

11

SONDERDRUCK

aus

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

Zeitschrift des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs-
und Forschungsanstalten

Mitherausgegeben von: H. Kick, Bonn; M. Kirchgeßner, München-Weihenstephan;
H.-J. Oslage, Braunschweig-Völkenrode; U. Ruge, Hamburg;
E. Schlichting, Stuttgart-Hohenheim; O. Siegel, Speyer

SONDERHEFT 39

KONGRESSBAND 1982

Vorträge

gehalten auf dem 94. VDLUFA-Kongreß
in Münster

20. – 25. September 1982

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

Schwermetallaufnahme durch Pflanzen nach Düngung mit Müllklärschlammkompost

Von A. WÜNSCH, R. GUTSER und A. AMBERGER*)

Einleitung

Die Problematik der Anwendung von Siedlungsabfällen in Landwirtschaft und Gartenbau liegt bekanntlich sehr wesentlich in deren Gehalten an Schwermetallen (KICK, 1969; DIEZ und ROSOPULO, 1976; VENTER, 1977; GUTSER et al., 1978; FURRER, 1979; KICK und POLETSCHNY, 1979; AMBERGER et al., 1980; STERRITT und LESTER, 1980; HINZE, 1981; KAMPE, 1981; GUTSER, 1982 u.a.). Mit dem zweiten Gesetz zur Änderung des Abfallbeseitigungsgesetzes, der Grundlage für die Klärschlammverordnung in der Bundesrepublik Deutschland (1982), werden erstmalig verbindliche Grenzwerte für Schwermetalle in Schlamm und Boden festgelegt; diese stellen keine entgeltigen Werte dar, d.h., sie müssen in Versuchen ständig überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Insbesondere das Verhalten der Schwermetalle in unterschiedlichen Böden (pH, Sorption, organische Substanz etc.) sollte noch umfassender untersucht werden (FURRER et al., 1980).

Zur Absicherung der tolerierbaren Höchstmengen von Schwermetallen im Boden sind folglich eine Vielzahl von Untersuchungsergebnissen unter definierten Standortbedingungen notwendig. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse aus langjährigen Versuchen unter Freilandbedingungen mitgeteilt, in denen sowohl die additive Wirkung mehrmaliger als auch die Nachwirkung einmaliger sehr hoher Gaben an Müllklärschlammkompost auf Gehalte und Mobilität der Schwermetalle im Boden sowie deren Aufnahme durch landwirtschaftliche Kulturpflanzen untersucht wurden.

Material und Methoden

1973 bzw. 1974 wurden langjährige Feld- bzw. Gefäßversuche in Erdzylindern zur Prüfung der Wirkung von Müllklärschlammkompost (MKK) auf die Schwermetallgehalte von Boden und Pflanzen angelegt.

Standort: Weißenstephan
Niederschlag: 814 mm langjähriger Durchschnitt
Lufttemperatur: 7,7°C

1. *Feldversuch:* Braunerde (Löß) $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 6,1$
uL: 21 % Ton, 63 % Schluff
 $C_t = 0,7\%$ KAK: 14 mval/100 g B.
(s. AMBERGER et al., 1980)

Versuchsglieder: PK optimal

1. Kontrolle	o. N
2. Kontrolle	+ N (KAS)
3. 1 × MKK	} jeweils zur Blattfrucht einer 3feldrigen Fruchtfolge mit zusätzlichem N-Ausgleich zu den Halmfrüchten
4. 2 × MKK	

*) Dr. A. WÜNSCH, Dr. R. GUTSER und Prof. Dr. A. AMBERGER, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, Weißenstephan, D-8050 Freising 12

bisher 4 MKK-Gaben mit \emptyset : $1 \times \text{MKK} = 63 \text{ tTS/ha}$
 $2 \times \text{MKK} = 121 \text{ tTS/ha}$

Der MKK wurde 1973 aus Bad Kreuznach, 1975, 1978 und 1981 aus Schweinfurt bezogen.

Mittlere Schwermetallgehalte und -zufuhr durch 4 Applikationen ($2 \times \text{MKK}$):

	ppm i. TS	kg/ha	$\hat{=}$ theoret. ppm i. Krume
Zn	1000	511	170
Cu	350	175	58
Pb	400	179	60
Cd	8	5,8	1,9

2. Versuch in Erdzylindern

Oberfläche $0,5 \text{ m}^2$, Tiefe 1 m – Überschußwasser kann im Unterboden (tertiärer Sand) versickern

Boden: sL mit 14 % Ton, 30 % Schluff

$\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 7,0$

Versuchsglieder: NPK optimal

1. Kontrolle

2. 64 t

3. 128 t } MKK-TS/ha zur Versuchsanlage

4. 320 t }

Schwermetallgehalte und -zufuhr durch 320 t MKK:

	ppm i. TS	kg/ha	$\hat{=}$ theoret. ppm i. Krume
Zn	1200	384	128
Cu	377	121	40
Pb	525	168	56
Cd	16	5,1	1,7

Fruchtfolge: a) Grünsenf
 So-Weizen
 Kartoffeln
 So-Weizen

b) So-Weizen (Janus)
 Kartoffeln (Maritta)
 So-Weizen
 Kartoffeln

Methodik der Schwermetallanalysen in Pflanzen und Boden

Pflanzen: nasse Veraschung mit $\text{HClO}_4 - \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$

Boden: Extraktion mit Königswasser : 5 g Boden/30 ml
 mit 0,05 m EDTA : 5 g Boden/50 ml
 mit 1N NH_4Cl
 (3malig) : 5 g Boden/50 ml

Messung von Cu, Mn, Fe, Zn atomabsorptionsspektrometrisch
 Cr, Ni, Cd plasmaemissionsspektrometrisch

Ergebnisse

1. Feldversuch auf Löß-Braunerde

Die Zufuhr des Siedlungsabfalles MKK bewirkte einen deutlichen Anstieg der Schwermetallgehalte im Boden (Tab. 1); die additive Wirkung mehrmaliger MKK-Gaben läßt sich am Beispiel von Zn, Pb und Cd im EDTA-Extrakt gut verfolgen.

Tab. 1

Schwermetallgehalte der Ackerkrume nach MKK-Zufuhr

Heavy metal contents of topsoil as related to application of refuse sewage sludge compost

(Probennahme jeweils am Ende jeder Fruchtfolgeperiode – 0 = Kontrolle, 2 × = 2 × MKK)

	Zn		ppm (EDTA) Pb		Cd		pH _{CaCl2}	
	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×
1975	7	21	9	27	0,2	0,6	6,2	6,6
1978	5	43	10	30	0,3	0,8	6,1	6,9
1981	5	67	9	45	0,3	0,8	6,1	6,9
1982	8	197	10	65	0,3	1,7	6,0	7,1

Extraktions- mittel	Probennahme 1982 – ppm											
	Zn		Pb		Cd		Cu		Cr		Mn	
	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×	0	2 ×
Königs- wasser	75	232	33	110	1,1	2,5	23	70	42	52	910	880
EDTA	8	197	10	65	0,3	1,7	6	70	33	35	340	350
± % von 1	11	85	30	59	27	68	26	100	79	67	37	40
NH ₄ Cl	5	3	<0,1		<0,1		<0,1		4,3	2,4	47	14

Nach 4maliger Anwendung von MKK waren auch die Cr- und, wenn auch geringfügig, die Ni (31 → 36 ppm, Königswasser nicht angegeben)-Gehalte erhöht. Auffallend ist zudem der durch MKK bedingte merkliche Anstieg des pH-Wertes des Bodens mit Auswirkung auf die Mobilität der Schwermetalle (s. später). Die über den Siedlungsabfall dem Boden zugeführten Schwermetallmengen (Zn, Cu, Pb, Cd) lassen sich größenordnungsmäßig sowohl durch Extraktion in Königswasser als auch EDTA gut wiederfinden. EDTA erfaßt die mit MKK zugeführten Schwermetalle Zn, Pb, Cd und Cu besser als die bereits im Boden befindlichen Elemente: gemessen an Königswasser (= 100) erbringt EDTA in den MKK-Parzellen deutlich höhere Werte als im Kontrollboden und zeigt somit ein besseres Lösungsvermögen für durch MKK zugeführte Schwermetalle an.

Die in NH₄Cl austauschbaren Schwermetalle Pb, Cd und Cu lagen stets unter der Nachweisgrenze (< 0,1 ppm); der durch die MKK-Zufuhr bewirkte Rückgang des austauschbaren Zn und insbesondere Mn im Vergleich zur Kontrolle dürfte wohl in erster Linie auf den durch den Siedlungsabfall erreichten pH-Anstieg des Bodens zurückzuführen sein. Daraus darf gefolgert werden, daß die basisch wirksamen Bestandteile des Siedlungsabfalles die Pflanzenverfügbarkeit seiner Schwermetalle herabsetzen.

Eine 3malige MKK-Applikation brachte keine Veränderung der Cd- und Pb-Gehalte des Erntematerials (Mais, Weizen, Hafer – Tab. 2); mit Ausnahme von Maisstroh (0,4 ppm Cd und 14 ppm Pb) lagen die Gehalte stets unterhalb der Nachweisgrenze.

Tab. 2

Schwermetallgehalte der Pflanzen aus der 3. Fruchtfolgerotation (n. 3maliger MKK-Zufuhr) 1979-81
Heavy metal contents of plants from the third crop rotation (after three times refuse sewage sludge compost)
 1979-81

Mais-Stroh stets 0,4 ppm Cd und 14 ppm Pb
 Mais-Kolben
 Weizen (Korn + Stroh) } Cd und Pb
 Hafer } stets < 0,05 ppm i. TS

Zn		ppm i. TS			Entzug g/ha		
		Kontrolle			Kontrolle		
		o. N	+ N	2 × MKK	o. N	+ N	2 × MKK
Mais	Kolben	44	29	43	141	249	304
	Stengel	37	16	43	70	93	222
Weizen	Stroh	17	17	17	26	63	62
Hafer	Korn	37	27	32	41	125	144
	Stroh	17	8	13	12	24	38
Summe:					290	554	770

Schwermetallgehalte im Boden 1981
 (ppm, EDTA)

	Cd	Pb	Zn
Kontrolle	0,5	10	5
2 × MKK	0,8	50	67

Lediglich die Zn-Gehalte und insbesondere die Zn-Aufnahme war auf den MKK-Gliedern mehr oder weniger deutlich erhöht. Auffallend sind die hohen Zn-Gehalte im Erntematerial der Kontrolle ohne N-Düngung; der geringe Pflanzenaufwuchs wies als Folge eines Konzentrationseffektes gleiche Zn-Gehalte auf wie die Pflanzen der MKK-Varianten. Dieser Befund verdeutlicht, daß die Schwermetallwirkung der Siedlungsabfälle nur im Vergleich mit Pflanzenmaterial aus Kontrollparzellen mit ähnlichen Erträgen (hier Kontrolle + N) beurteilt werden kann, eine Forderung, die in der Bewertung von Pflanzenanalysen häufig nicht beachtet wird.

Die insgesamt geringere Beeinflussung der Schwermetallgehalte der Versuchspflanzen durch 3malige Applikation von Ø 120 t MKK (TS) steht in Einklang mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchung; aus den EDTA-Werten ist zu entnehmen, daß die im Gesetz festgelegten Höchstwerte (Gesamtgehalte) noch nicht erreicht worden sind.

Erst eine weitere Gabe MKK (1982) brachte im aufwachsenden Mais insbesondere in den vegetativen Pflanzenorganen einen z.T. deutlichen Anstieg der Schwermetallgehalte (Cd, Ni, Zn, Pb, Cu – Abb. 1, Tab. 3), die Mn-Gehalte lagen stets unter dem Kontrollwert (geringere Mn-Verfügbarkeit infolge höheren pH-Wertes).

Die entsprechenden Ergebnisse der Bodenuntersuchung weisen mit Ausnahme von Cr für nahezu sämtliche Schwermetalle relativ hohe Gehalte aus, die für Pb bereits über (100 ppm), für Cd (3 ppm), Zn (300 ppm), Ni (50 ppm) und Cu (100 ppm) nahe der im Abfallbeseitigungsgesetz noch tolerierten Höchstgrenzen (Werte in Klammern) liegen. Auffallend ist, daß mit zunehmendem Alter des Maises die Zn, Mn Cu und Cd-Gehalte

(2 x MKK = 484 t TS/ha in 4 Gaben)

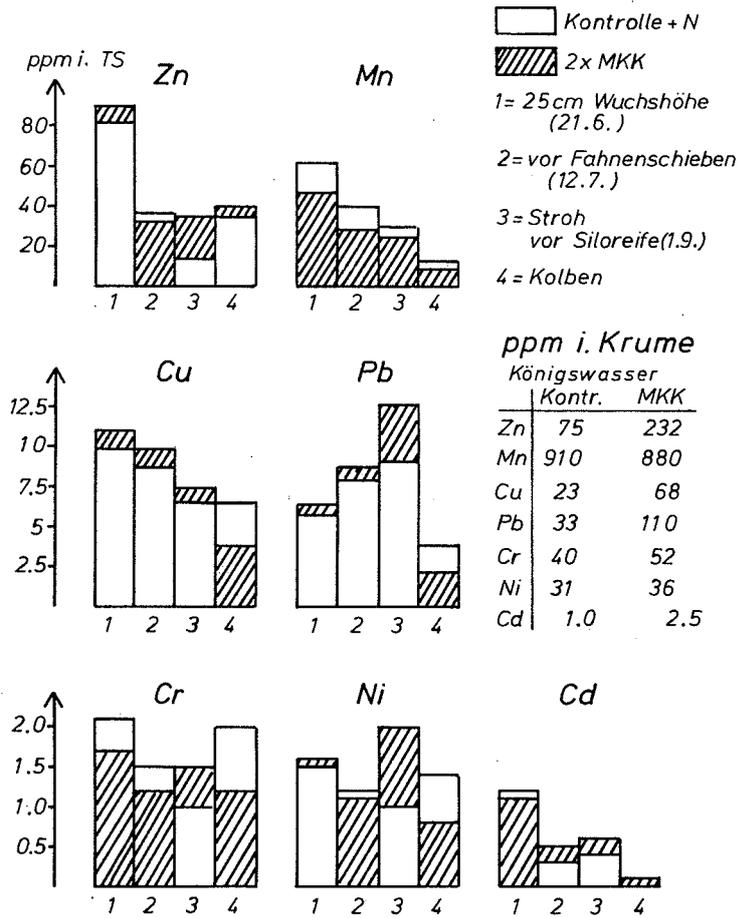


Abb. 1

Schwermetallgehalte von Mais – 1982
 Heavy metal content of maize – 1982

Tab. 3

Entzüge an Schwermetallen von Mais nach MKK-Zufuhr (484 t TS/ha) – 1982
 Removal of heavy metals by maize after refuse sewage sludge compost (484 t dry matter/ha) – 1982

Entwicklungsstadium	TS-Ertrag	Zn	Mn	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd
25 cm Wuchshöhe (21.6.)	113	122	85	126	127	91	120	103
vor dem Fahnschieben (12.7.)	102	91	74	116	113	81	152	170
vor der Siloreife (1.9.)								
Stroh	117	293	98	134	162	176	235	176
Kolben	127	146	-88	73	72	76	73	127

abnehmen, die Cr- und Ni-Gehalte weitgehend gleich blieben, sowie die Pb-Gehalte im vegetativen Pflanzenteil merklich anstiegen (Abb. 1).

2. Versuch in Erdsylindern

Auf dem sandigen Lehm Boden führte eine einmalige Applikation steigender Mengen an Müllklärschlammkompost zu einem beachtlichen Anstieg der Schwermetallgehalte des Bodens (Tab. 4).

Tab. 4
Bodenuntersuchung zum Versuchsende
Soil testing at the end of trial

Düngung	pH CaCl ₂	ppm					
		EDTA			Königswasser		
		Cu	Pb	Cd	Cu	Pb	Cd
Kontrolle	7,1	5	21	1,0	15	37	1,0
1 × MKK	7,1	11	35	1,5	23	55	2,0
2 × MKK	7,2	17	44	1,5	33	69	2,0
5 × MKK	7,2	35	72	2,2	57	130	3,0

Mit 3 ppm Cd bzw. 130 ppm Pb (Königswasser-Aufschluß) wurden die in der Klärschlammverordnung festgelegten Höchstwerte erreicht bzw. überschritten. Die Königswasser-Methode eignet sich gut für eine Bilanzierung der über die Siedlungsabfälle zugeführten Schwermetalle (Cu, Cd), wengleich die Pb-Werte in den Varianten 5 × MKK entsprechend der Pb-Zufuhr etwas überhöht erscheinen (Verteilungsproblem im Boden).

Abgesehen von dem im Anwendungsjahr (Fruchtfolge b) angebauten Grünsenf wurden die Pflanzenerträge in den 4 Jahren durch die MKK-Anwendung kaum verändert (Tab. 5) – die vereinzelt Mehrerträge dürften z.T. auf die etwas höhere Wasserkapazität des Bodens bzw. einer Nährstoffwirkung (N) nach MKK-Applikation zurückzuführen sein.

Den geringen Ertrag an Grünsenf führen wir auf die schwächere Bestandesdichte infolge verminderter Keimung des Saatgutes nach MKK-Düngung (Salzkonzentration) zurück. Eine durch Schwermetalle bedingte Wachstumshemmung ist insbesondere nach Anwendung von Klärschlamm oder Müllklärschlammkompost nicht zu erwarten (GUTSER, 1982).

Tab. 5
Wirkung von MKK auf den Pflanzenertrag
Effect of MKK on yield
g TS/Zylinder bzw. relativ (Kontrolle = 100)

	Anwendungs- jahr	Nachwirkungsjahr		
		1.	2.	3.
So. Weizen				
Kontrolle	737	689	512	615
2 × MKK	124	101	117	106
5 × MKK	106	103	110	95
Grünsenf * bzw. Kartoffeln				
Kontrolle	120 *	1093	714	952
2 × MKK	53 *	100	96	95
5 × MKK	67 *	106	98	94

Lediglich im Anwendungsjahr bewirkte insbesondere die hohe MKK-Gabe einen mehr oder weniger deutlichen Anstieg der Cd- und Pb-Gehalte im Weizenstroh sowie im Senf (Tab. 6 und 7); letzterer besitzt allgemein ein gutes Aneignungsvermögen für Schwermetalle.

Tab. 6
Cd-Gehalte im Pflanzenmaterial (ppm i. TS)
Cd-content of plant material (ppm i. dry matter)

		Anwendungs- jahr	Nachwirkungsjahr			
			1.	2.	3.	
Weizen	Korn	Kontrolle	0,1	0,2	0,2	< 0,05
		2 × MKK	0,1	0,2	0,1	< 0,05
		5 × MKK	0,2	0,2	0,2	< 0,05
	Stroh	Kontrolle	0,6	0,7	0,7	0,3
		2 × MKK	0,6	0,6	0,6	0,4
		5 × MKK	1,0	0,6	0,7	0,4
Senf * bzw. Kartoffeln	Kontrolle	0,5 *	0,1	0,1	0,1	
	2 × MKK	0,8 *	0,1	0,1	0,1	
	5 × MKK	1,0 *	0,1	0,1	0,1	

Tab. 7
Pb-Gehalte im Pflanzenmaterial (ppm i. TS)
Pb-content of plant material (ppm i. dry matter)

		Anwendungs- jahr	Nachwirkungsjahr			
			1.	2.	3.	
Weizen	Korn	Kontrolle	0,4	0,1	0,2	< 0,05
		2 × MKK	0,2	0,2	0,1	< 0,05
		5 × MKK	0,3	0,2	0,1	< 0,05
	Stroh	Kontrolle	9,9	10,1	6,9	8,4
		2 × MKK	9,9	10,1	5,0	7,6
		5 × MKK	16,3	7,2	5,4	4,2
Senf * bzw. Kartoffeln	Kontrolle	8,5 *	0,5	0,3	0,5	
	2 × MKK	17,4 *	0,3	0,3	0,5	
	5 × MKK	20,1 *	0,7	0,6	0,5	

In den Nachwirkungsjahren waren keine größeren Änderungen gegenüber den Kontrollwerten nachzuweisen – die Pb-Gehalte der Kartoffeln waren anfänglich noch etwas erhöht (2 × MKK).

Die MKK-Düngung führte hingegen während der gesamten Versuchszeit zu einer, wenn auch geringen Erhöhung der Cu-Gehalte in sämtlichen Pflanzen (Tab. 8).

Tab. 8
Cu-Gehalte im Pflanzenmaterial (ppm i. TS)
Cu-content of plant material (ppm i. dry matter)

		Anwendungs- jahr	Nachwirkungsjahr			
			1.	2.	3.	
Weizen	Korn	Kontrolle	3,6	5,8	6,4	5,8
		1 × MKK	6,2	7,5	6,1	6,5
		5 × MKK	8,9	8,4	7,8	6,9
	Stroh	Kontrolle	2,3	2,5	2,4	1,7
		1 × MKK	2,7	2,8	2,7	2,7
		5 × MKK	4,2	2,8	3,9	2,7
Senf * bzw. Kartoffeln	Kontrolle	7,0 *	5,2	7,2	6,0	
	1 × MKK	12,0 *	5,4	8,5	6,3	
	5 × MKK	13,2 *	7,1	8,8	7,1	

Diskussion

Müllklärschlammkompost führte in beiden Versuchen zu einer deutlichen Anreicherung von Schwermetallen im Boden infolge sehr hoher Anwendungsmengen (120 t MKK-TS/ha. 3 Jahre bzw. bis zu 320 t MKK/ha in einer Gabe). Die über den Siedlungsabfall zugeführten Schwermetallmengen lassen sich sowohl durch Königswasser als auch EDTA-Extraktion weitgehendst im Boden nachweisen; für eine Bilanzierung eignet sich aber ersteres Verfahren besser, weil EDTA offenbar die über MKK applizierten Schwermetalle spezifischer erfaßt als die im Boden befindlichen (SCHMID, 1977). Ersterer waren aber 10 Jahre nach Anwendung des Siedlungsabfalles unter den vorliegenden Bedingungen (sL, pH 7,0) noch zu 60–80 % EDTA-löslich. Zu einer ähnlichen Aussage kommt HÄNI (1977) mit dem Extraktionsmittel 1 m Ammonacetat, pH 4,8. Aus den Ergebnissen der Schwermetallaufnahme im Zylinderversuch darf gefolgert werden, daß die Pflanzenverfügbarkeit dieser Elemente (Pb, Cd, weniger Cu) mit zunehmender Verweildauer und Vermischung mit dem Boden (laufende Bodenbearbeitung infolge stärkerer Sorption bzw. Chelatisierung durch die organische Substanz (LEVI-MINZI et al., 1976) abnimmt. Im Anwendungsjahr wiesen die Pflanzen jedenfalls höhere Gehalte auf als in den Nachwirkungsjahren. Diese Ergebnisse werden durch Arbeiten von DIJKSHOORN und LAMPE (1975) oder HINESLY et al. (1977) bestätigt, stehen aber im Widerspruch zu Feldversuchen von KICK (1969) und eigenen Ergebnissen aus Gefäßversuchen (GUTSER et al., 1978). Im Gegensatz zum Freiland wird der Boden im Gefäßversuch intensiver durchwurzelt, so daß sich die Pflanzen auch weniger verfügbare Schwermetallfraktionen noch aneignen können (kürzere Diffusionswege, stärkeres Aufschließungsvermögen der Pflanzenwurzeln etc.). Die Verfügbarkeit wird zudem wesentlich vom Anreicherungsgrad und der Bindungsform der Schwermetalle im Siedlungsabfall und Boden (Ton, Humus, amorphe Fe- und Al-Oxide) bestimmt (GUPTA und HÄNI, 1980, 1981; FURRER et al., 1980). Auch der durch MKK-Anwendung in der Regel bedingte pH-Anstieg trägt zur Verminderung der Verfügbarkeit der Schwermetalle wesentlich bei.

Der Anstieg der Schwermetallgehalte der Pflanzen war insgesamt gesehen gering und in nennenswertem Umfang nur da gegeben, wo deren Gehalte im Boden die vom Abfallbeseitigungsgesetz der Bundesrepublik Deutschland vorgegebenen Toleranzgrenzen bereits

überschritten (Pb) bzw. nahezu erreicht haben. Mit Ausnahme von Grünraps und z. T. Sommerweizen (Stroh) wurden mit Mais, Kartoffeln und Hafer allerdings Pflanzen angebaut, die infolge ihres geringen Aneignungsvermögens für Schwermetalle keine typischen Indikatorpflanzen darstellen im Gegensatz z.B. zu einigen gärtnerisch genutzten Pflanzen wie Spinat, Salat und verschiedenen Kohlarten oder auch Grünland (STERRITT und LESTER, 1980).

Jedoch lagen die Aufwandmengen für MKK wesentlich über praxisüblichen Gaben. Langfristig dürften sicherlich auch für Müllkomposte, wie bereits für Klärschlamm (\varnothing 5 t TS/ha, Jahr) geschehen, die Ausbringungsmengen gesetzlich begrenzt werden; denn auch bei Vorliegen geringerer Schwermetallgehalte im Boden ist nicht auszuschließen, daß einmalig hohe Gaben von Siedlungsabfällen zumindest im Anwendungsjahr zu einer Anreicherung von Schwermetallen im Erntematerial führen.

Unter Berücksichtigung sämtlicher Gegebenheiten dieser Versuchsanstellung darf aus den Ergebnissen der Boden- und Pflanzenanalysen gefolgert werden, daß die in der Klärschlammverordnung der BRD vorgegebenen Gehalte für Schwermetalle im Boden brauchbare Grenzwerte darstellen.

Zusammenfassung

In 2 langjährigen Feld- (Braunerde aus Löß, pH 6,0) und Zylinderversuchen ($\frac{1}{2}$ m² Oberfläche, 1 m tiefe Bodenfüllung mit IS, pH 7,0) führten hohe MKK-Gaben (4×120 t bzw. einmalig 320 t TS/ha) zu einem deutlichen Anstieg der Schwermetallgehalte (Zn, Cd, Pb, Cu, z. T. Ni und Cr) im Boden; die im Abfallbeseitigungsgesetz festgelegten Grenzwerte wurden teilweise (Pb, Cd) erreicht.

Im Feldversuch bewirkte erst die 4. MKK-Applikation (120 t TS/ha) zu Silomais Zunahmen der Cd-, Ni-, Zn-, Pb- und Cu-Gehalte in den vegetativen Pflanzenteilen.

Im Versuch in Erdzylindern brachte die hohe MKK-Zufuhr im Anwendungsjahr einen mehr oder weniger deutlichen Anstieg der Pb- und Cd-Gehalte von Senf und Weizen (Stroh). In den folgenden 3 Nachwirkungsjahren waren lediglich die Cu-Gehalte des Erntegutes (So.-Weizen, Kartoffeln) etwas erhöht.

Summary

WÜNSCH, A., GUTSER, R. und AMBERGER, A.: *Schwermetallaufnahme durch Pflanzen nach Düngung mit Müllklärschlammkompost (Heavy metal uptake by plants after application of sewage sludge refuse compost)*.

Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 39, Kongreßband 1982

In two long term field- (brown earth from loess, pH 6,0) and large-pot-trials (surface 0,5 m², depth 1 m, loamy sand pH 7,0) high losses of sewage sludge refuse compost (SRC) (4×120 t and one times 320 t dry matter/ha respectively) led to a marked increase of soil content in heavy metals (Zn, Cd, Pb, Cu, partial Ni and Cr); limiting values, defined in the Abfallbeseitigungsgesetz, were partly (Pb, Cd) reached.

In the field trial the fourth application (120 t dry matter/ha) of SRC to corn caused the increase of Cd-, Ni-, Zn-, Pb-, and Cu-contents in the vegetative parts of the plants.

In the large-pot trial the high dose of SRC led in the year of application to a more or less marked increase of Pb- and Cd-contents in mustard and wheat (straw). In the following three years of after-effect only the Cu-contents of the crop (spring wheat, potatoes) were somewhat enhanced.

Résumé

WÜNSCH, A., GUTSER, R. und AMBERGER, A.: *Schwermetallaufnahme durch Pflanzen nach Düngung mit Müllklärschlammkompost (L'absorption de métaux lourds de plantes par l'application de compost d'ordure).*

Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 39, Kongreßband 1982

Dans 2 expériences à long terme en plein champ (sol brun de loess, pH 6,0) et en pots à grande volume ($1/2$ m² surface, profondeur 1 m, sable limoneux, pH 7,0) les applications hautes du compost d'ordure (MKK) (4×120 t resp. unique application 320 t matière sèche/ha) augmentaient distinctivement les teneurs en métaux lourds du sol (Zn, Cd, Pb, Cu, en partie Ni et Cr); les tolérances fixées dans la loi concernant l'écartement des déchets étaient en partie atteintes.

Dans l'expérience en plein champs seulement la 4^{ème} application de MKK (120 t matière sèche/ha) augmentait les teneurs en Cd, Ni, Zn, Pb et Cu dans des organes végétatives du maïs ensilé.

Dans l'expérience en pot les teneurs en Pb, Cd de moutarde et blé (paille) étaient augmentées plus ou moins de la haute dose dans l'année de l'application. Dans les trois années suivantes MKK produit son effet seulement dans la teneur augmentée de Cu dans les récoltes de blé de printemps et pomme de terre.

Literatur

AMBERGER, A., GUTSER, R. u. WÜNSCH, A.: Wirkung von Müllklärschlammkompost auf Erträge und Mineralstoffaufnahme von Kulturpflanzen im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung. Bayer. landw. Jahrb. 57, 148–155, 1980

DIEZ, TH. u. ROSOPULO, A.: Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen nach extrem hohen Klärschlammgaben. Landw. Forsch., Sonderh. 33/I., 236–248, Kongreßband 1976

DIJKSHOORN, W. u. LAMPE, I. E. M.: Availability for ryegrass of cadmium and zinc from dressings of sewage sludge. Neth. J. agric. Sci. 23, 338–344, 1975

FURRER, O. J.: Übersicht über die wichtigsten Parameter zur Charakterisierung der Schlämme hinsichtlich Beseitigung und Wiederverwertung, ATV, Schlammbehandlung und -beseitigung, 15.–18. 10. 1979 in Laasphe (BRD) III. 2. 1–19, 1979

FURRER, O. J., KELLER, P., HÄNI, H. u. GUPTA, S. K.: Schadstoffgrenzwerte – Entstehung und Notwendigkeit. EAS-Seminar: Landw. Verwertung von Abwasserschlämmen. Basel 1980. FAC-Nr. 610

GUPTA, S. u. HÄNI, H.: Effect of copper supplied in form of different Cu-saturated sludge samples and copper salts on the Cu-concentration and dry matter yield of corn grown in sand. EEC Workshop on „Problems encountered with copper”, Bordeaux, France, 1980

GUPTA, S. u. HÄNI, H.: Easily extractable Cd-content of soil – its extraction, its relationship with the growth and root characteristics of test plants, and its effect on some of the soil microbiological parameters. Proceed. 2nd European Symp. Vienna, Oct. 21–23, 1980 on „Characterization, treatment and use of sewage sludge”, published by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht NL, 1981

GUTSER, R., AMBERGER, A. u. WÜNSCH, A.: Schwermetallaufnahme verschiedener Pflanzen im Gefäßversuch aus Böden mit langjähriger bzw. einmaliger Anwendung von Klärschlamm. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 35, 335–349, Kongreßband 1978

GUTSER, R.: Verwendung von Siedlungsabfällen im Weinbau. Bayer. landw. Jahrbuch 1982, z. Zt. im Druck

HÄNI, H.: Das Problem der Anreicherung von Schwermetallen im Boden. Informationstagung „Klärschlamm-Verwertung in der Landwirtschaft”, Zollikofen, 24. 3. 1977

HINESLY, T. D., JONES, R. L., ZIEGLER, E. L. u. TYLER, J. J.: Effects of annual and accumulative applications of sewage sludge on assimilation of Zn and Cd by corn (*Zea Mays*. L.). Environ. Sci. Technol. 11, 182–188, 1977

HINZE, G.: Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Siedlungsabfällen für die Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung von Müllkomposten und Müllschlammkomposten. Berichte der Landwirtschaft **59**, 409–440, 1981

KAMPE, W.: Gehalte von Schwermetallen, Nitrat und Chlorkohlenwasserstoff im Gesamtverzehr von Vegetabilien. Gesunde Pflanzen **12**, 196–302, 1981

KICK, H.: Klärschlammverwertung im Landbau. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, 3. Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin – München 1969

KICK, H. u. POLETSCHNY, H.: Ein Kurzbericht über langjährige Feldversuche mit Müllkomposten und Klärschlämmen – Schwermetallgehalte in der Erntemasse. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. **35**, 412–418, Kongreßband 1978

Klärschlammverordnung der Bundesrepublik Deutschland 1982, s. a. Gesetz über die Beseitigung von Abfällen BGBL., Bonn. T. I. Nr. 2, 41–51, 1977

LEVI-MINZI, R., SOLDATINI, G. F. u. RIFFALDI, R.: Cadmium adsorption by soils. J. Soil Sci. **27**, 10–15, 1976

SCHMID, R.: Phosphat-, Kupfer- und Zinkgehalt im Boden und Pflanze nach 6jähriger Klärschlamm-anwendung in einem Feldversuch. Landwirtsch. Fosch. **30**, 125–129, 1977

STERRITT, R. M. u. LESTER, J. N.: The value of sewage sludge to agriculture and effects of the agricultural use of sludges contaminated with toxic elements: a review. Science of total environment **16**, 55–90, 1980

VENTER, F.: Siedlungsabfälle, Möglichkeiten ihrer Verwendung und dabei auftretende Probleme. Bayer. Landw. Jahrb. **54**, Sonderheft 1, 88–95, 1977

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

1. Sonderheft:
Forschungen für die Praxis und mit der Praxis
1951. Vergriffen
2. Sonderheft:
Wege und Ziele der Qualitätsforschung und Güteförderung bei landwirtschaftlichen und gärtnerischen Erzeugnissen
1952. Vergriffen
3. Sonderheft:
Justus v. Liebig im Lichte der Forschung des 20. Jahrhunderts
1953. 30 Seiten mit einer Kunstdrucktafel. Kartoniert DM 3,60
4. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung
1953. Vergriffen
5. Sonderheft:
Forschungen im Dienste der Tierernährung
1954. 75 Seiten mit zahlreichen Tab. und graphischen Darstellungen. Kartoniert DM 8,—
6. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung II
1955. 156 Seiten mit 57 Abb. und 55 Tab. Kartoniert DM 18,80
7. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung III
1956. 161 Seiten mit 32 Abb. und 70 Tab. Kartoniert DM 19,80
8. Sonderheft:
Pflanzenqualität – Nahrungsgrundlage
1956. Vergriffen
9. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung IV
1957. 157 Seiten mit 34 Abb. und 96 Tab. Kartoniert DM 22,20
10. Sonderheft:
Bodenfruchtbarkeit II
1957. IV und 123 Seiten mit 56 Abb. und 28 Tab. Kartoniert DM 19,80
11. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung V
1958. VIII und 127 Seiten mit 56 Abb. und 38 Tab. Kartoniert DM 22,20
12. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung VI
1959. VIII und 152 Seiten mit 60 Abb. und 28 Tab. Kartoniert DM 27,—
13. Sonderheft:
Magnesium – Boden – Pflanze
1959. VIII und 100 Seiten mit 43 Abb. und 66 Tab. Kartoniert DM 24,80
14. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VII
1960. VIII und 141 Seiten mit 51 Tab. und 55 Abb. Kartoniert DM 26,40
15. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VIII
1961. VIII und 159 Seiten mit 62 Abb. und 38 Tab. Kartoniert DM 27,50
16. Sonderheft:
Die Spurenelementversorgung von Pflanze, Tier und Mensch
1962. VIII und 147 Seiten mit 37 Abb. und 56 Tab. Kartoniert DM 26,20
17. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung X
1963. VIII und 211 Seiten mit 91 Abb. und 72 Tab. Kartoniert DM 30,75
18. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XI
1964. VIII und 208 Seiten mit 52 Abb. und 43 Tab. Kartoniert DM 30,25
19. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XII
1965. VIII und 252 Seiten mit 87 Abb. und 75 Tab. Kartoniert DM 41,80
20. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIII
1966. VIII und 152 Seiten mit 20 Abb. und 33 Tab. Kartoniert DM 28,80
21. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIV
1967. VIII und 137 Seiten mit 81 Abb. und 35 Tab. Kartoniert DM 31,80

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

22. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XV

1968. VIII und 198 Seiten mit 91 Abb. und 44 Tab. Kartonierte DM 43,20

23. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVI – XVII

1969. Teil I. VIII und 228 Seiten mit 81 Abb. und 81 Tab. Kartonierte DM 52,80

Teil II. VIII und 191 Seiten mit 70 Abb. und 63 Tab. Kartonierte DM 48,80

24. Sonderheft:

Internationales Symposium: Hundert Jahre Saatgutprüfung

1970. VIII und 207 Seiten mit 47 Abb. und 49 Tab. Kartonierte DM 50,60

25. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVIII – XIX

1970. Teil I. VIII und 172 Seiten mit 78 Abb. und 56 Tab. Kartonierte DM 47,20

Teil II. VIII und 178 Seiten mit 73 Abb. und 71 Tab. Kartonierte DM 46,60

26. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XX – XXI

1971. Teil I. VIII und 333 Seiten mit 158 Abb. und 96 Tab. Kartonierte DM 87,60

Teil II. VI und 220 Seiten mit 87 Abb. und 64 Tab. Kartonierte DM 64,80

27. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXII – XXIII

1972. Teil I. VI und 281 Seiten mit 95 Abb. und 136 Tab. Kartonierte DM 86,50

Teil II. VI und 237 Seiten mit 102 Abb. und 107 Tab. Kartonierte DM 77,40

28. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXIV – XXV

1973. Teil I. X und 390 Seiten mit 127 Abb. und 173 Tab. Kartonierte DM 122,—

Teil II. VIII und 279 Seiten mit 94 Abb. und 138 Tab. Kartonierte DM 87,40

29. Sonderheft:

Justus von Liebig und unsere Zeit

1973. 48 Seiten mit 2 Abb. Kartonierte DM 9,80

30. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXVI – XXVII

1974. Teil I. VIII und 262 Seiten mit 89 Abb. und 77 Tab. Kartonierte DM 98,—

Teil II. VI und 218 Seiten mit 110 Abb. und 96 Tab. Kartonierte DM 82,80

31. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXVIII – XXIX

1975. Teil I. VIII und 320 Seiten mit 100 Abb. und 112 Tab. Kartonierte DM 118,—

Teil II. VIII und 292 Seiten mit 82 Abb. und 91 Tab. Kartonierte DM 106,80

32. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXX – XXXI

1976. Teil I. VIII und 294 Seiten mit 78 Abb. und 106 Tab. Kartonierte DM 108,—

Teil II. VI und 281 Seiten mit 63 Abb. und 82 Tab. Kartonierte DM 102,80

33. Sonderheft:

Kongreßband 1976 Oldenburg

1977. Teil I. VI und 298 Seiten mit 107 Abb. und 108 Tab. Kartonierte DM 118,—

Teil II. IV und 348 Seiten mit 106 Abb. und 122 Tab. Kartonierte DM 128,50

34. Sonderheft:

Kongreßband 1977 Aachen

1978. Teil I. VIII und 279 Seiten mit 69 Abb. und 115 Tab. Kartonierte DM 104,—

Teil II. VII und 246 Seiten mit 106 Abb. und 78 Tab. Kartonierte DM 98,—

35. Sonderheft:

Kongreßband 1978 Augsburg

1979. VIII und 724 Seiten mit 242 Abb. und 315 Tab. Kartonierte DM 294,—

36. Sonderheft:

Kongreßband 1979 Gießen

1980. X und 451 Seiten mit 135 Abb. und 224 Tab. Kartonierte DM 201,—

37. Sonderheft:

Kongreßband 1980 Braunschweig

1981. XII und 696 Seiten mit 187 Abb. und 278 Tab. Kartonierte DM 319,—

38. Sonderheft:

Kongreßband 1981 Trier

1982. XII und 803 Seiten mit 232 Abb. und 306 Tab. Kartonierte DM 380,—