

Auswirkung hoher Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle

Albrecht SIEGENTHALER, Heinz HÄNI und Werner STAUFFER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld, CH-3003 Bern
 Auskünfte: Albrecht Siegenthaler, e-mail: albrecht.siegenthaler@iul.admin.ch, Fax +41(0)31 323 83 28, Tel. +41 (0)31 323 84 15

In einem langjährigen Feldversuch mit sehr hohem Einsatz von Klärschlamm und Schweinegülle stiegen die Nährstoffgehalte, besonders der Phosphatgehalt des Bodens, stark an. Auf Parzellen ohne Düngung und bei hohen Schweinegüllegaben wurde eine Tendenz zur Versauerung (Absenkung der pH-Werte) des Bodens festgestellt. Sehr hohe Gaben von Schweinegülle hatten bei einigen Kulturen statistisch signifikante Ertragseinbußen zur Folge.

Nach der mehr als zwanzigjährigen Versuchszeit stiegen die Kupfer(Cu)-, Zink(Zn)- und Cadmium(Cd)-Gehalte der Böden an, denen sehr hohe Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle (2 bzw. 5 Tonnen organische Substanz (OS) pro Hektare und Jahr) verabreicht wurden. Zn- und Cd-Gehalte erreichten oder überstiegen in einzelnen Fällen die derzeit in der Schweiz gültigen Richtwerte für Böden. In geringeren Mengen ausgebracht, zeigten beide Dünger gute Wirkungen für die Pflanzennährstoffe. Die für die Pflanze essentiellen Elemente (Cu und Zn) reicherten sich vor allem in den generativen Teilen (Körner) der Pflanze an, während hohe Cadmiumgehalte vor allem in den vegetativen Teilen (Blätter, Stroh) gefunden wurden. Um einige Zehntel verringerte pH-Werte des Bodens erhöhten die Schwermetallgehalte der darauf wachsenden Pflanzen beträchtlich. Selbst auf ungedüngten Parzellen - bedingt durch die pH-Wert-Absenkung - zeigten die Pflanzen erhöhte Gehalte der drei gemessenen Metalle.

Schweinegülle und Klärschlamm, wertvolle Dünger

Schweinegülle und Klärschlamm sind - geringe Schadstoffgehalte und eine gute Qualität vorausgesetzt - organische Düngemittel von hohem Wert und fallen mehr oder weniger flächenunabhängig an. Da beide Dünger grosse Mengen Stickstoff und organische Substanz enthalten, stellen sie für Gewässer ein beträchtliches Gefährdungspotential dar.

Das Fehlen von Untersuchungen im Feld über die Bodenbelastung und die Langzeitwirkung überhöhter Gaben flüssiger organischer Dünger wurde als Mangel empfunden (Siegenthaler und Stauffer

1990) und gab Anlass zu den vorliegenden Langzeitversuchen, deren Beginn ins Jahr 1976 fällt. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse der Jahre 1991 bis 1995 dargestellt.

Böden im Versuch mit Schlamm und Gülle belastet

Aus der Vielzahl organischer Dünger wurden für unsere Untersuchungen die zwei mengenmässig bedeutendsten und besonders problematischen ausgewählt:

■ **Klärschlamm (KS)**, dessen Anfall in den 70er Jahren als Folge des Gewässerschutzgesetzes sehr stark zunahm und in Ballungszentren infolge knapper Ausbringflächen zwangsläufig zu Problemen der Überbelastung landwirtschaftlich genutzter Böden führte. Die gesetzlich höchstzulässige Gabe für landwirtschaftliche Flächen beträgt derzeit fünf Tonnen Trockensubstanz je Hektare in drei Jahren (Stoffverordnung vom 16. September 1992, Anhang 4.5), sofern deren Gehalt an Stickstoff und Phosphor dies erlaubt. Diese Gabe entspricht weniger als einer Tonne organischer Substanz je Hektare und Jahr. Die Dosierung in unserem Versuch (Verfahren 3) kommt somit etwas mehr als der doppelten Menge gleich, die gemäss der heute geltenden Verordnung zulässig ist.

Versuchsanlage und Versuchsverlauf

Versuchsfragen: Der vorliegende Bodenbelastungsversuch gibt Auskunft über die kurz-, mittel- und langfristigen Auswirkungen hoher Gaben von Klärschlamm (KS) und Schweinegülle (SG) auf:

- Boden (physikalische, chemische, biologische Eigenschaften) und
- Pflanzen (Ertrag und Qualität) in einer geregelten Fruchtfolge.

Düngungsverfahren, angebaute Kulturen und Kulturmassnahmen: Als Dosierungskriterium für die Klärschlamm- und Schweinegüllegaben wird die organische Substanz gewählt. Die zu prüfenden Flüssigdünger Klärschlamm und Schweinegülle wurden in je zwei Dosierungen eingesetzt. Zusammen mit der Nullvariante und der mineralischen Düngung ergab dies die folgenden sechs Verfahren:

1. 0 = ohne Düngung
2. Min = mineralische Normdüngung
3. KS2 = Klärschlamm, 2 Tonnen organische Substanz pro ha und Jahr
4. KS5 = Klärschlamm, 5 Tonnen organische Substanz pro ha und Jahr
5. SG2 = Schweinegülle, 2 Tonnen organische Substanz pro ha und Jahr
6. SG5 = Schweinegülle, 5 Tonnen organische Substanz pro ha und Jahr

In Tabelle 1 sind die jährlich verabreichten Mengen an organischer Substanz (OS), Pflanzennährstoffen und Schwermetallen wiedergegeben.

Vorgeschichte und Fruchtfolge: Zwischen 1976 und 1984 wurde eine einfache, dreijährige Rotation mit Silomais, Weizen und Klee gras angebaut. 1985, nach neun Versuchsjahren (3 Rotationen) wurde der Versuch durch Anbau von Weisskabis, Sellerie und Spinat modifiziert. Im Jahr 1991 wurde schliesslich eine Fruchtfolge eingerichtet (Tab. 2).

Versuchsplan: Das Versuchsfeld war 12 Meter breit und 104 Meter lang. Es wurde in vier Blöcke mit je vier Wiederholungen eingeteilt. Jeder Block enthielt sechs Einzelparzellen (4 x 13 Meter) für die sechs zufällig angeordneten Verfahren.

Beschaffenheit der Böden: Zu Versuchsbeginn wurde der Standort eingehend untersucht und klassiert: Standort: Liebefeld, 3 km südwestlich von Bern auf Moränenschotter (Alluvialebene), 564 m ü.M.

Bodenart: skeletthaltiger sandiger Lehm (mittelschwer)

Bodentyp: schwach entwickelte Parabraunerde, pH-Wert um 6,0; 3,5 % Humus.

Witterungsverlauf: Die mittlere Temperatur betrug 9,1°C mit einem Maximum von 31,9°C und einem Minimum von -12,2°C. Die mittleren Jahresniederschläge beliefen sich auf 1036 mm und die mittlere Sonnenscheindauer betrug 1627 Stunden.

Tab. 1. Verabreichte Mengen organische Substanz (OS), Pflanzennährstoffe und Schwermetalle der Düngungsverfahren (kg/ha, Jahr)

Verfahren	OS	NP	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Cd
1 0	0	0	0	0	0	2	2	2
2 Min	0	140	45	220	69	57	2	2
3 KS2	2000 ¹	200	130	250	365	81	1,7	6,9
4 KS5	5000 ¹	400	350	250	980	98	4,4	18,6
5 SG2	2000 ¹	320	95	240	160	52	0,6	2,7
6 SG5	5000 ¹	800	260	430	450	83	1,8	7,9

¹ durchschnittliche Werte, ² keine Messung

Tab. 2. Fruchtfolge (ab 1991)

Jahr	Kultur
1991	Zuckerrüben «KAWETINA» ¹
1992	Winterweizen «RAMOSA» / Zwischenfutter
1993	Kartoffeln «DESIREE»
1994	Sommergerste «MICHKA» / Kleegras
1995	Kleegras «Standardmischung 220 MEDIA»
1996	Silomais «LG 11» / Wintertriticale
1997	Wintertriticale «MERIDAL» / Wick-Hafergemenge

¹ Erträge publiziert in: Siegenthaler und Stauffer 1992, FAO-Consultation of the European Cooperative Research Network on Animal Waste Utilization, Prague, CSFR.

■ **Schweinegülle (SG)**, deren Anfall in einigen Regionen unseres Landes mengenmässig stark anstieg. Die derzeitige Limite zum Austrag von Gülle ist im Gewässerschutzgesetz geregelt: Der Betrieb muss über so viel Nutzfläche verfügen, dass pro Hektare höchstens drei Dünger-

grossvieheinheiten (DGVE) gehalten werden dürfen. Pro Mastschweineplatz werden jährlich rund 100 Kilogramm organische Substanz ausgeschieden. Die im Versuch angewendete Schweinegüllegabe mit zwei Tonnen organischer Substanz (SG2) entspricht demnach rund 20 Mastschweineplätzen oder 3,42 DGVE.

Hohe Schweinegüllegaben senken Boden-pH-Werte

Die **pH-Werte des Bodens** haben sich im Verlauf des Versuches ganz wesentlich verschoben (Tab. 3). Durch das Weglassen der Düngung auf den Nullparzellen wurden die pH-Werte von etwa 6,0 (Ausgangswert 1976, in Tab. 3 nicht publiziert) auf 5,3 abgesenkt. Bei mineralischer Düngung blieb der pH-Wert bei rund 6, wäh-

Tab. 3. Bodenkennwerte (gemessen 1986 und 1994) und Richtwerte

Mittelwerte für jedes Verfahren (0-20 cm Bodentiefe), unterstrichene Werte übersteigen die Richtwerte

	pH-Wert (H ₂ O)	C org %	P-Test ¹	K-Test ²	Cu		Zn		Cd	
					ppm total ³	ppb löslich ⁴	ppm total ³	ppb löslich ⁴	ppm total ³	ppb löslich ⁴
1986										
0	5,2	1,44	6,9	1,15	18,2	⁵	47,7	⁵	<0,250	⁵
Min	5,7	1,60	23,5	5,00	18,5	⁵	48,4	⁵	<0,250	⁵
KS2	6,2	1,73	16,4	5,25	26,7	⁵	94,4	⁵	0,308	⁵
KS5	6,4	2,01	20,7	4,10	36,9	⁵	<u>150,8</u>	⁵	0,698	⁵
SG2	5,3	1,65	38,4	4,33	21,8	⁵	57,8	⁵	<0,250	⁵
SG5	5,2	1,82	93,8	2,85	24,5	⁵	68,3	⁵	<0,250	⁵
1994										
0	5,3	1,31	6,2	0,7	24,2	76	51,0	<u>928</u>	0,258	11,6
Min	5,6	1,43	19,9	3,7	23,5	85	53,0	<u>505</u>	0,220	5,3
KS2	6,1	1,71	11,7	5,2	35,1	100	91,9	200	0,476	<2,6
KS5	6,8	2,10	12,8	2,7	<u>54,1</u>	109	<u>152,4</u>	88	<u>0,841</u>	<2,6
SG2	5,1	1,48	30,7	2,8	27,0	121	57,0	<u>1715</u>	0,234	10,6
SG5	4,9	1,56	64,4	3,5	30,4	181	66,8	<u>2268</u>	0,216	9,2

Gesetzgebung über Schadstoffe im Boden (Schweizerischer Bundesrat, 1986 und 1998):

Richtwerte für Schwermetalle in Böden	Cu		Zn		Cd	
	ppm total ³	ppb löslich ⁴	ppm total ³	ppb löslich ⁴	ppm total ³	ppb löslich ⁴
Böden						
Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) 1986	50	700	200	500	0,8	30
Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) 1998	40	700	150	500	0,8	20

¹ P-Testzahl (Methode: CO₂-ges. Wasser, 1: 2,5): 8 - 16 genügend, 16,1 - 32 Vorrat, >32 angereichert

² K-Testzahl (Methode: CO₂-ges. Wasser, 1: 2,5): 2 - 4 genügend, 4,1-8 Vorrat, >8 angereichert

³ Totalgehalt: Salpetersäure-Auszug (2 M HNO₃), 1:10

⁴ Löslicher Gehalt: Natriumnitrat-Auszug (0,1 M NaNO₃), 1: 2,5

⁵ nicht bestimmt

0 = ohne Düngung seit 1976; Min = mineralische Normdüngung, KS = Klärschlamm; SG = Schweinegülle

rend die Düngung mit Klärschlamm diesen deutlich um 0,3 bis 0,8 Einheiten erhöhte. Die Düngung mit Schweinegülle hingegen senkte die pH-Werte statistisch signifikant; sie waren teilweise sogar tiefer als diejenigen der Nullparzellen.

P-Anreicherung durch hohe organische Düngung

Im Verlauf des Versuches erfolgte eine massive Anreicherung von Phosphat auf Parzellen mit hohen Schweinegülle- und Klärschlammgaben, da die durch die beiden organischen Düngemittel zugeführten Phosphatmengen deutlich über den Entzügen der Pflanzen lagen. Besonders bei hohen Schweinegüllegaben stiegen die P-Testwerte (gemessen in CO₂-gesättigtem Wasser-Auszug) von ursprünglich zwischen 5 und 10 auf Werte gegen 100 (Normalbereich 8-16). Diese Anreicherung bedeutet bei einer oberflächlichen Abschwemmung von Phosphor oder damit angereicherten Bodenpartikeln eine potentielle Gefahr für die Gewässer (vgl. Siegenthaler *et al.* 1996). Zudem gehört Phosphat zu den knappen Rohstoffen. Auch auf Parzellen, welche mit einer mineralischen Normdüngung gedüngt wurden, stieg der Boden-P-Gehalt an (Testzahlen um 20). Die Revision der Grundlagen für die Düngung in unserem Land (Walther *et al.* 1994) trägt diesem Umstand Rechnung und hat die P-Düngung bereits reduziert.

Hohe Schlammanwendung erhöhte Gesamtmetallgehalte

Die Mittelwerte der drei im Versuch gemessenen Schwermetalle Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Cadmium (Cd) sind in der Tabelle 3 als Totalgehalte und als lösliche Gehalte dargestellt (vgl. auch Häni *et al.*, 1996).

Für **Kupfer** wurde ein Ausgangstotalgehalt in der Grössenordnung von 10 bis 30 ppm festgestellt. Innerhalb der Versuchsperiode fand durch den sehr hohen Austrag von Schweinegülle und Klärschlamm eine Erhöhung auf rund 30 bis 54 ppm statt (neuer Richtwert für Böden in der Schweiz 40 ppm). Tendenzmässig erhöhten die hohen Klärschlammgaben die Kupfergehalte der Böden etwas mehr als die hohen Schweinegüllegaben.

Bei **Zink** lag der Ausgangswert des Bodens bei 40 bis 60 ppm. Während die hohen Schweinegüllegaben die Gesamtzinkgehalte der Böden nur geringfügig zu erhöhen vermochten, reicherte sich Zink in den mit Klärschlamm hochgedüngten

Parzellen auf 150 ppm und mehr an (neuer Richtwert 150 ppm Zn). Für **Cadmium** lagen die Ausgangswerte des Bodens bei 0,2 bis 0,23 ppm. Hier wurden die Werte bei hoher Klärschlamm- und Schweinegüllebehandlung auf 0,4 bis über 0,8 ppm angehoben (Richtwert 0,8 ppm Cd).

Hohe Schweinegüllegaben erhöhen lösliche Metallgehalte

1994 wurden auch die **löslichen Schwermetallgehalte** der Böden gemessen. Keiner der Kupfergehalte überstieg den derzeitigen Boden-Richtwert. Die löslichen Zinkwerte waren bei mineralischer Normdüngung leicht erhöht und lagen auf ungedüngten Parzellen deutlich höher. Den Richtwert um das Drei- bis Vierfache überschritten die Gehalte in den mit Schweinegülle gedüngten Böden. Die höchsten Gehalte wurden bei tiefen pH-Werten des Bodens gefunden, selbst wenn die Gesamtgehalte relativ gering waren. Hier bestätigt sich, dass die löslichen Zn- und Cd-Gehalte der Böden stark mit den gemessenen pH-Werten des Bodens zusammenhängen.

Erträge

Die durchschnittlichen Erträge (Mittel von 4 Wiederholungen) auf den ungedüngten Nullparzellen lagen zum Teil um den Faktor zwei oder mehr tiefer als in den Verfahren mit mineralischer Normdüngung (Abb. 1). Kulturen, welche auf ein Überangebot an Stickstoff empfindlich reagieren (Winterweizen, Kartoffeln, Sommergerste), zeigten bei den hohen organischen Düngungsverfahren zum Teil erhebliche Mindererträge. Die höchste Überdüngung (vor allem mit Stickstoff) induzierte bei Winterweizen und Kartoffeln Mindererträge von rund 20 Prozent gegenüber der mineralisch gedüngten Variante (Abb. 1). Die hohen Gaben Klärschlamm und Schweinegülle beziehungsweise das Überangebot an Stickstoff ertrug die Klee-Mischung relativ gut. Sie lieferte zum Teil sogar hohe Mehrerträge bei hoher Anwendung (nahezu 25 Prozent im Vergleich zu den mineralisch gedüngten Parzellen, Abb. 2).

Schwermetallgehalte der Pflanzen

Kupfer-, Zink- und Cadmiumgehalte der geernteten Pflanzen sind in Tabelle 4 als Durchschnittswerte zusammengestellt. Die Kupfer-Gehalte der Pflanzen aus den Klärschlamm- und Schweinegülleverfahren sind im Vergleich zur mineralischen Normdüngung

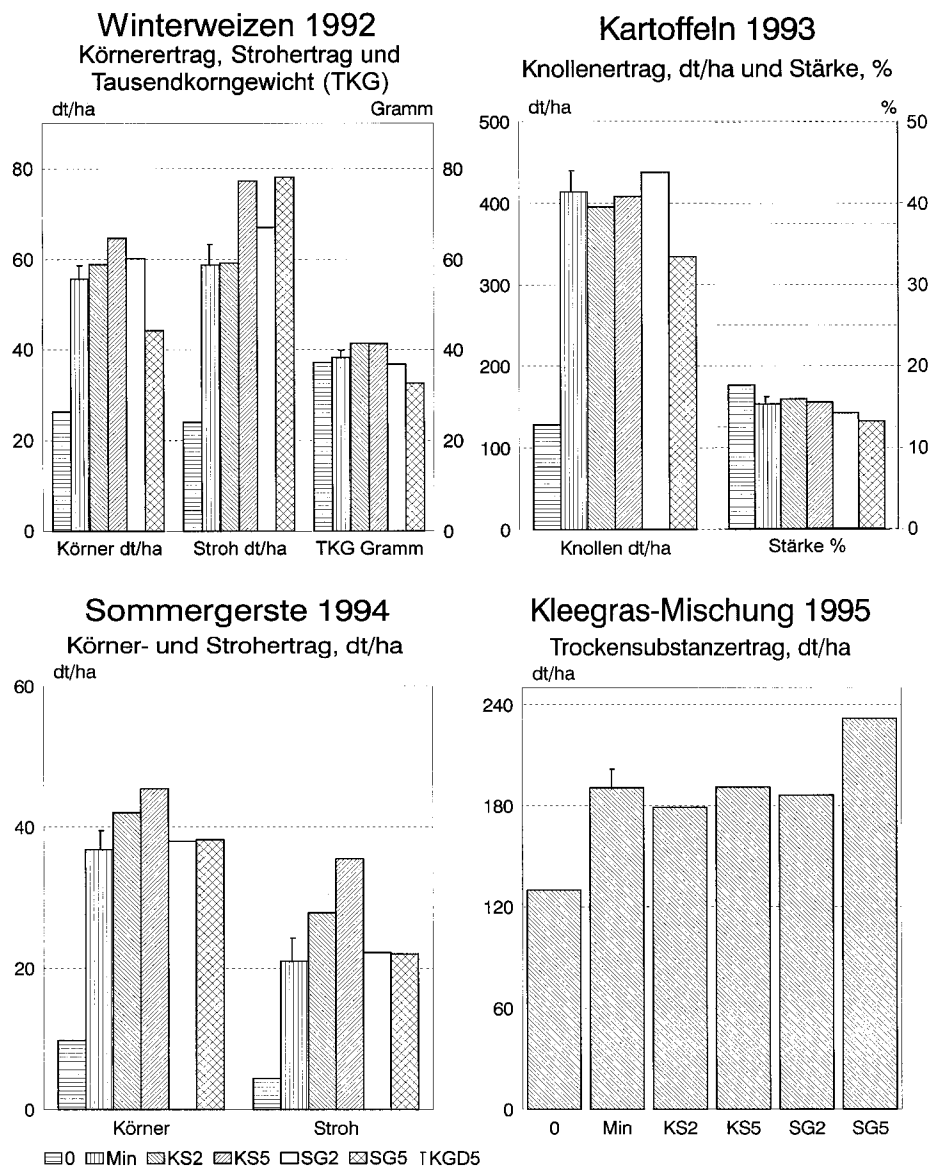


Abb. 1. Durchschnittliche Erträge verschiedener Kulturen eines Feldversuchs mit hohen Gaben Klärschlamm und Schweinegülle verglichen mit mineralischer Normdüngung.

zum Teil statistisch gesichert höher. Infolge der relativ hohen Zink-Zufuhr durch Klärschlamm und Schweinegülle (vgl. Tab. 1) waren auch die Zinkgehalte verglichen mit mineralischer Normdüngung statistisch signifikant höher. Die höchsten Zinkkonzentrationen wurden bei den meisten Kulturen aus Parzellen gefunden, welche Schweinegülle erhielten. Die signifikante pH-Abnahme in ungedüngten oder mit Schweinegülle gedüngten Parzellen erhöhte mit Sicherheit die Löslichkeit des im Boden vorhandenen und zugeführten Zinks und erhöhte dadurch die Aufnahme durch die Pflanzen. Hohe Gaben der beiden organischen Dünger beeinflussten die Cadmium-Pflanzengehalte nur unwesentlich. Oft fanden sich die höchsten Cadmiumwerte in Pflanzen, welche auf ungedüngten Parzellen wuchsen. Dies ist wahrscheinlich ein kombinierter Effekt von abgesunkenem pH-

Wert, tiefem Gehalt an organischer Substanz und geringem Pflanzenwachstum auf den Nullparzellen.

Dem Pflanzenentzug angepasste Düngung anstreben

Die wichtigsten Folgerungen aus den Resultaten des Bodenbelastungsversuches Liebefeld sind die folgenden:

- Hohe Gaben von Schweinegülle und Verfahren ohne Düngung senken die pH-Werte des Bodens. Die Nährstoffgehalte des Bodens, besonders der Phosphat-Gehalt, wurden durch hohe Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle stark erhöht (vgl. auch Mediavilla *et al.*, 1995).
- Hohe Gaben der beiden organischen Dünger hatten bei einigen Kulturen - möglicherweise durch zu hohen Stickstoffeinsatz - beträchtliche Ertragseinbußen zur Folge.

■ Eine ausgeglichene, dem Pflanzenentzug angepasste Düngung ist bester Garant für Normalgehalte in den Pflanzen. Pflanzen, welche auf seit 21 Jahren ungedüngten Parzellen wuchsen, waren infolge des abgesunkenen pH-Wertes zum Teil mit Schwermetallen angereichert.

■ Die Tierbestände sind - wo nötig - an die verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche anzupassen. Die in der Gewässerschutzgesetzgebung vorgesehene Begrenzung auf drei Düngergrossvieheinheiten pro Hektare (insbesondere auch als Schweine) ist vom pflanzenbaulichen und umwelttechnischen Standpunkt bei langfristiger Betrachtung bereits zu hoch bemessen.

■ Es ist unabdingbar, in Zukunft die zulässigen Schwermetallgehalte in Böden, Klärschlamm und Futtermittelzusätzen (Mast) weiter zu senken. 1998 wurden in der schweizerischen Gesetzgebung die Richtwerte für Schwermetalle in Böden revidiert. Mit der Revision der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBö) zur Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) ist ein erster Schritt in die richtige Richtung getan. Weitere Revisionen sind notwendig, wenn wir künftigen Generationen gesunde Böden weitergeben wollen.

LITERATUR

Das vollständige Literaturverzeichnis ist bei den Autoren erhältlich.

RÉSUMÉ

Effets de l'application de fortes quantités de boues d'épuration et de purin de porcs

Dans un essai en plein champ de longue durée, des doses très élevées de boues d'épuration et de purin de porcs (2 et 5 tonnes de matière organique par hectare et par an) ont augmenté fortement les teneurs en éléments nutritifs du sol, particulièrement en phosphore. Un abaissement du pH a été constaté sur les parcelles sans fumure et celles recevant de fortes doses de purin de porcs. Des baisses significatives de rendements sont apparues sur certaines cultures ayant reçu de hautes doses de purin. Après plus de vingt ans d'essai, les teneurs en cuivre (Cu), en zinc (Zn) et en cadmium (Cd) des sols ont augmenté suite aux doses élevées de boues d'épuration et de purin de porcs. Dans certains cas, les teneurs en Zn et Cd atteignaient ou dépassaient les valeurs indicatives données par l'Ordonnance sur les sols (Osol).

Epandues en plus petites quantités, les deux engrais montraient une bonne efficacité. Les éléments essentiels pour la plante (Cu et Zn) enrichissaient avant tout les parties génératives (grains) tandis que le Cd se retrouvait particulièrement dans les parties végétatives de la plante (feuilles et paille). La diminution de quelques dixièmes du pH du sol augmentait de façon drastique la teneur en métaux lourds des plan-

Tab. 4. Gehalte der geernteten Pflanzen an Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Cadmium (Cd)

Cu (mg/kg Trocken- substanz)	Zuckerrüben 1991		Winterweizen 1992		Kartoffeln 1993	Sommergerste 1994		Kleegras 1995
	Rüben	Blätter	Körner	Stroh	Knollen	Körner	Stroh	
0	5,18	10,8	4,75	2,23	6,59	9,20**	5,50	9,04*
Min	5,06	8,7	4,50	2,03	6,76	6,67	4,30	7,99
KS2	5,66**	10,6	5,50*	1,90	5,48	7,35*	4,37	11,24**
KS5	6,25**	11,0	5,50*	1,93	6,55	7,62**	3,41	11,29**
SG2	4,90	9,6	5,50*	2,65	8,48**	7,09	4,09	8,15
SG5	4,87	9,3	7,25**	3,85*	10,15**	8,71**	5,09	10,69**
KGD5	0,43	2,5	0,98	1,37	0,61	0,61	1,40	0,94
KGD1	0,60	3,5	1,35	1,89	0,84	0,84	1,92	1,30

Zn (mg/kg Trocken- substanz)	Zuckerrüben 1991		Winterweizen 1992		Kartoffeln 1993	Sommergerste 1994		Kleegras 1995
	Rüben	Blätter	Körner	Stroh	Knollen	Körner	Stroh	
0	42,8**	195**	47,5	18,6	19,6	49,5**	29,2**	50,0*
Min	31,8	100	42,5	12,5	18,4	38,3	15,8	43,8
KS2	49,1**	233**	53,8**	26,3**	17,1	47,5**	23,2*	58,0**
KS5	35,9	156*	50,3*	13,7	15,7	46,3*	18,4	52,9**
SG2	53,3**	185**	64,5**	35,9**	22,7**	55,3**	29,7**	57,5**
SG5	65,8**	220**	73,0**	67,5**	33,5**	76,7**	50,1**	65,6**
KGD5	7,5	55,1	6,0	9,8	2,7	6,3	6,4	5,8
KGD1	10,3	75,7	8,3	13,5	3,7	8,7	8,8	8,0

Cd (mg/kg Trocken- substanz)	Zuckerrüben 1991		Winterweizen 1992		Kartoffeln 1993	Sommergerste 1994		Kleegras 1995
	Rüben	Blätter	Körner	Stroh	Knollen	Körner	Stroh	
0	315**	1097**	74,9**	143	190,3**	53,1	138,3**	109,2**
Min	228	535	51,6	117	94,9	46,8	73,4	86,3
KS2	190	539	67,0*	142	70,8	41,4	52,1	86,1
KS5	161	423	84,6**	120	51,2	46,7	49,2	76,2
SG2	263	643	70,7*	204**	60,1	49,5	83,6	84,6
SG5	243	560	72,7**	234**	59,5	58,2**	92,2	62,9
KGD5	41,1	132	14,1	28,5	32,5	7,9	19,0	11,7
KGD1	66,5	182	19,3	39,1	44,7	10,9	26,2	16,1

Anmerkungen: 0 = ohne Düngung, Min = mineralische Normdüngung, KS2 bzw. 5 = Klärschlamm 2 bzw. 5 t organische Substanz pro Hektare und Jahr, SG2 bzw. 5 = Schweinegülle 2 bzw. 5 t organische Substanz pro Hektare und Jahr; KGD5 = Kleinste gesicherte Differenz, Mittelwerte gefolgt von einem Stern (*) sind signifikant unterschiedlich, verglichen mit der Variante «mineralische Normdüngung», bei p = 0,05; ** KGD1 = Kleinste gesicherte Differenz bei p = 0,01; n = 4.

tes. Même sur les parcelles sans fumure, l'abaissement du pH provoquait une augmentation des trois éléments analysés.

Les défis futurs d'une production végétale durable porteront sur une fumure correctement adaptée aux besoins de la plante, un contrôle et un épandage irréprochables des boues d'épuration, une adaptation du cheptel à la surface agricole disponible, une diminution constante des teneurs en métaux lourds des sols, des boues d'épuration et des fourrages conforme aux prescriptions environnementales.

SUMMARY

Effect of high sewage sludge and pig slurry application

In a long term field trial with very high amounts of sewage sludge and pig slurry application (2 and 5 tons of organic matter per hectare and year) the nutrient content of the soil, especially phosphate, increased considerably. The pH-values of the soil decreased in the treatments where no fertilizer or high quantities of pig slurry were applied. In some cases too large amounts of nitrogen in pig slurry significantly decreased the yield.

In case of high doses of sewage sludge and pig slurry, the levels of copper, zinc and cadmium in the soil increased remarkably during the trial period of more than twenty years. Levels of zinc and cadmium reached or even exceeded actual limits of Swiss legislation. We observed that the essential elements (copper and zinc) are mainly concentrated in the generative parts (grain), whereas cadmium is mainly found in the vegetative parts (straw, leaves) of the plant. A lowering of the soil pH-value by a few tenths increased the solubility of the heavy metals in the soil. In some cases this leads to higher heavy metal contents in the plants. The crops grown on unfertilized acid soils can also be enriched with heavy metals.

Challenges for the future are a well balanced fertilization adjusted to the plant uptake, adaptation of the livestock units to available agricultural surface and a further decrease of heavy metal limits for soil, sewage sludge and other wastes as well as animal feedingstuffs in the environmental legislation.

KEY WORDS: sewage sludge, pig slurry, long term field experiment, plant nutrition, overfertilization, heavy metals