

Schwermetalle in P-Düngern

Sylvia Kratz und Ewald Schnug

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

Zusammenfassung

Beim Eintrag von Schwermetallen in die Nahrungskette spielen Düngemittel eine wesentliche Rolle. Insbesondere mineralische P-Dünger aus sedimentären Rohphosphaten weisen oftmals hohe Schwermetallgehalte auf, aber auch mit Klärschlamm und Wirtschaftsdüngern können erhebliche Schwermetallfrachten auf den Acker gelangen. Der Beitrag gibt einen Überblick über Schwermetallgehalte und -frachten unterschiedlicher mineralischer und organischer Düngemittel bei praxisüblicher P-Düngung und demonstriert am Beispiel von Cd den Ablauf einer Risikoabschätzung anhand von toxikologischen Basisdaten. Abschließend werden Handlungsoptionen zur Begrenzung von Schwermetalleinträgen in landwirtschaftliche Böden diskutiert.

Schlüsselwörter: Klärschlamm, Mineraldünger, Schwermetalle, Risikoabschätzung, Toxikologie, Wirtschaftsdünge,

Summary

Fertilization may play an important role for the input of heavy metals into the food chain. In particular, mineral P fertilizers produced from sedimentary rock phosphates often contain high levels of heavy metals, however, agricultural soils may also receive considerable loads of heavy metal with sewage sludge and farmyard manure. In this paper, the heavy metal con-

tent of different mineral and organic fertilizers and heavy metal loads resulting from standard P-fertilization practice are presented. The procedure of establishing a risk assessment based on toxicological data is outlined exemplary for Cd and options for a reduction of heavy metal inputs into agricultural soils are discussed.

Key words: h farmyard manure, eavy metals, mineral fertilizers, risk assessment, sewage sludge, toxicology

Einleitung

Schwermetalle sind Metalle mit einer Dichte >5g cm⁻³ (Sauerbeck, 1985; Bliefert, 1994; Hintermaier-Erhard & Zech, 1997; Hirner et al., 2000), vereinzelt werden in der Literatur auch 6 g cm⁻³ als Untergrenze genannt (Alloway, 1999). Im weiteren Sinne gehören dazu auch die Metalloide (=Halbmetalle oder Elemente mit nur teilweise metallischem Charakter) mit einer Dichte > 5 g cm⁻³, namentlich Ge, As, Sb, Te und Po. Mehr als die Hälfte aller bekannten Elemente des Periodensystems sind Schwermetalle (Abb. 1). In Biosystemen sind Komplexverbindungen mit organischen Liganden die dominierende Speicherform. Einige Schwermetalle kommen in mehreren unter Umweltbedingungen stabilen Oxidationsstufen vor, so z.B. Fe²⁺/Fe³⁺, Cu⁺/Cu²⁺, Mn²⁺/Mn³⁺/Mn⁴⁺ und As³⁺/As⁵⁺ (Hirner et al., 2000).

Gruppe	IA	IIA	IIIB		IVB	VB	VIB		VIIB		VIIIB	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Periode																						
1	1 H																	2 He				
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne				
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar				
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
6	55 Cs	56 Ba	* Lu	71 Hf	72 Ta	73 W	74 Re	75 Os	76 Ir	77 Pt	78 Au	79 Hg	80 Tl	81 Pb	82 Bi	83 Po	84 At	85 Rn				
7	87 Fr	88 Ra	* Lr	103 Rf	104 Db	105 Sg	106 Bh	107 Hs	108 Mt	109 Ds												
*Lanthanoiden			* La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb						
**Actinoiden			* Ac	89 Th	90 Pa	91 U	92 Np	93 Pu	94 Am	95 Cm	96 Bk	97 Cf	98 Es	99 Fm	100 Md	101 No	102					
		Li	Metalle												H	Nicht-Metalle						
		B	Metalloide												F	Halogene						
		V Ge	Metall(oid)e mit Dichte > 5 g/cm ³												He	Edelgase						

Abb. 1. Schwermetalle im Periodensystem

In zu hoher Konzentration sind alle Metalle giftig. Einige sind allerdings zugleich essenzielle Spurenelemente, d.h. sie sind erforderlich für lebensnotwendige Stoffwechselforgänge von Pflanzen, Tieren und/oder Menschen. Zu den für Pflanzen essenziellen Schwermetallen gehören Cu, Fe, Mn, Mo, Zn (und Ni), für Tiere und Menschen sind vor allem Co, (Cr?), Cu, Fe, Mn und Zn zu nennen (Alloway, 1999; Schilling, 2004).

Der Mensch nimmt Schwermetalle zu etwa 75% mit pflanzlicher und zu etwa 20% mit tierischer Nahrung auf, nur etwa 5% der aufgenommenen Schwermetalle stammen aus der Atemluft (Hirner et al., 2000). Daraus wird deutlich, dass der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion eine Schlüsselrolle beim Schutz der menschlichen Gesundheit zukommt. Wichtige Schutzgüter sind selbstverständlich auch die Gesundheit von Tier und Pflanze, die Nahrungs- und Futtermittelqualität sowie die Bodenfruchtbarkeit als Grundlage der Nahrungs- und Futtermittelproduktion.

Toxikologische Relevanz

Pflanzentoxizität

Die toxische Wirkung von Schwermetallen auf Pflanzen beruht darauf, dass sie Wachstum und Entwicklung der Pflanzen beeinträchtigen können. Zu unterscheiden ist dabei zwischen nicht-essenziellen und essenziellen Elementen (Abb. 2). Bei nicht-essenziellen Schwermetallen wird die toxische Wirkung mit zunehmender Konzentration des Elements stärker, bei essenziellen Schwermetallen beeinträchtigt eine zu geringe Konzentration Wachstum und Entwicklung ebenso wie eine zu hohe, beides kann im Extremfall zum Absterben der Pflanze führen (Kabata-Pendias, 2001).

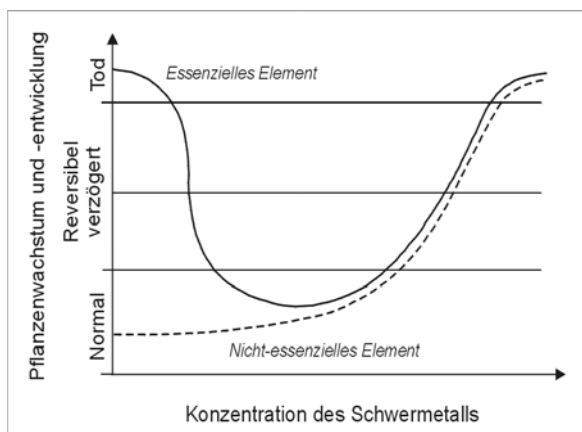


Abb. 2: Wirkung essenzieller und nicht-essenzieller Schwermetalle auf Pflanzenwachstum und -entwicklung in Abhängigkeit von der Konzentration (aus: Kabata-Pendias, 2001)

Ob eine toxische Wirkung überhaupt eintritt, hängt natürlich davon ab, ob und in welchem Ausmaß das Schwermetall von der Pflanze aufgenommen wird.

Pflanzenverfügbarkeit bzw. Mobilität eines Schwermetalls im Boden sind in erster Linie eine Funktion des Boden-pH (Kabata-Pendias, 2001). Die Mobilität ist aber auch elementspezifisch verschieden (Abb. 3). So ist sie besonders hoch bei Cd, Zn und Tl, besonders niedrig bei Pb und Hg (Hintermaier-Erhard & Zech, 1997). Sie kann durch sog. Transferfaktoren beschrieben werden. Der Transferfaktor entspricht dem Quotienten aus der Schwermetallkonzentration in der Pflanze und der Schwermetallkonzentration im Boden. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass Transferfaktoren mit der Konzentration des jeweiligen Elements im Boden variieren (Sauerbeck, 1985). Sie werden daher hier lediglich als starke Vereinfachung mit orientierendem Charakter gebraucht und dienen nur der Beschreibung von Tendenzen.

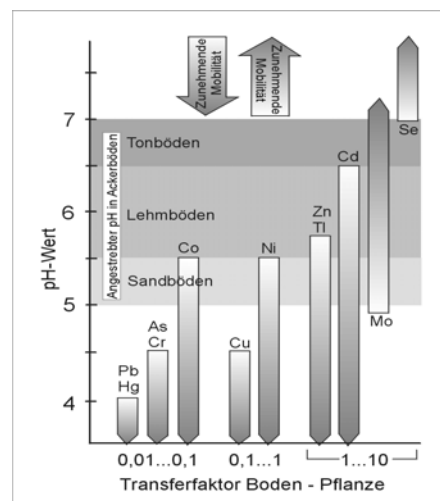


Abb. 3. Mobilität und Transfer von Schwermetallen aus dem Boden in die Pflanze in Abhängigkeit vom pH-Wert (aus: Hintermaier-Erhard & Zech, 1997)

Toxizität für Tiere und Menschen

Bei Tieren und Menschen unterscheidet man zwischen akuter und chronischer Schwermetalltoxizität. Unter akuter Toxizität versteht man eine Schädigung, welche durch die ein- oder mehrmalige Aufnahme einer hohen Dosis innerhalb kurzer Zeit (24 h) ausgelöst wird. Chronische Toxizität dagegen ist eine schädliche Wirkung, welche bei wiederholter Aufnahme kleiner (nicht akut toxischer) Dosen über längere Zeit (Monate, Jahre) durch Anreicherung eines Stoffes im Organismus oder durch Summierung irreversibler toxischer Effekte im Zielorgan hervorgerufen wird (Merian, 1984; von Geldmacher, Mallinckrodt & Schaller, 2004).

Für die Frage der Schädigung von Schwermetallen in Düngemitteln ist in erster Linie die mögliche chronische Toxizität von Interesse, die durch langfristige Aufnahme geringer Dosen von Schwermetallen mit der pflanzlichen Nahrung verbunden sein kann.

Beim Menschen können infolge der Schwermetalltoxizität verschiedene chronische Schäden auftreten (nach Merian, 1984; Merck Index, 2001; Geldmacher von, Mallinckrodt & Schaller, 2004):

- Funktionsstörungen des Magen-Darm-Traktes (generell)
- Funktionsstörungen der Leber: As, Bi, Cr, Cu, Fe, Mn, Sb
- Funktionsstörungen der Niere: Au, Cd, Hg, Pb, U
- Störungen des blutbildenden Systems: As, Pb
- Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems: As, Bi, Pb
- Erkrankungen der Atemwege (bei inhalativer Aufnahme)
- Schäden des zentralen und peripheren Nervensystems: As, Hg, Mn, Pb, Tl, Organozinnverbindungen
- Mutagenität: As, Cr, Hg
- Teratogenität: Hg, Pb
- Kanzerogenität: As, Be, Cd, Cr, Ni, U

Eintragungspfade von Schwermetallen in die Nahrung

Die Eintragungspfade von Schwermetallen in die Nahrungskette sind vielfältig (Abb. 4). Wie Wilcke und Döhler (1995) anhand einer Schwermetallgesamtbilanz der Landwirtschaft für die Bundesrepublik Deutschland zeigten, spielen neben der atmosphärischen Deposition Düngemittel, und zwar nicht nur mineralische, sondern auch Wirtschaftsdünger und Klärschlamm, eine ganz wesentliche Rolle.

Abb. 4 verdeutlicht dies am Beispiel Cadmium. Gezeigt sind hier die relativen Cd-Einträge in das Sy-

stem Boden-Pflanze-Mensch in % des Gesamteintrages. Betrachtet man ausschließlich die Einträge in die landwirtschaftliche Nutzfläche, wird der Beitrag der Düngung sogar noch deutlicher, wie aktuelle Zahlen für Deutschland belegen. So beträgt nach Schütze et al. (2003) der relative Anteil von Mineraldüngern am Cd-Eintrag in die landwirtschaftliche Nutzfläche 71%, Wirtschaftsdünger tragen mit 8%, die atmosphärische Deposition mit 20% zum Cd-Eintrag bei. Der Beitrag von Klärschlamm ist nach Schütze et al. (2003) im bundesweiten Kontext vernachlässigbar gering, ebenfalls nicht berücksichtigt wurden von diesen Autoren der Anteil von Verwitterung und Abwasserverrieselung.

Schwermetalle in P-Düngern

Quellen von Schwermetallen in P-Düngern

Wie bereits gezeigt, spielen Mineraldünger eine hervorragende Rolle beim Eintrag von Schwermetallen in die Nahrungskette, und zwar insbesondere die P-Düngemittel aufgrund ihrer Herstellung aus Rohphosphaten, welche geogen bedingt bereits hohe Schwermetallgehalte mitbringen. Häufigstes gesteinsbildendes Mineral bei Rohphosphaten sind diverse Varietäten des Apatits. Zu unterscheiden ist zwischen sedimentären Rohphosphaten, bestehend aus (Hydroxyl-) Carbonat-Fluor-Apatit, die bei ihrer Entstehung Schwermetalle wie Ag, As, Cd, Mo, Pb, U, V oder Zn durch Adsorption an sekundäre Tonminerale und Fällung von Metallsulfiden unter reduzierenden Bedingungen einlagern, und magmatischen Rohphosphaten (Chlor-, Hydroxyl- oder Fluorapatit), bei deren Kristallisation durch isomorphe Substitution anstelle von Haupt- und Mengenelementen Schwermetalle (vor allem Seltene Erden, Pb und Sr) in den Apatit eingebaut wurden (van Kauwenbergh, 1997; Alloway, 1999).

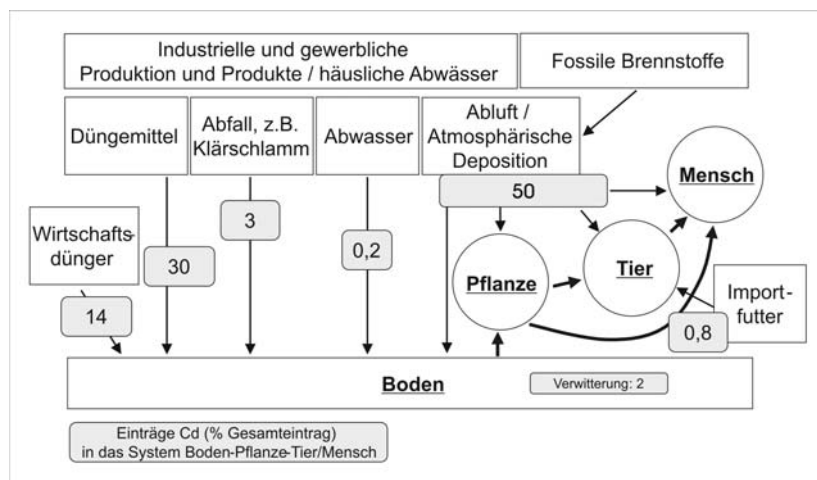


Abb. 4: Relative Bedeutung verschiedener Eintragungspfade von Schwermetallen in das System Boden-Pflanze-Tier/Mensch am Beispiel Cadmium, nach Sauerbeck (1985), verändert, Daten für Cd aus Wilcke und Döhler (1995)

87% der zur P-Düngerproduktion eingesetzten Rohphosphate sind sedimentärer Natur (van Kauwenbergh, 1997). Tab. 1 zeigt Schwermetallgehalte der weltweit am stärksten vertretenen Herkünfte. Zum Vergleich sind Hintergrundwerte für Sand- und Löss-Böden nach LABO (1998) aufgeführt. Unter dem Hintergrundwert wird die Summe aus naturbedingtem, geogenem Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser anthropogener Einträge in die Böden verstanden (LABO, 1998). Erkennbar ist eine deutlich stärkere Anreicherung der Schwermetalle in sedimentären gegenüber magmatischen Rohphosphaten. Auffällig ist außerdem, dass Cd und U in allen Herkünften eine durchgängig hohe Anreicherung zeigen, während hinsichtlich der anderen aufgeführten Elemente jeweils auch Herkünfte mit vergleichsweise niedrigen Gehalten zur Verfügung stehen. Hoch angereichert ist auch Zn, dieses ist aber ein essenzielles Element und von deutlich geringerer Toxizität als Cd und U und gibt daher ungleich weniger Anlass zur Besorgnis.

Beim Produktionsprozess von P-Mineraldüngern aus Rohphosphaten werden die im Rohstoff vorhandenen Schwermetalle zu mindestens 60 - 70% in das Produkt transferiert (Mortvedt & Beaton, 1995).

Lokal kann auch Klärschlamm einen bedeutenden Beitrag zum Schwermetalleintrag leisten. In häusliche und industrielle Abwässer gelangen die Metalle z.B.

durch Korrosion von Wasserleitungen (Cu, Zn) oder über Medikamente und Hygieneprodukte (Ag, As, Cu, Hg, Zn), ein wichtiger Zuleiter ist vor allem auch die metallver- und bearbeitende Industrie (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Tl, Pb, V, Zn, u.v.m.) (Alloway, 1999; Thomé-Kozmiensky, 2001).

Schwermetalle wie Cu, Zn oder As werden insbesondere auch über Wirtschaftsdünger in die landwirtschaftliche Nutzfläche eingebracht, wobei die wesentliche Eintragsquelle hier Futtermittelzusätze sind, die zur Leistungssteigerung in der Tierfütterung eingesetzt werden. Daneben können über das Trinkwasser der Tiere, Trägersubstanzen für Tiermedikamente, Stroheinstreu sowie Abrieb von metallischen Stalleinrichtungen weitere Schwermetalle (z.B. Pb und Ni) in die Wirtschaftsdünger gelangen (Schultheiss et al., 2003; Schultheiss, persönliche Mitteilung, 2003).

Schwermetallzufuhr mit der P-Düngung

Der Einsatz von Phosphordüngern zu einer Acker- oder Grünlandkultur erfolgt im Allgemeinen in Anpassung an den P-Bedarf der jeweiligen Kultur. Je kg zugeführtem P wird jeweils auch eine bestimmte Fracht an Schwermetallen unvermeidbar mit in den Boden eingebracht. In Tab. 2 ist der Schwermetallgehalt von P-Düngern daher auf deren Phosphat-Gehalt bezogen.

Tab. 1.: Schwermetallgehalte von Rohphosphaten unterschiedlicher Herkunft (nach Mortvedt & Beaton, 1995; van Kauwenbergh, 1997; Raven & Loeppert, 1997; Kharikov & Smetana, 2000; Gupta & Singh, 2003) und Hintergrundwerte für Böden nach LABO (1998)

mg kg ⁻¹	Rohphosphate										Hintergrundwerte für Böden (LABO)	
	----- sedimentär -----										--- magmatisch ---	
	USA		Marokko		China		Mittlerer Osten		Russland (Kola)		Sand	Löss
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis		
As	7	24	9,2	13	9	26	2,1	35	1	10	2	8
Cd	6,1	92	15	38	<2	2,5	1,5	35	0,1	1,3	<0,3	<0,3
Cr	60	637	75	279	18	33	25	230	13		17	120
Cu	9,6	23	1	22			5	31	15	30	7	18
Hg	0,05	0,29	0,04	0,86	0,005	0,21	0,002	0,02	0,004	0,01	0,05	0,12
Ni	17	37		26			20	80	2	15	4	28
Pb	4,6	17	7	14	1,5	6	1	33	1,8	33	20	43
V	23	769	87	200	8	80	59	303	100		23	69
Zn	204	382		261			29	630	19	23	25	73
U	65	180	75	155	23	31	40	170	10	28	Böden weltweit 0,8-11	

Anzumerken ist, das hier zwecks Darstellung von generellen Trends lediglich mittlere Gehalte gezeigt sind und nicht die bisweilen enormen Spannweiten, die bedingt durch Herkunft des Rohstoffes, Typ des Abwassers bzw. Zusammensetzung des Futters auftreten können. Die Daten verdeutlichen, dass die Schwermetallzufuhr je nach Wahl des Düngemittels sehr unterschiedlich sein kann. Mineraldünger bringen in der Regel eine besonders hohe Menge an Cd sowie auch an U mit in den Boden ein. Klärschlämme weisen relativ hohe Gehalte an allen betrachteten Schwermetallen auf. Tierische Wirtschaftsdünger bringen besonders viel Zn und Cu in den Boden ein (Schweinegülle auch As), wobei diese Metalle allerdings als essenzielle Spurenelemente anders zu bewerten sind als hochtoxische Elemente wie Cd oder U

(siehe dazu VDLUFA, 2002). Aber auch Ni- und Pb-Gehalte sind bezogen auf den P₂O₅-Gehalt bei Wirtschaftsdüngern vergleichsweise hoch. Aus der Tabelle lassen sich leicht potenzielle Schwermetallfrachten ermitteln, die bei einer Düngung von 50 kg P₂O₅ je ha und Jahr dem Boden zugeführt werden (Tab. 3). Zum Vergleich sind in Tab. 3 gewichtete mittlere Schwermetallentzüge für alle in Deutschland angebauten Fruchtarten dargestellt.

Risikoabschätzung

Im Hinblick auf die eingangs erwähnten Schutzgüter ist eine Schwermetallzufuhr über Düngemittel vor allem dann risikobehaftet, wenn diese von Pflanzen und Tieren aufgenommen werden und so in die menschliche Nahrung gelangen.

Tab. 2: Zufuhr von Schwermetallen mit der P-Düngung bei verschiedenen P-Düngemitteln

	P ₂ O ₅ %TM	As	Cd	Cr	Cu	Hg mg kg ⁻¹ P ₂ O ₅	Ni	Pb	Tl	Zn	U
Superphosphat	18	k.D.	33	1006	125	k.D.	81	<6	k.D.	767	313
TSP	46	12	67	652	50	0,09	67	<2	5	974	504
Weicherdiges RP	28,5	k.D.	40	561	56	k.D.	54	6	k.D.	751	316
NP (MAP)	46	7	26	307	48	<0,02	55	<2	2,1	439	430
Klärschlamm	4,4	30	25	868	8820	19	560	1089	33	18450	k.D.
Schweinegülle	5,2	63	7	113	5499	0,5	185	140	0,4	18998	k.D.
Hühnerfestmist	5	7	6	192	1536	5	202	79	k.D.	8204	k.D.
Hühnertrockenkot	3,6	k.D.	6	157	2210	1	133	72	k.D.	10553	k.D.
Rindergülle	1,9	29	16	259	2533	2	275	291	2	12286	k.D.

Daten für Mineraldünger aus Boysen, 1992, Heiland, 1986, Raven & Loeppert, 1997, Severin et al., 1990, UBA-Texte 59/01;

P-Gehalte in Mineraldüngern nach Schilling, 2000;

Daten für organische Dünger aus Datenbank FAL/PB (zahlreiche Quellen)

k.D. = keine Daten verfügbar

Tab. 3: Schwermetallfrachten bei einer Düngung von 50 kg P₂O₅ je ha und Jahr (abgeleitet aus Tab. 2) für unterschiedliche P-Düngemittel und nach Anbaufläche gewichtete mittlere Schwermetallentzüge über alle Fruchtarten nach BMU / BMVEL (unveröffentlicht)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg (g ha ⁻¹ a ⁻¹)	Ni	Pb	Tl	Zn	U
Superphosphat	k.D.	1,65	50,3	6,25	k.D.	4,05	<0,3	k.D.	38,4	15,7
TSP	0,6	3,35	32,6	2,5	0,005	3,35	<0,1	0,25	48,7	25,2
Weicherdiges RP	k.D.	2	28,1	2,8	k.D.	2,7	0,3	k.D.	37,6	15,8
NP (MAP)	0,35	1,3	15,4	2,4	<0,001	2,75	<0,1	0,11	22	21,5
Klärschlamm	1,5	1,25	43,4	441	0,95	28	54,5	1,65	923	k.D.
Schweinegülle	2,5	0,35	5,65	275	0,025	9,25	7	0,02	950	k.D.
Hühnerfestmist	0,35	0,3	9,6	76,8	0,25	10,1	3,95	k.D.	410	k.D.
Hühnertrockenkot	k.D.	0,3	7,85	111	0,05	6,65	3,6	k.D.	528	k.D.
Rindergülle	1,45	0,8	13	127	0,1	13,8	14,6	0,1	614	k.D.
Gewichteter mittlerer Schwermetallentzug über alle Fruchtarten		0,75	11	37	0,15	9	11		260	

Die LABO-Arbeitsgruppe „Schwermetalltransfer Boden/Pflanze“ (Delschen & Rück, 1997; Delschen et al., 1998) hat vor diesem Hintergrund die Elemente As, Pb, Cd, Hg und Tl als „vorrangig relevant“ für die Nahrungspflanzenqualität identifiziert.

Hinsichtlich der Qualität von Futterpflanzen (Eintrag in die menschliche Nahrungskette über tierische Nahrungsmittel) wurden von den Autoren weiterhin Cu und Ni hervorgehoben. Ertragsrelevante und damit für die Sicherung menschlicher Nahrung bedeutsame phytotoxische Wirkungen schließlich seien bei As, Cu, Ni und Zn zu besorgen.

Eine ganz ähnliche Auflistung findet sich bei Alloway (1999), der As, Cd, Hg, Pb, Tl und U als diejenigen Schwermetalle nennt, die hinsichtlich der menschlichen Gesundheit, Landwirtschaft und Ökotoxikologie am meisten Anlass zur Besorgnis gäben. Mit Bezug auf die Sicherung der Bodenfruchtbarkeit werden hier außerdem Zn und Cu genannt, da diese toxisch für einige Bodenmikroorganismen, z.B. Rhizobia (symbiotische N-Fixierer) seien. In einer US-amerikanischen Studie zur Bewertung des Gesundheitsrisikos ausgewählter Metalle in Mineraldüngern nach der Applikation wurden die Elemente As, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se, V, Zn und Ra-226 als „potenziell Besorgnis erregende Metalle“ bezeichnet, wobei als Auswahlkriterien hier die relative Toxizität (Reference Dose RfD nach USEPA, d.h. Schwellenwert, oberhalb dessen toxische Wirkungen eintreten können, basiert auf NOAEL, s.u.), die relative Produktkonzentration und der Bewertungsvorrang genannt wurden (The Weinberg Group Inc., 2000).

Zwischen der Einstufung als potenziell Besorgnis erregendes Element und der Feststellung eines tatsächlich bestehenden Risikos ist allerdings klar zu

unterscheiden. Dies soll im Folgenden anhand einer von der FAL durchgeführten „Risikoabschätzung der Cadmium-Belastung für Mensch und Umwelt infolge der Anwendung von cadmiumhaltigen Düngemitteln“ (Schütze et al., 2003) verdeutlicht werden. In der Literatur besteht Einigkeit darüber, dass es sich bei Cadmium um ein hochtoxisches Element handelt (Delschen et al., 1998, Alloway, 1999; The Weinberg Group Inc., 2000; Schütze et al., 2003). Aus den vorangegangenen Ausführungen geht außerdem hervor, dass P-Düngemittel Cd in vergleichsweise hohen Konzentrationen enthalten können. Wie ist nun das Risiko für Mensch und Umwelt einzustufen, wenn Kulturpflanzen entsprechend der guten fachlichen Praxis mit P-Düngern versorgt werden?

Die Risikoabschätzung für Cadmium nach Schütze et al. (2003) (Abb. 5) arbeitet mit Toxizitätsschwellenwerten, d.h. Schwellenkonzentrationen, unterhalb derer nach heutigem Stand des Wissens schädliche Wirkungen auf den Zielorganismus ausgeschlossen werden können. In der Ökotoxikologie heißen diese PNEC, oder „predicted no effect concentration“. PNECs werden aus quantitativen ökotoxikologischen Wirkungsdaten über Schwermetalle abgeleitet. In einem zweiten Schritt werden PNECs mit der aktuell messbaren bzw. für die Zukunft prognostizierten Umweltkonzentration (PEC oder „predicted environmental concentration“) verglichen, um das tatsächliche Risiko abzuschätzen. Per Definition ist ein ökotoxikologisches Risiko dann vorhanden, wenn $PEC > PNEC$. Für die Zukunft werden Umweltkonzentrationen über ein Akkumulationsmodell berechnet, welches Düngungsstrategie, atmosphärische Deposition, Auswaschung und Pflanzenentzug berücksichtigt.

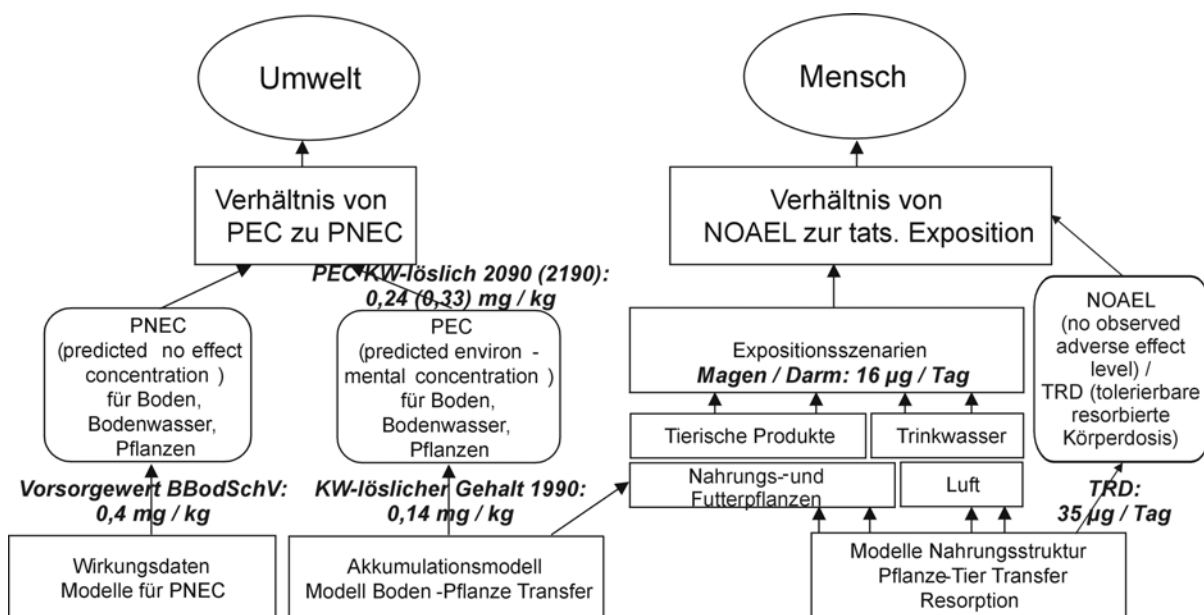


Abb. 5: Ablaufschema einer Risikoabschätzung für Cd nach Schütze et al. (2003)

In der Humantoxikologie wird mit sog. NOALs oder „no observed adverse effect levels“ gearbeitet. Das sind in der Regel im Tierversuch abgeleitete Schwellenkonzentrationen, bei denen kein toxischer Effekt eintritt. Aus diesen werden „tolerierbare täglich resorbierte Körperdosen“ (TRD) abgeleitet. Zur Kompensation der Hochrechnung von subchronischer auf chronische Expositionsdauer, der Übertragung von Tierexperimenten auf den Menschen und zum Schutz empfindlicher Personengruppen kalkuliert man hierbei mit einem Sicherheitsfaktor, der zwischen 1 und 10000 liegen kann (UBA, 1993). Parallel wird die tatsächliche Exposition des Menschen über Modelle und gemessene Stoffkonzentrationen in Lebensmitteln, Wasser und Luft ermittelt. Ein humantoxikologisches Risiko ist vorhanden, wenn die tatsächliche Exposition größer oder gleich der TRD ist.

Die ökotoxikologische Betrachtung erfolgt in dem gezeigten Beispiel bezogen auf die Cd-Gehalte im Boden, als aktuelle PEC wurden daher die Hintergrundgehalte für Böden nach LABO (1998) eingesetzt, als PNEC die Vorsorgewerte nach BBodSchV. Für die Umwelt kommen die Autoren zu folgendem Fazit: Für Böden, Pflanzen und Sickerwasser werden langfristig erhöhte Gehalte prognostiziert, damit erhöht sich auch die Belastung der Bodenlebewesen und der Nahrungspflanzen. Zwar werden die Vorsorgewerte beim Durchschnittsszenario derzeit noch nicht überschritten. Im Sinne nachhaltiger Wirtschaftsweisen ist aber auch die verzögerte Akkumulation bis hin zum Erreichen kritischer Gehalte zu vermeiden.

Das Fazit für den Menschen wird wie folgt formuliert: Ein akutes Risiko besteht nicht. Bereits heute liegt allerdings die Cd-Belastung oftmals in gleicher Größenordnung wie die Toxizitätsschwellenwerte, für Risikogruppen wie Raucher, Vegetarier, Gourmets oder Personen mit Eisenmangel werden sogar aktuell schon Belastungen oberhalb der TRD ermittelt. Es ist daher keine weitere Belastung tolerierbar.

Um ein Einfrieren heutiger Gehalte und eine ausgewogene Cd-Bilanz auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu erreichen, ist, so Schütze et al. (2003), eine Minderung der Cd-Gehalte in Düngemitteln ebenso wie der Cd-Belastung durch atmosphärische Einträge dringend geboten. Wenn nicht akut, so besteht doch zumindest im Zuge des vorbeugenden Verbraucherschutzes (gesetzlicher) Handlungsbedarf.

Handlungsoptionen zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen

Nachdem das Gefährdungspotenzial identifiziert, eine Expositionsabschätzung durchgeführt und eine quantitative Charakterisierung des Risikos vorgenommen wurde, muss im Prozess der Risikoregulierung als nächster Schritt die Suche nach Handlungsoptionen folgen (Bericht der Risikokommission, 2002). Zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen in Böden lassen sich in Anlehnung an Bachmann et al.

sich in Anlehnung an Bachmann et al. (1995) drei grundsätzliche Handlungsoptionen formulieren:

1. **Vermeidung** von Schadstoffeinträgen („**Null-Option**“)
2. Erhaltung des **Status quo**
 - a) systemorientiert („**Eintrag gleich Austrag**“): Begrenzung der Schadstoffeinträge auf ein Gleichgewicht mit tolerierbaren Austrägen
 - b) produktorientiert („**Gleiches zu Gleichem**“): Begrenzung der Schadstoffeinträge auf ein Gehaltsniveau, das dem des Aufbringungsstandortes entspricht
3. Aufstellung von Konventionen über vorläufig **tolerierbare Anreicherungen** und Schadstoffeinträge unter definierten Randbedingungen.

Im Zuge der Risikobewertung haben sich die deutschen Agrar- und Umweltminister auf politischer Ebene bereits am 13. Juni 2001 in Potsdam klar für eine der Handlungsoptionen entschieden, indem sie auf ihrer gemeinsamen Konferenz den Beschluss fassten, dass „wegen der besonderen Bedeutung der landwirtschaftlichen Böden für die Produktion gesunder Nahrungsmittel **aus Vorsorgegründen** sicher zu stellen (ist), dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere durch Aufbringung von Klärschlamm, Gülle und anderen Wirtschaftsdüngern, mineralischem Dünger und Kompost) zu **keiner Anreicherung von Schadstoffen** im Boden kommt.“

Schlussfolgerungen

Von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Report, 1987) wurde der Begriff der „nachhaltigen Entwicklung“ geprägt: „Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“ Das bedeutet: Nachhaltig ist eine Entwicklung, „die den **Bedürfnissen der heutigen Generation** entspricht, ohne die **Möglichkeiten künftiger Generationen** zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“ (übersetzt nach

<http://www.nachhaltigkeit.aachener-stiftung.de>).

In diesem Sinne kann eine konsequente Umsetzung des Vorsorgeprinzips im Bestreben nach einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Praxis nur darin liegen, die bereits heute von jedem Landwirt zu erstellenden betriebliche Nährstoff- um **Schadstoffbilanzen** zu erweitern und, darauf aufbauend, das Düngemanagement künftig qualitativ (Wahl des Düngemittels) wie quantitativ (Aufbringungsmengen) an die **Handlungsoption „Erhaltung des Status quo“** anzupassen.

Literatur

- Alloway BJ** (1999) Schwermetalle in Böden. Analytik, Konzentration, Wechselwirkungen. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag, 540 p, ISBN 3-540-62086-9
- Bachmann G, König W, Kohl R** (1995) Handlungskonzept des Bodenschutzes zur Begrenzung von Stoffeinträgen in den Boden. Unveröffentlicht, zitiert in: Bannick C G und Autorenkollektiv (2001) Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. Berlin: UBA, , Texte 59/01, 126 p
- Briefert C** (1994) Umweltchemie. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 453 p, ISBN 3-527-28692-6
- BMU/BMVEL** (2003) Vorschlag für die Festlegung von Schadstoffgrenzwerten in einer Artikelverordnung zur „Bewertung von Düngemitteln“. Bericht des UBA an BMU vom 24.06.2003 (unveröffentlicht)
- Delschen T und Autorenkollektiv** (1998) Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigungen/Altlasten-Pflanze. In: Einsele DG, Harreß H-M (eds) Rosenkranz Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser., Loseblattsammlung. Berlin: Erich Schmidt Verlag, Band 3, 28. Lfg XII/98, Rn 9009, ISBN 3-503-02718-1
- Delschen T, Rück F** (1997) Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung von schwermetallbelasteten Böden im Hinblick auf den Pfad Boden/Pflanze. Bodenschutz 4: 114-121
- Von Geldmacher, Mallinckrodt M, Schaller K-H** (2004) Acute and Chronic Toxicity of Metals and Metal Compounds for Man. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppeler M (eds) Elements and Their Compounds in the Environment. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, pp 415-432, ISBN 3-527-30459-2
- Gupta CK, Singh H** (2003) Uranium Resource Processing. Secondary Resources. Berlin: Springer Verlag, 519 p, ISBN 3-540-67966-9
- Hintermaier-Erhard G, Zech W** (1997) Wörterbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 338 p, ISBN 3-432-29971-0
- Hirner AV, Rehage H, Sulkowski M** (2000) Umweltgeochemie. Herkunft, Mobilität und Analyse von Schadstoffen in der Geosphäre. Darmstadt: Steinkopff Verlag, 836 p, ISBN 3-7985-1232-9
- Kabata-Pendias A** (2001) Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, Florida: CRC Press, 413 p, ISBN 0-8493-1575-1
- Kharikov AM, Smetana VV** (2000) Heavy metals and radioactivity in phosphate fertilizers: short term detrimental effects. Zu finden in <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/pdf/2000_biblio_126.pdf>
- LABO** (1998) Länderübergreifende Hintergrundwerte für Böden. In: Rosenkranz D, Einsele G, Harreß H-M (eds) Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Loseblattsammlung. Berlin: E. Schmidt Verlag, Band 3, 28. Lfg XII/98, Rn 9006, ISBN 3-503-02718-1
- Merian E** (1984) Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. Weinheim: Verlag Chemie, 722 p, ISBN 3-527-25817-5
- Mortvedt JJ, Beaton JD** (1995) Heavy Metal and Radionuclide Contaminants in Phosphate Fertilizers. In: SCOPE 54 – Phosphorus in the Global Environment – Transfers, Cycles and Management, chapter 6, zu finden in <<http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/6mortvedt.htm>>
- O'Neil MJ** (ed) (2001) The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. Whitehouse Station, NY: Merck, ISBN 0-911910-13-1
- Raven KP, Loeppert RH** (1997) Trace element composition of fertilizers and soil amendments. Journal of Environmental Quality 26: 551-557
- Sauerbeck D** (1985) Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrilkulturchemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung. Stuttgart und Mainz: Verlag W. Kohlhammer, 259 p, ISBN 3-17-003312-3
- Schilling G** (2004) Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 464 p, ISBN 3-8252-8189-2
- Schultheiss U, Goldbach H, Wicke W, Uihlein A, Steffens G** (2003) Heavy metal balances in livestock farming. In: KTBL (ed) Assessment and Reduction of Heavy Metal Inputs into Agro-Ecosystems. Concerted Action AROMIS, Workshop in Kloster Banz, Germany, November 24 to 25, 2003, Abstracts, pp 33-36
- Schütze G, Dämmgen U, Schlutow A, Becker R, Nagel H-D, Weigel H-J** (2003) Risikoabschätzung der Cadmium-Belastung für Mensch und Umwelt infolge der Anwendung von cadmiumhaltigen Düngemitteln. Landbauforsch Völkenrode 53 2/3: 63-170
- The Weinberg Group Inc.** (2000) Health Risk Evaluation of Select Metals in Inorganic Fertilizers Post Application. Prepared for: The Fertilizer Institute (TFI), January 16, 2000. Washington. Zu finden in <<http://www.aapfco.org/tfiRiskStd.pdf>>
- Thomé-Kozmiensky KJ** (2001) Verantwortungsbewusster Umgang mit dem Boden. In: Thomé-Kozmiensky K (ed) Verantwortungsbewusste Klärschlamm Entsorgung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, pp 3-202, ISBN3-935317-02-6
- UBA** (1993) Basisdaten Toxikologie für umweltrelevante Stoffe zur Gefahrenbeurteilung bei Altlasten. Berlin: UBA, Texte 4/93, 213 p
- Van Kauwenbergh SJ** (1997) Cadmium and other

minor elements in world resources of phosphate rock. The Fertilizer Society, Proceedings No. 400, ISBN 0-85310-034-9

VDLUFA (ed) (2002) Stellungnahme des VDLUFA zur Konzeption von BMVEL und BMU vom Juni 2002 „Gute Qualität und sichere Erträge. Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden?“, Dezember 2002, Bonn

