

Bodenbelastung durch Klärschlamm und andere Dünger

Toni CANDINAS, Georges M. CHASSOT, Thomas KUPPER, Harald MENZI, Ernst SPIESS und Jean-Marc BESSON, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-3003 Bern
 Auskünfte: Toni Candinas, e-mail: anton.candinas@iul.admin.ch, Fax +41 (0)31 323 84 15, Tel. +41 (0)31 323 83 81

Die Qualität von Klärschlamm hat sich seit Beginn der Kontrolle vor 20 Jahren wesentlich verbessert. Ob Klärschlamm landwirtschaftlich verwendet werden soll, ist aber nach wie vor umstritten. Die vorliegende Arbeit liefert einen Diskussionsbeitrag über die Beurteilung der Qualität von Klärschlamm im Vergleich mit jener anderer Dünger. Aus der Sicht des Bodenschutzes genügt die erreichte Qualität noch nicht. Da die Phosphorvorräte aber begrenzt sind, ist die Rückführung dieses Nährelements in die natürlichen Stoffkreisläufe anzustreben.

Anhand von Resultaten der Klärschlammkontrolle von rund 20 Jahren haben Candinas *et al.* (1999a) gezeigt, dass die Belastung von Klärschlamm mit Schwermetallen stark zurückgegangen ist. Genügt die heutige Qualität aus ökologischer Sicht, um die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft weiterhin zu befürworten? Mit dieser Frage befasst sich die folgende Arbeit.

Chassot und Candinas (1998) haben mittels fünf verschiedener Bewertungsmethoden Ökobilanzen für sechs Entsorgungsvarianten von Klärschlamm berechnet. Die landwirtschaftliche Verwendung in flüssiger, thermisch getrockneter und gekalkter Form wurde der Verbrennung in einer Schlammverbrennungsanlage, einem Zementofen und einer Schwelbrennanlage für Kehrlicht gegenübergestellt. Die Studie zeigte, dass die Unterschiede in der Gesamtbelastung der Umwelt zwischen den verschiedenen Entsorgungswegen von Klärschlamm gering sind. Allerdings konnten wichtige Einflussgrössen mit den verfügbaren Methoden noch nicht berücksichtigt werden und die Inventarisierung bezüglich Phosphorressourcen und organischer Schadstoffe ist unvollständig.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Diskussion über die Bedeutung der landwirtschaftlichen Klärschlamm-Verwendung für den Bodenschutz im Vergleich mit der Verwendung anderer Dünger anhand pragmatischer Methoden zu führen. Das Ziel besteht darin, auf nationaler Ebene annäherungsweise die Bedeutung verschiedener Quellen für die Schadstoffeinträge in den Boden abzuschätzen.

Methodisches

Die Berechnung von Gehalten und Frachten an wichtigen Nährstoffen und Schwermetallen im Klärschlamm basiert auf Candinas *et al.* (1999). Für die Berechnung der Frachten im Boden sowie der Ein- und Austräge aus anderen Quellen, wurde auf verschiedene Arbeiten zurückgegriffen. Zudem mussten Annahmen getroffen und Interpretationen vorgenommen werden. Wegen der unterschiedlichen Berechnungsbasis der beigezogenen Arbeiten sind die Ergebnisse als erstmalige Abschätzung der bodenrelevanten Stoffflüsse in der Schweiz zu verstehen.

Stoffeinträge in den Boden

Um die Bedeutung der Stoffeinträge in den Boden mit Klärschlamm abzuschätzen, werden ihnen die Einträge aus verschiedenen anderen Quellen gegenübergestellt (Tab. 1). Diese Daten bilden die Grundlage für sämtliche folgenden Vergleiche.

In Abbildung 1 wird die grosse Bedeutung der Metalleinträge durch Dünger noch besser erkennbar. Klärschlamm ist dabei ein wichtiger Eintragspfad.

Dünger liefern 97 % des P-Eintrags (99 % des K- und 74 % des N-Eintrags) in den Boden. Am Schwermetalleintrag in den Boden sind Dünger mit einem Anteil von 40 bis 50 % beteiligt, wobei Chrom mit 94 % und Zink mit 80 % weit darüber liegen (Dünger, Abb. 1).

Der Beitrag des Klärschlammes, gemessen am gesamten Stoffeintrag, beträgt bei Phosphor 9 %, bei Blei 19 %, bei Zink 16 %, bei Kupfer 13 % und bei den übrigen Metallen 7 bis 10 % (KS/gesamt, Abb. 1).

Tab. 1. Abschätzung der wichtigsten Einträge an Pflanzennährstoffen (kt/Jahr) und Schwermetallen (t/Jahr) in den landwirtschaftlich und para-landwirtschaftlich¹ genutzten Böden der Schweiz

Element	Einheit	KS, Landw ²	Kompost ³	Übrige Abfalldünger ⁴	Mineraldünger ⁴	Hofdünger ⁴	Dünger, Luft ⁵ total	PSM, BNF ⁶	Gesamt eintrag
N	kt	4,8	2,7	0,8	58,8	141	208	30	44,9 283
P	kt	2,9	0,7	0,5	7,7	22,1	33,9	0,92	34,8
K	kt	0,42	1,8	1,6	27,9	176	208	1,5	210
Cd	t	0,22	0,07	0,07	0,44	0,11	0,91	1,3	2,2
Cr	t	8,7	4,6	2,5	57,7	12,7	86,2	5,3	91,5
Cu	t	41,1	11,4	6,0	4,3	94,9	157,7	40,5	130 328
Hg	t	0,21	0,03	0,03	5,8	n.b.	>6,1	1,5	<7,6
Ni	t	3,8	3,3	1,9	3,6	12,6	25,2	25	50,2
Pb	t	15,9	9,9	2,6	1,9	7,8	38,1	44	82,1
Zn	t	132	36,6	13,0	35	461	678	157	<10 845

n.b. nicht bekannt

¹Private Gärten, öffentliche Grünflächen, Erholungsflächen, Grünflächen im Bereich von Betrieben, Strassen, Bahnen und Flugplätzen

²Landwirtschaftlich verwendeter Klärschlamm nach Candinas *et al.* (1999), Menge und Qualität: Stand 1994

³Kompostqualität nach Golder (1998); Kompostmenge nach Golder (1998), zuzüglich 5 % (Kompost aus Feldrandkompostierung) + 60'000 t TS Kompost aus dezentraler Kompostierung [geschätzt nach Estermann (1994), Frischmaterial x 0,56 (Rotteverlust 44 %) x 0,5 (TS-Gehalt 50%)]

⁴Übrige Abfalldünger (alle Abfalldünger ausser Klärschlamm und Kompost), Mineraldünger und Hofdünger gemäss Lötscher *et al.* (1999), Stand 1995

⁵Schwermetalle gemäss Studer (pers. Mitteilung, IUL, 1999), berechnet auf der Basis von NABEL-Daten 1991-1996 und ausgewählten NABO-Standorten. Einträge an N gemäss BUWAL (1996, Anhang 5 D, Verteilung der N-Deposition gemäss Arealstatistik) und P gemäss Braun *et al.* (1994). Einträge an K gemäss Zobrist (1983)

⁶PSM: Pflanzenschutzmittel; BNF: Biologische N-Fixierung; Cu- und Zn-Frachten in PSM gemäss von Arx (1998), Stand 1993. Es wird vermutet, dass die Cu- und Zn-Einträge durch PSM heute deutlich tiefer liegen. BNF gemäss Braun *et al.* (1994)

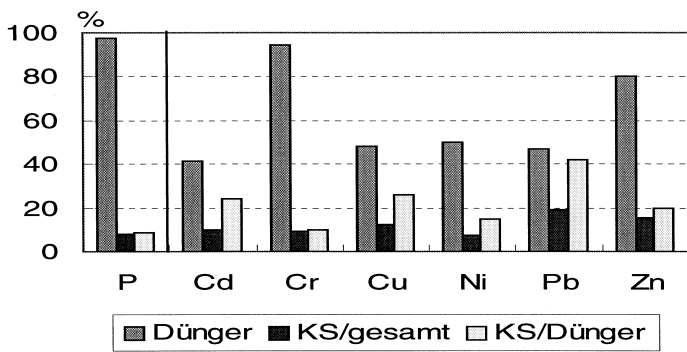


Abb. 1. Schwermetalleintrag in den Boden durch Dünger und speziell durch Klärschlamm (KS) im Vergleich zum Gesamteintrag aus allen Quellen (zum Vergleich: Phosphoreintrag).
Dünger: Eintrag durch Dünger in % des Gesamteintrags
KS/gesamt: Eintrag durch KS in % des Gesamteintrags
KS/Dünger: Eintrag durch KS in % des Eintrags durch Dünger

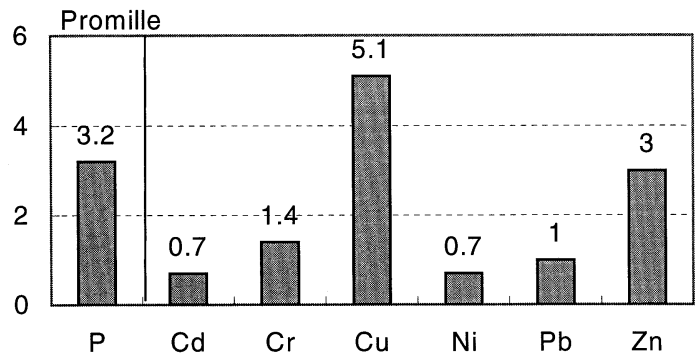


Abb. 2. Eintragsüberschuss an Schwermetallen im Vergleich zum Bodenvorrat in ‰ des Bodenvorrats (Phosphor als Referenz).

Zur Bodenbelastung durch Dünger trägt Klärschlamm 42 % des Blei-, 26 % des Kupfer- und 24 % des Cadmium- aber nur 9 % des P-Eintrags bei (KS/Dünger, Abb. 1).

Bewertung der Metalleinträge

Zimmerli und Bosshard (1989) haben verschiedene Spurenelemente in der Nahrung gesundheitlich bewertet. Keines der untersuchten Elemente erwies sich als problematisch. Die Aluminium- und Cadmiumgehalte ergaben mit maximal je etwa einem Drittel die höchste Ausschöpfung der FAO/WHO-Werte (maximale tägliche Zufuhr).

Das NABO (BUWAL 1993) schätzte die anthropogen bedingte Schadstoffbelastung von Böden. Verglichen wurde die gemessene Belastung an einem Standort mit «natürlichen» Grundgehalten und mit gesetzlich festgelegten Richtwerten. Es wurden nur wenige zivilisationsbedingte Richtwertüberschreitungen, aber überall eine mehr oder weniger grosse stoffliche Belastung der Böden, festgestellt. Am grössten war die Bodenbelastung - ausserhalb des Einflussbereichs besonderer Immissionslagen - (in abnehmender Rangfolge) durch Blei, Kupfer und Cadmium.

Ziel der vorliegenden Betrachtung ist es, diejenigen Metalle zu identifizieren, bei denen im Vergleich zum Bodenvorrat sowie zum «natürlichen» Ein- und Austrag besonders hohe Einträge erfolgen. Dafür verwenden wir folgende Vergleiche:

1. Der Eintragsüberschuss von Stoffen (Eintrag in den Boden, der grösser ist als der Austrag) wird dem Bodenvorrat gegenübergestellt.

2. Der Eintragsüberschuss wird mit dem Eintrag durch die Verwitterung des Mut-

tergesteins («natürlicher Eintrag») verglichen. Der Eintrag über die Luft bleibt ausgeklammert, da dieser nicht quantifiziert werden kann.

3. Der Gesamteintrag wird dem Austrag durch den Entzug der Pflanzen, das Sickerwasser, die Abschwemmung und die Erosion («natürlicher Austrag») gegenübergestellt.

Tab. 2. Geschätzter Vorrat an wichtigen Schwermetallen und Pflanzennährstoffen im Boden (t), natürliche Eintragsrate durch Verwitterung des Muttergesteins in den Boden sowie natürlicher Bodenaustrag über Pflanzenentzug, Sickerwasser, Erosion und Abschwemmung (t/Jahr), auf 1 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche umgerechnet

Element	Vorrat im Boden ¹	Verwitterung ² (Eintrag)	Entzug Pflanzen ³	Sickerwasser ⁴	Gasförmige Verluste ⁵	Erosion, Abschwemmung ⁶	Bodenaustrag
			a	b	c	d	a+b+c+d
N	10'000'000 (3 Mio-15 Mio)	0	165'000	37'000	86'000	2680	291'000
P	2'000'000 (0,5 Mio-2,5 Mio)	2'000 (400-5'000)	26'400	230	0	1640	28'300
Cd	600 (300-1200)	0,1 (0,001-1,4)	0,7 (0,15-1)	1,0 (0,05-20)	0	0,1 (0,7-3,1)	1,8
Cr	63'000 (33'000-95'000)	2,0 (0,4-1,1)	0,5 (0,18-1,6)	3,0 (0,8-8)	0	1,0 (21,2)	4,5
Cu	45'000 (15'000-88'000)	3,5 (0,2-25)	63 (10,4-87)	30 (2-94)	0	6 (1,7-4,5)	99
Ni	54'000 (15'000-100'000)	0,8 (0,2-2,2)	2,7 (0,8-8)	4,4 (2-138)	0	3,0	10,1
Pb	60'000 (40'000-95'000)	0,8 (0,1-25)	16 (1,4-25)	3,0 (0,6-39)	0	6,0 (3,5-4,5)	25
Zn	132'000 (88'000-223'000)	2,3 (0,3-120)	270 (70-365)	100 (6-360)	0	20 (61-172)	390

¹Schwermetalle: berechnet auf der Basis des Medianwerts (bzw. des häufigen Bereichs) des Oberbodens nach BUWAL (1993); Bodentiefe von 20 cm und Dichte von 1,25 g/cm³. N: nach Gupta (1988) (10 t N/ha), P: nach Gisi *et al.* (1997) (0,5-2,5 t P/ha)

²Albertsen *et al.* (unterer Wert des Bereichs, auf quarzdominierten armen Sandersubstraten) und Udluft *et al.* (oberer Wert des Bereichs, relativ leicht lösliche Karbonate und Sulfate), zitiert in Wilcke und Döhler (1995); Mittelwert gemäss Wilcke und Döhler (1995). P: nach Oberson (ETH Zürich, mündliche Mitteilung, 1999); N-Mineralisation aus org. Substanz nicht berücksichtigt, da Gleichgewicht zwischen Humusauf- und -abbau angestrebt.

³Cd, Cu, Pb und Zn, Mittelwert gemäss von Steiger und Baccini (1990). Cr, Ni, Mittelwert nach Wilcke und Döhler (1995). Streubereich: tiefster bzw. höchster Wert von Wilcke und Döhler sowie von Steiger und Baccini, für Cr und Ni für höchsten Wert, jenen von Zessner (1999). N- und P-Entzüge pflanzlicher Futter- und Lebensmittel gem. Braun *et al.* (1994)

⁴nach Udluft und Quentin, zitiert in Wilcke und Döhler (1995), Bereich nach Zusammenstellung von Wilcke und Döhler, ausser absolute Extremwerte. N gemäss BUWAL (1996, Anhang 5), P gemäss Braun *et al.* (1994)

⁵Ammoniakverluste und Denitrifikation nach BUWAL (1996, Anhang 5)

⁶Cd, Cu, Pb und Zn, Mittelwert gemäss von Steiger und Baccini (1990), Cr und Ni nach Wilcke und Döhler (1995), Schwankungsbereiche nach Wilcke und Döhler, Extremwerte wurden eliminiert. N und P nach Braun *et al.* (1994), Schwankungsbereich P nach Meyer (1991)

Vergleich von Eintrag und Bodenvorrat

Gemessen am geschätzten Vorrat im Boden liegt der jährliche überschüssige Schwermetalleintrag (Eintrag, der grösser ist als der Austrag) in der gleichen Gröszenordnung wie der P-Überschuss (Abb. 2). Etwas höher oder gleich hoch ist der Eintragsüberschuss von Kupfer (5,1 ‰ des Vorrats) und Zink (3 ‰). Bei den andern Metallen liegt er um 1 ‰.

Vergleich von Eintrag und Verwitterung

Wird der überschüssige Stoffeintrag in den Boden mit dem Eintrag durch Verwitterung verglichen, zeigt sich, dass verschiedene Schwermetalle im Vergleich zu Phosphor übermässig stark eingetragen werden. Die Unterschiede zwischen den Metallen sind gross. Der überschüssige Zinkeintrag beträgt beinahe das 200fache des Eintrags durch Verwitterung, der Blei- und der Kupfereintrag rund das 70fache, der Ni- und Cr-Eintrag rund das 50fache. Der überschüssige Cd-Eintrag jedoch - vergleichbar mit dem P-Eintrag - beträgt nur das 4fache des Eintrags durch Verwitterung (Abb. 3).

Vergleich von Eintrag und Austrag

Auch der Vergleich des Gesamteintrags mit dem Austrag durch Pflanzen, Sickerwasser und Erosion (Abb. 4) zeigt Unterschiede zwischen den verschiedenen Stoffen. Der Chromeintrag ist besonders hoch und beträgt das 20fache des Austrags, der Nickeleintrag das 5fache, der Blei- und Kupfereintrag das 3,3fache. Der Cadmumeintrag liegt, wie der durchschnittliche Phosphoreintrag, bloss 1,2-mal höher als der Austrag. Beim Stickstoff herrschen nahezu ausgeglichene Verhältnisse, da

gemäss Tabellen 1 und 2 der Eintrag ziemlich genau dem Austrag entspricht. Gemäss den Abbildungen 2, 3 und 4 sind vor allem die Metalle Zn, Cu und Cr problematisch, Cd hingegen, im Gegensatz zu Untersuchungen anderer Autoren (Buwal 1993, Zimmerli und Bosshard 1989) weniger.

Vergleich der Qualität verschiedener Dünger

Um die Qualität verschiedener Dünger zu beurteilen kann das Verhältnis von Schadstoff zu Nutzstoff betrachtet werden. Tabelle 3 zeigt, dass die Abfalldünger im Allgemeinen ein schlechteres Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis aufweisen als andere Dünger. Klärschlamm enthält besonders viel Kupfer und Zink. Kompost schneidet beim Bleigehalt schlecht ab. Andere Abfalldünger, zum Beispiel Holzaschen und Rinden aus Sägereien, haben bei verschiedenen Metallen einen vergleichsweise hohen Gehalt. Allerdings gibt es auch schadstoffarme Abfalldünger wie Zuckerrübenkalk oder Panseninhalt. Hofdünger erweisen sich als qualitativ sehr gute Dünger. Dasselbe gilt für Mineraldünger (Mittel aller N-, P- und K-Dünger). Sie weisen aber teilweise einen rela-

tiv hohen Quecksilber- und Chromgehalt auf. Nicht berücksichtigt wird bei dieser Betrachtungsweise die Umweltbelastung durch Produktion, Lagerung, Transport und Austrag der Dünger.

Wird der Schadstoffgehalt gemäss Wegleitung (1999) auf N+P+K/5 bezogen, stehen die übrigen Abfalldünger und Klärschlamm vergleichsweise schlecht da. Wird der Schadstoffgehalt auf Phosphor bezogen, schneidet Kompost am schlechtesten ab.

Um die Qualität verschiedener Dünger noch besser miteinander vergleichen zu können, wird ein «gewichtetes» Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis gerechnet. Für Zn beträgt der Grenzwert gemäss Stoffverordnung (1992) 400 g/t TS (Kompost) bzw. 2'000 g/t TS (Klärschlamm). Der Grenzwert für Cadmium beträgt 1 g/t TS (Kompost) beziehungsweise 5 g/t TS (Klärschlamm). 1 g Cd wird folglich im Mittel 400-mal stärker gewichtet als 1 g Zn. Für Ni beträgt dieser Faktor im Mittel 19, für Cu 3,7 usw. Als nächster Schritt werden die Frachten gemäss Tabelle 1 mit diesen Gewichtungsfaktoren multipliziert, anschliessend die Summe der Produkte aller Metalle durch die Phosphorfracht des entsprechenden Düngers dividiert. Mit dieser Methode

Tab. 3. Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis verschiedener Dünger, berechnet aufgrund der total in der Schweiz ausgebrachten Frachten an Nährstoffen und Schwermetallen nach Lötscher et al. (1999)

Metall	Klärschlamm		Kompost		Übrige Abfalldünger		Mineraldünger		Hofdünger	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
Cd	0,03	0,08	0,02	0,1	0,04	0,14	0,006	0,06	0,001	0,005
Cr	1,1	0,3	1,2	6,6	1,5	5,0	0,8	7,5	0,06	0,6
Cu	5,3	14	3,0	16	3,7	12	0,06	0,6	0,5	4,3
Hg	0,03	0,07	0,008	0,04	0,02	0,06	0,08	0,8	-	-
Ni	0,5	1,3	0,9	4,7	1,2	3,8	0,05	0,5	0,06	0,6
Pb	2,0	5,5	2,6	14	1,6	5,2	0,03	0,2	0,04	0,4
Zn	17	45	10	52	8,0	26	0,5	4,5	2,17	21

1*: Variante 1: g Metall/kg (N+P+K/5)

2*: Variante 2: g Metall/kg P

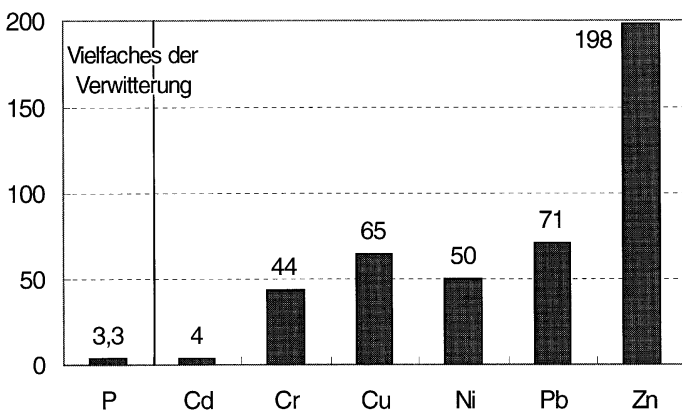


Abb. 3. Überschüssiger Schwermetalleintrag als Vielfaches der Verwitterung (Phosphor als Referenz).

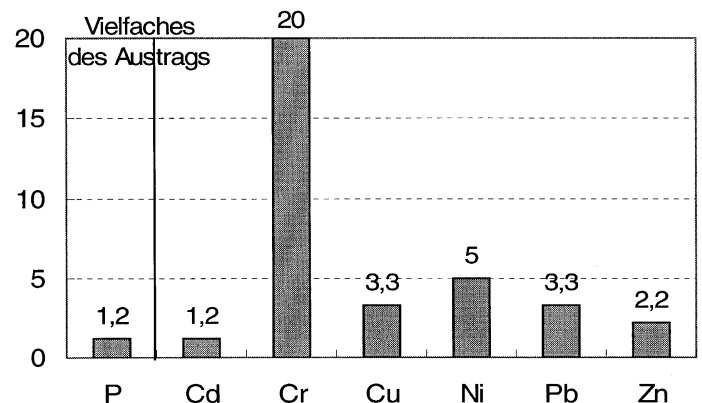


Abb. 4. Schwermetalleintrag als Vielfaches des Austrags durch Pflanzen, Sickerwasser, Erosion und Abschwemmung (zum Vergleich: Phosphoreintrag).

Tab. 4. «Gewichtetes» Schadstoff/Nutzstoffverhältnis für verschiedene Dünger (Methode: siehe Text)

Klärschlamm	Kompost	Übrige Abfalldünger	Mineraldünger	Hofdünger
0,19	0,32	0,24	0,07	0,05

lässt sich eine Rangfolge der Qualität der Dünger aufstellen (Tab. 4). Kompost schneidet am schlechtesten ab, gefolgt von den übrigen Abfalldüngern (Mittelwert aus vielen qualitativ sehr unterschiedlichen Düngern). Klärschlamm steht neben Kompost und den übrigen Abfalldüngern besser da. Mineraldünger und Hofdünger (jeweils Mittelwert aller verwendeten Dünger) besetzen ganz klar die Spitzenposition.

Der Metalleintrag lässt sich vermindern

Der **Chrom**eintrag in den Boden erfolgt fast ausschliesslich durch Dünger (94 %). Dafür sind vor allem die Mineraldünger verantwortlich. Die Herabsetzung des relativ hohen Chromgrenzwerts für Mineraldünger von 2'000 g Cr/t TS ist zu prüfen. Der **Zink**eintrag erfolgt zu 80 % durch Dünger. Hofdünger liefern zwei Drittel dieser Fracht, Klärschlamm beinahe 20 %. In erster Priorität muss der Zinkanfall in den Hofdüngern, besonders in der Schweinegülle reduziert werden, indem der Zinkgehalt der Ration konsequent auf den empfohlenen Gehalt reduziert wird. Das Reduktionspotenzial der Zinkfracht wird insgesamt auf rund 50 % geschätzt, jenes für Schweinegülle allein auf etwa 60 %. Im Klärschlamm sind die Hauptquellen das Zink aus Wasserleitungen und aus dem Regenwasser (verzinkte Anlagen und Gegenstände).

Beinahe 50 % des **Kupfer**eintrags in den Boden stammen aus Pestiziden. Gut 50 % tragen die Dünger bei. Über 60 % dieser Fracht stammen aus Hofdüngern. Auch sie liesse sich durch eine konsequente Reduktion des Kupfergehalts in den Rationen, besonders bei Schweinen, wesentlich verringern. Das Reduktionspotenzial ist ähnlich hoch wie für Zink (rund 50 %). Klärschlamm ist mit über einem Viertel der Fracht in Düngern stark an der Bodenbelastung beteiligt. Untersuchungen von Boller (1998) zeigen, dass Kupfer im Abwasser zu einem bedeutenden Teil aus Strassen- und Dachablaufwasser stammt. Eine wichtige Ursache dafür ist die Verwendung von

Kupfer für Aussenverkleidungen von Gebäuden und Dachtraufen. Die Kupferzufuhr zum Boden ist besonders problematisch, da bei keinem andern untersuchten Metall der Eintrag in den Boden, gemessen am Bodenvorrat, so hoch ist.

Auch am **Nickel**eintrag in den Boden sind die Dünger zu gut 50 % beteiligt. Alle Abfalldünger, besonders aber Kompost und die übrigen Abfalldünger sind relativ stark mit Nickel belastet.

Beim **Blei** liegt auch heute noch der Eintrag aus der Luft an erster Stelle. Dünger liefern 45 % des Gesamteintrags, davon Klärschlamm über 40 %. Hier besteht ein ausgeprägter Handlungsbedarf. Nur durch ein umfassendes Verbot von bleihaltigem Benzin kann sowohl der Bleieintrag aus der Luft wie durch Klärschlamm entscheidend reduziert werden.

Beim **Cadmium** ist ebenfalls der Eintrag über die Luft mit beinahe 60 % am bedeutendsten. Die Dünger liefern gut 40 %, beinahe die Hälfte davon die Mineraldünger. Klärschlamm liefert ebenfalls beinahe ein Viertel der aus Düngern stammenden Fracht. Sowohl für Mineraldünger wie für Klärschlamm ist die Herabsetzung der geltenden Grenzwerte zu prüfen.

Massnahmen beim Klärschlamm

Die geltenden Schwermetallgrenzwerte für landwirtschaftlich verwendbaren Klärschlamm genügen den Forderungen eines nachhaltigen Bodenschutzes noch nicht. In Zukunft sollte nur noch Klärschlamm landwirtschaftlich verwendet werden, dessen Schadstoffgehalt die Grenzwerte für Abfalldünger ausser Klärschlamm und Kompost der neuen Wegleitung zur Bewertung und Zulassung von Düngern (1999) unterschreitet. Dies gilt auch für die in der Wegleitung genannten organischen Schadstoffgruppen sowie weitere organische Schadstoffe wie zum Beispiel Medikamente und hormonähnlich wirkende Substanzen (Candinas und Bieri 1999). Die Schlämme der besten Qualität sollten sich im Wettbewerb gegen die weniger guten durchsetzen.

Es gibt verschiedene Wege, wie durch alternative Konzepte der Abwasserentsorgung eine bessere Qualität der wertvollen Abwasserinhaltsstoffe erreicht werden könnte: Die Komposttoilette, die separate Ableitung und Behandlung des menschlichen Urins, Absaugen von Urin und Fäkalien in Vakuumtoiletten mit sehr wenig Wasser, oder die separate Abtrennung des

Schlammes aus der biologischen Stufe der Abwasserreinigung (Lange 1997). Genauere Abklärungen, auch bezüglich ökonomischer Folgekosten, gesellschaftlicher Akzeptanz sowie gesamtökologischer Folgen, sind geboten. Damit hat die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft eine Zukunft.

LITERATUR

Das vollständige Literaturverzeichnis ist bei den Autoren erhältlich.

RÉSUMÉ

Charge des sols par les boues d'épuration et autres engrais

L'apport total de métaux lourds sur le sol est en recul depuis des années. Néanmoins, les quantités de métaux lourds qui parviennent sur le sol sont nettement plus importantes que celles qui en sont exportées. Pour la plupart des métaux lourds, les engrais sont responsables de 50 % environ de l'apport total, à l'exception du chrome pour plus de 90 % et du zinc pour 80 %. Les boues d'épuration seules représentent 42 % des intrants de plomb par les engrais, 26 % pour le cuivre et 24 % pour le cadmium, mais seulement 9 % pour le phosphore.

La comparaison avec d'autres engrais montre que la qualité des engrais minéraux et des engrais de ferme est nettement meilleure que celle des engrais dits à base de déchets. En attribuant un poids à chaque métal lourd en fonction de l'importance de son impact écologique et en le rapportant à la teneur en éléments nutritifs, la qualité des boues d'épuration est nettement meilleure que celle du compost obtenu à partir de déchets organiques triés à la source et que celle de différents autres engrais à base de déchets.

SUMMARY

Contamination of soil by sewage sludge and other fertilisers

The heavy metal load to Swiss soils decreased significantly in past years. Nevertheless, the input still is considerably higher than crop uptake. Fertilisers contribute around 50 % to the load of most metals, except for chromium and zinc with 90 % and 80 % respectively. Sewage sludge contributes 42 % of the lead, 26 % of the copper and 24 % of the cadmium load but only 9 % of the phosphorus input in fertilisers.

In comparison to other fertilisers the quality of mineral fertilisers and manure, expressed as metal to nutrient ratio, is considerably better than that of sewage sludge. Nevertheless, this comparison and an assessment of the ecological relevance of different metals show that the quality of sewage sludge is better than that of compost produced from separately collected organic wastes and of other organic residues used as fertiliser.

KEY WORDS: sewage sludge quality, heavy metal load, comparison with other fertilisers