microorganisms

1 Einleitung

In jedem Fließgewässer werden Sedimente stromabwärts mitgeführt. Schafft der Mensch durch wassertechnische Bauwerke Barrieren, sammeln sich die Sedimente dort an und müssen regelmäßig beraumt werden. Durch anthropogene Einflüsse sind Sedimente in Industrienationen häufig mit Schwermetallen belastet. Dabei kann der Eintrag der Schwermetalle zeitlich lange zurückliegen, die Sedimente sind gleichsam das „Gedächtnis“ der Region. So liegen allein in einem 2,5 km langen Abschnitt der Weißen Elster im Stadtgebiet von Leipzig, dem Elsterflutbecken, zirka 330 000 t schwermetallbelastete Sedimente. Diese enthalten unter anderem rund 1 300 t Zink und

9 t Cadmium [1]. Solange derartige Sedimente unter weitestgehendem Luftabschluss im Wasser liegen, sind die Schwermetalle immobil, werden sie aber ausgebaggert und kommen bei der anschließenden Lagerung mit Luft in Kontakt, können die Schwermetalle durch mikrobielle Prozesse teilweise in Lösung gehen [2]. Fällt Regen auf diese Sedimente, können die im Porenwasser gelösten Schwermetalle ausgewaschen werden und mit dem Sickerwasser in den Boden oder ins Grundwasser gelangen. Tritt dieser Fall ein, werden die Sedimente zum Umweltproblem.

2 Lösungsansatz

Durch die kontrollierte Nutzung der mikrobiellen Schwermetallmobilisierung sollen schwermetallhaltige Sedimente gereinigt werden. Zur Sanierung derartiger Sedimente müssen die Schwermetalle von den anderen Sedimentbestandteilen abge-

^{*)} Ein Teil der Ergebnisse wurde von den Autoren beim Vortrag „Reinigung von Flusssedimenten mit Pflanzen und Mikroorganismen“ im Rahmen des Fachprogramms der Umweltmesse TerraTec: „Wasser-FAIR-sorgung – weltweit und ganz nah“ in Leipzig am 26. Januar 2011 vorgestellt.

Verfahrensschritt 1

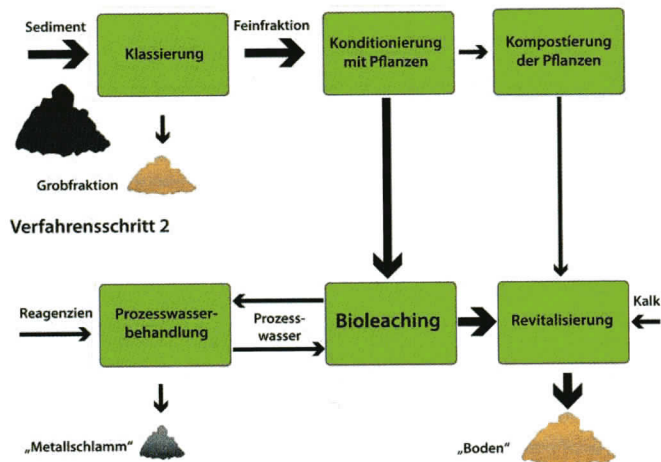


Abb. 1: Gesamtverfahren zur Behandlung schwermetallhaltiger Sedimente

trennt werden, ein mikrobieller Abbau, wie beispielsweise bei Kohlenwasserstoffen, ist nicht möglich.

Um Gewässersedimente von Schwermetallen zu befreien und das gereinigte Material einer Wiederverwendung zuzuführen, wurde vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ und der BAUER UMWELT GmbH ein naturnahes Behandlungsverfahren entwickelt (Abbildung 1) [7]. Durch eine Klassierung des Sediments im ersten Verfahrensschritt kann die Menge des zu behandelnden Materials verringert werden. Es erfolgt eine Trennung in eine nahezu schadstofffreie Grobfraktion und eine hoch belastete Feinfraktion. Während die so gewonnene Grobfraktion einer Verwertung zugeführt werden kann, wird die belastete Feinfraktion weiter behandelt.

Der zentrale Behandlungsschritt des Verfahrens ist die mikrobielle Laugung der Schwermetalle aus dem Sediment, auch Bioleaching genannt. Dazu wird dem Sediment elementarer Schwefel zugegeben, der von den vorhandenen Mikroorganismen zu Schwefelsäure oxidiert wird.

Diese mikrobiell gebildete Schwefelsäure bringt die im Sediment enthaltenen Schwermetalle in Lösung [3]. Prinzipiell kann das Bioleaching entweder in Suspension oder als Festbettlaugung in einer Schüttung erfolgen. Bei den zu behandelnden großen Sedimentmengen ist die vergleichsweise einfache Festbettlaugung die Methode der Wahl, da sie weniger kostenintensiv als die Suspensionslaugung mit ihren aufwendigen Reaktoren ist. Bei den untersuchten Sedimenten waren zudem Feststoffgehalte über zehn Prozent bei der Suspensionslaugung kaum realisierbar und die so gereinigten Sedimente sind ohne Nachbehandlung in ihrer weiteren Nutzung stark eingeschränkt [4].

Voraussetzung für die effektive mikrobielle Laugung im Festbett ist eine gute Durchlässigkeit der Sedimentschüttung. So wird eine optimale Versorgung des Sediments mit Wasser und Luft während der Laugung gewährleistet und die Möglichkeit der anschließenden Auswaschung der im Porenwasser gelösten Schwermetalle geschaffen. Zur Vorbereitung muss das frisch gebaggerte schlammig-pastöse Sediment deshalb in eine krümelig-erdige Form überführt werden. Diese Umwandlung der Sedimentstruktur erfolgt mit Hilfe von Pflanzen, die dem Sediment durch Transpiration viel mehr Wasser entziehen, als

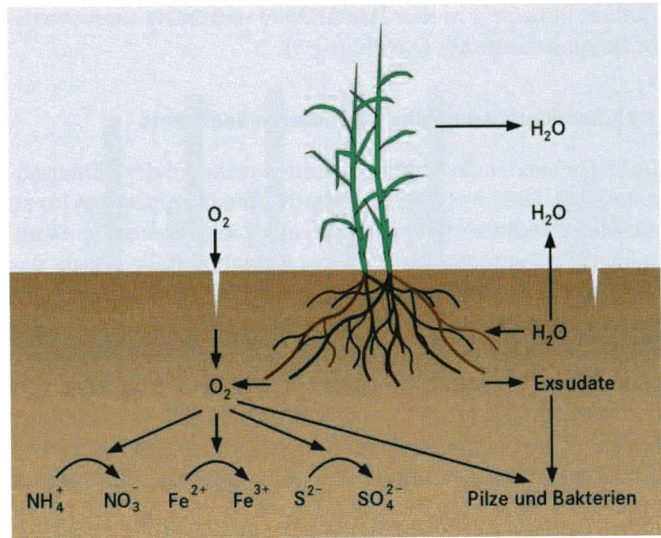


Abb. 2: Einfluss von *Phalaris arundinacea* auf Sediment und Mikroorganismen [12]

durch reine Evaporation über die Sedimentoberfläche abgegeben werden würde. Über ihre Wurzeln tragen die Pflanzen zudem Sauerstoff und organische Substanzen (Exsudate) in das Sediment ein. Dadurch stimulieren sie dort vorhandene Mikroorganismen und unterstützen verschiedene chemische Reaktionen (Abbildung 2). Von 20 getesteten Pflanzenarten hat sich das Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea* L.) für die Sedimentkonditionierung als am besten geeignet erwiesen [5, 6].

Nach erfolgter Mobilisierung der Schwermetalle im Sediment werden diese aus der Schüttung herausgewaschen und aus dem Prozesswasser entfernt [7]. Das jetzt von den Schwermetallen weitgehend befreite, aber aufgrund des niedrigen pH-Werts biologisch verarmte Sediment wird neutralisiert und durch Kompostzumischung revitalisiert [7]. Es kann anschließend als Bodenverbesserungsmittel auf Rekultivierungsflächen eingesetzt werden.

3 Überführung der Ergebnisse in die Praxis

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens ist es nötig, dieses nach erfolgreicher Erprobung im Labor- und Technikumsmaßstab unter Praxisbedingungen zu testen. Der erste Teil des Gesamtreinigungsverfahrens, mit dem Schwerpunkt auf der Sedimentkonditionierung mit Pflanzen, wurde an frisch gebaggertem, schwermetallhaltigem Sediment aus dem Elster-



Abb. 3: Gesamtansicht der Versuchsanlage während der Bepflanzung

flutbett in Leipzig in den Jahren 2009 und 2010 unter Praxisbedingungen erprobt (Abbildung 3).

3.1 Charakterisierung des verwendeten Sediments

Das zu behandelnde Sediment wurden während der Wintermonate 2008/2009 aus dem Elsterflutbecken in Leipzig aus bis zu ein Meter Sedimenttiefe mit Hilfe eines schwimmenden Saugspülbaggers entnommen. Von der Entnahmestelle wurde das Sediment über eine Leitung mit DN 150 in ein zirka zwei Kilometer entferntes Absetzbecken gepumpt. Das in das Becken gespülte Sediment war verfahrensbedingt frei von Grobstoffen. Nach einer Vorentwässerung wurde das Material zum Versuchsbecken transportiert und dort eingefüllt. Das eingefüllte Sediment hatte eine dunkelgraue bis schwarze Farbe, es war schlammig-pastös, anoxisch und reich an organischer Substanz. Nach Abschluss der Befüllung wurde das Sediment umfassend analysiert [8]. Die Gehalte ausgewählter Schwermetalle des Sediments sind in Tabelle 1 zusammengestellt, die physikochemischen Eigenschaften in Tabelle 2. Da es zur Charakterisierung der Belastung von Gewässersedimenten keine eigenen Grenzwerte gibt, wurden die Zuordnungswerte für Bodenmaterial der Landesarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur Bewertung herangezogen. Auf dieser Basis kann das gebaggerte Sediment der Einbauklasse 2 (Zuordnungswerte Z2) zugeordnet werden. Die Einbauklasse 2 entspricht einem eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen [9]. So könnte das konditionierte Sediment unter anderem im Straßen-, Wege- und Verkehrsflächenbau sowie als Tragschicht von befestigten Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten eingesetzt werden. Auch eine Verwendung bei Erdbaumaßnahmen als Lärm- und Sichtschutzwall oder Straßendamm wäre möglich.

3.2 Aufbau der Versuchsanlage

Zur Realisierung des Großversuchs zur Konditionierung von Gewässersedimenten wurde ein ehemaliges Güllebecken in ein 50 m langes und 23,4 m breites Versuchsbecken umgebaut. Die geeigneten Beckenwände weisen eine Höhe von zirka 2 m auf. Das Innere des Beckens wurde mit einer 2 mm dicken, verschweißten HDPE-Folie ausgekleidet. Auf eine Drainage wurde verzichtet, da bisherige Konditionierungsversuche mit Pflanzen gezeigt haben, dass eine Entwässerung des frischen Sediments aufgrund der minimalen Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert $8,9 \times 10^{-8}$ m/s) über eine Drainage kaum möglich ist und die Redu-

Element	Gehalt im Sediment [mg/kg]	Grenzwerte nach LAGA		
		Z0	Z1	Z2
Blei	127	40	210	700
Kupfer	140	20	120	400
Zink	1 140	60	450	1 500
Cadmium	7	0,4	3	10
Chrom	245	30	180	600
Nickel	125	15	150	500
Arsen	48	10	45	150

Tabelle 1: Konzentrationen relevanter Elemente im Sediment der Weißen Elster (Sedimenttiefe bis 1 m) und Grenzwerte für Bodenmaterial [10]

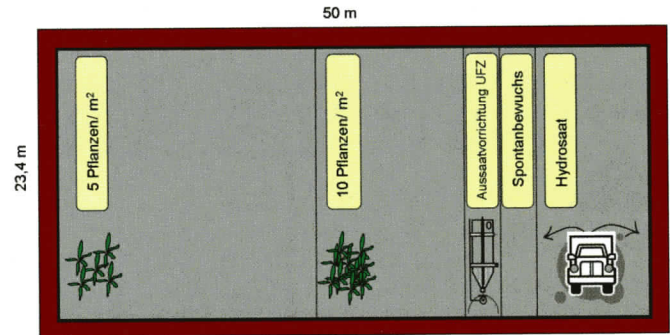


Abb. 4: Einteilung der Sedimentoberfläche in Segmente mit unterschiedlicher Bepflanzungsdichte und Aussaat mit verschiedener Technik

zierung des Wasseranteils überwiegend über Evapotranspiration (Evaporation und Transpiration) erfolgt.

Das Versuchsbecken mit einer Gesamtfläche von 1170 m² wurde in fünf Segmente aufgeteilt. Parallel zur Bepflanzung des Sediments mit zwei unterschiedlichen Pflanzdichten sollte die Aussaat von Pflanzensamen auf der Sedimentoberfläche getestet werden (Abbildung 4). Neben einer selbst entwickelten Vorrichtung zum Ausbringen von Pflanzensamen auf nicht begehbaren Flächen [11] kam ein konventioneller Hydroseeder zum Einsatz.

3.3 Bepflanzung der Versuchsanlage

Das verwendete Sediment verfügte über ein hohes Samenpotenzial, allerdings durchwurzeln die spontan auftretenden Pflanzenarten, wie zum Beispiel der Ampferblättrige Knöterich (*Polygonum lapathifolium*) oder der Große Wegerich (*Plantago major*), das Sediment nur bis in eine geringe Tiefe und bilden einen lückenhaften Bestand aus. Aus Voruntersuchungen im Technikums- und Pilotmaßstab zur Konditionierung von Sediment aus der Weißen Elster erwies sich Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) aufgrund seiner Staunässeverträglichkeit und seiner vergleichsweise großen Durchwurzelungstiefen innerhalb einer Vegetationsperiode als sehr gut geeignet [5, 12].

Mitte Juni wurden 2500 Rohrglanzgraspflanzen auf einer Fläche von 500 m² mit einer Pflanzdichte von 5 Pflanzen/m² und weitere 2500 Pflanzen auf einer Fläche von 250 m² mit einer Pflanzdichte von 10 Pflanzen/m² ausgebracht. Die Bepflanzung von mehr als ein Meter hohen Sedimentschüttungen ist aufgrund der schlammig-pastösen Konsistenz in der technischen Umsetzung nicht trivial und die Verwendung von vorkultivierten Pflanzen kostenintensiv. Deshalb sollte eine effiziente Möglichkeit zur Aussaat von *Phalaris*-Samen auf Sediment gefunden werden. Entsprechende Versuche wurden mit zwei unterschiedlichen Aussaatvorrichtungen durchgeführt, wobei gewährleistet werden musste, dass die Samen nicht unter die Oberfläche in das anaerobe Sediment eingebracht wurden, keimfähig blieben und ausreichend Pflanzen pro Quadratmeter aufblühen.

3.4 Beprobung des Sediments

Von Juni bis Oktober 2009 und von März bis Oktober 2010 wurde das Sediment in den einzelnen Segmenten entsprechend eines Probenahmeplanes auf der Grundlage der LAGA PN98 [13] im 14-Tage-Rhythmus repräsentativ beprobt.

Zur Erfassung vertikaler Unterschiede in den physikochemischen Sedimenteigenschaften wurden Proben aus zwei verschiedenen Tiefen (0 bis 0,25 m und 0,5 bis 0,75 m) gewonnen. Dabei wurde das Sediment mit einem Riverside-Bohrer (Ø 7 cm) entnommen. Das Vereinigen, Homogenisieren und Verjüngen der Einzelproben aus verschiedenen Sedimenttiefen zu einer Mischprobe geschah ebenfalls nach LAGA PN98. Das Probenmaterial wurde in PET-Weithalsflaschen gefüllt und bis zur Analyse bei 4 °C gelagert [8].

4 Ergebnisse

4.1 Physikochemische Eigenschaften des Sediments

Zur Charakterisierung des Einflusses der Pflanzen bei der Sedimentkonditionierung ist der Wassergehalt im Sediment eine wichtige Kenngröße. Der Wassergehalt hängt von mehreren Faktoren ab – während ihn die Niederschläge erhöhen, wird er durch die Evapotranspiration verringert (Abbildung 5). Da die Trockenmasse des Sediments während der Konditionierung immer konstant bleibt, kann bei bekannter Sedimentfeuchte zu jedem beliebigen Zeitpunkt das Volumen des Wassers im Sediment für die einzelnen Segmente berechnet werden:

$$V_w(t) = \frac{m_{TS} \cdot \bar{x}_w(t)}{\rho_w \cdot (1 - \bar{x}_w(t))}$$

- V_w Volumen des Wassers im Sediment
- m_{TS} Trockenmasse des Sediments
- ρ_w Dichte des Wassers
- \bar{x}_w Feuchte des Sediments

Ausschlaggebend für den Erfolg der Sedimentkonditionierung ist die Wassermenge, die dem Sediment durch Evapotranspiration entzogen wurde. Dabei ist eine weitere wichtige Größe der Niederschlag. Die Evapotranspiration lässt sich unter Berücksichtigung der Wasserabnahme im Sediment und des Niederschlags wie folgt ermitteln:

$$\text{Evapotranspiration} = \text{Wasserabnahme im Sediment} + \text{Niederschlag}$$

Durch den Pflanzenbewuchs und den Wasserentzug bildeten sich in der Sedimentschüttung Schrumpfrisse, feine Kanäle und Poren, durch die Luftsauerstoff in das Sediment gelangte. Das verwendete Rohrglanzgras besitzt außerdem ein Leitgewebe in den Stängeln und Wurzeln, durch das aktiv Sauerstoff in die anoxischen Bereiche des Wurzelraums transportiert wird. Durch den Sauerstoffeintrag wurden im Sediment enthaltene Verbindungen oxidiert (reduzierter Schwefel oxidierte zu Sulfat, Ammonium zu Nitrat und Eisen(II) zu Eisen(III)), dadurch stieg das Redoxpotenzial allmählich an. Durch die Oxidationsreaktionen nahm der pH-Wert während des Versuchszeitraums von anfangs 7,3 bis auf 6,05 ab. Dieser Prozess läuft auch ohne den Einfluss der Pflanzen ab, kann aber mit fortschreitender Durchwurzelung gefördert werden, was in Hinblick auf eine Mobilisierung der Schwermetalle besonderer Beobachtung bedarf. Die Bestimmung der im Porenwasser gelösten Schwermetalle (Extraktion von Sedimentproben mit Wasser und Extraktanalyse mittels ICP-AES) ergab lediglich für Zink leicht erhöhte Messwerte im Eluat. Die Sedimentversauerung während der Konditionierung hat den

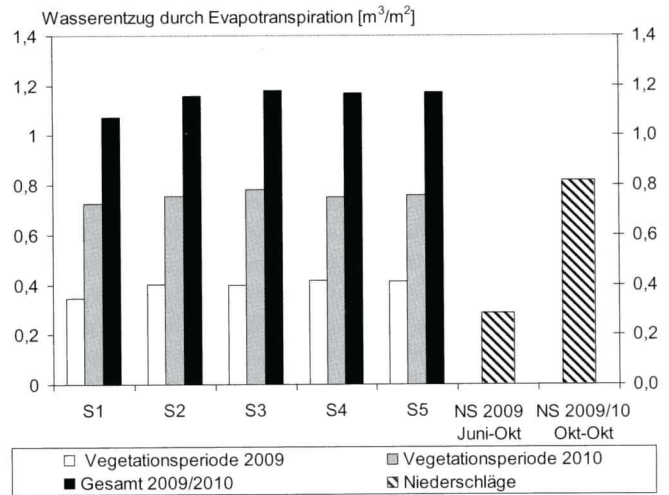


Abb. 5: Wasserentzug aus dem Sediment durch Evapotranspiration (S1 = 5 Pflanzen pro m², S2 = 10 Pflanzen pro m², S3 = Aussaatvorrichtung, S4 = Spontanbewuchs, S5 = Hydroseeder-aussaat, NS = Niederschlag)

positiven Effekt, dass sich die Pufferkapazität des Sediments verringert. Somit wird beim anschließenden Bioleaching zur Entfernung der toxischen Schwermetalle weniger laugendes Agens benötigt.

4.2 Entwicklung der Pflanzen

Das Rohrglanzgras war zum Zeitpunkt der Pflanzung im Juni gut entwickelt, zeigte keinerlei Schädigung und wies eine Größe von ca. 0,5 m auf. Bis zum Ende der ersten Vegetationsperiode erreichten die vorkultivierten Pflanzen eine Höhe von 1,2 m, am Ende der zweiten Vegetationsperiode von 2 m. Fünf Tage nach der Aussaat der Rohrglanzgrassamen konnten erste Keimlinge gezählt werden. Die mittlere Keimungsrate betrug zirka 50 Prozent. Die gekeimten Pflanzen erreichten nach 40 Tagen eine mittlere Höhe von 0,6 m und wuchsen dann nicht weiter. Die Rohrglanzgraspflanzen bildeten eine geschlossene

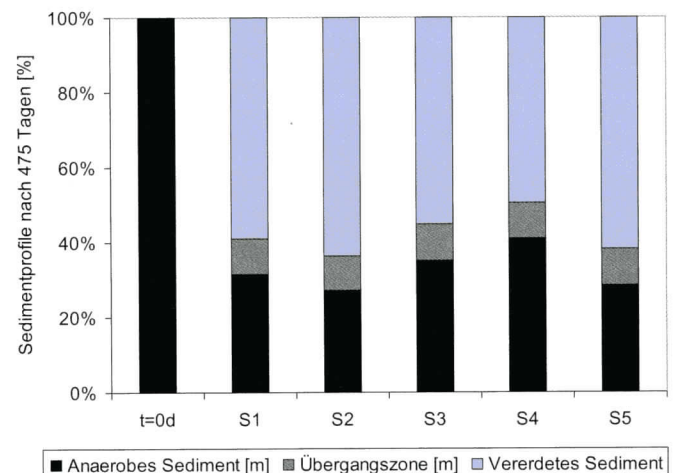


Abb. 6: Durchwurzelungs- und Konditionierungstiefen im Sediment (S1 = 5 Pflanzen pro m², S2 = 10 Pflanzen pro m², S3 = Aussaatvorrichtung, S4 = Spontanbewuchs, S5 = Hydroseeder-aussaat)

Pflanzendecke, die sich weitestgehend gegen den Spontanbewuchs durchsetzen konnte. Zum Ende der zweiten Vegetationsperiode erreichten die aus Rohrglanzgrassamen entstandenen Pflanzen eine mittlere Höhe von ca. 1,8 m. Alle Pflanzen waren bis zum Versuchsende vital und zeigten keine Krankheiten und Mangelerscheinungen. Das oberirdische Pflanzenmaterial wurde nach der Ernte kompostiert. Der Kompost kann dem gelaugten Sediment zur Revitalisierung zugesetzt werden.

Zur Ermittlung der Durchwurzelungstiefe der Rohrglanzgraspflanzen und des Vererdungsgrades wurden zum Ende der beiden Vegetationsperioden Profilgrabungen über die gesamte Schütthöhe durchgeführt. Die aus den Samen hervorgegangenen Pflanzen durchwurzelten das Sediment nach 475 Tagen genauso tief wie die vorkultivierten Pflanzen (Abbildung 6). Die kostengünstigste Variante zum Ausbringen von Rohrglanzgras auf dem Sediment ist im Ergebnis der durchgeführten Versuche somit die Hydrosaat.

Die relativ hohe Durchwurzelungstiefe im Segment mit Spontanbewuchs resultiert aus der Selbstaussaat der Rohrglanzgraspflanzen im Herbst des ersten Jahres auf die benachbarten Segmente. Die Pflanzenwurzeln endeten an einer Übergangzone vom vererdeten zum anoxischen Bereich, die Konditionierung fand nur im durchwurzelten Bereich des Sediments statt.

Laut Deutschem Wetterdienst war Sachsen im Jahr 2010 mit 719 mm Niederschlag das nasseste Bundesland [14]. Aufgrund dieser starken Niederschläge in den Sommermonaten des Jahres 2010 konnten nur zirka 65 Prozent des Sediments konditioniert werden.

4.3 Produkteigenschaften des konditionierten Sediments

Vor der Konditionierung war das frisch gebaggerte Ausgangsmaterial sehr feucht, schlammig-pastös, anoxisch, schwarz gefärbt und wasserundurchlässig. Das mit Pflanzen vererdete Sediment hat eine erdbraune Farbe, es ist stark entwässert und hat eine krümelig-erdige Struktur. Das bodenähnliche Material ist nachhaltig wasser- und gasdurchlässig (Tabelle 2) und kann im Festbett mikrobiell gelaugt werden. Versuche zur mikrobiellen Laugung mit konditioniertem Material im Festbett wurden bereits im 2-m³-Maßstab durchgeführt, wobei nach 21 Tagen 58 Prozent der nach LAGA relevanten Schwermetalle (Summe von Zink, Nickel, Kadmium, Kupfer, Chrom und Blei) aus dem behandelten Sediment entfernt werden konnten [12].

5 Ausblick

Der erste Verfahrensschritt zur Reinigung schwermetallbelasteter Sedimente durch Bioleaching – die Konditionierung der Baggerschlämme mit Hilfe von Pflanzen – wurde in einem Großversuch als Gemeinschaftsprojekt vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und der BAUER UMWELT GmbH erfolgreich in die praktische Anwendung überführt.

Im anschließenden zweiten Verfahrensschritt sollen die Schwermetalle durch mikrobielle Laugung im Festbett aus dem Sediment entfernt werden, um das gereinigte, revitalisierte Material als bodenähnliches Substrat in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Durch die Aufkonzentrierung der herausgelösten Schwermetalle kann die Menge zu deponierender Abfallstoffe drastisch reduziert werden. Eine Aufbereitung der Schlämme zur Gewinnung von Metallen kann bei steigenden Rohstoffpreisen perspektivisch ökonomisch interessant werden. In Vorbereitung der Anwendung des Bioleaching-Verfahrens im Industriemaßstab ist in Zusammenarbeit von UFZ und der BAUER UMWELT GmbH ein Großversuch zur Behandlung von ca. 1200 m³ schwermetallbelastetem Sediment geplant.

Dank

Dieses Projekt wurde von der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) „Investitionen in Ihre Zukunft“ und des Freistaates Sachsen (SMWK) finanziert. Die Autoren danken den Mitarbeitern des Departments Analytik des UFZ für die Durchführung der Analysen.

Literatur

- [1] Müller, A., Hanisch, C., Zerling, L., Lohse, M., Walther, A. (1998): Schwermetalle im Gewässersystem der Weißen Elster. Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Vol. 58 (6). Akademie Verlag, Berlin.
- [2] Löser, C., Zehnsdorf, A., Fussy, M., Morgenstern, P. (2001): Möglichkeiten zur Kostenreduzierung bei der Entsorgung Schwermetallkontaminierter Flußsedimente – ein Fallbeispiel. *altlasten spektrum* 10 (1), 18–27.
- [3] Löser, C., Zehnsdorf, A., Görsch, K., Seidel, H. (2006): Remediation of heavy metal polluted sediment in the solid bed: Comparison of abiotic and microbial leaching. *Chemosphere* 65, 9–16.

Messgröße	Methodik	Messwert	
		Ausgangsmaterial	mit 5 Pflanzen/m ² konditioniert
Feuchte [%]	DIN 38414-S2	68,3	36,9
pH-Wert	DIN 38414-S5	7,3	6,05
Redoxpotenzial [mV]	DIN 38414-S5	-307	378
Leitfähigkeit [%]	DIN 38414-S5	0,3	1,38
Glühverlust [%]	DIN 38414-S3	26,1	18,8
max. Wasserhaltekapazität [g H ₂ O/100 g TS]		0	20,4
max. Wasserdurchlässigkeit [l/m ² /h]		0,3	1460

Tabelle 2: Physikochemische Parameter von Sediment der Weißen Elster vor und nach der Konditionierung

- [4] Löser, C., Zehnsdorf, A., Hoffmann, P., Seidel, H. (2007): Remediation of heavy metal polluted sediment by suspension and solid-bed leaching: Estimate of metal removal efficiency. *Chemosphere* 66, 1699–1705.
- [5] Zehnsdorf, A., Löser, C., Hoffmann, P., Seidel, H. (2001): Konditionierung Schwermetall-belasteter Gewässersedimente durch Pflanzen. *Wasser und Boden*. 53 (11), 33–40.
- [6] Löser, C., Zehnsdorf, A. (2002): Conditioning of Freshly Dredged Heavy Metal-Polluted Aquatic Sediment with Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea* L.). *Acta Biotechnol.* 22 (1-2), 81–89.
- [7] Seidel, H., Löser, C., Zehnsdorf, A., Hoffmann, P., Schmerold, R. (2004): A Bioremediation Process for Sediments Contaminated by Heavy Metals: Feasibility Study on a Pilot Scale. *Environ. Sci. Technol.* 38, 1582–1588.
- [8] Hoffmann, P., Wennrich, R. (2010): Gewässersedimente richtig konditionieren. *LaborPraxis* 11, 30–33.
- [9] LAGA (2003) Mitteilung 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. Teil I: Allgemeiner Teil. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (ed.), www.laga-online.de.
- [10] LAGA (2004) Mitteilung 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. Teil II: Technische Regeln für die Verwertung. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (ed.), www.umwelt.sachsen.de.
- [11] Zehnsdorf, A., Hoffmann, P., Seidel, H., Eismann, F., Stöbe, P. (2009): Vorrichtung zum Ausbringen rieselfähiger Güter auf nicht begehbbare und nicht befahrbare Flächen. Gebrauchsmuster A01C 7/00 (2006.01).
- [12] Zehnsdorf, A. (2004): Konditionierung schwermetallbelasteter Gewässersedimente durch Pflanzen. Dissertation, RWTH Aachen, UFZ-Bericht Nr. 3/2004, 143 S.
- [13] LAGA (2001) Mitteilung 32: LAGA PN98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/ Beseitigung von Abfällen. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (ed.), www.laga-online.de.
- [14] Deutscher Wetterdienst (2010): Klima und Umwelt – Witterung – Klimamonitoring, www.dwd.de.

Autoren

Dr.-Ing. Andreas Zehnsdorf, Dipl.-Ing. Petra Hoffmann
 Dr. Roland A. Müller
 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
 Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum
 Permoserstraße 15
 04318 Leipzig

Dr. Heinz Seidel
 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
 Department Umweltbiotechnologie
 Permoserstraße 15
 04318 Leipzig

Dr. Uwe Schlenker
 Bauer Umwelt GmbH
 OT Haßlau 16 B
 04741 Roßwein

E-Mail: andreas.zehnsdorf@ufz.de



Bücher

Wasser – Grundlage des Lebens

Ziel der Wasserbewirtschaftung ist die Bereitstellung von Wassermengen in entsprechender Qualität, wie sie für die Bedürfnisse von Mensch und Natur benötigt werden. Die Bewirtschaftung soll nachhaltig sein, Umweltschäden müssen vermieden werden und sie soll auch Schutz vor dem Wasser gewähren. Dieses breite Aufgabenfeld verlangt differenzierte Ansätze, um die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen zu verstehen und nutzen zu können. Erkenntnisse aus den Geowissenschaften, Biologie, Ökologie, Gewässerchemie, Ingenieurhydrologie und der Arbeit der operationellen hydrologischen Dienste sind die Grundlage der Wasserbewirtschaftung. Das Buch zeigt Facetten der Hydrologie im Zeitfenster der letzten 200 Jahre von der technischen Entwicklung wesentlicher hydrologischer Mess-

geräte für die Erfassung der Wasserhaushaltsgrößen über Bewirtschaftungsbeispiele bis zu den aktuellen Herausforderungen. Beginnend mit dem Ablesen von Wasserständen hat sich die Hydrologie zu einer ganzheitlichen Wissenschaft vom Wasser entwickelt. Die Auswirkungen der Bewirtschaftung, des gesellschaftlichen Wandels, des Klimas und seiner Variabilität auf das Wasser werden ebenso aufgezeigt wie die Ansätze zur Bewältigung des zunehmenden Wasserbedarfs für die Nahrungsmittelproduktion einer ständig wachsenden Weltbevölkerung.

Allgemein verständlich formuliert und mit zahlreichen Fotos illustriert, richtet sich das Buch an alle Interessierten, die verstehen wollen, wie Wasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Wasserstraßen und Hochwasserschutz organisiert werden, um unserem täglichen Bedarf und Umgang mit dem Wasser zu entsprechen.

G. Strigel, A.-D. Ebner von Eschenbach U. Barjenbruch (Hrsg.): *Wasser – Grundlage des Lebens – Hydrologie für eine Welt im Wandel*, 2010, 133 Seiten, gebunden 26,80 Euro, Schweizerbart, Stuttgart ISBN 978-3-510-65266-2



Forum zur Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL)

R. Jüpner, U. Müller (Hrsg.): *Forum zur Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL) Tagungsband zur 3. Veranstaltung des Forums der EU-HWRM-RL am 9. Juni 2011 in Weimar, Berichtreihe des Forums zur Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL), 2011, 128 Seiten 45,80 Euro, Shaker Verlag, Aachen ISBN 978-3-8322-9995-8*

