

Das Zusammenwirken von organischen und mineralischen Schadstoffen beim Boden-Pflanze-Transfer auf einem aufdotierten Rieselfeldboden im Gefäß

Reinhart Metz, Jana Dorn und Berndt-Michael Wilke

Synopsis

Combined effects of organic and mineral pollutants to soil-plant transfer on artificially enriched original sewage field soil in pots

Together with polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and heavy metals, other elements and compounds as well as nutrients are present in typical contaminated areas like sewage fields. The mixture of pollutants in extremely contaminated fields cause synergistic effects resulting in yield reduction and increase of pollutant contents in plants. Therefore the aim of the present report is to show combined effects of selected organic pollutants (benzo-a-pyren, 2,2',5,5' tetrachlorbiphenyl) and heavy metals (cadmium, copper) on biomass production and pollutant uptake by plants. Rye, maize and potatoes were cultivated in pots on weakly polluted sewage field soil (R) and artificially enriched variants of this soil with said pollutants. Plants on all enriched variants by copper showed significant yield reductions. The yield reductions were connected with high copper and cadmium contents of plants. Addition of copper in combination with organic pollutants to soil R the copper contents of plants were significant higher and the copper availability for plants in soil of these variants increased. Cadmium caused significant yield reductions of potatoes and maize. The availability for plants of cadmium in the soil R increased by addition of copper. Damages by cadmium in roots of plants led to higher contents of 2,2',5,5' tetrachlorbiphenyl in sprout of plants.

Cadmium, Kupfer, PAK, PCB, Wechselwirkungen, Pflanzenaufnahme, Biomasseertrag, Schwermetall-pflanzenverfügbarkeit im Boden

cadmium, copper, PAH, PCB, interactions, plant uptake, biomass production, availability of heavy metals for plants in soil

1 Einleitung

Rieselfelder sind kombiniert schadstoffbelastete Ökosysteme und weisen oft eine große Ausdehnung und enorme Heterogenität auf. Stoffgruppen mit ubiquitärer Verbreitung und besonderer Akkumulationstendenz in Rieselfeldböden sind u.a. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Schwermetalle (SM). Bei Untersuchungen hinsichtlich ökosystemarer Konsequenzen dieser Gefahrstoffe wurden bisher vor allem Einzelstoffbetrachtungen angestellt bzw. mehrere Vertreter einer Stoffgruppe berücksichtigt. Ursache für Ertragsdepressionen und Minderungen der mikrobiellen Aktivität auf hochbelasteten Flächen ist aber eine Komplexwirkung der verschiedenen Bodeneinhaltsstoffe. Wechselwirkungen innerhalb einer und zwischen den verschiedenen Stoffgruppen sind zu vermuten. Ein Zusammenwirken im Sinne einer Wirkungsverstärkung ist möglich. Im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes sollte deshalb durch Einzelstoff- und Mischanreicherung eines schwachbelasteten Rieselfeldbodens (R) mit PAK-, PCB- und SM-Vertretern (Benzo-a-pyren [BaP], 2,2',5,5' Tetrachlorbiphenyl [PCB 52 nach BALLSCHMITER & ZELL 1980], Cadmium [Cd] und Kupfer [Cu]) ein Beitrag zur Auftrennung deren kombinierter Wirkung auf den Ertrag und die Schadstoffaufnahme von Pflanzen geleistet werden. Das Auffinden von Wechselwirkungen der Stoffe untereinander war dabei das Ziel.

2 Material und Methoden

Der für die Untersuchungen ausgewählte sandige Versuchsboden R (92 Masse % Sand) ist gekennzeichnet durch einen pH-Wert von 5,3 (in CaCl_2), einen Humusgehalt von 3,4% mit einem C/N-Verhältnis von 9,8 sowie durch für gering belastete Rieselfeldböden typische SM-Gehalte (Gesamtgehalte Königswasseraufschluß Cd: 4,9 mg/kg TS, Cu: 61,6 mg/kg TS) und eine schwache PCB 52- bzw. BaP-Belastung (0,02 mg/kg TS bzw. 0,12 mg/kg TS). R wurde im Versuch in 13 Varianten sowohl einzeln mit PCB 52, BaP, Cd und Cu als auch mit Kombinationen dieser organischen Schadstoffe und SM jeweils in Höhe der

entsprechenden Gehalte eines hochbelasteten Riesel-
feldbodens (GB) angereichert (Tab. 1). Auf diesem
GB-Boden konnten METZ & WILKE (1993) eine ge-
ringe Biomassebildung und hohe Schadstoffgehalte
bei verschiedenen Pflanzen nachweisen, d.h. hier lie-
gen die für unsere Untersuchungen ausgewählten
Stoffe in einer Höhe vor, bei der sie kombiniert eine
Schadwirkung erzielen. Die SM wurden in Form
leicht löslicher Acetatverbindungen zugegeben, um
durch eine aktuell hohe Verfügbarkeit in der Boden-
lösung sicht- bzw. meßbare Einzel- und Kombina-
tionseffekte hervorzurufen. Die organischen Schad-
stoffe konnten nach ihrer Lösung in Aceton und Ver-
teilung auf 1 kg Seesand in die jeweilige Menge R
eingemischt werden. Nach abgeschlossener Kontami-

nation erfolgte eine dreimonatige Lagerung der Bö-
den im Freien unter Feuchthaltung (Alterung). An-
schließend wurden Roggen (*Secale cereale*), Mais
(*Zea mays*) und Kartoffeln (*Solanum tuberosum*)
zweijährig in Mitscherlichgefäßen (6 kg Boden / Gefä-
ß) auf den Varianten geprüft. Die Düngergaben
(1 g N / 0,5 g P / 1 g K) waren für alle Gefäße einheit-
lich, ebenso erfolgte eine konstante Wasserversor-
gung (etwa 60% der Wasserkapazität).

Zum Zeitpunkt des Füllens der Gefäße wurden
die königswasserlöslichen SM-Gehalte nach DIN 38414
und jeweils zu Vegetationsbeginn die mobilen und
leicht nachlieferbaren SM-Anteile (Summe wird als
pflanzenverfügbarer Anteil bezeichnet) durch stufen-
weise Extraktion mit 1M NH₄NO₃ und 1 M NH₄
Acetat nach ZEIN & BRÜMMER (1989) im Boden
der einzelnen Varianten ermittelt. Mit den Untersu-
chungen der einzelnen Pflanzenorgane auf SM (2 g
Pflanzenmaterial nach Veraschung mit 1M HNO₃ auf-
geschlossen) konnte deren Transfer und Lokalisie-
rung zum Zeitpunkt der Ernte erfaßt werden. Die
SM-Bestimmung in den jeweiligen Extraktions- bzw.
Aufschlußlösungen erfolgte mittels AAS-Flammen-
technik. BaP in Boden- und Pflanzenmaterial wurde
mittels HPLC mit FD und PCB 52 durch GC mit
ECD bestimmt.

Tab. 1
Bezeichnung und Erläuterung der Versuchsvarianten.

Table 1
Numbers of experimental variants and discriptions.

Varianten- bezeichnung	Anreicherung von R mit
R	—
1	PCB 52 auf 0,3 mg/kg TS (GB-Wert)
2	BaP auf 0,9 mg/kg TS (GB-Wert)
3	Cd auf 51,5 mg/kg TS (GB-Wert)
4	Cu auf 526 mg/kg TS (GB-Wert)
5	Cd und PCB 52 auf GB-Werte
6	Cu und PCB 52 auf GB-Werte
7	Cd und BaP auf GB-Werte
8	Cu und BaP auf GB-Werte
9	Cd, Cu und PCB 52 auf GB-Werte
10	Cd, Cu und BaP auf GB-Werte
11	Cd, Cu, PCB 52 und BaP auf GB-Werte
12	Cd, PCB 52 und BaP auf GB-Werte
13	Cu, PCB 52 und BaP auf GB-Werte

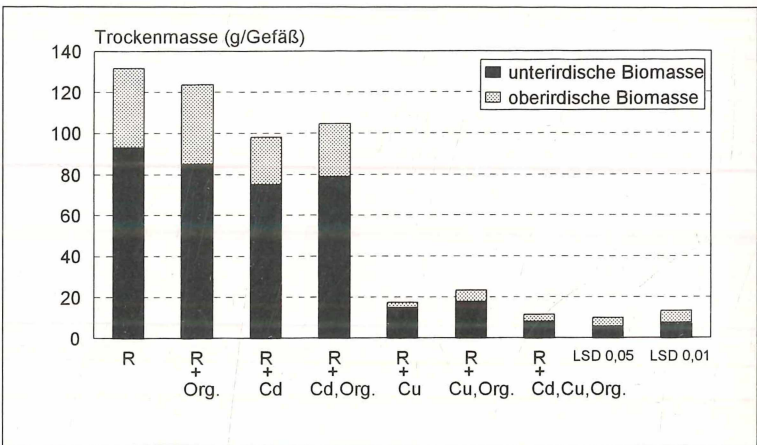
3 Ergebnisse

3.1 Biomasserträge

Wie schon von DORN & al. (1997) für Roggen im 1. Ve-
getationsjahr beschrieben, reagierte dieser sowie die
Fruchtarten Mais und Kartoffeln in beiden Versuchs-
jahren mit signifikanten Ertragsdepressionen auf der
Cu-Einzelstoffanreicherung und allen Cu-Mischanrei-
cherungsvarianten von R (siehe Abb. 1). Aufgrund ge-
ringer Unterschiede sind sowohl in Abb. 1 als auch

Abb. 1
Ertrag auf den Versuchsvari-
anten (Mittel von zwei Jah-
ren) ohne Berücksichtigung
der Pflanzenart
Org. = PCB 52 bzw. (und) BaP;
LSD (mittels t-test bei 5% und
1%).

Fig. 1
Yield on experimental
variants (mean values of two
years) without consideration
of plant type
Org. = PCB 52 or (and) BaP;
LSD (using t-Test at 5% and 1%).



bei den Ergebnissen zu den SM-Pflanzengehalten, Versuchsvarianten mit vergleichbaren Wirkungen zusammengefaßt. R + Org. sind die Varianten 1 und 2 (vgl. Tab. 1) und R + SM, Org. sind die jeweiligen SM-Varianten kombiniert mit PCB 52 bzw. (und) BaP (z.B. R + Cu, Org. = Varianten 4, 6 und 13 aus Tab. 1). Im Boden dieser Cu-Belastungen konnten unmittelbar vor Beginn der Pflanzentests Störungen der fruchtbarkeitsbestimmenden Leistungen von Mikroorganismen (verringerte Cellulosezerersetzung und N-Mineralisierung) nachgewiesen werden (DORN & al. 1997). Ursache dafür und für die extreme phytotoxische Wirkung war die Erhöhung des Cu-Bodengehaltes auf 526 mg/kg TS.

Auf die Einzelstoffanreicherung von R mit PCB 52 bzw. BaP (R + Org.) reagierte die Gesamtpflanze (Wurzel/Knolle + Sproß) mit keiner negativen Ertragsbeeinflussung. Anders wie für Roggen im 1. Vegetationsjahr ermittelt, zeigten sich in den beiden Versuchsjahren ohne Berücksichtigung der Pflanzenart signifikante Ertragsminderungen auf der Cd-Einzelstoffanreicherung von R und allen kombiniert mit Cd und organischen Schadstoffen belasteten Varianten. So führte ein Cd-Gesamtbodengehalt von 51,5 mg/kg TS beim Mais zu einem 30%-igen Ertragsrückgang. Diese Ertragsminderung war geringer, wenn neben Cd auch PCB 52 bzw. (und) BaP zu R gegeben wurden. Für die Versuchspflanze Kartoffel wurden Er-

tragseinbußen um fast 50% durch Anreicherung von R mit Cd auch in Kombination mit den beiden organischen Schadstoffen ermittelt, für die allein Cd verantwortlich war.

3.2 Schwermetallgehalte in den Pflanzen

Wie bereits beim Roggen im 1. Vegetationsjahr nachgewiesen (vgl. DORN & al. 1997), konnten im Mittel von beiden Versuchsjahren für alle drei geprüften Fruchtarten signifikant höhere Cu-Pflanzengehalte bestimmt werden, wenn R neben Cu auch mit PCB 52 bzw. (und) BaP angereichert wurde (vgl. in Tab. 2 die Cu-Pflanzengehalte auf R + Cu und R + Cu, Org.). Der Cu-Transfer vom Boden in die Pflanzenwurzel war auf R + Cu, Org. erhöht (Transferfaktor für Cu [TF_{Cu}] Boden-Wurzel [rechnerisch Cu-Wurzelgehalt/Cu-Bodengehalt] auf R + Cu = 1,0 und auf R + Cu, Org. = 1,3), die Weitergabe an den Pflanzensproß dagegen gleich (TF_{Cu} Wurzel-Sproß auf R + Cu = 0,06 und auf R + Cu, Org. = 0,06). Die im Boden der Varianten R + Cu, Org. jeweils zu Vegetationsbeginn nachgewiesene erhöhte Cu-Pflanzenverfügbarkeit (Tab. 2 extrahierbare Cu-Anteile) gegenüber der Variante R + Cu hat bei den Pflanzen zu einer erhöhten Cu-Aufnahme in die Wurzeln geführt, verbunden mit höheren Cu-Sproßgehalten. PCB 52 bzw. (und)

Tab. 2
Cu- bzw. Cd-Gesamtgehalt sowie NH₄NO₃- und NH₄-Acetat-extrahierbares (extr.) Cu bzw. Cd im Boden der Versuchsvarianten (mg/kg TS) jeweils zu Vegetationsbeginn und Cu- bzw. Cd-Pflanzengehalte (mg/kg TS) ohne Berücksichtigung der Pflanzenart im Gefäßversuch auf diesen Varianten (Mittelwerte von zwei Jahren).

Table 2
Copper or cadmium total contents and copper or cadmium amounts extractable (extr.) with NH₄NO₃ and NH₄-acetat in soil of experimental variants (mg/kg TS) in each case at the beginning of vegetation and copper or cadmium contents of plants (mg/kg TS) without consideration of plant type in pots on these variants (mean values of two years).

	R	R+Org.	R+Cd	R+Cd,Org.	R+Cu	R+Cu,Org.	R+Cd,Cu,Org.
Cu im Boden							
Gesamtgehalt	61,6	61,6	61,6	61,6	526	526	526
extr. Anteil	1,6	1,7	1,6	1,8	57,8	60,5	64,4
Cu in Pflanzen							
unterirdisch	46,3	50,2	54,0 y	50,6	541	702 xx	738 xx
Sproß	8,0	6,6	8,3	9,4	33,2	40,4 xx	50,7 xx
Cd im Boden							
Gesamtgehalt	4,9	4,9	51,5	51,5	4,9	4,9	51,5
extr. Anteil	0,9	1,0	18,0	19,8	1,5 zz	1,5 zz	24,5 vv
Cd in Pflanzen							
unterirdisch	9,0	10,3	95,0	87,3	19,3 zz	20,8 zz	226 vv
Sproß	11,6	10,6	114	111	10,3	11,8	129

y, yy = signifikante Unterschiede bei 5%, 1% zu R (y, yy = significant differences at 5%, 1% to R); xx = signifikante Unterschiede bei 1% zu R + Cu (xx = significant differences at 1% to R + Cu); zz = signifikante Unterschiede bei 1% zu R (zz = significant differences at 1% to R); vv = signifikante Unterschiede bei 1% zu R + Cd (vv = significant differences at 1% to R + Cd)

BaP haben bei ihrer gleichzeitigen Zufuhr mit Cu dessen Pflanzenverfügbarkeit durch Konkurrenz um Bindungsplätze im Boden erhöht, da beide organischen Schadstoffe aufgrund ihrer Lipophilie bevorzugt an den organisch gebundenen Kohlenstoff im Boden adsorbiert werden (HERMANN 1987, LITZ 1990) und somit freie Bindungsstellen für Cu besetzen. Diese Bindungskonkurrenz wird auch bei den Varianten R + Cd, Cu, Org. deutlich. Hier war die Cu-Pflanzenverfügbarkeit im Boden sogar noch höher als bei R + Cu, Org. (vgl. Tab. 2 die extrahierbaren Cu-Anteile im Boden der Varianten R + Cd, Cu, Org. mit R + Cu, Org.) und die Cu-Pflanzengehalte wieder signifikant erhöht gegenüber der Cu-Einzelstoffanreicherung.

Im Gegensatz zu den Cu-Pflanzengehalten waren die Cd-Pflanzengehalte von allen drei Fruchtarten nicht höher, wenn R neben Cd auch mit den beiden organischen Schadstoffen angereichert wurde (vgl. in Tab. 2 die Cd-Pflanzengehalte auf R + Cd und R + Cd, Org.). Nur auf den Varianten R + Cd, Cu, Org. wurden signifikant erhöhte Cd-Gehalte in der unterirdischen Biomasse der Versuchspflanzen gegenüber der Cd-Einzelstoffanreicherung von R ermittelt. Außerdem konnten auf der Einzelstoffanreicherung von R mit Cu und allen kombiniert mit Cu und organischen Schadstoffen angereicherten Varianten signifikant höhere Cd-Wurzel- bzw. Knollengehalte gegenüber R bestimmt werden (vgl. in Tab. 2 die Cd-Pflanzengehalte auf R + Cu und R + Cu, Org. mit R). Die absolut von den Pflanzen aufgenommene Cd-Menge aus dem Boden (Cd-Entzug) ist aufgrund der geringen Biomasseerträge bei den Cu-Belastungen natürlich niedriger, obwohl im Boden dieser Varianten jeweils zu Vegetationsbeginn eine signifikant höhere Cd-Pflanzenverfügbarkeit durch zugeführtes Cu nach-

weisbar war (vgl. in Tab. 2 die extr. Cd-Anteile von R + Cu, R + Cu, Org. mit R sowie von R + Cd, Cu, Org. mit R + Cd). Die Konkurrenz um Bindungsplätze im Boden führte bei Cu-Gabe zur Erhöhung der Pflanzenverfügbarkeit von im Boden vorliegendem (gebundenem) und auch gleichzeitig gegebenem Cd (vgl. DORN & al. 1997) verbunden mit erhöhten Cd-Gehalten in unterirdischen Pflanzenteilen.

3.3 PCB 52- und BaP-Gehalte in den Pflanzen

Die Pflanzenaufnahme der organischen Schadstoffe im Versuch konnte nur auf ausgewählten Varianten untersucht werden, da die geringe Biomassebildung auf den Cu-Belastungen zur Bestimmung von PCB 52 und BaP in den Pflanzen nicht ausreichte. Für die Versuchspflanze Kartoffel konnten nur aus dem ersten Vegetationsjahr Werte berücksichtigt werden, da im zweiten Jahr auch hier der geringe Ertrag eine Bestimmung von PCB 52 bzw. BaP im Kraut und in der Knolle nicht zuließ.

Bei höherem PCB 52-Bodengehalt (Variante 1) wurden auch höhere PCB 52-Wurzel- bzw. Knollengehalte ermittelt, dagegen keine höheren PCB 52-Sproßgehalte (Tab. 3). Die PCB 52-Weitergabe von den Pflanzenwurzeln an den Pflanzensproß nahm bei höherem PCB 52-Bodengehalt deutlich ab (TF_{PCB} Wurzel-Sproß auf R=0,09 und auf Variante 1=0,004). Generell wurden wie schon von OFFENBÄCHER & POLETSCHNY (1992) beschrieben, für unterirdisch wachsende Pflanzenteile weitaus höhere PCB 52-Gehalte als für oberirdisch wachsende Pflanzenteile gefunden. Auf der kombiniert mit Cd und PCB 52 angereicherten Variante (5) wurden gegenüber der zugehörigen PCB 52-Einzelstoffanreicherung (1) erhöh-

Tab. 3
PCB 52- bzw. BaP-Gehalt in Boden- und Pflanzenmaterial ausgewählter Versuchsvarianten ohne Berücksichtigung der Pflanzenart (Mittelwerte aus zwei Jahren bzw. bei der Kartoffelpflanze Werte aus einem Jahr).

Table 3
PCB 52 or BaP contents in soil and plants of selected experimental variants without consideration of plant type (mean values of two years and from potatoes of one year).

		R	1*	5*	12*
PCB 52 im Boden	(mg/kg TS)	0,02	0,30	0,30	0,30
PCB 52 in Pflanzen					
unterirdisch	(mg/kg TS)	0,03	0,44	0,40	0,33
Sproß	(µg/kg TS)	2,58	2,00	2,48	4,34
		R	2*	7*	12*
BaP im Boden	(mg/kg TS)	0,12	0,90	0,90	0,90
BaP in Pflanzen					
unterirdisch	(mg/kg TS)	0,08	0,68	0,49	0,66
Sproß	(µg/kg TS)	4,41	15,23	14,36	12,93

* Variantenerläuterung siehe Tab. 1

te PCB 52-Gehalte im Sproß bestimmt. Nach HAAS & al. (1990) sind erhöhte PCB 52-Gehalte im Pflanzen-sproß auf eine Vorschädigung von Wurzeln durch SM zurückzuführen. SM (in diesem Fall Cd) können durch Membranveränderungen die Permeabilität (Durchlässigkeit) der Zellmembran für andere Stoffe (hier PCB 52) erhöhen (TF_{PCB} Wurzel-Sproß auf Variante 5 = 0,006). Noch höher (sogar 1,7-fach höher als auf R) lagen die PCB 52-Sproßgehalte, wenn R neben Cd und PCB 52 auch mit BaP (Variante 12) angereichert wurde. Hier kommt wahrscheinlich noch die zusätzliche Konkurrenz von PCB 52 und BaP zum Tragen, die zu einer erhöhten PCB 52-Verlagerung in oberirdische Pflanzenteile führte (TF_{PCB} Wurzel-Sproß auf Variante 12 = 0,01).

Für BaP wurden bei höherem BaP-Bodengehalt (Variante 2) sowohl unterirdisch als auch oberirdisch höhere BaP-Pflanzengehalte ermittelt. Die BaP-Weitergabe von den Pflanzenwurzeln an den Pflanzensproß war bei höherem BaP-Bodengehalt auch nur um die Hälfte kleiner (TF_{BaP} Wurzel-Sproß auf R = 0,05 und auf Variante 2 = 0,02). Generell wurden auch für BaP wie bei DRESCHER-KADEN & al. (1989) in den Pflanzenwurzeln höhere Gehalte als in oberirdischen Pflanzenteilen gefunden. Im Gegensatz zu PCB 52 waren die BaP-Sproßgehalte der Versuchspflanzen nicht erhöht, wenn R neben BaP auch mit Cd und PCB 52 angereichert wurde (vgl. die BaP-Sproßgehalte auf den Varianten 7 und 12 mit Variante 2). Durch Cd vorgeschädigte Pflanzenwurzeln führen demnach nicht zu einer erhöhten BaP-Weitergabe an den Pflanzensproß (TF_{BaP} Wurzel-Sproß auf Variante 7 = 0,03 und auf Variante 12 = 0,02).

4 Schlußfolgerungen

Die kombinierte Anreicherung eines Bodens mit PCB 52, BaP, Cd und Cu läßt durch Wechselwirkungen dieser Stoffe untereinander beim Boden-Pflanze-Transfer selbst dann ökosystemare Konsequenzen hinsichtlich Ertrag und SM-Pflanzengehalt erwarten, wenn die SM-Zufuhr unterhalb der zulässigen Grenzbzw. Richtwerte liegt. Die Problematik von Grenzwertüberschreitungen bzw. Grenzwertfestlegungen für die einzelnen Gefahrstoffe bei Vorliegen einer kombinierten Belastung wird deutlich.

Danksagung

Die Arbeiten waren Bestandteil des interdisziplinären Projektes »Ökotoxikologische und bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraumtypischen Ökosystemen« und vom BMBF finanziert, wofür Dank gesagt wird.

Literatur

- BALLSCHMITER, K. & M. ZELL, 1980: Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary chromatography. Fresenius Z. Anal. Chem. 302, 20–31.
- DORN, J., C. KOCH, R. METZ & B.-M. WILKE, 1997: Einzel- und Kombinationswirkungen ausgewählter organischer Schadstoffe und Schwermetalle auf die mikrobielle Aktivität eines Rieselfeldbodens sowie auf deren Aufnahme durch Roggen (*Secale cereale*) im Gefäßversuch. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 160, 217–222.
- DRESCHER-KADEN, U., M. MATTHIES & R. BRÜGEMANN, 1989: Organische Schadstoffe im Klärschlamm. gwf – Wasser/Abwasser 130, 614–620.
- HAAS, R., I. SCHREIBER & G. KOSS, 1990: PAK- und Schwermetall-Aufnahme in Getreide – Wechselseitige Beeinflussung. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 2, 66–70.
- HERMANN, R., 1987: Environmental transfer of some organic micropollutants. In: Schulze, E.-D. & H. Zwölfer (Hrsg.), Ecological studies, Vol. 61 – Potentials and Limitations of Ecosystems Analysis. Berlin, Heidelberg.
- LITZ, N., 1990: Kontamination von Böden – Organische Verbindungen. In: Blume, H.-P. (Hrsg.), Handbuch des Bodenschutzes, Ecomed Verlag. Landsberg/Lech, S. 340–367.
- METZ, R. & B.-M. WILKE, 1993: Anbau verschiedener Nutzpflanzen zur Dekontamination schadstoffbelasteter Rieselfeldböden. In: F. Arendt, G. J. Annokkè, R. Bosmann & W. J. van den Brink (Hrsg.), Altlastensanierung '93, 969–970. Kluwer Academic Publishing, Netherlands.
- OFFENBÄCHER, G. & H. POLETSCHNY, 1992: PCB in durch Siedlungsabfälle beeinflussten Böden und Transfer in die Pflanze. In: Landesanstalt für Ökologie, Landesentwicklung und Forstplanung, NRW (Hrsg.), Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Bd. 7, 71–132.
- ZEIEN, H. & G. W. BRÜMMER, 1989: Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 59, 505–509.

Adressen

Prof. Dr. sc. Reinhart Metz
Dipl. Chem. Jana Dorn
Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Fachgebiet Ackerbausysteme
Dorfstraße 9, 13051 Berlin

Prof. Dr. Berndt-Michael Wilke
Technische Universität Berlin
Institut für Landschaftsbau
Fachgebiet Abfallbelastung der Landschaft
Albrecht-Thaer-Weg 4, 14195 Berlin

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Wilke Berndt-Michael, Metz Reinhart, Dorn Jana

Artikel/Article: [Das Zusammenwirken von organischen und mineralischen Schadstoffen beim Boden-Pflanze-Transfer auf einem aufdotierten Rieselfeldboden im Gefäß 465-470](#)