

Umwelt

Nährstoffe und Schwermetalle im Klärschlamm 1975 - 1999

David R. Külling und Franz X. Stadelmann, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Toni Candinas, Bundesamt für Landwirtschaft, Stabsstelle Ökologie, Mattenhofstrasse 6, 3003 CH-Bern

Auskünfte: Franz Stadelmann, e-mail: franz.stadelmann@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 73 21

Zusammenfassung

In der Schweiz wird die Zusammensetzung des Klärschlammes seit 25 Jahren intensiv überwacht. Die Nährstoffgehalte haben nur geringe Änderungen erfahren. Die Nährstofffracht stieg über die ersten 15 Jahre parallel zur Schlammmenge und ist seither stabil geblieben. Im Gegensatz dazu hat die Fracht aller Schwermetalle ausser jener des Kupfers nach einem Anstieg in den ersten fünf Jahren teilweise stark abgenommen.

Die Schwermetallgehalte sind zwar massiv zurückgegangen, trotzdem wird Klärschlamm bis 2005 als Dünger voraussichtlich bedeutungslos werden. Ausschlaggebend dafür sind die verstärkte Forderung, Mensch und Umwelt vor Risiken zu schützen, der sinkende Düngerbedarf und das aktuelle Marktrisiko.

1999 wurden mittels einer Umfrage bei den zuständigen Stellen der Kantons- und Bundesverwaltungen Daten zu Menge und Qualität des Klärschlammes zusammengetragen. Die Erhebung der Rohdaten sowie die Berechnung von mittleren Gehalten und Frachten an Nutz- und Schadstoffen im Klär-

schlamm wurden in gleicher Weise wie bei früheren Arbeiten durchgeführt (Candinas *et al.* 1989, 1991 und 1999). Klärschlamm aus reinen Industrieanlagen wurde nicht berücksichtigt. Das Produkt aus Klärschlamm-Menge mal Gehalt eines Klärschlamm-Inhaltsstoffes in einer Abwasserreinigungsan-

lage ergibt die Jahresfracht dieses Stoffes für diese ARA. Die Summe der Frachten aller ARA ergibt die Jahresfracht im Klärschlamm der Schweiz. Aus der Division der Jahresfracht durch die gesamte Klärschlamm-Menge errechnet sich das gewichtete Mittel des Gehalts. Für 24 % aller ARA war der Nutzstoffgehalt und für 22 % der Schwermetallgehalt nicht bekannt. Zur Hochrechnung der gesamtschweizerischen Jahresfracht diente das gewichtete Mittel des Gehalts der ARA, für welche Daten vorhanden waren.

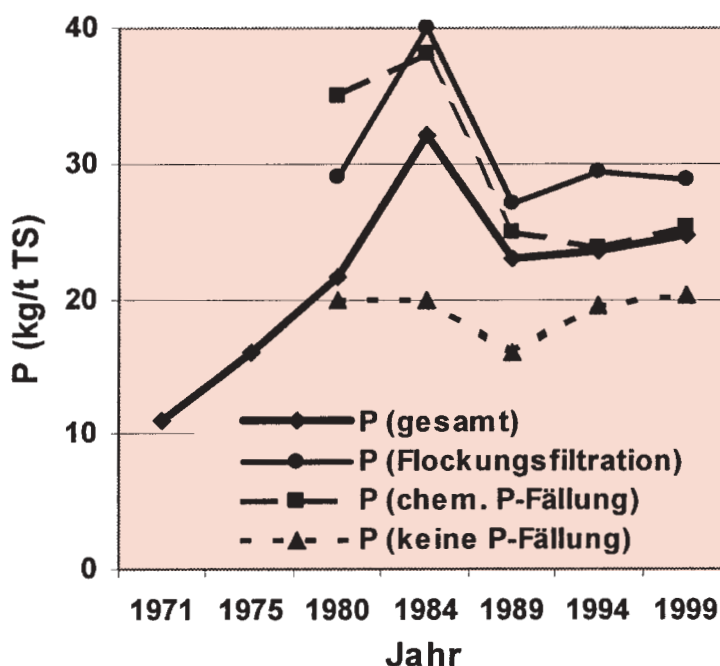
Die Zahl der ARA, der Anschlussgrad der Bevölkerung und die Klärschlamm-Menge haben nach jahrzehntelangem stetem Anstieg eine Sättigung erreicht (Tab. 1). 80 bis 85 % aller ARA bereiten ihren Klärschlamm selber auf. 80 % dieser ARA haben Analysedaten zu dieser Untersuchung beigetragen.

Zu Vergleichszwecken werden wo möglich auch Daten von 1975 und 1980 aufgeführt. Diese stammen aus älteren Quellen. Sie dürfen nur begrenzt mit den späteren Ergebnissen verglichen werden, da sie nicht auf gewichteten Mittelwerten beruhen, sondern auf dem arithmetischen Mittel der zur Verfügung stehenden Untersuchungsergebnisse von jeweils 164 bis 226 Einzelwerten.

Klärschlamm ist nährstoffreich

Der Gehalt an Stickstoff (N) im Klärschlamm ist im Laufe der

Abb. 1. Phosphorgehalt des Klärschlammes von Abwasserreinigungsanlagen mit verschiedenen P-Eliminationsverfahren, 1971-1999.



Jahre angestiegen, der Gehalt an Kalzium (Ca) und Magnesium (Mg) zurückgegangen (Tab. 2). Interessant sind die Werte für Phosphor (P). Der mittlere P-Gehalt aller ARA hat von 1971 bis 1984 stetig zugenommen (Daten von 1971 und 1975 stammen von Furrer 1977). Dies hing vor allem mit der zunehmenden Einführung von ARA mit chemischer P-Fällung zusammen. Mit der Einführung des P-Verbots in Waschmitteln im Jahre 1986 hat der mittlere P-Gehalt bis 1989 um 28 % ab- und seither wieder um 7 % zugenommen (Abb. 1). Der P-Gehalt des Klärschlammes von ARA mit chemischer P-Fällung oder Flockungsfiltration, das heisst einer 4. Reinigungsstufe, hat sich ähnlich entwickelt. In ARA ohne P-Fällung hingegen ist der P-Gehalt, nach einem temporären Rückgang von 1984 bis 1989 um 20 %, seit 1994 wieder so hoch wie vor der Einführung des P-Verbots in Waschmitteln.

Der Wirkungsgrad der P-Abscheidung hat über die Jahre zugenommen. Die markanteste Verbesserung wurde durch das Phosphatverbot in Waschmitteln erzielt. Die Mikroorganismen entzogen dem Abwasser, das nach dem P-Verbot viel weniger P enthielt, gleich viel Phosphor wie vorher. In ARA ohne P-Fällung stieg der Wirkungsgrad von 1984 bis 1994 von 28 % auf 53 %, in ARA mit chemischer P-Fällung von 68 % auf 83 % (Candinas und Chassot 1997).

96,6 % des Abwassers erfuhr 1999 eine chemische, 0,7 % eine biologische und 2,7 % gar keine P-Fällung. Wie bereits fünf Jahre zuvor haben Eisensalze mit 90,9 % im Unterschied zu Aluminiumsalzen mit 9,0 % und Flockungsmitteln mit 0,1 % eine grosse Bedeutung bei der chemischen P-Fällung in ARA (Candinas et al. 1999).



Nach dem Klärschlamm-Einsatz ist im Futterbau unter gewissen Umständen bei einigen besonders dauerhaften Schadstoffen ein Transfer bis in menschliche Nahrungsmittel möglich. (Foto: Susanne Wegmann)

Tab. 1. Anzahl Abwasserreinigungsanlagen (ARA), angeschlossene Wohnbevölkerung, produzierte und landwirtschaftlich verwendete Klärschlamm-Menge an Trockensubstanz (TS)

	Einheit	1974	1980	1984	1989	1994	1999
Anzahl kommunale ARA		430	710	855	930	977	979
Angeschlossene Wohnbevölkerung	%	46	70	81	88	91	95
Klärschlamm-Produktion total	1000 t	90	170	176	213	211	209
Landwirtschaftlich verwendet*	1000 t	72	110	88	107	116	84

*1974 und 1980: Spiess (pers. Mitteilung)

Tab. 2. Gewichtete mittlere Gehalte an Nährstoffen (kg/t TS) des Klärschlammes der Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Inhaltsstoffe	1975	1980	1984	1989	1994	1999
Gesamtstickstoff	38	36	40	45	42,6	43,5
Ammonium-N	10	11	13	15	17,0	18,9
Phosphor (P), alle ARA	16,1	21,7	32	23	23,6	24,7
ARA mit Flockungsfiltration	nb	29	40	27	29,3	28,8
ARA mit chem. P-Fällung	nb	35	38	25	23,7	25,4
ARA ohne chem. P-Fällung	nb	20	20	16	19,5	20,2
Kalium (K)	nb	nb	nb	nb	3,6	3,9
Calcium (wenn nicht gekalkt)	85	68	73	64	69,0	63,4
Magnesium	6,0	6,8	5,7	5,1	5,1	5,1

nb: nicht bekannt

Tab. 3. Frachten an Trockensubstanz und Nährstoffen im Klärschlamm (in 1000 t)

Inhaltsstoff	1975	1980	1984	1989	1994	LW ⁹⁴	1999	LW ⁹⁹
Trockensubstanz	95	170	176	213	211	116	209	84
Gesamtstickstoff	3,60	6,10	7,00	9,50	9,00	4,75	8,90	4,20
Phosphor	1,53	3,69	5,56	4,90	4,98	2,94	5,06	2,40
Kalium	nb	nb	nb	nb	0,76	0,42	0,81	0,31
Calcium	8,1	11,6	12,9	13,5	14,7	7,6	13,0	5,9
Magnesium	0,57	1,16	1,00	1,09	1,07	0,62	1,04	0,44

LW^{xx}: Fracht, welche im Jahr XX in der Landwirtschaft verwendet wurde
nb: nicht bekannt

Die N-Fracht hat bis 1989, entsprechend der wachsenden Schlammmenge, deutlich zu- und seither stärker als die Schlammmenge abgenommen (Tab. 3). Stickstoffverluste in den zunehmend angewandten thermischen Schlammbehandlungsverfahren könnten dafür mitverantwortlich sein. Die P-Fracht hat nach einem starken Anstieg bis 1984 bis 1989 deutlich ab- und seit 1989 wieder leicht zugenommen. Dies gilt aber nicht für den landwirtschaftlich verwerteten Teil. Seit 1994 ist ähnliches für die K-Fracht zu beobachten, während die Ca- und Mg-Frachten bis 1994 respektive 1989 zu- und anschliessend leicht abgenommen haben.

Über die effektiv in die Landwirtschaft ausgebrachten Nährstofffrachten kann nur für 1994

und 1999 relativ zuverlässig Auskunft gegeben werden. Sie betragen rund die Hälfte der gesamten im Schweizer Klärschlamm enthaltenen Nährstofffracht.

Schwermetallgehalte des Klärschlammes sinken

Die Schwermetallgehalte des Klärschlammes haben im Mittel von 1974 bis 1994 von 138 % auf 38 % der seit 1992 geltenden Grenzwerte (StoV 1986) abgenommen (Abb. 3). 1999 beanspruchten sie im Mittel nur noch 32 % der Grenzwerte. Nur bei Kupfer lagen die mittleren Gehalte 1999 mit 57 % noch leicht über dem halben Grenzwert. Der Cadmiumgehalt lag 1975 noch fünffach über dem heutigen Grenzwert, wurde aber seither um den Faktor 15 reduziert. Die zweitstärkste Reduktion gelang beim Blei, nämlich um den Fak-

tor sechs seit 1980. Die absoluten Gehalte sowie die geltenden Grenzwerte nach Stoffverordnung (StoV 1986) sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die jährlich in einer ARA produzierte Klärschlammmenge stand 1999 übrigens in keinem erkennbaren Zusammenhang mit dem Schwermetallgehalt des Klärschlammes.

Die Gesamtkonzentration aller halogen-organischen Verbindungen (AOX) im Klärschlamm war 1994 bis 1999 noch steigend (Tab. 4).

Besseres Schwermetall-Nährstoff-Verhältnis

Der Schwermetall-Phosphat-Wert (SMP) wurde als Mass der Schwermetallbelastung spezifisch für die Klärschlammberatung entwickelt und ist für den Vergleich verschiedener Klärschlämme geeignet (Tab. 4). Die Gehalte der einzelnen Schwermetalle werden in Prozent der zugehörigen Grenzwerte ausgedrückt und quadratisch gemittelt. Das quadratische Mittel gewichtet die Einzelwerte mit höheren Werten überproportional stärker als tiefe und berücksichtigt das damit verbundene höhere Risiko. Der SMP berechnet sich als Verhältnis dieses Mittelwertes zum Phosphatgehalt.

Der SMP berücksichtigt alle neun Schwermetalle, für welche die Stoffverordnung Grenzwerte festlegt (StoV 1986). Der AOX-Wert, der einen Summenwert für adsorbierbare halogenorganische Verbindungen darstellt, ist hingegen nicht enthalten. Gemäss der SMP-gestützten Einstufungsskala des Amtes für Gewässerschutz und Abfallbewirtschaftung des Kantons Bern (GSA 1994) war die Klärschlammqualität bis 1980 schlecht, 1984 noch ungenügend, 1989 und 1994 genügend und seit 1999 gut. Der in die Landwirtschaft ausgebrachte Klärschlamm verdiente schon

Tab. 4. Gewichtete mittlere Schwermetallgehalte (g/t TS) des Klärschlammes 1975 - 1999, sowie AOX-Gehalte 1994, 1999 und geltende Grenzwerte. Für AOX (adsorbierbare halogenorganische Verbindungen): Richtwert.

Schadstoff	1975	1980	1984	1989	1994	1999	GW
Cadmium (Cd)	25,2	16,9	5,7	4,0	2,4	1,6	5
Kobalt (Co)	26,9	15,6	10,4	10,2	7,9	10,1	60
Chrom (Cr)	268	311	207	129	84	76,2	500
Kupfer (Cu)	453	510	447	388	388	339	600
Quecksilber (Hg)	nb	nb	3,6	2,6	1,9	1,8	5
Molybdän (Mo)	8,0	10,6	11,3	7,0	5,6	6,0	20
Nickel (Ni)	103	96	77,7	42,6	40,3	32,0	80
Blei (Pb)	590	610	409	232	133	97	500
Zink (Zn)	2505	2273	1858	1378	1110	945	2000
AOX	nb	nb	nb	nb	263	305	500
SMP	5,33	2,92	1,05	1,00	0,76	0,63	
SMN	11,42	10,10	6,11	4,78	4,00	3,34	

GW: Grenzwert nach StoV, [SR 814.013]

SMP: Schwermetall-Phosphat-Wert (GSA, 1994)

SMN: Schwermetall-Nährstoff-Wert

nb: nicht bekannt

Abb. 2. Schwermetall-Nährstoff-Verhältnis als neu definierter Indikator-Wert für die Schadstoffbelastung von Dünger.

$$SMN = \left(\frac{SM_{x_1}^2 + SM_{x_2}^2 + \dots + SM_{x_n}^2}{n} \right)^{1/2} / (P + N_{gesamt} + K/5)$$

SMN = Schwermetall-Nährstoff-Wert

SMx = Gewichteter Gehalt des Schwermetalls x in g/t TS

n = Anzahl berücksichtigte Schwermetalle

P, N und K = Gehalte je in kg/t TS

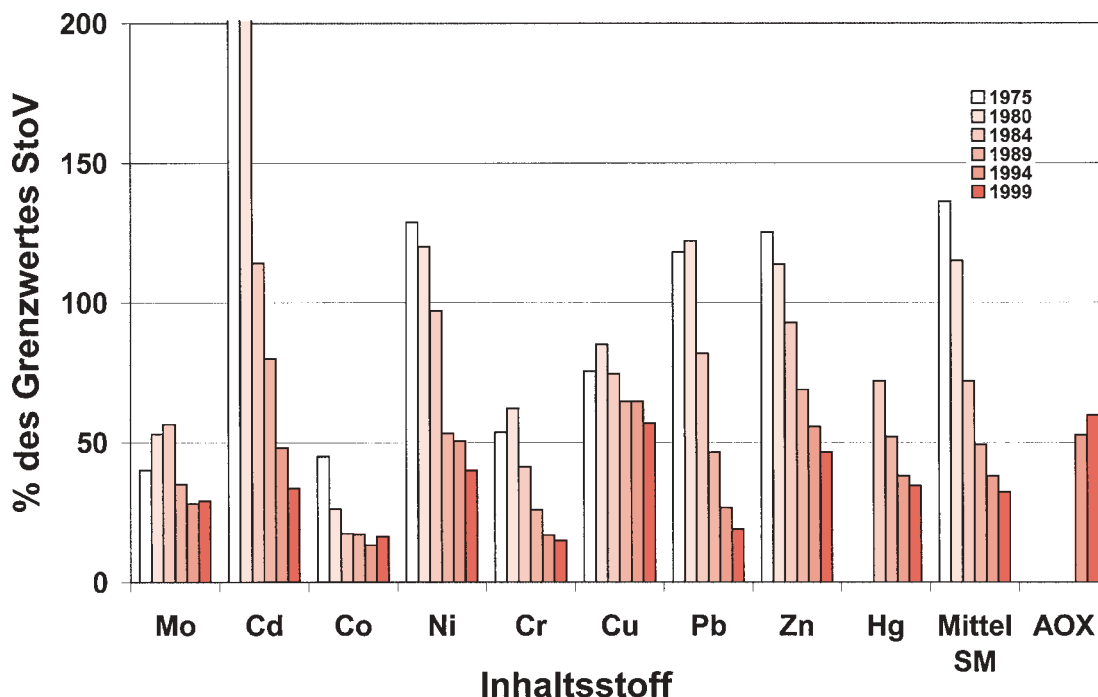


Abb. 3. Mittlere Auslastung der seit 1992 geltenden Grenzwerte nach der Stoffverordnung (=100%) im Klärschlamm.

vor fünf Jahren das Prädikat «gut» und steht 1999 mit einem SMP von 0,55 kurz vor dem Erreichen der Marke «sehr gut».

Schwieriger Vergleich mit anderen Düngern

Ein Qualitätsvergleich von Klärschlamm mit anderen Düngern ist mit dem SMP jedoch schwierig. Erstens wird beim SMP von den Nährstoffen einzig P berücksichtigt. Hinzu kommt, dass die Schwermetall-Grenzwerte bei verschiedenen Düngern nicht einheitlich geregelt sind. Bei Mineraldüngern bestehen Grenzwerte nur bei Cadmium, Chrom und Vanadium. Bei den anderen Abfalldüngern als Klärschlamm und Kompost ändern die Grenzwerte gemäss Düngerbuchverordnung je nach Gehalt an Nährstoffen und organischer Substanz (DübV 2001). Daher wird hier ergänzend zum SMP ein Schwermetall-Nährstoff-Wert (SMN) berechnet (Abb. 2). Hierzu werden die Schwermetallgehalte gewichtet, wobei Schwermetalle mit tieferem Grenzwert entsprechend stärker gewichtet werden. Die Gewichtungsfaktoren sind umgekehrt

proportional zu den Grenzwerten von Klärschlamm.

Obwohl Klärschlamm ein ausgesprochener Phosphordünger ist, sollten für die Vergleichbarkeit mit andern Abfalldüngern und mit Hof- oder Mineraldüngern nicht nur P, sondern alle drei Hauptnährstoffe P, N und K im Rahmen eines Gesamtnährstoffgehalts (DübV 2001) berücksichtigt werden.

Schwermetallfrachten im Klärschlamm sinken

Die gesamte Schwermetallfracht im Klärschlamm hat bis 1980 mit den steigenden Schlammmengen massiv zugenommen (Tab. 5). Bis 1994 jedoch hat sie um über 50 % abgenommen, obwohl die Klärschlamm-Produktion in der gleichen Zeitspanne um 23 % anstieg. Bei praktisch unveränderter Klärschlamm-Produktion

Tab. 5. Schwermetallfrachten im Klärschlamm (t/Jahr)

Metall	1975	1980	1984	1989	1994	LW ⁹⁴	%LW ⁹⁴	1999	LW ⁹⁹	%LW ⁹⁹
Cadmium (Cd)	2,4	2,9	1,00	0,86	0,51	0,22	43	0,34	0,13	37
Kobalt (Co)	2,5	2,7	1,84	2,17	1,68	0,91	54	1,24	0,82	39
Chrom (Cr)	25,5	52,9	36,4	27,4	17,8	8,74	49	15,7	6,20	39
Kupfer (Cu)	43,0	86,7	79,0	82,9	82,0	41,1	50	69,8	29,7	41
Quecksilber (Hg)	nb	nb	0,64	0,55	0,41	0,21	51	0,28	0,10	36
Molybdän (Mo)	0,8	1,8	1,99	1,50	1,18	0,62	53	1,23	0,49	39
Nickel (Ni)	9,8	16,3	13,7	9,08	8,52	3,76	44	6,61	2,87	42
Blei (Pb)	56,1	103,7	72,0	49,5	28,0	15,9	57	20,0	8,1	40
Zink (Zn)	238	386	327	293	234	132	56	195	91	46
Summe	378	653	534	467	375	204	54	321	140	43

LW^{XX}: Metallfracht, welche im Jahr XX in die Landwirtschaft gelangte

%LW^{XX}: Anteil der Gesamtfracht in %, die im Jahr XX in die Landwirtschaft gelangte

nb: nicht bekannt

ging die Fracht seither nochmals um 10 % zurück. Insgesamt ist von 1980 bis 1999 für Cadmium mit 88 %, für Blei mit 80 % und Chrom mit 70 % eine sehr starke Abnahme zu verzeichnen. Die Kupferfracht hat seit 1980 nur um 15 % abgenommen.

Candinas *et al.* (1989) forderten, dass nur die qualitativ bessere Hälfte der Schlämme landwirtschaftlich verwendet werden soll. Damit würden nur rund 40 % der gesamten im Klärschlamm enthaltenen Metallfracht ausgebracht. Ob dieses Ziel in der Praxis erreicht wurde, zeigte der Vergleich des Anteils der Schlammproduktion, der landwirtschaftlich verwendet wurde (1994: 55 %, 1999: 41 %), mit dem Anteil der Metallfracht, der tatsächlich in die Landwirtschaft gelangte. Es zeigte sich, dass vorwiegend Hg- und Cd-arme Schlämme landwirtschaftlich verwendet wurden. Nur 36 % der Hg-Fracht und 37 % der Cd-Fracht im Klärschlamm gelangten 1999 auf den Boden. Die Gesamtfracht aller Metalle, welche in die Landwirtschaft gelangte, entsprach mit 54 % im Jahr 1994 und 44 % 1999

ungefähr dem Anteil der gesamthaft verwendeten Klärschlamm-Menge, bei leicht steigender Tendenz. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass der Schadstoffgehalt des Klärschlammes beim Entscheid, Klärschlamm zu entsorgen oder zu verwerten, an Bedeutung einbüsste.

Rückzug des Klärschlammes als Dünger

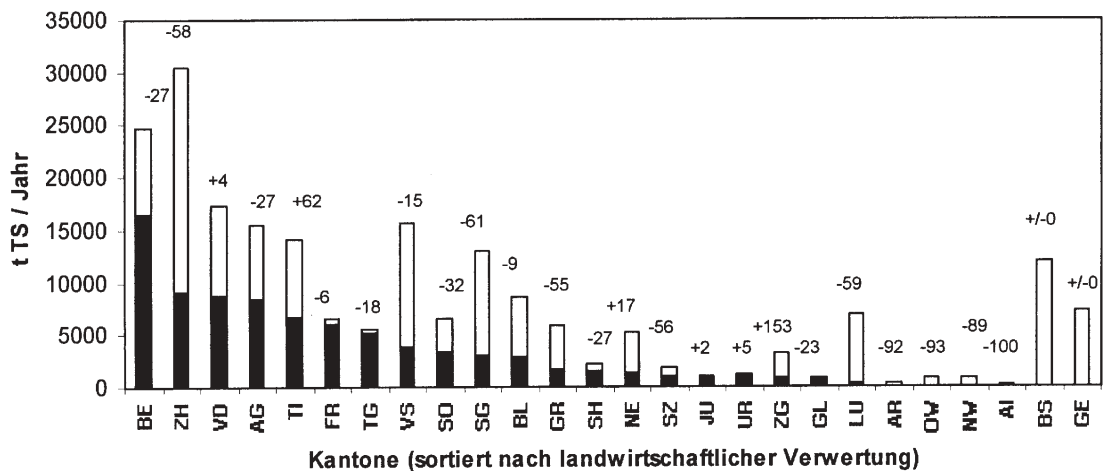
Seit 1993 haben die Bestrebungen, die Landwirtschaft zu ökologisieren, zu einem Verdrängungswettbewerb unter Hof- und Abfalldüngern geführt. Dazu kommt, dass die Kosten der landwirtschaftlichen Verwendung von Klärschlamm stark angestiegen, die Kosten der Entsorgung durch Verbrennung jedoch gesunken sind.

Der Gehalt des Klärschlammes an Schwermetallen und an besonders dauerhaften organischen Schadstoffen ist in den letzten Jahren deutlich gesunken. Andere Verbindungen wie PAK oder Phtalate sind konstant geblieben oder haben möglicherweise zugenommen (Kupper und Tarradellas 2002). Bei der Beurteilung der landwirtschaftlichen

Klärschlammverwertung sind jedoch in den letzten Jahren andere, noch wenig erforschte Spurenstoffe wie zum Beispiel Antibiotika, Hormone und hormonaktive Substanzen sowie Marktrisiken in den Vordergrund gerückt. Klärschlamm ist gemäss einer Risikoabschätzung zur landwirtschaftlichen Verwendung von Abfalldüngern der am stärksten mit Risiko behaftete Dünger - dies vor allem wegen dem potentiellen Gehalt an organischen Schadstoffen und dem Skandalpotential (Herter und Külling 2001).

Zwar hat sich die Gesamtmenge des produzierten Klärschlammes in den 90er Jahren nicht wesentlich verändert. Der landwirtschaftlich verwertete Anteil betrug aber 1999 nur noch 41 % der Gesamtmenge, rund 25 % weniger als noch fünf Jahre zuvor. Der Rest wurde zum grössten Teil verbrannt. Die Zahl der Kantone, welche über 90 % ihres Klärschlammes ausserhalb der Landwirtschaft entsorgen, hat sich von 1994 bis 1999 von zwei auf sechs erhöht, währenddem nur noch fünf statt sechs Kantone zu über 90 % auf

Abb. 4. Der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung an der Klärschlammproduktion der Kantone 1999 und seine Veränderung zwischen 1994 und 1999



Gesamtbalken: Klärschlammproduktion 1999 (t TS/a)

Schwarzer Balkenteil: landwirtschaftlich verwerteter Klärschlamm 1999 (t TS)

Differenzen (+/-): Veränderung des Anteils der landwirtschaftlichen Verwertung an der Klärschlammproduktion zwischen 1994 und 1999 (%)

Zahlen für 1994 aus Candinas *et al.* 1999

Zahlen für 1999 nach eigener Erhebung bei den Kantonen

die landwirtschaftliche Verwendung setzten (Abb. 4).

In einzelnen Kantonen nahm der landwirtschaftlich verwertete Anteil des Klärschlammes von 1994 bis 1999 zu (Candinas *et al.* 1999). Das vermehrte Ausweichen auf die landwirtschaftliche Verwertung kann möglicherweise als Vorbereitung auf das seit dem 1. Januar 2000 geltende Deponieverbot für Klärschlamm gedeutet werden. Bereits ab 2005 dürfte nach der Deponie voraussichtlich auch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm verboten sein (Candinas und Chardonens 2002). Die einzelnen Kantone sind darauf unterschiedlich vorbereitet. Die Kantone Basel-Stadt, Genf, Luzern, Obwalden, Nidwalden und beide Appenzell verzichteten bereits 1999 vollständig auf die Abgabe von Klärschlamm an die Landwirtschaft. Bern, 1999 der Kanton mit der grössten landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammmenge (Abb. 4), verfügt seit über einem Jahr über ein Konzept für den Ausstieg. Andere Kantone haben später damit begonnen, ein

Entsorgungskonzept zu erarbeiten.

Literatur

■ Candinas T., Gupta S.K., Zaugg W. und Besson J.-M. 1989. 15 Jahre Schwermetalle im Klärschlamm. *Schweiz. Landw. Fo.*, **28**, 161-173.

■ Candinas T., Chassot G., Besson J.-M. und Lischer P. 1991. Nutz- und Schadstoffe im Klärschlamm. *Schweiz. Landw. Fo.*, **30**, 45-59.

■ Candinas T. und Chassot G. 1997. Klärschlamm 1984, 1989 und 1994. Abfall, Dünger und Träger von Umweltinformationen. Interner Bericht IUL Liebefeld, 24 S.

■ Candinas T., Chassot G.M. und Besson J.-M. 1999. Klärschlamm: Die Qualität ist laufend besser geworden. *Agrarforschung* **6** (4), 145-148.

■ Candinas T. und Chardonens M. 2002. Die Haltung der Bundesämter und weiteres Vorgehen. In: Risikoabschätzung zur landwirtschaftlichen Abfalldüngerverwertung. Schriftenreihe der FAL.

■ DüBV. 2001. Verordnung des EVD über das Inverkehrbringen von Düngern (Düngerbuchverordnung, DüBV; SR 916.171.1. Ausgabeda-

tum 28.2.2001. BBL Logistik-Vertrieb, CH - Bern.

■ Furrer O.J. 1977. Der Düngewert des Klärschlammes. In: «Klärschlamm-Verwertung in der Landwirtschaft», Informations-Tagung vom 24.3.1977 am Schweiz. landw. Technikum, Zollikofen, 13-26.

■ GSA (Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern). 1994. Prüfstein für die Schlammqualität. Informationsbulletin 1/94, Bern.

■ Herter U. und Külling D. 2001. Risikoanalyse zur Abfalldüngerverwertung in der Landwirtschaft. 271 S. FAL Reckenholz, Zürich.

■ Kupper T. und Tarradellas J. 2002. Eintrag von organischen Schadstoffen in die Umwelt. In: Risikoabschätzung zur landwirtschaftlichen Abfalldüngerverwertung. Schriftenreihe der FAL.

■ Lötscher R., Kupper T., Candinas T., Hungerbühler N. und Besson J.-M. 1999. Abfälle zur Verwendung im Pflanzenbau. *Agrarforschung*, **6**, 5-8.

■ StoV. 1986. Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV; SR 814.013). Änderung vom 16. September 1992. BBL Logistik-Vertrieb, CH - Bern.

RÉSUMÉ

Éléments nutritifs et polluants dans les boues d'épuration de 1975 à 1999

En Suisse, la composition des boues d'épuration subit depuis 25 ans un contrôle intensif. Les teneurs en éléments nutritifs ont peu varié. En revanche, les quantités d'éléments nutritifs ont augmenté avec la quantité croissante de boues d'épuration produite pendant les 15 premières années. Elles sont restées stable depuis. Les charges en métaux lourds, à l'exception du cuivre, ont fortement diminué, après un accroissement pendant les cinq premières années, en même temps que les teneurs en métaux lourds diminuaient.

Les boues d'épuration vont malgré tout probablement disparaître comme engrais d'ici à 2005. Cela s'explique par la volonté de mieux protéger la santé de l'homme et de préserver l'environnement ainsi que par la diminution des besoins en engrais et le risque du marché.

SUMMARY

Nutrients and pollutants in sewage sludge from 1975 to 1999

The composition of sewage sludge is intensively monitored since 25 years in Switzerland. The nutrient contents have undergone only minor changes. Simultaneously to an increasing production of sewage sludge the nutrient loads have increased during the first 15 years and since remained stable. Except for copper, the load of most heavy metals continuously decreased after an increase during the first five years, as heavy metal contents sharply declined.

In spite of this, sewage sludge will probably disappear as a fertilizer up to 2005. This is due to additional needs to protect the health of man and environment from risks as well as to the market risk.

Key words: Monitoring sewage sludge quality, nutrient load, heavy metal load