

II. Sanierung, Sicherung und Schutz von Boden bei schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten

Verwendung von Geschiebemergel-Aushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte

Christian Hoffmann¹, Holger Böken², Reinhart Metz³ & Manfred Renger¹

Einleitung

In einem Radius von etwa 25 km um die heutige Berliner City wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts Rieselfelder zur Nutzung der urbanen Abwässer angelegt. Auf etwa 20.000 ha wurde anfänglich noch landwirtschaftliche Produktion betrieben. Ab Mitte der 60er Jahre stand die Entsorgung der häuslichen und industriellen Abwässer im Vordergrund. Die etwa einhundertjährige Abwasserinfiltration führte zur drastischen Veränderung der Bodeneigenschaften. Akkumulation von organischer Substanz und Schadstoffen einerseits sowie eine Verarmung an Eisen und Mangan andererseits (BLUME ET AL. 1980, SCHLENTHER ET AL. 1996).

Über Jahrzehnte hat die Landbewirtschaftung und der kontinuierliche Zustrom von basischem Abwasser den größten Teil der Schwermetalle vor einer Verlagerung in das Grundwasser bewahrt. Mit der Inbetriebnahme des Klärwerkes Schönerlinde wurden die Rieselfelder um Buch überflüssig. Sie wurden nicht mehr beaufschlagt und zwischen 1984 und 1985 größtenteils eingeebnet. Die Bodenlockerung führte im Oberboden zu einer starken Mineralisation und Versauerung. Die pH-Werte sanken vom Neutralbereich auf aktuelle Werte von pH 4.5 bis 5.5, welche in Ausnahmefällen um ± 1 Einheit abweichen können. Im Unterboden fand eine Tiefenversauerung unterhalb von 150 cm statt, welche durch die Oxidation von Metallsulfiden induziert wurde.

Diese noch niedrigen pH-Werte im Unterboden sowie fehlende Sorptionsträger (Ton, Humus, Metalloxide) führen dazu, dass einmal mobilisierte Schwermetalle mit dem Sickerwasser bis in den ersten Grundwasserleiter transportiert werden. HOFFMANN ET AL. (1996) konnten belegen, dass bei einer mittleren Humusmächtigkeit von 20 cm, im Oberboden mobilisierte Schwermetalle innerhalb von maximal 1.5 Jahren bis in 4 m Tiefe anstehende Grundwasser verlagert werden können. Es finden sich bereits Schwermetallkonzentrationen im Kapillarsaum sowie den oberen Dezimetern des Grundwasserleiters, welche die Schadenswerte der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) deutlich überschreiten. Es wurden im Zeitraum 1993 bis 1998 mittlere Konzentrationen von bis zu 700 $\mu\text{g/L}$ Cd, 30.030 $\mu\text{g/L}$ Zn und 2.500 $\mu\text{g/L}$ Cu gemessen (MARSCHNER & HOFFMANN 2000).

Flächen mit jener beschriebenen Problematik (SCHLENTHER ET AL. 1995, BECHMANN 1996, Kratz 1996, SCHLENTHER ET AL. 1996, HOFFMANN & RENGGER 1998, HOFFMANN ET AL. 1998) stellen nach dem Brandenburger Landesabfallgesetz (§ 29.4) großflächige, kontaminierte Altlastenstandorte dar. Bei einer Orientierung an der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) bzw. der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) müssen Rieselfeldböden unter anderem als eine Gefährdung für die Schutzgüter Mensch und Grundwasser bewertet werden. Es besteht Handlungsbedarf, da sich die Schwermetalle derzeit noch größtenteils im Oberboden befinden, und Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen deswegen zurzeit noch einfacher und kostengünstiger durchzuführen sind.

Im Rahmen von Baumaßnahmen fallen in Berlin derzeit große Mengen von unbelastetem, lehmigen Geschiebemergel an, die zu einer Verbesserung des Schadstoffbindungsvermögens, als Sicherungsmaßnahme (im Sinne des § 5 Abs. 3 ff, BBodSchV 1999) auf Altlastenstandorten eingesetzt werden können. Damit wird gleichzeitig dem Verwertungsgebot des KrW-/AbfG § 4 Abs. 2 Rechnung getragen. Es ist vor und während der Maßnahme durch geeignete Kontrollmechanismen sicher zu stellen, dass es sich bei dem verwendeten Material um unbelasteten Geschiebemergel handelt um zusätzliche Bodenbelastungen auszuschließen.

Zur Vereinfachung der Terminologie wird in diesem Artikel, das Aufbringen des Mergels im Folgenden mit Überlehmung umschrieben auch wenn das Material Karbonat enthält.

¹ TU-Berlin, Inst. f. Ökologie & Biologie, FG Bodenkunde

² Umweltbundesamt, FG II 5.2

³ HU-Berlin, Inst. f. Pflanzenbauwissenschaften, FG Ackerbausysteme

Ziel der Maßnahme

Durch das Einarbeiten des Mergels in den belasteten Rieselfeldboden sollen vorrangig die folgenden sieben Ziele erreicht werden:

- Bildung von stabileren Bindungsformen der Schwermetalle im Boden sowie eine Reduzierung der Schwermetallverlagerung (WILKE ET AL. 1996, HOFFMANN & RENGER 1998).
- Verringerung des ökotoxikologischen Potentials und einer Minderung von schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, deren Wurzeln sowie Mikroorganismen durch niedrigere Schadstoffkonzentrationen in der Bodenlösung (KANDELER ET AL. 1998).
- Die Einbringung von Mergel in den Boden führt einerseits zu einer Düngung der vorhandenen Baumbestände und trägt andererseits zur langfristigen Erhöhung der Nährstoffspeicherfähigkeit sowie der Nährstofffreisetzung aus der Mineralverwitterung bei.
- Der erhöhte Schluff- und Tongehalt im Boden verbessert die Wasserspeicherkapazität und führt damit zu besseren Erfolgen bei der Aufforstung, da Wasser auf diesen Standorten in erster Linie den limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum darstellt (SCHLENTHER ET AL. 1996).
- Die schnelle Begründung gesunder Waldbestände führt, zum einen über die Reduzierung der Grundwasserneubildung, zum anderen über die Aufnahme von mobilen Schwermetalle mit dem Bodenwasser, zu einer effektiven Verlangsamung der Schadstoffverlagerung.
- Durch eine mindestens viermonatige Überlehmung kann die Quecke fast komplett verdrängt werden und somit für eine artenreichere Vegetation in der Krautschicht Raum geschaffen werden.
- Die Erhöhung des Tongehaltes im Boden führt zu einer Bildung von stabileren Bodenaggregaten. In Verbindung mit einem ausgeglicheneren Wasserhaushalt trägt das zu einem besseren Schutz gegen Winderosion bei.

Das Rieselfeld Buch

Fast 100 Jahre lang wurden in Berlin-Buch ungeklärte Abwasser verrieselt. In den letzten 20 Jahren bis zur Einstellung der Verrieselung im Jahr 1985 bis zu 10.000 mm/a. Heute finden sich auf den tonarmen, sandigen Ausgangssedimenten Regosole mit durchschnittlich 15-60 cm (teilweise bis 100 cm) mächtigen humosen Horizonten, welche eine hohe Schwermetall- und Organikabelastung aufweisen. Typische Schwermetallgehalte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Schwermetallkonzentrationen [mg/kg] im Oberboden (0-10 cm) des Berliner Bereichs des ehemaligen Rieselfeldes Buch (N = 298)

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Minimum	0,1	1	3	1	6	13
Maximum	44,3	1.850	876	285	452	3.584
Mittelwert	4.4	210	73	14	74	225
Median	2.0	128	49	9	59	153

Im Jahr 2000 wurden im Berliner Bereich der Bucher Rieselfelder 20 Bodenprofile analysiert. Die mittleren Organikagehalte liegen für PCB im Mittel bei 3,23 mg/kg (Max: 18,56 mg/kg). Die PAK-Konzentrationen betragen im Mittel 3,8 mg/kg (Max: 11,9 mg/kg). MKW wurden in mittleren Konzentrationen von 219 mg/kg gefunden (Max: 1591 mg/kg). Die höchsten Belastungen finden sich in den Ah-Horizonten und Klärschlambändern (0-30 cm bis 0-60 cm). Erhöhte Konzentrationen wurden bis in Tiefen von 120 cm gemessen. Die Werte liegen für PAK und PCB cirka um den Faktor fünf höher, als die von KRATZ (1992) ermittelten Werten und überschreiten bei PCB die Prüfwerte der BBodSchV (1999) für Park- und Freizeitanlagen.

Die Bodeneigenschaften in Buch (Tab. 2) sind im Besonderen durch die Mächtigkeit des Ah-Horizontes bestimmt, welche eine enge positive Korrelation zum Schwermetallgehalt aufweist. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,80 und 0,91. In Abhängigkeit von "Klärschlambändern", die in Mächtigkeiten zwischen wenigen Zentimetern und drei Dezimetern gefunden wurden, treten zusätzliche Extrembelastungen auf. Die Böden weisen eine mittlere KAK von 100-150 mmol/kg, bei einer etwa 50 %en Basensättigung auf. Der Unterboden > 45 cm ist durch unverwittertes stark sandiges, glazifluviales Material geprägt, das eine sehr geringe KAK bei sauren pH-Werten aufweist. Die Schwermetallgehalte entsprechen mit Ausnahme von Cd typischen Hintergrundgehalten für diese Region.

Tab. 2: Bodeneigenschaften eines typische Regosols mit Rieselgeschichte [FAO: Hortic Anthrosol]

Tiefe	Horizont	pH	C _{org}	KAK	BS	Cd	Cu	Pb	Zn
[cm]	[KA 4]	(CaCl ₂)	[g kg ⁻¹]	[mmol _c kg ⁻¹]	[%]	[mg kg ⁻¹]			
0-38	Ah	4,8	61	100	48	18,0	247	452	874
-45	Klärschl.	4,7	241	291	51	172,8	1.232	562	2.040
-110	C1	4,4	3	18	26	1,7	20	7	61
-180	C2	4,1	1	16	16	0,2	11	3	26

Zwischen 1985 und 1995 ist der pH-Wert von Rieselfeldböden in Buch von 7,5 auf 5,0 gesunken. Eine entscheidende Ursache für diese Versauerung ist die Mineralisation von Humus und Klärschlamm nach dem Ende der Verrieselung (HOFFMANN & RENGER 1998). Die pH-Absenkung hat zu einer Mobilisierung von Schwermetallen und deren Verlagerung in den ersten Grundwasserleiter geführt. Parallel dazu wurden durch die Mineralisation in großem Maße Nitrat, Sulfat und DOC gebildet und ebenfalls verlagert (Tab. 3). Die Tiefenversauerung wurde wahrscheinlich durch eine Oxidation von Sulfiden zu Sulfat, nach der Einstellung der Verrieselung, und dem Absinken der Grundwasserstände, verursacht. Sie führt dazu, dass mobilisierte Schwermetalle in der Tiefe nahezu nicht zurück gehalten werden und ähnlich wie ein konservativer Tracer mit dem Sickerwasser verlagert werden. Die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung überschreiten für Cd, Cu und Zn die Prüfwerte Boden-Grundwasser der BBodSchV (1999). *Die in Tab. 3 dargestellten Werte sind aufgrund ihrer Höhe alle in mg/l dargestellt!*

Tab. 3: pH-Werte und Elementkonzentrationen [mg/l] in drei Tiefen, in der Bodenlösung unterhalb einer Intensivfilterfläche des Rieselfeldes Buch. Mittelwert, Maximum und Minimum von monatlichen Beprobungen mit 12 Wiederholungen im Zeitraum 1993 bis 1997

		pH	DOC	NO ₃	SO ₄	Al	Cd	Zn	Cu
Mittelwert	50 cm	4,7	33	57	543	1,7	0,11	5,1	0,22
	100 cm	4,3	21	75	1.167	6,5	0,11	20,4	0,42
	180 cm	4,1	21	146	1.398	27,7	0,09	21,0	1,93
Min	50 cm	3,2	7	1,3	0	0,2	0,01	0,1	0,01
	100 cm	3,6	10	2,2	147	0,6	0,00	0,4	0,03
	180 cm	3,6	10	10,2	39	1,6	0,01	1,1	0,07
Max	50 cm	6,9	122	478	4.360	6	0,67	79	2,22
	100 cm	5,7	85	978	2.750	28	1,40	118	3,11
	180 cm	5,6	85	889	3.070	93	0,38	68	8,30

MKW und PAK wurden in allen Grundwasserpegeln nachgewiesen und überschritten mit 300 µg/L (MKW) bzw. 0,7 µg/L (PAK) ebenfalls die Prüfwerte Boden-Grundwasser der BBodSchV (1999). Die AOX-Werte erreichten mit fast 100 µg/L deutlich erhöhte Konzentrationen. Ein Prüfwert für diesen Summenparameter der halogenorganischen Verbindungen ist bisher nicht in der BBodSchV (1999) oder der Berliner Liste (SenStadtUm 1996) vorgesehen. PCB und Organochlor-Pestizide konnten im Grundwasser nicht nachgewiesen werden.

Die geringen Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser und die starke Wasserkonkurrenz 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 (SCHLENTHER ET AL. 1996). Neupflanzungen scheiterten ebenfalls. Nur die Kiefer konnte sich auf einigen Standorten entwickeln, zeigt jedoch Gelbspitzigkeit und Wuchsanomalien. Dies weist auf eine Schädigung durch Schwermetalle und Nährstoffmangel hin.

Material und Methoden

Ab April 1998 wurden zuerst in einem Pilotprojekt (HOFFMANN et al. 1998, 1999, 2000) 44.000 m³ Geschiebemergel (S: 69-79 %, U: 14-18 %, T: 7-14 %; pH: 7,3; KAK: 140 mmol/kg; Karbonat: 11 %) auf einer Gesamtfläche von 12 ha ausgebracht, das entspricht einer Schichtdicke von etwa 35 cm. Der Mergel stammt von den Baumaßnahmen zur Verlängerung der U-Bahnlinie 2 nach Pankow. Mit einer Verzögerung von etwa 4-6 Monaten wurden die Teilflächen bis in eine maximale Tiefe von 80-90 cm gefräst. Um Bodenschadverdichtungen zu vermeiden, wurden die anschließenden Pflanzmaßnahmen ausschließlich in Handarbeit, durchgeführt.

Es wurden verschiedene Baumarten (Stieleiche, Winterlinde, Rot- und Hainbuche) gepflanzt und eine Begrünung und Gründüngung eingesät (Lupine, Phacelia, Senf, Sonnenblume). Es wurden zwei Beprobungen entlang eines 180 m langen Transektes vor der Mergelaufbringung 1998 und nach dem Fräsen im Frühjahr 1999 durchgeführt. Die Probenahme erfolgte in 10 m Abständen, die im Bereich eines ehemaligen Einleiterbeckens (= hohe Belastung) bis auf 1 m verdichtet wurden.

Parallel zu den Freilanduntersuchungen wurden Gefäßversuche durchgeführt (METZ ET AL. 2000). Dazu wurde Mergel mit Ah-Material des Rieselfeldes in den Verhältnissen 1:1 und 1:2 gemischt. Als Testpflanze für die Schwermetallaufnahme wurde Senf (*Sinapis alba*) eingesetzt.

Die Bestimmung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 M CaCl_2 -Lösung. Die Schwermetallgehalte in Pflanzen und Boden wurden über einen HNO_3 -Druckaufschluss (0,5 g Boden, 10 ml HNO_3 , 6 h bei 185 °C im Teflontiegel) ermittelt. Die mobilen Schwermetalle im Freiland wurden durch vierstündiges Schütteln mit 0,1 M NH_4NO_3 -Lösung (1:2.5) bestimmt.

Seit 1999 werden weitere 80 ha Rieselfeld nach dem beschriebenen Vorgehen behandelt. Aktuell sind etwa 45 ha mit Mergel überdeckt (Stand: Juni 2000), 13 ha davon sind zwischenzeitlich gefräst worden.

Ergebnisse & Diskussion Freilanduntersuchungen

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/m², auf ca. 200 l/m² an. Die Humusgehalte wurden entsprechend des Mischungsverhältnisses nachvollziehbar verdünnt. Sie betragen 1999 durchschnittlich 4 %. Mit dem Mergel wurden ca. 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.

Die Lagerungsdichte zeigte nach Überlehmung und Fräsen einen deutlichen Anstieg des Medians von 1,20 g/cm³ auf etwa 1,60 g/cm³ (Abb. 2). Es konnten jedoch keine dauerhaften Schadverdichtungen festgestellt werden. In Abbildung 3 sind die mittleren Ergebnisse von Penetrometeruntersuchungen dargestellt, welche zeigen, dass sechs Monate nach dem Fräsen in einer Tiefe von 60 bis 80 cm Verdichtungen über dem kritischen Wert von 3,5 N/m² feststellbar sind. Ein Jahr später sind diese kritischen Werte fast nicht mehr feststellbar. Der Unterboden hat sich gelockert, der Oberboden weist einen leicht erhöhten Eindringwiderstand auf. Das deutet darauf hin, dass sich ein neues Bodengefüge bildet.

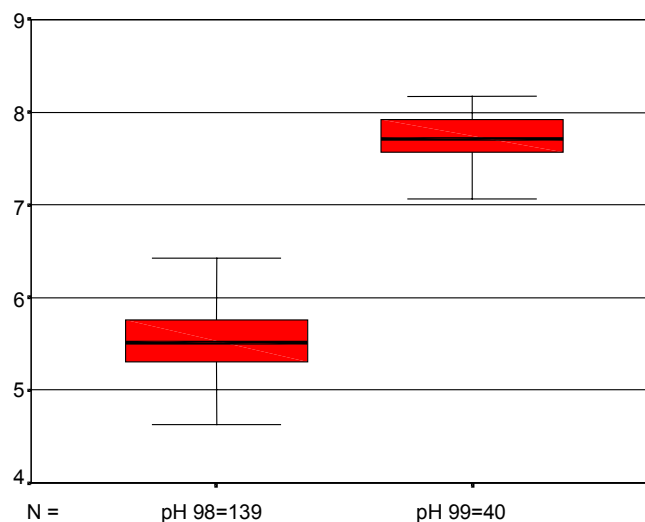


Abb. 1: pH-Werte in CaCl_2 auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

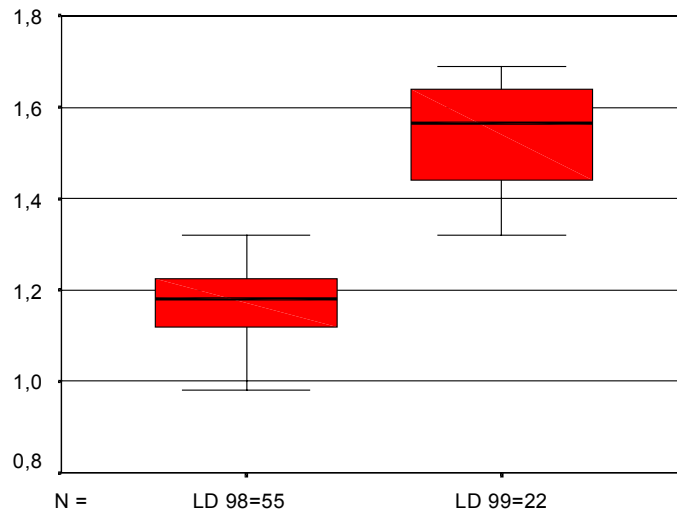


Abb. 2: Veränderung der Lagerungsdichte auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

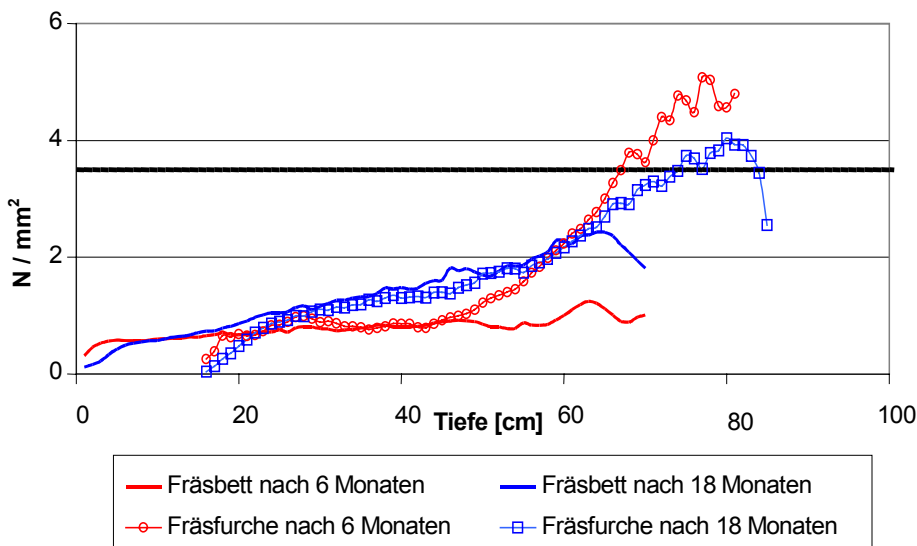


Abb. 3: Veränderung des Eindringwiderstandes 6 und 18 Monate nach dem Fräsen in Fräsbett und Fräsfurche

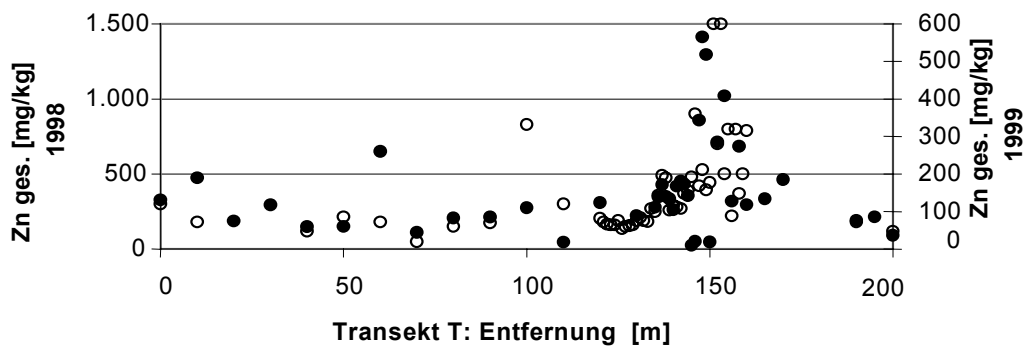


Abb. 4: Veränderung der Zink-Gesamtgehalte (HNO_3 -Druckaufschluss) auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

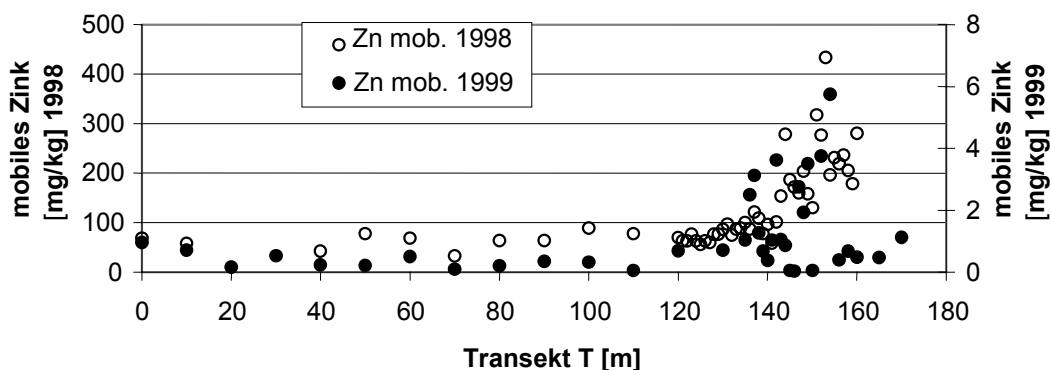


Abb. 5: Veränderung der mobilen Zink-Gehalte auf dem Transekt T vor der Überlehmung (Sommer 1998) und nach dem Fräsen (Frühjahr 1999)

Durch Verdünnungseffekte wurden die Gesamtgehalte an Schwermetallen um 60-70 % reduziert (Abb. 4). Die mobilen Schwermetallanteile 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. 5). Bei Cd reduzierte sich der mobile Anteil von 21,6 % 1998, auf 2,6 % 1999. Bei Cu 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 wichtigsten statistischen Parameter der Schwermetallkonzentration sind in Tabelle 4 dargestellt. Das 50 % Perzentil beschreibt dabei den Median.

Tab. 4: Maximum, Minimum, 25 % Perzentil, 75 % Perzentil und Median der mobilen Schwermetallkonzentrationen der Jahre 1998 und 1999 auf der Pilotfläche [in mg/kg].

	Cd 98	Cd 99	Zn 98	Zn 99	Cu 98	Cu 99	Pb 98	Pb 99
Minimum	4,5	0,8	5,2	0,2	0,1	0,1	0,3	n.n.
25% Perzentil	16,1	1,5	24,3	0,3	0,5	0,2	0,6	n.n.
50% Perzentil	22,5	2,5	29,7	0,5	0,6	0,2	0,7	n.n.
75% Perzentil	33,0	2,8	38,0	0,8	0,7	0,3	0,9	n.n.
Maximum	100,0	12,6	100,0	2,0	2,6	1,9	10,8	n.n.
Anzahl	118	35	118	35	118	35	52	35

Die Aktivität der Bodenmesofauna wurde mit Hilfe von Köderstreifentests (VON THÖRNE 1990) untersucht. Mit diesem Verfahren können in kurzer Zeit Fraßaktivitäten in großer Wiederholung gemessen werden um biometrisch auswertbare Daten zu erhalten (LARINK & KRATZ 1994). Die gemessenen Fraßraten unterschieden sich teilweise stark. Es wurden Aktivitäten zwischen 5 und 70 % gemessen. Eine Beziehung zu Schwermetallgehalten konnte nicht hergestellt werden. Entscheidend für die Aktivität der Bodenmesofauna waren eher die Lagerungsdichte und die Vegetation (HOFFMANN ET AL. 1999). Faunistische Untersuchungen wiesen insgesamt 52 Arten Spinnen mit 938 Individuen, 5 Arten Weberknechte mit 216 Individuen und 44 Laufkäferarten mit 650 Exemplaren bei der Beprobung von 7 Punkten des Transektes nach. In der Mitte der Pilotfläche fanden sich die niedrigsten Individuenzahlen. Die vorgefundenen Arten charakterisieren den Standort als gestörten, relativ jungen Sukzessionsstandort. Es zeichnet sich derzeit für die Spinnen eine Sukzession in Richtung Trockenrasenfauna ab. Bei den Laufkäfern ist diese Zöonose bereits erreicht. Für beide Tiergruppen finden sich bereits xerophile Arten (HOFFMANN ET AL. 2000). Die ausgesäten Stieleichen zeigen auch nach länger andauernden Trockenperioden in der zweiten Vegetationsperiode im Frühjahr des Jahres 2000 einen guten Wuchs. Das Gleiche gilt für Linde, Buche, Hainbuche und diverse Straucharten, welche als Setzlinge ausgebracht wurden. Das Hauptproblem für die Pflanzen stellt derzeit der Wildverbiss dar.

Ergebnisse & Diskussion Gefäßversuche

Die Gefäßversuche zeigten für die Schwermetallgesamtgehalte eine nachvollziehbare Verdünnung bei der 1:1-Variante, bei der 1:2-Variante war der Effekt nicht mehr eindeutig nachzuvollziehen (Tab. 5).

Tab. 5: Gesamtgehalte an Schwermetallen im Bauaushub (Lehm) und Rieselfeldboden sowie deren Mischungen (mit Gülle-/Strohzusatz als Dünger) und Schwermetallgehalte im Senfspross auf diesen Böden

	Schwermetallgesamtgehalt im Boden [mg/kg TS]				Schwermetallgehalte im Senfspross [mg/kg TS]			
	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb
Lehm (L)	0,4	13	23	13	0,2	6,5	110	0,4
Rieself. (R)	3,3	58	192	73	3,1	10,8	399	0,9
L : R = 1 : 1	1,9	30	138	44	1,4	9,8	138	0,8
L : R = 1 : 2	2,6	45	162	61	2,0	7,5	121	0,7

Die hohe Pflanzenverfügbarkeit von Zn und auch Cd im Rieselfeldboden konnte durch die Mischung mit Lehm deutlich gesenkt werden. Als Folge konnten, im Vergleich zum reinen Rieselfeldboden, um 36 % geringere Zinkgehalte, um 56 % niedrigere Cadmiumgehalte und um 38 % niedrigere Kupfergehalte in der 1:1 Variante nachgewiesen werden. 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 (METZ ET AL. 2000).

Mikrobiologische Aktivitätsparameter wie die CO₂-Freisetzung und die Zellulosezersetzung (n. UNGER 1962) im Verdünnungsboden zeigen mit dem Rieselfeldboden vergleichbare Werte. Das kann als Hinweis gedeutet werden, dass trotz der erheblichen Störung des Boden bei der Mischung, ein aktives mikrobielles Bodenleben vorhanden ist.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Überlehmung für flachgründig, schwermetallbelastete Böden eine gute Möglichkeit darstellt, Schadstoffe nachhaltig zu fixieren und damit deren Mobilität deutlich zu reduzieren. Über den Verdünnungseffekt durch das zugeführte Bodenmaterial werden gleichzeitig die Gesamtkonzentrationen abgesenkt. Trotz der erheblichen Störung durch das Fräsen stellt sich rasch wieder eine mikrobiologische Aktivität in den Böden ein. Das Pflanzenwachstum wird durch das erhöhte Wasser- und Nährstoffspeichervermögen begünstigt. Es konnten sogar Pflanzungen mittels Aussaat vorgenommen werden, welche bisher regelmäßig scheiterten.

Durch angepasste Frästechnik und bodenschonende Pflanzarbeiten mit der Hand konnte eine Schadverdichtung vermieden werden. Penetrometeruntersuchungen zeigen, dass der Boden inzwischen wieder ein eigenes stabiles Gefüge gebildet hat und Verdichtungen im Unterboden deutlich reduziert wurden.

Die Gefäßversuche zeigten, dass als Folge der Überlehmung eine deutliche Reduzierung des Belastungspfades Boden-Pflanze induziert wird. Damit ist langfristig gewährleistet, dass Standorttreue Tiere im Bereich der überlehmten Flächen in Zukunft weniger Schwermetalle mit der Nahrung aufnehmen.

Aus Sicht des Bodenschutzes sowie des KrW-/AbfG stellt die Überlehmung eine sinnvolle, kostengünstige und umweltschonende Nutzung von Restböden dar. Grundstückseigentümer können ihrer Sicherungspflicht gem. BBodSchG nach kommen und Baufirmen erfüllen die Anforderungen an eine Weiterverwertung von Bodenmaterial (DIN 19 731).

Ausblick

Bis zum Jahr 2002 sollen insgesamt 120 ha in der beschriebenen Vorgehensweise bearbeitet werden. Begleitend dazu werden weitere Felduntersuchungen zur Veränderung der Flora (Linienbonitur, Einfluss des Bodensamenpotentials) und zur Wiederbesiedelung der Flächen durch die Mesofauna (Barberfallen) durchgeführt. Der Schwermetalltransfer in krautige Pflanzen, die Fraßaktivität der Mesofauna (Köderstreifen-Test), die mikrobiologische Aktivität (CO₂-Freisetzung) sowie Toxizitätstest (Keimrollentest) und das kontinuierliche Monitoring des Grundwasser bilden weitere Untersuchungsschwerpunkte. Ein weiterer Schwerpunkt wird die Untersuchung der organischen Schadstoffe bilden. Dazu sollen die Informationen über das Belastungspotential im Rahmen der Profiluntersuchungen verdichtet werden und weiterführende Untersuchungen zum Einfluss der Überlehmung auf den Abbau und die Toxizität von organischen Schadstoffen gewonnen werden.

Literatur

- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt, vom 16.07.1999 Teil I, 36: 1554-1582.
- BECHMANN, W. (1996): Ausgewählte organische Schadstoffe im Rieselfeldgebiet Berlin-Süd. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg. Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101: 119-124.
- BLUME, H.-P.; R. HORN, F. ALAILY, A.N. JAJAKODY & H. MESHREF (1980): Sand Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with wastewater. *Soil Sci.* 130/4: 186-192.
- BÖKEN, H.; R. METZ & C. HOFFMANN (2000): Using Excavated Material for the Remediation of Sewage Farm Land in Berlin and Brandenburg. Tagung der US Environmental Protection Agency (EPA): Phytoremediation: State of the Science Conference and RTDF Annual Phytoremediation Action Team Meeting 1.-3.5.2000 Boston-MA, USA i. Druck
- HOFFMANN C. & M. RENGER (1998): Schwermetallmobilität in Rieselfeldböden. *Bodenökologie u. Boden-genese* 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, G. GINZEL & M. RENGER (1998): Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Abschlußbericht Projektphase 1. Im Auftrag der Berliner Forsten. 78 S.
- HOFFMANN C., S. PIEPER, R. METZ, H. BÖKEN, G. GINZEL & M. RENGER (1999): Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Abschlußbericht Projektphase 2. Im Auftrag der Berliner Forsten. 49 S.
- HOFFMANN C., S. PIEPER, R. METZ, H. BÖKEN, R. PLATEN & G. WESSOLEK (2000): Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Ergänzender Bericht zu den bodenbiologischen und -zoologischen Untersuchungen der Projektphase 2: Schadstoffimmobilisation auf der Forstfläche in Buch. Im Auftrag der Berliner Forsten. 50 S.
- HOFFMANN, C.; C. BOWO & M. RENGER (1996): Untersuchungsergebnisse der bodenökologischen Messstation in Berlin-Buch 1995. Forschungsgutachten im Auftrag der Berliner Forsten. 44 Seiten.
- HOFFMANN, C.; M. HAJNOS, Z. SOKOLOWSKA, G. JOZEFACIUK, B. MARSCHNER & M. RENGER (200x): Behaviour of sewage farm soils under various irrigation solution compositions in a column experiment. 2. Heavy metal and their leaching. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.* (in Vorb).
- HOFFMANN, C.; M. RENGER, M. HAJNOS, Z. SOKOLOWSKA, G. JOZEFACIUK & B. MARSCHNER (1999): Behaviour of sewage farm soils under various irrigation solution compositions in a column experiment. 1. Solid phase physiko chemical properties. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde* 162/6: 653-659.
- KANDELER, E., D. TSCHERKO & G. WESSOLEK (1998): Reaktion von Bodenmikroorganismen auf Bodenkontamination. *Bodenökologie u. Bodengenese* 26: 100-107.
- KRATZ, W. (1992): Analyse von organischen Schadstoffen in Böden von den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch. Abschlußbericht im Auftrag der Berliner Forsten. 65 S.
- KRATZ, W. (1996): Untersuchungen zu organisch-chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung 101: 109-118.
- KrW-/AbfG (1998): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen. Bundesgesetzblatt Teil 1, vom 22.06.1998: 1485 ff.
- LARINK, O. & W. KRATZ (1994): Köderstreifen-Workshop in Braunschweig – ein Resümee. *Braunsch. Naturkd. Schrift.* 4: 643-651.
- MARSCHNER, B. & C. HOFFMANN (2000): Mobilization of heavy metals in soils on a former sewage treatment farm. 1. Internationale Tagung der SUITMA der ISSS/JUSS: Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, Essen 12.07.-18.07.2000. i. Druck
- METZ, R.; C. HOFFMANN & R. BÖKEN (1999): Verwendung von unbelastetem Bodenaushub zur Sicherung großflächig schadstoffkontaminierter Flächen. Mengen- u. Spurenelemente. Beiträge d. 19. Arbeitstagung 3.-4.12.1999 Jena. Verl. H. Schubert Leipzig. 541-546.
- METZ, R.; R. BÖKEN, C. HOFFMANN & M. RENGER (2000): Verwendung von unbelastetem Bodenaushub zur Sicherung flachgründig schadstoffkontaminierter Flächen in Berlin und Brandenburg. Umweltschonende Bodennutzungsstrategien im nordostdeutschen Tiefland – Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung von Agrarlandschaften. *Ökolog. Hefte d. Landw.-Gärt. Fakult.* 12: 129-134.
- 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.
- SCHLENTHER, 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.
- SCHLENTHER, L.; C. HOFFMANN, M. RENGER (1995): Verteilungsmuster von Nähr- und Schadstoffen innerhalb einer ehemaligen Rieselfeldgalerie. *Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges.* 76/I: 293-296.
- 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.

- VON THÖRNE, E. (1990): Schätzungen der Fressaktivität bodenlebender Tiere. II Mini-Köder-Test. *Pedobiologia* 34: 269-279.
- WILKE, B.-M., R. METZ & M. MUß (1996): Bodenüberdeckung und Bodenmischung zur Herabsetzung des Schwermetalltransfers beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Rieselfeldern. Tagungsband: Rieselfelder in Berlin und Brandenburg. *Landschaftsentwicklung u. Umweltforschung* 101: 119-124.

Danksagung

Wir danken Vaclav Brant, Dr. Gerhard Einhorn, Christine Ehrlicher, Michael Facklam, Melanie Fielitz, Irene Hahn, Dr. Wilfried Hübner, Nadine Kurowski, Christoph Maerker, Sibylle Nöther, Silvia Pieper, Christine Pühringer, Anke Schwolow, Susanne Schimpel, Nevenka Stefancic und Kotan Yildiz für ihre Mitarbeit. Der beteiligten Baufirma Fritsche Erdbau GmbH (Berlin) sei an dieser Stelle für die kooperative Unterstützung bei den Forschungsarbeiten gedankt.



Die Forschungsarbeiten werden mit Mitteln des Landes Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, sowie des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter der **Projektnummer 40208/1-ZÖW/O** gefördert.

Christian Hoffmann
Prof. Dr. Manfred Renger
TU-Berlin, Institut für Ökologie & Biologie
FG Bodenkunde
Salzufer 12, 10587 Berlin
Tel.: (030) 314-21722, e-mail: christian.hoffmann@tu-berlin.de

Holger Böken
Umweltbundesamt, FG II 5.2
Postfach 33 00 22; 14191 Berlin
Tel.: (030) 8903 2356, e-mail: holger.boeken@uba.de

Prof. Dr. Reinhard Metz
HU-Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
FG Ackerbausysteme
Dorfstr. 9, 13051 Berlin
Tel.: (030) 9627 5510