

# Schwermetalle in der Nahrungskette, im Pfad Boden-Pflanze-Tier-Mensch

Metz, R.<sup>1</sup>; Böken, H.<sup>1</sup> und Hoffmann, Ch.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, Dorfstr.9, 13051 Berlin;

<sup>2</sup>) Techn. Universität Berlin, FG Bodenkunde

Die räumliche Konzentration von Produktionsstätten, Dienstleistungseinrichtungen und Gewerbezentren - aber auch sich ausdehnende Siedlungsgebiete - haben in Deutschland zu einem hohen Anfall von Abprodukten geführt. Als Rohstoffe aus natürlichen Lagerstätten gewonnen, verarbeitet oder veredelt, gelangen sie letztlich über gasförmige, flüssige oder feste Stoffe in den Boden zurück. Großflächig sind Deponieflächen, Produktionsstandorte, Abwasser- und Klärschlammverwertungsgebiete kontaminiert worden, was örtlich zu erheblichen Belastungen der Stoffkreisläufe führen kann und so ein Problem der Hygiene und des Umweltschutzes darstellt.

Mit der verbesserten Kenntnis über toxische Wirkungen von Schwermetallen (und anderen Schadstoffen) wurde bereits Anfang der 80er Jahre die erste Verordnung zum Schutz des Schadstofftransfers vom Boden in die Pflanze mit verbindlichen Grenzwerten geschaffen (Klärschlammverordnung, 1982). Präzisiert und dem neuen Wissen angepaßt wurden diese Regelungen mit weiteren Restriktionen in der Abfall-/ Klärschlammverordnung (1992) sowie nach Bodenschutzrecht in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999).

Viele belastete Standorte sind mit herkömmlichen Mitteln und Verfahren nicht mehr zu sanieren. Von diesen Flächen können auf lange Sicht Gefahren für das Grundwasser, das Ökosystem Boden und durch den Boden-Pflanze-Transfer auch für die Gesundheit von Mensch und Tier ausgehen.

Die wissenschaftliche Behandlung dieser Problematik wird erschwert, weil es sich bei "Böden", "Schwermetallen", "Pflanzen" und "Tieren" jeweils um Sammelbegriffe handelt, die sehr unterschiedlichen Einflüssen und Wechselwirkungen unterliegen und dadurch sehr verschieden reagieren.

## Definitionen und Begriffe

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 (Bohne)	Grünhafer	Salat
Mais (Kolben)	MaisStängel	Spinat
Kartoffeln (Knolle)	Möhrenwurzeln	Kartoffeln
	Blumenkohlblätter	Sellerieknollen
Exkluderpflanze	Indikatorpflanze	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. Cu, Ni, Zn) human- und zootoxischen (z.B. Cd, Cu, Hg, Pb) Elementen zu unterscheiden ist.

Die Bezeichnung "Tiere" umfasst Lebewesen mit unterschiedlichen Verzehrsgewohnheiten, Verdauungssystemen und Reaktionen auf das Nahrungsangebot. Außerdem sind im Tierkörper Filterorgane zum Schutz der Lebensfunktionen eingebaut (Leber, Niere), die auf kontaminierten Standorten auch überlastet werden können.

Die Schwermetalle sind außerdem nach ihrer Löslichkeit und damit der Pflanzenverfügbarkeit zu unterteilen in Elemente mit größerer Löslichkeit (Cd, Ni, Zn) und Elemente 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.

### Schwermetalltransfer Boden-Pflanze

Der Schadstofftransfer Boden-Pflanze ist seit etwa 30 Jahren in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben. Eigene Untersuchungen bestätigen die Aussage, dass hohe Bodengehalte fruchtartenspezifisch auch zu hohen Pflanzengehalten führen (Abb. 1).

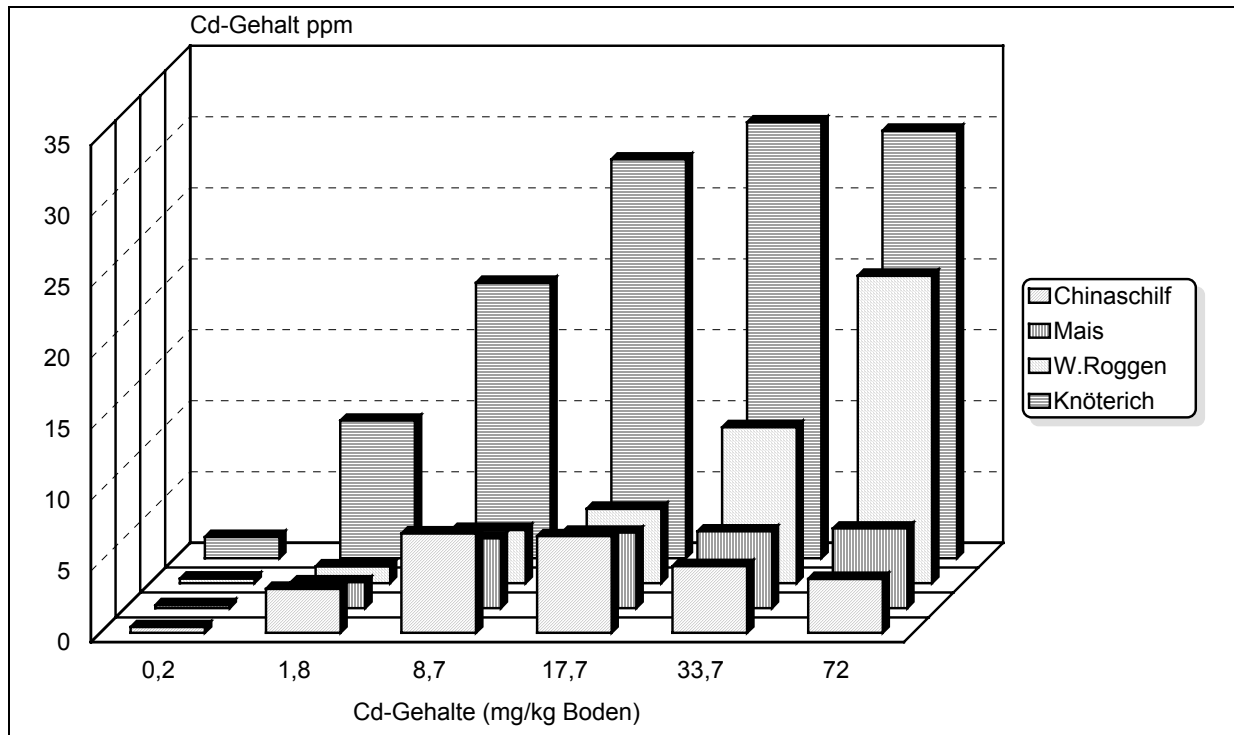


Abb. 1: Cd-Gehalte v. Chinaschilf, Mais, Sachalinknöterich und W. Roggen in Abhängigkeit v. Belastungsgrad des Bodens (Metz und Wilke, 1993)

Insbesondere die Schwermetallaufnahme der Pflanzen scheint weitgehend aufgeklärt, wobei Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Elementen und das Zusammenwirken unterschiedlicher Schadstoffgruppen noch wenig erforscht sind (Abb. 2). Die Vielzahl der Einflussmöglichkeiten und Reaktionen im Boden macht eine umfassende Aufklärung dieser Vorgänge unmöglich.

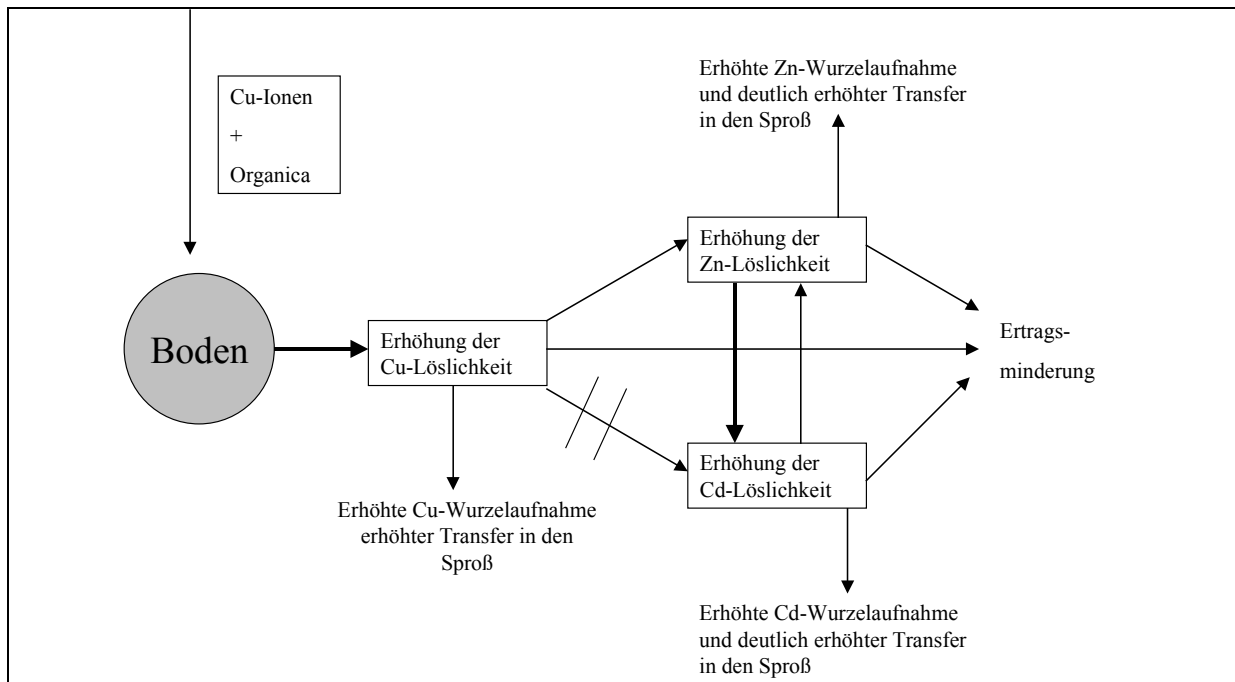


Abb. 2: Wechselwirkungen verschiedener Schadstoffe im Boden (nach Dorn, 1995; unveröffentlicht)

Die Heterogenität von Böden und Bodenbelastungen - häufig auf engstem Raum (Rieselfelder, Deponieflächen) - erschwert eine Verallgemeinerung der Aussagen zum Boden-Pflanze-Transfer zusätzlich und macht die Notwendigkeit einer belastungsabhängigen Bodennutzung deutlich (Abb. 3).

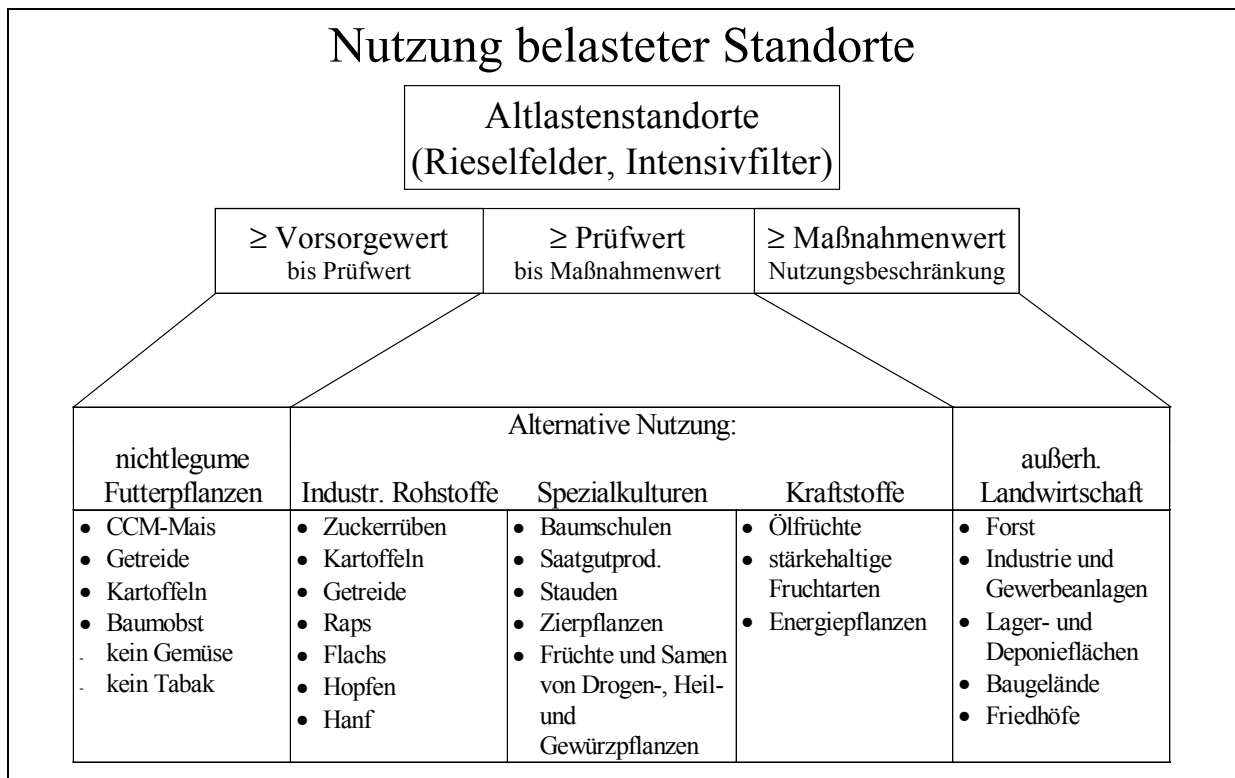


Abb. 3: Nutzung belasteter Standorte, am Beispiel ehemaliger Rieselfelder und Intensivfilter, hinsichtlich der Unter- bzw. Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten nach BBodSchV.

Während durch eine kontrollierte Nutzung belasteter Flächen im Non-Food-Bereich Gefahren für den Menschen weitgehend ausgeschlossen werden können, ist der Eintrag von Schadstoffen über den Pfad Wildpflanzen-Wildtiere-Nahrungsmittel nicht auszuschließen. Untersuchungen von bestandesdominierenden Wildkräutern und -gräsern in einem ehemaligen Rieselfeldgebiet haben die artenabhängige und sehr differenzierte Schwermetallbelastung bestätigt (Tab. 2).

Tab. 2: Schwermetall-Gehalte [mg/kg TS] in Wildpflanzen auf einem gering belasteten Rieselfeld- sowie einem hoch belasteten Rieselfeldboden (nach Hoffmann 1999)

	Boden belastung	Beifuß		Hundskamille		Hohlzahn		Weißer Gänsefuß		Quecke	Windhalm
		Blatt	Stängel	Blatt	Stängel	Blatt	Stängel	Blatt	Stängel	Blatt + Stängel	Blatt + Stängel
<b>Cd</b>	-gering	3,31	2,87	4,09	6,52	3,69	3,27				2,50
	-hoch	6,18	5,33	7,37	9,90	4,11	4,09	10,21	4,54	2,48	2,43
<b>Cr</b>	-gering	10,76	2,06	1,63	0,76	1,64	0,81				2,90
	-hoch	8,21	1,22	5,73	2,37	2,90	0,82	8,95	5,80	9,10	2,85
<b>Cu</b>	-gering	27,72	11,44	18,01	13,85	14,76	7,77				9,59
	-hoch	42,53	11,50	18,45	9,91	13,56	7,36	24,93	13,19	12,37	6,90
<b>Ni</b>	-gering	18,62	11,45	11,46	8,96	15,17	8,98				7,09
	-hoch	21,42	10,67	16,80	8,66	19,72	9,81	17,15	9,98	10,32	9,33
<b>Pb</b>	-gering	9,10	0,75	8,18	0,84	11,48	8,17				0,56
	-hoch	9,90	4,94	8,60	2,15	11,10	8,58	11,44	8,23	4,92	4,46
<b>Zn</b>	-gering	80,73	26,59	87,99	44,81	110,73	83,77				35,42
	-hoch	82,44	28,69	141,49	68,06	104,86	85,83	428,89	82,38	59,84	83,18

Die Schwermetallgehalte in der Pflanze können zu einer Überschreitung der Futtermittelricht- bzw. der Lebensmittelgrenzwerte führen. Der Schwermetalltransfer vom Boden in die Pflanze schränkt daher die Verwertbarkeit der pflanzlichen Biomasse stark ein und verlangt verstärkte Kontrollmechanismen auf kontaminierten Böden. Die Verantwortlichkeit ist in den §§ 4 und 8 (1) BBodSchG sowie den §§ 3 und 4 BBodSchV festgelegt.

### Schwermetalltransfer Pflanze-Tier

Die Kontamination von Futterpflanzen auf schwermetallbelasteten Standorten hat zwangsläufig auch einen verstärkten Eintrag in den Tierkörper zur Folge. Untersuchungen von Grün (1989) haben erhöhte Schwermetallgehalte in Organen von Milchkühen nachgewiesen, die in der Grundfuttermittellieferung vorwiegend mit Rieselfeldgras versorgt wurden (Tab. 3).

Tab. 3: Cd-Gehalt [mg/kg TS] verschiedener Organe und Kot von Milchkühen nach dem Verzehr von mehr als 50% der Ration Rieselgras (nach Grün, 1989)

Organ	Alter Jahre	Cd-Gehalt [mg/kg TS]	Überschreiten Lebensmittelgrenzwert in %
<b>Nieren</b>	3 - 4	7	58
	5 - 7	13	71
	> 7	27	85
<b>Leber</b>	3 - 4	1,4	0
	5 - 7	1,9	19
	> 7	3,5	38
<b>Muskel</b>	3 - 4	0,28	0
	5 - 7	0,3	0
	> 7	0,33	33
<b>Kot</b>	unbelastetes Gebiet	0,22	
	belastetes Gebiet	6,6	

Die Filterorgane Leber und Niere sind mit zunehmendem Alter der Tiere auch stärker belastet, während im Muskelfleisch die Lebensmittelgrenzwerte nicht überschritten werden. Der Kot der Tiere ist im Rieselfeldgebiet auch höher belastet und kann bei der organischen Düngung zu einer Verschleppung von Schwermetallen auf angrenzende Flächen führen.

Auch bei Wildtieren in Rieselfeldgebieten konnte Langgemach (1995) eine hohe Belastung von Nieren und Lebern nachweisen, während das Muskelfleisch weitgehend unbelastet blieb (Tab. 4).

Tab. 4: Überschreitung der Unbedenklichkeitsgrenze nach der Fleischhygiene-Verordnung (in %; bei n=50) von Tieren auf Rieselfeldern im Raum Buch (nach Langemach und Grün 1995)

	Reh	Wildkaninchen	Rinder
<b>Cadmium</b>			
Niere	50	100	71
Leber	3,5	37,5	19
Fleisch	-	-	-
<b>Blei</b>			
Niere	3,5	22,5	
Leber	1,7	32,5	
Fleisch	-	-	

Während man in der Nutztierhaltung den Futtereinsatz kontrollieren kann, ist die Nahrungsaufnahme von Wildtieren weitgehend unkontrollierbar.

## **Lösungsansätze zur Vermeidung von Gefahren**

Der Schadstofftransfer Boden-Pflanze-Tier-Mensch auf belasteten Standorten kann deutlich reduziert werden durch:

- 1 Belastungsabhängige Nutzungskonzeptionen.
  - Schwachbelastete Standorte (bis in Höhe der Prüfwerte BBodSchV) können multifunktional genutzt werden.
  - Schadstoffneueintrag ist zu vermeiden.
  - Auf den Anbau von akkumulierenden Pflanzen sollte verzichtet werden.
  - Belastete Böden (Überschreiten des Prüfwertes jedoch unterhalb des Maßnahmenwertes) können im Non-food-Bereich (Rohstoff- und Energiepflanzenanbau) genutzt werden. Ernte- und Produktionsrückstände müssen ggf. kontrolliert entsorgt werden.
  - Hochbelastete Standorte (Überschreiten des Maßnahmenwertes) müssen im Zuge der Gefahrenabwehr durch Sicherungs- oder Dekontaminationsmaßnahmen saniert werden und kommen für die landwirtschaftliche Nutzung nicht in Frage, Wildtiere sind durch Ansaaten von schmackhaften Exkluderpflanzen im Randbereich von der Aufnahme belasteter Wildkräuter abzulenken.
  - Kleinflächig belastete Standorte sind auszugrenzen und als pflanzliche Biotope vor Schadstoffverschleppung zu schützen.
- 2 Erhalten oder Verbesserung der Sorptionskraft des Bodens. Dem Absinken des pH-Wertes und der verstärkten Mineralisierung der organischen Bodensubstanz ist gegenzusteuern. Deshalb ist die kontrollierte Bewirtschaftung belasteter Standorte der beste Schutz vor unkontrollierter Verschleppung von Schadstoffen.
- 3 Auswahl von Pflanzenarten und Sorten für die eine geringe Schadstoffaufnahme in Pflanzenorgane für die menschliche Ernährung nachgewiesen ist.
- 4 Entwicklung von Verfahren zur nachhaltigen Reduzierung des Schadstoffgehaltes im Boden bzw. des Schadstofftransfers Boden-Pflanze. (Einmischen von Ton, Lehm oder anderen Sorptionsträgern in belastete Bodenhorizonte).

## Zusammenfassung

Auf Einsatzflächen 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. Durch den Anbau von Exkluderpflanzen oder nachwachsenden Rohstoffen wird der Übertritt von Schadstoffen in ein anderes Umweltmedium wirkungsvoll vermindert. Durch meliorative Maßnahmen, wie das Erhalten oder Verbessern der Sorptionskraft von Böden sowie Verfahren zur nachhaltigen Reduzierung des Schadstofftransfers, werden belastete Standorte gesichert. Vorgeschlagen wird deshalb, die Nutzung belasteter Böden dem Kontaminationsgrad anzupassen und damit Transferpfade zu Grundwasser, Pflanze, Tier und Mensch zu unterbrechen.

## Literatur

- Anonym, (1999): Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).  
Bundesgesetzblatt vom 16.07.99 Teil I, Nr. 36, S. 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., Boston/Mass. 1.-2.5.2000 (in press)
- Grün, M.; Machelett, B.; Kronemann, H.; Podlesak, W.; Metz, R.; Martin, M.-L. und Schneider, J. (1989): Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete. Ergebnisdokumentation zum Forschungs- und Entwicklungsbericht, IPE Jena
- 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
- Langgemach, T.; Deutrich, V.; Metz, R. (1995): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Wildtieren aus ehemaligen Rieselfeldflächen. Tierärztliche Umschau 50, 480-490
- Metz, R. und B.-M. 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