

Boden - Pflanzentransfer und Ertragsbeeinflussung durch Schadstoffe auf Klärschlammeinsatzflächen

R. Metz¹; H. Böken¹ und Ch. Hoffmann²

¹) Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich Gärtnerische Fakultät, FG Ackerbausysteme; ²) Techn. Universität Berlin, FG Bodenkunde

Zusammenfassung

Auf Verwertungsflächen von kommunalen Abprodukten sind in der Vergangenheit unkontrolliert Schadstoffe in den Boden eingetragen worden, die zu einer Belastung für Böden, Pflanzen, Tier und Mensch werden können.

Mit den bisher bekannten ökonomisch und ökologisch vertretbaren Verfahren ist eine Dekontamination nicht großflächig möglich. Mit dem Anbau von biomassereichen Nutzpflanzen entstehen zwar belastete Ernteprodukte, die Entsorgung des Bodens bleibt dagegen gering. Vorgeschlagen wird deshalb, die Nutzung belasteter Böden dem Kontaminationsgrad anzupassen und damit Transferpfade zu Grundwasser, Pflanze, Tier und Mensch zu unterbrechen.

1 Problematik

Die bisherige Praxis der Klärschlammverwertung hat in den letzten Jahrzehnten einen deutlichen Wandel erfahren. Bis Anfang der 70er Jahre war die Nutzung der organischen Substanz und der Pflanzennährstoffe ein erfolgreiches Konzept und wurde großflächig angewendet. Auch später war die hohe Ertragswirksamkeit ein wesentlicher Grund für den Einsatz von Klärschlamm auf Ackerflächen, obwohl bereits Anfang der 80er Jahre mit einer Klärschlammverordnung (1982) wegen der erkannten Nebenwirkung durch unerwünschte Inhaltsstoffe Restriktionen wirksam wurden. Verschärft wurden diese Bestimmungen durch eine neue Abfall-Klärschlamm-Verordnung (1992) sowie die Bundesbodenschutzverordnung (1999). Ziel dieser Anwendungsaufgaben und -beschränkungen ist der Schutz der Biosphäre vor Schadstoffanreicherungen. Dabei wird berücksichtigt, daß es in Deutschland viele großflächig belastete Standorte gibt, die mit herkömmlichen Mitteln und Verfahren nicht zu sanieren sind. Von diesen Flächen gehen auf lange Sicht Gefahren für das Grundwasser, das Ökosystem Boden und durch den Boden-Pflanzentransfer auch für die Gesundheit von Mensch und Tier aus.

2 Begriffserklärung

Unter Boden wird die Vielzahl der geologisch begründeten und anthropogen beeinflussten Pflanzenstandorte zusammengefaßt, die sich in ihrem Sorptionsverhalten, in ihrer Zusammensetzung (auch den Schadstoffgehalten) sowie der Mächtigkeit von einzelnen Schichten und Horizonten extrem unterscheiden. Ebenso versteht man unter "Pflanzen" eine Vielzahl von Herkünften, Arten und Sorten, die in der Bereitschaft zur Schadstoffaufnahme in einzelne Pflanzenorgane erheblich different sind. Letztlich ist auch der Sammelbegriff "Schadstoffe" eine Zusammenfassung von anorganischen Naturstoffen (Schwermetalle umfassen etwa 50% der Elemente des Periodensystems) und organischen Fremdstoffen, die durch ihre Konzentration und ihre Wechselwirkung im Boden sehr unterschiedlich pflanzenwirksam werden.

Während man die Böden nach ihrer Sorptionskraft in den belasteten Horizonten ausreichend gut differenzieren kann, sind bei den Pflanzen andere als die bekannten botanischen Unterteilungen erforderlich.

Zur besseren Beurteilung des Schadstofftransfers ist es vorteilhaft nach "Akkumulator-", "Indikator-", und "Exkluder-" -pflanzen bzw. -pflanzenorganen zu unterscheiden (Tab. 1).

Tab. 1: Einteilung ausgewählter Pflanzen (-organe) nach ihrer Schwermetall-(Cd-) aufnahme

Getreidekorn (Ro>G>W)	Haferstroh	Blätter von Futterrüben
Buschbohnen (Korn)	Grünhafer	Salat
Mais (Kolben)	Maisstengel	Spinat
Kartoffeln (Knollen)	Möhrenwurzeln Blumenkohlblätter	Kartoffeln Sellerieknollen
Exkluder (-)	Indikator (-)	Akkumulatorpflanzen/organe
Pflanzengehalt niedriger	entsprechend	höher als Bodengehalt

Dabei ist die Schadstoffkonzentration in den Pflanzen oder Pflanzenorganen bei Exkluderpflanzen geringer, bei Indikatorpflanzen entsprechend und bei akkumulierenden Arten bzw. Sorten höher als der Bodengehalt. Das heißt, es kommt auf die Nutzung des Standortes bzw. auf den Verwendungszweck der Biomasse an, welche Fruchtarten anzubauen sind (Tab.1). Zusätzlich ist dabei zu beachten, welche Elemente im Boden dominieren, weil zwischen

phytotoxischen (z.B. Kupfer, Nickel, Zink) human- und zootoxischen (z.B. Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei) zu unterscheiden ist.

Die Schwermetalle sind außerdem nach ihrer Löslichkeit und damit der Pflanzenverfügbarkeit zu unterteilen in Elemente mit größerer Löslichkeit (Cd, Ni, Zn) und Elementen mit stärkerer Bindung an organische Substanz oder Tonpartikel (Cr, Cu, Pb, Hg). Zusätzlich erschwert wird diese Einteilung durch auftretende Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Böden, Pflanzen und unterschiedlichen Schadstoffen, die auch wieder von der Konzentration, dem pH-Wert und weiteren Standortfaktoren abhängig sind.

3 Ertragsbeeinflussung

Feld- und Gefäßversuche auf mit Abwasser- und Klärschlämmen belasteten Rieselfeldern von Metz und Wilke (1993) im Berliner Raum (lehmiger Sandboden) zeigten einen deutlichen, fruchtartenspezifischen Ertragseinfluß in Abhängigkeit von der Bodenbelastung (Abb. 1). Der Versuch war auf der Basis des humantoxischen Elementes Cd ausgelegt, wobei die Ertragsdepressionen auf die korrespondierenden Cu- (10-539 mg/kg) und Zn-Gehalte (34-1800 mg/kg) zurückzuführen sind.

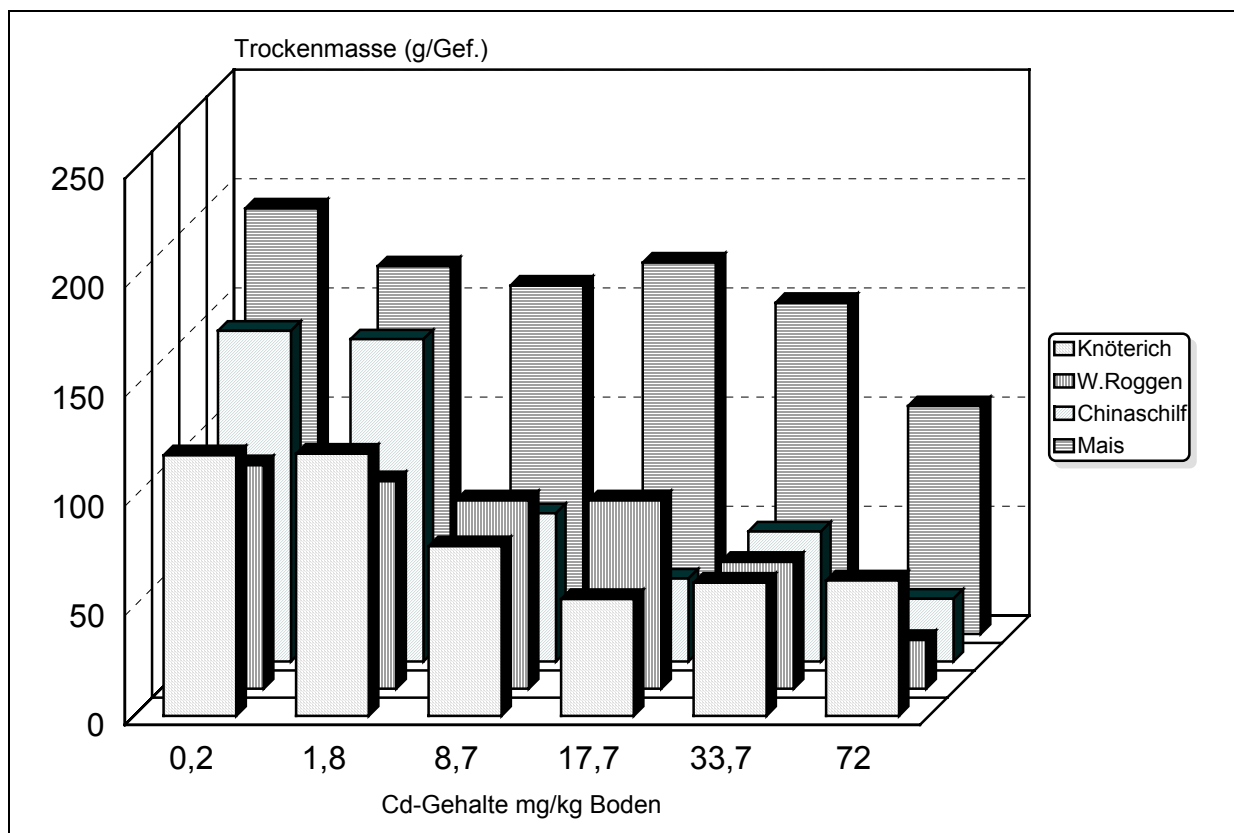


Abb.1: Ertragsbildung von Chinaschilf, Mais, Sachalinknöterich und Winterroggen bei steigender Schadstoffbelastung des Bodens (berechnet auf der Basis Cd-Gehalt)

Da es sich um Kontaminationen mit unterschiedlichen Abwasserinhaltsstoffen handelt, war die Interpretation der Ergebnisse erst nach weiteren Gefäßversuchen möglich, in denen einem schwachbelasteten Boden die Einzelemente und Einzelstoffe in der Höhe tatsächlich auftretender Belastung zugeführt wurden. Als Ursachen für phytotoxische Wirkungen konnten die Elemente Zink, Kupfer und Nickel bei etwa doppelt bis dreifach höherer Konzentration erkannt werden, wie sie heute durch die Bodenschutzverordnung als Vorsorgewerte für Sandböden definiert sind. Zusätzlich traten Wechselwirkungen zwischen organischen und mineralischen Schadstoffen auf, die zu einer Wirkungsverstärkung führten (Abb. 2).

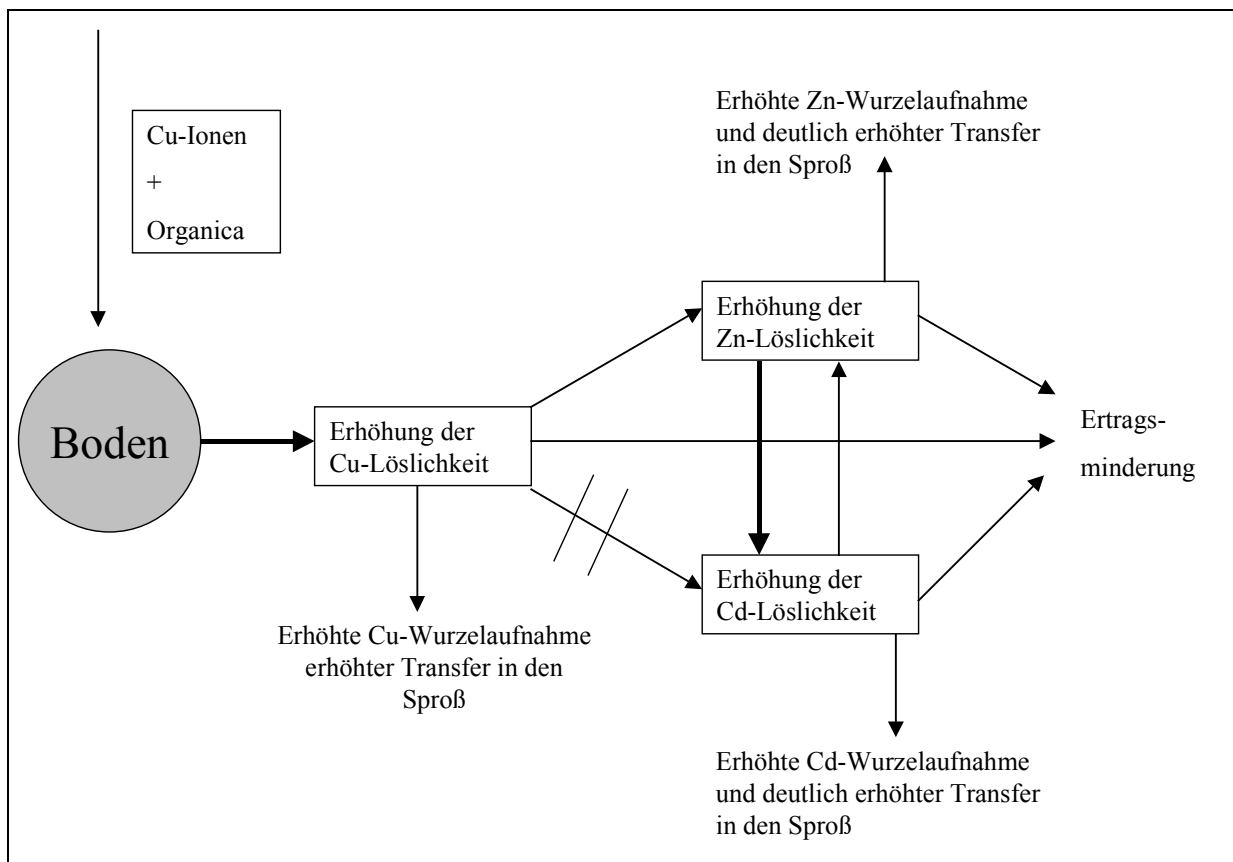


Abb.2: Wechselwirkungen verschiedener Schadstoffe im Boden (nach Dorn, 1995; unveröffentlicht)

Anders als bei der Ertragsbildung verhielten sich in der Tendenz die Pflanzengehalte, wobei die Fruchtarten sehr unterschiedlich reagierten. Die Cd-Aufnahme korrelierte bei Mais und Chinaschilf nur bis zu einer mittleren Belastungsstufe mit den Bodengehalten (Abb. 3).

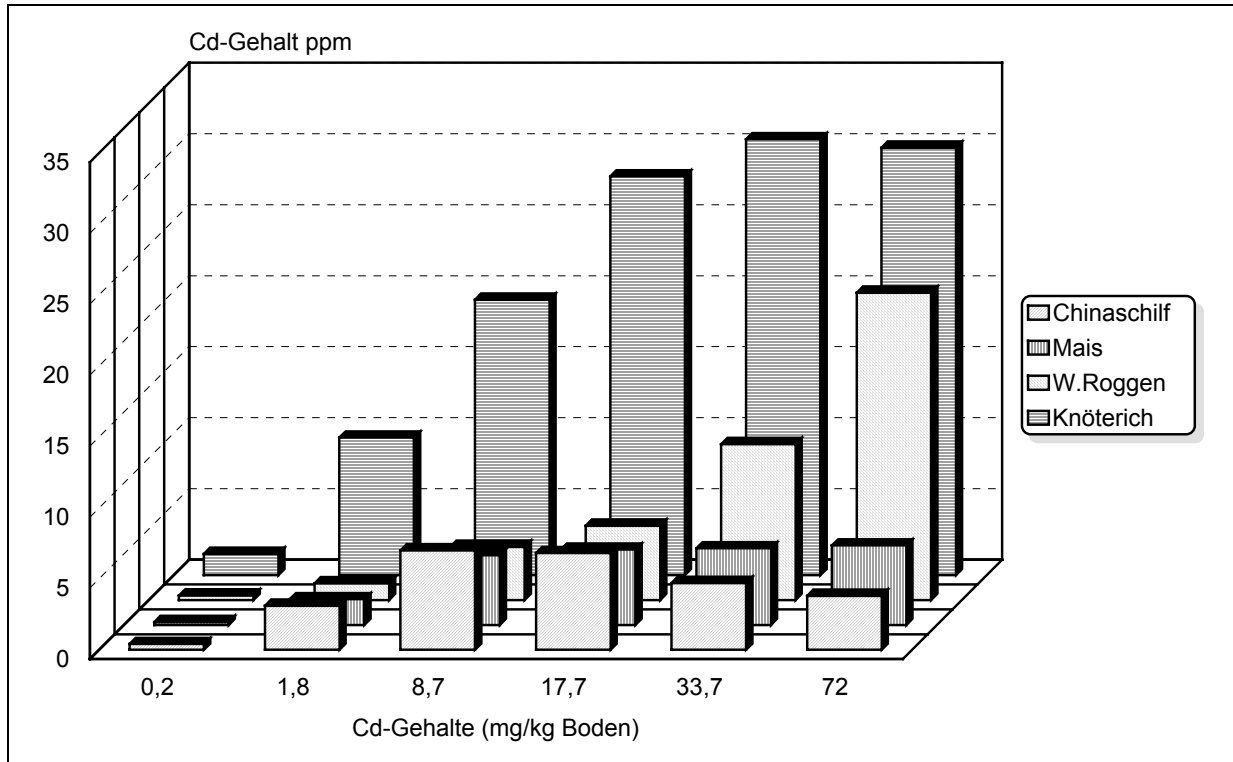


Abb. 3: Cd-Gehalte v. Chinaschilf, Mais, Sachalinknöterich und W. Roggen in Abhängigkeit v. Belastungsgrad des Bodens

Die Elemente Pb und Cu zeigten andere Beziehungen. Da sich aus dem Produkt von Ertrag und Pflanzengehalt der mögliche Entzug (Dekontaminationsleistung) ergibt, wird verständlich, daß nur bei höherer Biomasseleistung eine Bodensanierung eintreten könnte. Beide Datenreihen zeigen dagegen eine negative Korrelation. Die sanierende Wirkung durch Pflanzenentzug bleibt deshalb sehr gering und ist auf höher belasteten Böden auch langfristig noch wenig erfolgversprechend (Abb. 4).

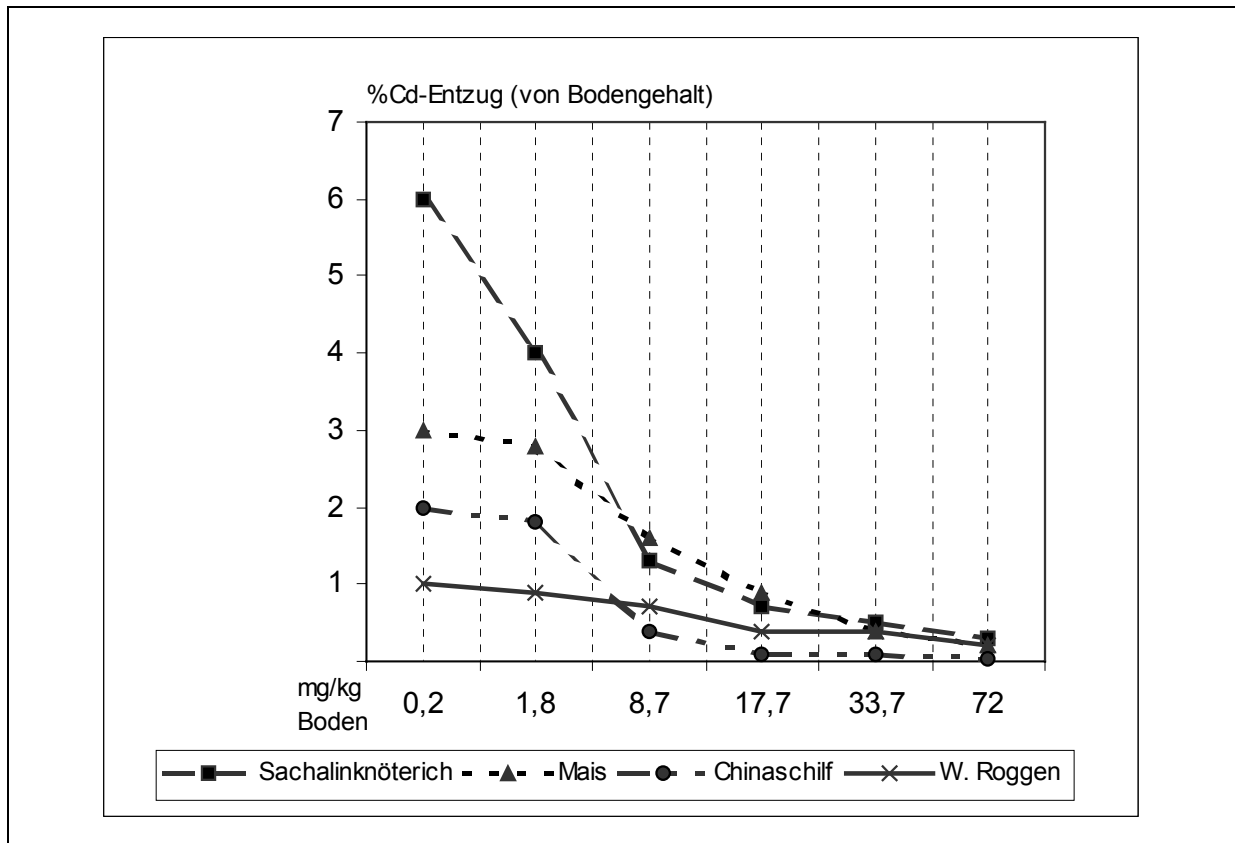


Abb. 4: Cd-Entzug aus dem Boden (% zum Ausgangsgehalt durch die Prüfpflanzen)

Obwohl sich die "Pflanzen" in der Aufnahme sehr elementspezifisch verhalten, bleibt das Ergebnis in der Tendenz für die Elemente und die Pflanzenarten bestehen.

4 Lösungsansätze zur Nutzung schwermetallbelasteter Böden

Da die Möglichkeiten zur Dekontamination belasteter Böden durch Pflanzenentzug sehr begrenzt bleiben, sind Methoden zur Vermeidung des Schadstofftransfers Boden-Grundwasser bzw. Boden-Pflanze erforderlich. Die bisher bekannten Empfehlungen zur Erhöhung des pH-Wertes bzw. der organischen Bodensubstanz haben eine standortabhängig befristete Wirkung, weil boden- und witterungsbedingte Mineralisierungsvorgänge den Ausgangszustand immer wieder herstellen.

In engem Zusammenhang mit der Festlegung von Bodenschadstoffen sind die Verfahren zur Verminderung der Sickerwasserbildung zu sehen. Durch geschlossene Pflanzenbestände (Grünversiegelung, Forst) ist es möglich, Schadstoffe weitgehend im Wurzelbereich der Pflanzen zu halten und den Eintrag in das Grundwasser zu vermindern.

Letztendlich bleibt als langfristig nachhaltigste Variante zur Vermeidung der Schadstoffverschleppung die Anpassung der Nutzung an den Belastungsgrad des Bodens.

Auf schwachbelasteten Standorten ist der Anbau von biomassereichen Nutzpflanzen im Non-Food-Bereich möglich. Auf die Sauberkeit der Ernteprodukte ist zu achten. Bei Futterpflanzen ist die Beweidung (Schmutzaufnahme) zu vermeiden und der Direktverzehr von Nahrungspflanzen ist wegen der möglichen Schadstoffbelastung auszuschließen. Eine Dekontamination der Schadstoffe ist bei Vermeidung eines Neueintrages langfristig möglich.

Auf höher belasteten Flächen (Überschreitung der Maßnahmewerte nach der BBodSchV) ist die Sanierung bzw. Sicherung der Flächen zur Gefahrenabwehr erforderlich.

Eine langfristig wirksame und nachhaltig sanierende Wirkung verspricht auf flachgründig schadstoffbelasteten Böden der Eintrag von unbelasteten kalkhaltigem, sorptionsstarkem Erdaushub, wie er auf Baustellen mit lehmhaltigem Unterboden anfällt (Tab. 2).

Tab. 2: Veränderung der Schwermetallgehalte (SM-Gehalte) [mg/kg] in einem Rieselfeldboden durch Mischung mit lehmhaltigem Erdaushub sowie deren Auswirkungen auf die Schwermetallaufnahme im Senfsproß (1999)

	SM-Gesamtgehalte			Mobile SM-Gehalte (NH ₄ NO ₃)			SM-Pflanzengehalte		
	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
Lehm	0,09	7,60	46,25	<0,01	0,03	0,01	0,14	3,72	53,41
Rieselfeld	4,25	54,75	224,25	0,12	0,45	9,33	7,04	11,46	927,39
Mischung 1:1	3,03	36,00	164,5	0,02	0,36	0,24	3,13	7,05	196,56
Rückgang %	29%	34%	27%	83%	20%	97%	56%	39%	79%

Nach ersten Erfahrungen ergibt sich in Abhängigkeit von dem Bodenauftrag und der Einarbeitungstiefe eine Verdünnung der Schadstoffkonzentration um etwa 30% (bei 60-80cm Frästiefe) und ein Rückgang der Schwermetalllöslichkeit um 20% (Cu) bis nahezu 100% (Zn). In ähnlicher

Weise reagieren die Pflanzen mit einem Rückgang der Aufnahmemenge von 39% (Cu) bis 79% (Zn) (Hoffmann et al. 1999 und Böken et al. 2000).

Diese Methode eignet sich nur zur Anwendung auf flachgründig belasteten Standorten und wird weiter wissenschaftlich begleitet, mit dem Ziel, aus dem bisherigen Pilotprojekt (20 ha) ein praxisreifes Verfahren zu entwickeln.

Literatur

- Anonym, (1999). B. Bod. SchV. Bundesbodenschutz und Altlastenverordnung. Bundesgesetzblatt vom 16.07.99 Teil I,36,1554-1582
- Anonym, (1992). Abf./Klär-V Klärschlammverordnung. Bundesgesetzblatt I, S. 912
- Böken, H.; R. Metz und C. Hoffmann (2000): Using excavated Material for the Remediation of Sewage Farm Land in Berlin and Brandenburg. EPA-Proc.: Phytoremediation - State of the science Conf., Bosten/Mass. 1.-2.5.2000 (in press)
- Hoffmann, C., u. a., (1999). Verwendung von Bodenaushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Band 91, Heft 3, S. 1225-1228
- Metz u. Wilke, (1993). Anbau verschiedener Nutzpflanzen zur Dekontamination schadstoffbelasteter Rieselfeldböden. in Arendt u.a .Altlastensanierung 93. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherland, S. 969-970