

# Schadstoffimmobilisierung mit Bodenaushub auf schwermetall-belasteten ehemaligen Rieselfeldern in Berlin

C. Hoffmann<sup>1</sup>, H. Böken<sup>2</sup>, R. Metz<sup>2</sup> & M. Renger<sup>1</sup>

## Einleitung

Im Rahmen von Baumassnahmen fallen in Berlin zur Zeit große Mengen von unbelastetem, lehmigen Geschiebemergel an, welcher als Sicherungsmassnahme im Sinne des § 5 Abs. 3 ff, BBodSchV 1999 auf Altlastenstandorten zu einer Verbesserung des Schadstoffbindungsvermögens und zur pH-Wert Erhöhung eingesetzt werden kann. Damit wird dem Verwertungsgebot des KrW-/Abfg § 4 Abs. 2 Rechnung getragen. Mit diesem Vorgehen wird der Anteil von Bauaushub, der als Abfall entsorgt werden muss, reduziert und Deponien werden entlastet. Bindiges Bodenmaterial wird aufgrund seiner, für die bauliche Verwendung ungünstigen, bodenphysikalischen Eigenschaften, nur in geringem Umfang bei Baumassnahmen wiederverwertet.

Für zukünftige Vorhaben müssen einheitliche Vorgehensweisen festgelegt werden, welche die Verwendung von Bodenaushub für die Sicherung von Altlastenstandorten regeln. Solche Regelungen existieren bundesweit bisher nur für den Einsatz von Bodenaushub als

- Kultursubstrat (DIN 19731 1998, ISO-DIS 15167 2000)
- Baustoff (LAGA 1997, ISO-DIS 15167 2000)
- Bodenverbesserer in Landschaftsbau (LABO 1997, DIN 19731, ISO-DIS 15167 2000).

Für andere Verwendungen existieren - wenn überhaupt - länderspezifische Ausführungsvorschriften und Erlasse.

Dabei muss in zwei Gruppen unterschieden werden,

### Sicherungsmassnahmen:

bei Schwermetallen (SM) - Einmischung von Bodenmaterial zur Erhöhung der Sorptionskapazität und/oder zur Erhöhung des pH-Wertes

bei Schwermetallen + Organika - zur Überdeckung und Anlage einer Rekultivierungsschicht (Reduzierung der Sickerwassermenge)

### Sanierungsmassnahmen:

bei Organika - zur Verbesserung des boden-chemischen und -physikalischen Milieus zur Stimulation der natürlichen Selbstreinigungskraft – passiv bioremediation.

In der vorliegenden Arbeit soll die Einmischung von Geschiebemergel zur Sicherung von flachgründig schwermetall-kontaminierten, sandigen Standorten, am Beispiel der ehemaligen Rieselfelder im Umland von Berlin betrachtet werden. Nach dem Brandenburger Landesabfallgesetz (§29.4) stellen diese grossflächige Altlastenstandorte dar, welche bei einer Orientierung an den Werten der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) bzw. der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) unter anderem eine Gefährdung für die Schutzgüter Mensch und Grundwasser darstellen.

---

<sup>1</sup> TU-Berlin, FG Bodenkunde, Inst. f. Ökologie und Biologie, Sekr. BK, Salzufer 12, 10587 Berlin  
Email: christian.hoffmann@tu-berlin.de, Tel.: 314-21722, FAX: 314-73548

<sup>2</sup> Humboldt Universität Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, FG Ackerbausysteme, Dorfstr. 9 13051 Berlin  
Email: Holger.Boeken@uba.de, Tel: 9627-5510, FAX: 9627-5550

## Anforderungen an die Verwertung von Bodenmaterial zur Sicherung von schwermetallbelasteten, sandigen Standorten

Vor der Verwertung von Bodenmaterial muss selbstverständlich immer das Vermeidungsgebot stehen, welches den mengenmäßigen Anfall von Bodenmaterial, durch sinnvolle Planungsvorbereitung eines Bauvorhabens, reduzieren soll. Sind massenreduzierende Massnahmen hinreichend geprüft, sollte das Bodenmaterial einer Mindestprüfung unterzogen werden, welche den Einsatz des Materials für Sicherungsmassnahmen qualifiziert oder ausschließt. Für ein Vorerkundungs- und Mindest-Schadstoff-Untersuchungsprogramm stellen die LAGA-Richtlinien (LAGA 1997) eine sinnvolle Grundlage dar. Vermischungs- und Verdünnungsverbot müssen für das aufzubringende Material unbedingt eingehalten werden (vgl. BBodSchG 1998).

Grundsätzlich ist nur Bodenmaterial zu verwenden, welches in seiner physikalische Beschaffenheit und seinem Schadstoffgehalt geeignet ist, keine Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung hervorzurufen (HOLZWART et al. 2000). Der Nutzen der Bodenverwertung ist dadurch zu belegen, dass mindestens *ein* Kriterium, die Erhöhung der Sorptionskapazität oder die langfristige Erhöhung des pH-Wertes, erfüllt ist (Tab. 1). Material, das den Zuordnungswert Z 1.1 (LAGA 1997) überschreitet sollte keinesfalls eingesetzt werden, um die Gefahr des Eintrages zusätzlicher Schadstoffe möglichst zu vermeiden. Aus dem selben Grund sollte kein Bodenmaterial eingesetzt werden, der ein Schadstoffinventar enthält, dass am Einbaustandort nicht vorhanden oder nur in geringeren Konzentrationen vorhanden ist (Tab. 2). Ein pH-Werte > 8,0 sollte dagegen kein Ausschlusskriterium nach LAGA (1997) darstellen, wenn der höhere pH ausschließlich durch den Karbonatgehalt verursacht wird. Der Steinanteil sollte grundsätzlich < 5 Vol. % liegen, der Anteil an Fremdstoffen (z.B. Bauschutt < 1 Vol %).

Tab. 1: Einbaukriterien zur Verwendung von Bodenmaterial zur Sicherung von schwermetallbelasteten, flachgründigen Sandstandorten

Ton [Gew.%]	Ton / Schluff [Gew.%]	Karbonat-Gehalt [Gew.%]		
		< 5 %	≥ 5 %	≥ 10 %
≥ 5 %	≥ 25 %	Nein	Nein	Ja
< 10 %	∅	Nein	Nein	Ja
≥ 10 %	∅	Nein	Ja	Ja
≥ 20 %	∅	Ja	Ja	Ja

Tab. 2: Ausschlusskriterien zur Verwendung von Bodenmaterial zur Sicherung von schwermetallbelasteten, flachgründigen Sandstandorten

Ausschlusskriterien für den Einbau von Bodenmaterial
• Böden die nicht die Einbaukriterien erfüllen
• LAGA-Zuordnungswert > Z 1.1
• Schadstoffinventar, welches nicht am Einbaustandort vorhanden sind
• Schadstoffkonzentrationen oder Schadstoffmengen, die über denen des Einbaustandes liegen

### Ziel des Pilotprojektes

Durch das Einarbeiten des Mergels mittels Fräse in den belasteten Rieselfeldboden sollen hauptsächlich die folgenden Ziele erreicht werden (zusätzlich vgl. Hoffmann et al. 1999):

- Bildung von stabileren Bindungsformen der Schwermetalle im Boden und Reduzierung der Schwermetallverlagerung (Hoffmann & Renger 1998).
- Niedrigere Schadstoffkonzentrationen in der Bodenlösung führen zu einer Verringerung des ökotoxikologischen Potentials und einer Minderung von schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, deren Wurzeln sowie Mikroorganismen (Kandeler et al. 1998).
- Der erhöhte Schluff- und Tongehalt im Boden verbessert die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität und führt damit zu besseren Erfolgen bei der Aufforstung (Schlenther et al. 1996). Die Reduzierung der Grundwasserneubildung unter Wald führt über die Aufnahme von mobilen Schwermetalle und die Reduzierung der Sickerwassermenge, zu einer effektiven Verlangsamung der Schadstoffverlagerung.

Um das zu erreichen, darf die Mächtigkeit des kontaminierten Bereichs inklusive des für die Sicherung notwendigen Bodenauftrags 90 cm nicht überschreiten, da sonst eine Mischung nur mit unverhältnismäßig hohem technischen Aufwand zu realisieren ist.

### **Das Pilotprojekt auf dem Rieselfeld Buch**

Als Folge 100 jähriger Abwasserverrieselung, in den letzten 20 Jahren mit bis zu 10.000 mm/a, wurden im humosen Oberboden große Mengen Schwermetalle und organische Schadstoffe akkumuliert. Mineralisation von Humus und Klärschlamm sowie Bodenversauerung in den Jahren nach dem Ende der Abwasserverrieselung hat zu einer Remobilisierung von Schadstoffen geführt, welche in den ersten Grundwasserleiter verlagert wurden (Hoffmann & Renger 1998). Für PAK, Cd, Pb, Cu, Zn, SO<sub>4</sub> und NO<sub>3</sub> konnten Überschreitungen der Grundwasser-Schadenswerte der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) im versauerten Kapillarsaum sowie den oberen 50 cm des oberflächennahen Grundwassers festgestellt werden (Hoffmann et al. 1998). MKW überschritten mit 300 µg/L die Prüfwerte Boden-Grundwasser der BBodSchV (1999). Die AOX-Werte erreichten mit fast 100 µg/L deutlich erhöhte Konzentrationen.

Die geringen Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser und die starke Wasser Konkurrenz der Quecke am Standort haben zu erheblichen Problemen bei den Aufforstungsmassnahmen geführt. Zwischen 30 und 100 % der gepflanzten Bäume sind in den letzten Jahren abgestorben (Schlenter et al. 1996).

Seit April 1998 wurden etwa 60 ha ehemaliger Rieselgalerien mit Geschiebemergel (S: 69-79%, U: 14-18%, T: 7-14%; pH: 7,3; KAK: 140 mmol/kg; Karbonat: 11 %) in einer Schichtdicke von etwa 35 cm überdeckt. Bisher wurden etwa 20 ha, bis in eine maximale Tiefe von 90 cm gefräst. Um Schadverdichtungen zu vermeiden, wurden die anschließenden Pflanzmassnahmen ausschließlich in Handarbeit, durchgeführt. Es wurden verschiedene Bäume (Stieleiche, Winterlinde, Rot- und Hainbuche) gepflanzt und eine Gründüngung eingesät (Lupine, Phacelia, Senf, Sonnenblume).

Entlang eines 180 m langen Transektes wurde ein Monitoringprogramm auf der Pilotfläche eingerichtet, bei dem Beprobungen vor der Mergelaufbringung 1998 und nach dem Fräsen erstmals im Frühjahr 1999 durchgeführt wurden. Die Probenahme erfolgt in 10 m Abständen, welche im Bereich eines ehemaligen Einleiterbeckens (=hohe Belastung) bis auf 1 m verkürzt sind. Des Weiteren wird das Grundwasser über 12 Pegeln und die Oberflächengewässer an drei Wehren überwacht.

Parallel zu den Freilanduntersuchungen wurden Gefäßversuche durchgeführt. Dazu wurde Mergel mit Ah-Material des Rieselfeldes in den Verhältnissen 1:1 und 1:2 gemischt. Als Testpflanze für die SM-Aufnahme wurde Senf (*Sinapis arvensis*) eingesetzt.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-Lsg. Die Gesamt-Schwermetalle in Pflanzen und Boden wurden über einen HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluß (0,5 g Boden, 10 ml HNO<sub>3</sub>, 6 h bei 185°C im Teflontiegel) ermittelt. Die mobilen SM wurden durch vierstündiges Schütteln mit 0.1 M CaNO<sub>3</sub>-Lsg (1:2.5) bestimmt.

### **Ergebnisse & Diskussion**

Die Mischung mit Mergel führte zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserspeichereigenschaften der untersuchten Böden. Die nFK stieg für 10 dm Profiltiefe, von durchschnittlich 130 l/m<sup>2</sup>, auf ca. 200 l/m<sup>2</sup> an. Die Humusgehalte wurden entsprechend des Mischungsverhältnisses nachvollziehbar verdünnt. Sie betragen 1999 im Schnitt 4 %. Mit dem Mergel wurden umgerechnet etwa 830 t Kalk/ha ausgebracht. Das führte zu einer Erhöhung des pH-Wertes um etwa 2.5 Stufen auf 7,00 bis 7,50 (Abb. 1) und wird für langfristig stabile pH-Werte sorgen.

Durch Verdünnungseffekte wurden die SM-Gesamtgehalte um 60-70 % reduziert. Die mobilen SM-Anteile wurden, wahrscheinlich in erster Linie durch den pH-Einfluß, deutlich reduziert. Die Wirkung war bei Zn am deutlichsten ausgeprägt. Der mobile Anteil sank von durchschnittlich 35.4 % 1998, auf 0.5 % 1999 ab (Abb. 2). Bei Cd reduzierte sich der mobile Anteil von 21.6 % 1998, auf 2.6 % 1999 (Abb. 3). Bei Cu (Abb. 4) trat nur eine geringe Reduzierung der mobilen Anteile auf (1998: 0.5 %, 1999: 0,2 %). Ursächlich kann hier die erhöhte Mobilität von Cu-organischen-Komplexen sein, welche mit steigendem pH-Wert zunimmt (Nederlof & Van Riemsdijk 1995). 0.7 % des Gesamt-Pb war 1998 noch in der mobilen Fraktion messbar. Die Konzentrationen lagen 1999 unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Gefäßversuche zeigten für die SM-Gesamtgehalte eine nachvollziehbare Verdünnung bei der 1:1-Variante, bei der 1:2-Variante war der Effekt nicht mehr eindeutig nachzuvollziehen. Die hohe Pflanzenverfügbarkeit von Zn und auch Cd im Rieselfeldboden konnte durch die Mischung mit Lehm deutlich gesenkt werden (Tab. 1). Die niedrigen Cu- und Zn-Sprossgehalte in der 1:2-Variante könnten auf physiologische

Störungen im Wurzelbereich durch Cu-Toxizität hindeuten. Diese Variante wies auch Wuchsdepressionen und einen geringeren Biomassertrag auf. 1998 wurden vergleichbare Ergebnisse gemessen (Hoffmann et al. 1999)

Tab. 1: Königswasserlösliche SM-Gehalte und, pflanzenverfügbare SM-Gehalte im Bauaushub (Lehm) und Rieselfeldboden sowie deren Mischungen (mit Gülle-/Strohzusatz als Dünger) und SM-Gehalt im Spross auf diesen Böden (Versuchsreihe 1999)

	SM-Gesamtgehalte (m. Königswasser) [mg/kg TS]				pflanzenverfügbare SM (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> OAc) [mg/kg TS]				Sprossgehalte (sinapis alba) [mg/kg TM]			
	Cd	Cu	Ni	Zn	Cd	Cu	Ni	Zn	Cd	Cu	Ni	Zn
<b>Lehm (L)</b>	0,1	8	n.n.	46	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,14	3,72	n.n.	53,4
<b>Rieself. (R)</b>	4,3	55	18	224	n.n.	1,06	2,8	19,7	7,04	11,5	12,9	927,4
<b>L : R = 1 : 1</b>	3,0	36	14	165	n.n.	0,57		3,7	3,13	7,1	n.n.	196,6
<b>L : R = 1 : 2</b>	3,3	42	15	177	n.n.	0,75	0,9	5,4	4,3	7,7	n.n.	246,3

## Literatur

- BBodSchG (1998):** Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. Bundesgesetzblatt 17.3.1998 I: 502 ff.
- BBodSchV (1999):** Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt, vom 16.07.99 Teil I, 36: 1554-1582.
- DIN 19731 (1998):** Bodenbeschaffenheit – Verwendung von Bodenmaterial.
- Hoffmann C. & M. Renger (1998):** Schwermetallmobilität in Rieselfeldböden. Bodenökologie u. Bodengene 26: 30-39.
- Hoffmann C., B. Marschner & M. Renger (1998):** Influence of DOM-Quality, DOM Quantity and Water Regime on the Transport of Selected Heavy Metals. Phys. Chem. Earth 23(2): 205-209.
- Hoffmann, C.; R. Metz, O. Zeuschner, A. Jänicke & M. Renger (1999):** Verwendung von Bodenaushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 91(3): 1225-1228.
- Holzward, F.; H. Radtke, B. Hilger, G. Bachmann (2000):** Bundes-Bodenschutzgesetz/Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – Handkommentar. 2. Aufl. E. Schmidt Verlag.
- ISO-DIS 15176 (2000):** Einspruchsfassung „Soil quality – Requirements for characterization of excavated soil and other soil materials for re-use. Stand 21-2-2000.
- Kandeler E., D. Tschierko & G. Wessolek (1998):** Reaktion von Bodenmikroorganismen auf Bodenkontamination. Bodenökologie u. Bodengene 26: 100-107.
- KrW-/AbfG (1998):** Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Bundesgesetzblatt Teil 1, vom 22.6.98: 1485 ff.
- LABO (1997):** Anforderungen an die Verwertung von kultivierbarem Bodenmaterial. BVB-Materialien: 1. S. 1-37.
- LAGA (1997):** Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. 4. Aufl. Mitt. LänderAG Abfall 20: 1-96.
- Nederlof, M.M. & W.H. Van Riemsdijk (1995):** Effect of natural organic matter and pH on the bioavailability of metal ions in soils. in: Huang, P.M. et al. Environmental impact of soil component interactions. Vol. 2 – Metals, other inorganics and microbial activities. Lewis Publ., S. 75-86.
- Schlenker, L., B. Marschner, C. Hoffmann & M. Renger (1996):** Ursachen mangelnder Anwuchserfolge bei der Aufforstung der Rieselfelder in Berlin-Buch - bodenkundliche Aspekte. Verh. Ges. Ökol. 25: 349-359.
- SenStadtUm (1996):** Bewertungskriterien für die Beurteilung stofflicher Belastungen von Böden und Grundwasser in Berlin - Berliner Liste 1996. Amtsblatt für Berlin, vom 20.03.96, 46(15): 957-984.

## Danksagung

Wir danken Michael Facklam, Melanie Fielitz, Nadine Kurowski, Silke Pühringer, Susanne Schimpel, Anke Schwolow, Nevenka Stefancic und Kotan Yildiz für Ihre Mitarbeit im Labor sowie Jürgen Hömpler von der Fa. Fritsche Erdbau GmbH (Berlin) für ihre kollegiale Mitarbeit im Projekt.

Die Forschungsarbeit wird finanziert mit Mitteln des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie sowie des Europäischen Sozialfonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter der **Projektnummer 40208/1-ZÖW/O** gefördert