

Otto H. Danneberg, Ernst Haunold, Othmar Horak und Josef Zvara:

Möglichkeiten und Probleme
der Stroh-Klärschlammdüngung

1. Einleitung und Problemstellung

Klärschlamm enthält eine beträchtliche Menge an Pflanzennährstoffen, besonders an Stickstoff und Phosphor. In zahlreichen Untersuchungen wurde seine Verwendbarkeit für den Pflanzenbau geprüft (JANSSON 1972, KICK 1972, v. BOGUSLAVSKI 1972, SUPERSPERG 1972, 1975, FURRER 1975 und andere). Die Rückführung dieser Nährstoffe in den biologischen Kreislauf ist prinzipiell wünschenswert. Da Klärschlämme jedoch sehr hohe Gehalte an Schadstoffen, besonders an Schwermetallen aufweisen können (BERROW u. WEBER 1972, PAGE 1974), ist ihre Anwendung im Pflanzenbau nicht ohne Einschränkung möglich. Toxische Elemente wie etwa Cadmium können bei Verwendung hochkontaminierter Schlämme sowohl in Pflanzen, besonders aber in Böden angereichert werden (SCHMID et al. 1975, BRADFORD et al. 1975, HAAN 1975, JOHN u. VAN LAERHOVEN 1976, DE VRIES u. TILLER 1978, VLAMIS et al. 1978).

Klärschlamm ist ein unbalanzierter Düngerstoff; seine Menge wird normalerweise nach dem pflanzenverfügbaren Stickstoff bemessen, die fehlenden Nährstoffe, besonders Kalium, müssen zugefügt werden. Er stellt einen organischen Dünger von engem C : N-Verhältnis dar (v. BOGUSLAWSKI 1972, SUPERSPERG 1972, SEIBERT 1972). Seine Kombination mit einem organischen Abfallstoff von weitem C : N-Verhältnis, wie etwa Stroh, scheint mehrere Vorteile zu bieten.

In den auf den Pflanzenbau spezialisierten landwirtschaftlichen Betrieben stellt das Getreidestroh ebenfalls ein Abfallprodukt dar. Nur zu häufig wird es als solches behandelt und kurzerhand am Feld verbrannt. Erst in allerjüngster Zeit gewinnen Überlegungen zur Nutzung seines Energiegehaltes Raum (CABELA 1979). Seit

Jahren jedoch wird es erfolgreich zur organischen Düngung verwendet (KOLBE u. STUMPE 1968, KICK u. POLETSCHNY 1974). Während die Strohdüngung im feuchteren Klimagebiet wenig Schwierigkeiten bereitet, stellt sie im Trockengebiet, wie etwa im Osten Österreichs, ein manchmal beträchtliches Risiko dar. Hier hemmt die sommerliche Trockenheit eine rechtzeitige Umsetzung des Stroh im Boden (KOPETZ 1960, BARBIER 1962).

Die Kombination von Stroh- und Klärschlammdüngung sollte hier Abhilfe schaffen können: Naßschlamm, die wohl wirtschaftlichste Art der Klärschlammausbringung (SUPERSPERG 1972, GABOR 1972), bringt eine Wassergabe auf das Feld, die ausreichen sollte, um die Stroh Umsetzung in Gang zu bringen. Der für die Umsetzung nötige Stickstoff wird durch den Klärschlamm geliefert. Die Umsetzung selbst aber sollte zum Abbau etwaiger organischer Schadstoffe, zur Bindung und späteren Freisetzung von Nährstoffen und zur Ergänzung des Bodenhumus nur von Vorteil sein.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz erteilten Forschungsauftrages wird die Frage der Stroh-Klärschlammdüngung seit längerer Zeit von den Autoren bearbeitet. Diese Bearbeitung richtet sich auf drei Aspekte der Thematik, nämlich auf die Beurteilung der pflanzenbaulichen Wirksamkeit der Stroh-Klärschlammdüngung, die Beurteilung ihrer Wirkung auf den Bodenhumus und die Beurteilung der durch den Schwermetallgehalt des Klärschlammes gegebenen Gefahren und der Einschränkungen, die fallweise notwendig werden können.

Zur Bearbeitung dieser Thematik wurde zunächst eine Serie von Gefäßversuchen durchgeführt. Diese führte schließlich zu einem praktischen Vorschlag, der derzeit gemeinsam mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Wien, im Feldversuch überprüft wird. Über die Ergebnisse dieses Feldversuches wird zur gegebenen Zeit berichtet werden. Über die Gefäßversuche wurde bereits im einzelnen berichtet (HAUNOLD u. ZVARA 1977, DANNEBERG u. SISTANI 1978, ZVARA 1979, ZVARA u. DANNEBERG 1979, HORAK u. REBLER 1979, HORAK 1979). Hier soll, soweit der knappe Raum es gestattet, eine zusammen-

fassende Darstellung der Gefäßversuche zur Stroh-Klärschlammdüngung und ihrer Ergebnisse gegeben werden.

2. Aufbau und Auswertung der Gefäßversuche

2.1. Aufbau des Gefäßversuches 1975/76/77:

Zur Prüfung aller drei Aspekte der Thematik wurde ein mehrfaktorieller Gefäßversuch mit zwei Böden - einer Schwarzerde aus Fuchsenbigl (Marchfeld), pH = 7,6, und einer Parabraunerde aus Rottenhaus (Alpenvorland), pH = 6,6, - durchgeführt. Die Bodenmenge pro Gefäß betrug 5 kg. Die Versuchspflanzen waren Sommerweizen und Sommergerste. Hier sollen jedoch nur die Ergebnisse an Weizen besprochen werden.

Die drei Düngefaktoren Klärschlamm, Stroh und Mineralstickstoff wurden gemäß dem in Tabelle 1 wiedergegebenen Schema verabreicht. Eine mineralische Grunddüngung an P und K wurde in Mengen von 1 g P_2O_5 /Gefäß entsprechend 600 kg/ha und 2 g K_2O /Gefäß, entsprechend 1200 kg/ha allgemein gegeben.

Tab. 1 : Düngungsschema 1

Düngungsfaktor	Stufe	Menge g/Gefäß	Menge pro Hektar
Klärschlamm	0	0	0
	1	66,70 TS	40 t TS
	2	133,30 TS	80 t TS
Stroh	0	0	0
	1	8,33 TS	5 t TS
Stickstoff	0	0	0
	1	0,50	300 kg

Nach der ersten Ernte, deren Ergebnisse als g Trockenmasse Korn pro Gefäß angegeben werden, wurden die einzelnen Versuchsglieder ein zweites Mal entsprechend dem in Tabelle 1 gegebenen Schema abgedüngt. Eine zweite Ernte von Weizen bzw. Gerste wurde erhalten.

Im dritten Versuchsjahr wurde zur Prüfung der Nachwirkung die organische Düngung - Stroh und Klärschlamm - ausgesetzt. Lediglich die Mineraldüngung wurde wie in den Vorjahren verabreicht. Eine dritte Ernte an Weizen und Gerste wurde gewonnen und ausgewertet.

2.2. Gefäßversuch zur Prüfung von Überdosierungen:

Zur Prüfung der pflanzenbaulichen Wirksamkeit von hohen Klärschlamm Dosen wurde ein Gefäßversuch angelegt, der Steigerungen bis zu umgerechnet 640 t/ha Klärschlamm-Trockenmasse, dem 8fachen der im vorgenannten Versuch verwendeten Höchstgabe, umfaßte. Der Versuchsboden war wieder die Fuchsenbigler Schwarzerde (siehe oben), die Bodenmenge pro Gefäß betrug 1,5 kg. Die P- und K-Düngung entsprach den im ersten Gefäßversuch verwendeten Gaben. Die Klärschlammgaben waren nach dem in Tabelle 2 wiedergegebenen Schema gestaffelt.

Tab. 2 : Düngungsschema 2

Düngungsfaktor	Stufe	Menge g/Gefäß	Menge pro Hektar
Klärschlamm	1	0	0
	2	6,65 TS	20 t TS
	3	13,30 TS	40 t TS
	4	26,60 TS	80 t TS
	5	53,20 TS	160 t TS
	6	106,40 TS	320 t TS
	7	212,80 TS	640 t TS

Als Versuchspflanzen wurden Erbse, Gerste und Spinat verwendet, die Pflanzen wurden als grüne Blattmasse geerntet. Ihre Trocken-substanzerträge sowie ihr Gehalt an N, P, K, Na, Ca und Mg wurden bestimmt. Hier werden jedoch nur die N- und Na-Gehalte wiedergegeben.

2.3. Gefäßversuch mit hohen Dosen zur Untersuchung der Schwermetallwirkung:

Dieser Gefäßversuch wurde mit einem alkalischen (Seibersdorf,

pH = 7,7) und einem sauren Boden (Zwettl, pH = 5,8) durchgeführt. Die Bodenmenge pro Gefäß betrug 5 kg. Als Düngevarianten wurden verwendet:

ungedüngt

Mineraldüngung (umgerechnet 300 kg/ha N, 500 kg/ha P_2O_5 ,
1000 kg/ha K_2O)

Klärschlamm 1 (umgerechnet 320 t Trockenmasse/ha)

Klärschlamm 2 (umgerechnet 640 t Trockenmasse/ha).

Als Versuchspflanzen wurden Raps und Mais verwendet. Beide wurden als Grünpflanzen geerntet.

2.4. Die Schwermetallanalyse:

Zur Untersuchung der Schwermetalle wurden Pflanzen-, Boden- und Klärschlammproben mit Salpetersäure-Perchlorsäure naß verascht. Die Totalgehalte der Schwermetalle wurden in den Aufschlüssen mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie ermittelt. Die Elemente Zn, Mn und Cu wurden ausschließlich in der Flamme, Co, Mo, Pb, Cd, Cr und Ni jedoch mit der Graphitrohrküvette gemessen. Zur Untersuchung dienten die Proben aus den unter 2.1. und 2.3. beschriebenen Gefäßversuchen, sowie des verwendeten Klärschlammes.

2.5. Die Untersuchung des Bodenhumus:

Zur Untersuchung der Wirkung der Stroh-Klärschlammdüngung auf den Bodenhumus wurden Bodenproben aus dem unter 2.1. beschriebenen Gefäßversuch verwendet. Sie wurden nach Abschluß der zweiten Ernte aus den Versuchsgefäßen entnommen.

Die Aufarbeitung der Proben erfolgte gemäß der Humuskomplexanalyse nach DANNEBERG u. SCHAFFER (1974). Nach dieser Methode werden die Huminstoffe durch erschöpfende Extraktion mit einem komplexbildenden Ionentauscher und Wasser aus dem Boden gewonnen und durch einfache Fällungsoperationen in die Fraktionen der Fulvosäuren, Braunhuminsäuren und Grauhuminsäuren getrennt. Diese drei Fraktionen entsprechen den Anteilen des Huminstoffsystems von niederen, mittleren und höchsten Molekülgrößen. Man bestimmt die Farbintensität dieser drei Fraktionen durch direkte Photometrie und gibt die

Farbstoffmengen als Optische Dichten (OD) an. Die Verteilungsmuster geben Einblick in die Molekülgrößenverteilung des Huminstoffsystems und ihre Veränderung als Folge der organischen Düngung; Teilchenverkleinerung führt zur Anreicherung der niedermolekularen, Teilchenvergrößerung zur Anreicherung der hochmolekularen Fraktionen. Veränderungen der Gesamtmenge spiegeln sich in geänderten Fraktionssummen wider.

2.6. Der verwendete Klärschlamm:

Der verwendete Klärschlamm stammte aus der vollbiologischen Kläranlage der Stadt Baden (REICHERT u. LENGYEL 1966). Er war in Trockenteichen bis zur Stichfestigkeit und danach an der Luft endgültig getrocknet worden. Seine Zusammensetzung gibt Tabelle 3 wieder.

Entsprechend den Grenzwerten nach HAAN (1975) kann der Schlamm als für die landwirtschaftlichen Zwecke geeignet bezeichnet werden. Lediglich Zn erreicht den Grenzwert. Ihm muß daher besonderes Augenmerk geschenkt werden.

Tab. 3 : Zusammensetzung von Badener Klärschlamm

1. Allgemeine Zusammensetzung			
Feuchtigkeit	2,51 %	Gesamt-C	20,43 %
Trockensubstanz	97,49 %	Gesamt-N	1,78 %
Glührückstand (Asche)	58,96 %		
2. Stickstoff-Fraktionierung			
Gesamt-N	100 %	Organischer N	97,25 %
NH ₄ -austauschbar	0,20 %	"Humin"-N	16,69 %
NH ₄ -fixiert	0,22 %	"Eiweiß"-N	40,62 %
NO ₃ -N	2,33 %	"Abbaubarer, org. N"	15,29 %
		Aminozucker-N	19,40 %
3. Huminstoffsystem (in OD/g KS)			
FS	:	43,5	
BHS	:	84,5	
GHS	:	8,0	

Tabelle 3 - Fortsetzung

4. Totalgehalte an Schwermetallen		
	ppm in TS	Grenzwert
Zn	2000	2000
Pb	381	500
Cu	335	500
Mn	250	-
Cr	50	500
Ni	23	100
Co	6	-
Cd	4	10
Mo	4	-

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Die pflanzenbauliche Beurteilung des Gefäßversuches 1975/76/77:

Aus den Ergebnissen dieses Gefäßversuches werden die Erträge von Sommerweizen in g Korn/Gefäß in den Abbildungen 1-6 in Form dreidimensionaler Darstellungen wiedergegeben.

Die ursprüngliche Ertragsfähigkeit der beiden Versuchsböden ist, wie die Erträge der ungedüngten Versuchsglieder zeigen, bei der Braunerde deutlich höher als bei der Schwarzerde; dies ist offensichtlich durch eine höhere Stickstoffmineralisierung der Braunerde bedingt. Versucht man jedoch aus dem Kurvenverlauf den auf beiden Versuchsböden erzielbaren Höchstertrag abzuschätzen, so stellt man fest, daß dieser in beiden Fällen etwa gleich hoch liegen muß.

Abb. 1

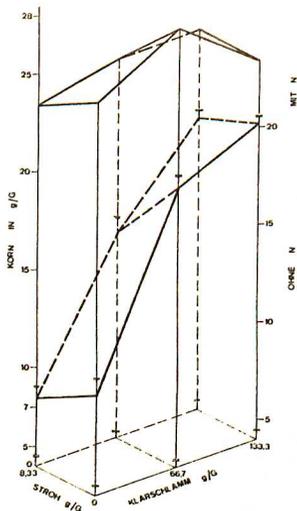


Abb. 2

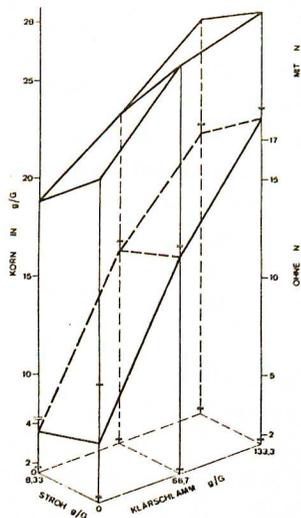


Abb.1: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1975 auf Braunerde in g/Gefäß

Abb.2: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1975 auf Schwarzerde in g/Gefäß

Abb. 3

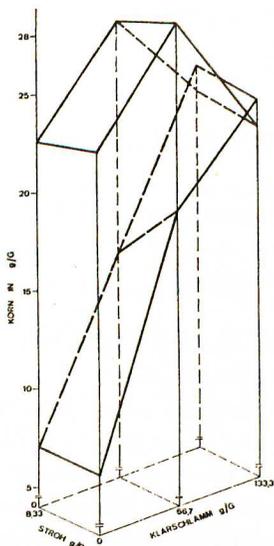


Abb. 4

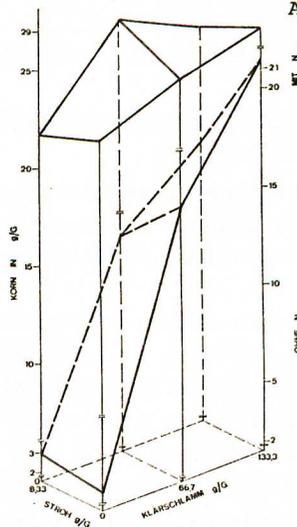


Abb.3: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1976 auf Braunerde in g/Gefäß

Abb.4: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1976 auf Schwarzerde in g/Gefäß

Auf der Braunerde mit höherer Eigenmineralisierung wird dieser Höchstertrag im Versuch tatsächlich erreicht. Er zeigt sich in Form eines Optimums mit 27-28 g Korn/Gefäß (Abb. 1 u. 3). Auf der Schwarzerde wird durch die geringere Eigenmineralisierung bei den gleichen Düngergaben das Optimum im ersten Jahr nicht erreicht (Abb. 2) sondern kann lediglich durch Extrapolieren der Ertragskurven geschätzt werden. Erst im zweiten Anwendungsjahr (Abb. 4) zeigt es sich und zwar ebenfalls mit etwa 27 g Korn/Gefäß.

Die Höchsterträge werden auf beiden Böden nur durch die Kombination von Klärschlamm mit Mineralstickstoff angenähert. Ohne Mineralstickstoff ist das N-Angebot auf beiden Böden zu niedrig; dementsprechend steil sind die Ertragskurven der Klärschlamm-düngung auf beiden Böden, sie zeigen hier einen fast geradlinigen Verlauf.

Die Wirkung des Strohs besteht selbstverständlich in allen unter dem Optimum liegenden Kombinationen in einer mehr oder weniger deutlichen Ertragsdepression; ein Teil des ohnehin nicht ausreichenden Stickstoffs wird zur Strohumsetzung verbraucht und vorläufig festgelegt. Im Bereich des Optimums jedoch fällt diese Depressionswirkung weg.

Im zweiten Jahr der Anwendung zeigt sich bereits auf beiden Böden eine beträchtliche Nachwirkung der Klärschlammgaben des ersten Versuchsjahres. In allen Kombinationen mit einem noch unter dem Optimum liegenden Stickstoffanbot sind die Erträge nun höher als im ersten Jahr. Deutlich zeigt sich auch die Wirkung der Strohdüngung: Bei den mit Stroh behandelten Versuchsgliedern ist die Nachwirkung aus dem ersten Jahr höher als bei denen ohne Stroh, denn ein Teil des im ersten Jahr durch das Stroh festgelegten, immobilisierten Stickstoffs wird nun wieder pflanzenverfügbar. So prägt sich hier auch auf der Schwarzerde bereits das Optimum aus (Abb. 4): Die mit Stroh behandelte Versuchsreihe erreicht bei einfacher Klärschlammgabe den höchsten Ertrag, die doppelte Gabe dagegen wirkt hier bereits ertragsdrückend.

Besonders deutlich wird die Nachwirkung des Klärschlammes an den Erträgen auf Braunerde (Abb.3) sichtbar: Hier wird die Ausprägung des Optimums unübersehbar, die höchsten Düngergaben drücken die Erträge.

Im dritten Versuchsjahr wurde die organische Düngung, also die Behandlung mit Stroh und Klärschlamm, ausgesetzt. Lediglich die Mineraldüngung wurde fortgeführt. Die Wirkung der organischen Düngung, die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt ist, ist also eine reine Nachwirkung.

Diese gibt gemeinsam mit der Mineralstickstoffdüngung eine Stickstoffwirkung unterhalb des Optimums; der Höchstertrag wird bei keiner der Kombinationen erreicht. Er dürfte jedoch auf der Braunerde nicht um wesentliches verfehlt worden sein, der höchste hier erzielte Ertrag liegt bei 27 g Korn/Gefäß.

Abb. 5

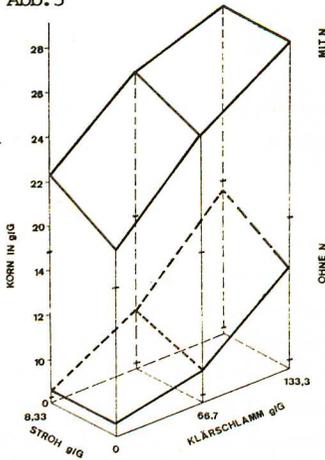


Abb. 6

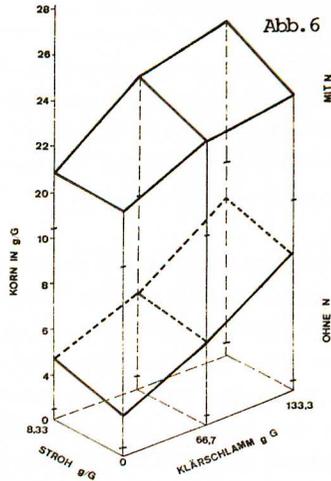


Abb.5: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1977 auf Braunerde in g/Gefäß

Abb.6: Kornertrag von Sommerweizen der Ernte 1977 auf Schwarzerde in g/Gefäß

Deutlich wird abermals die höhere natürliche Stickstoffnachlieferung der Braunerde. Die Erträge liegen hier bei allen Kombinationen um etwa den gleichen Betrag höher als bei der Schwarzerde. Hier wird also aus Boden und Düngerresten gleichermaßen mehr N freigesetzt als dort.

3.2. Der Gefäßversuch 1978; die Wirkung von Überdosen:

Im bisher besprochenen Gefäßversuch war die Dosierung von Klärschlamm so vorgenommen worden, daß nur gemeinsam mit zusätzlicher mineralischer Stickstoffdüngung der Höchstertrag erzielt wurde. Die Klärschlammgaben allein lagen also, auch bei mehrjähriger Anwendung, unter dem Optimum. Um die höchsten noch pflanzenverträglichen Gaben abzugrenzen wurde ein Gefäßversuch mit stark überhöhten Dosen durchgeführt. Als Versuchspflanzen dienten Gerste, Erbse und Spinat, die alle als grüne Blattmasse geerntet wurden. Die Dosierung des Klärschlammes erreichte das 8fache der im vorherbesprochenen Versuch verwendeten Menge.

Die Trockensubstanzproduktion der Versuchspflanzen ist in Abb. 7 wiedergegeben. Sie erfährt bei allen drei Versuchspflanzen zunächst eine Steigerung durch die zunehmende Klärschlammdüngung. Nach Durchlaufen eines Optimums jedoch bewirken höhere Gaben eine zunehmende Wachstumshemmung. Die durch die Düngung bewirkte Steigerung der Trockensubstanzproduktion ist bei Erbse am wenigsten

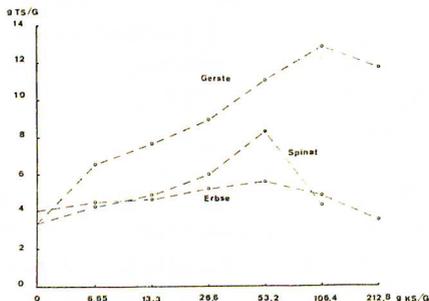


Abb.7: Gefäßversuch 1978,
Trockensubstanzproduktion

GD 5 % = 1,06

und bei Gerste am stärksten ausgeprägt. Die Hemmung ist bei Spinat am deutlichsten; hier bewirkt die höchste KS-Gabe völlige Keimhemmung. Das Optimum liegt bei Spinat und Erbse bei umgerechnet 160 t Klärschlamm-Trockenmasse/ha, bei Gerste dagegen bei 320 t/ha.

Tab. 4 : Gehalte der Versuchspflanzen an N und Na sowie Verhältnis K : Na

Stufe	% N			ppm Na			K : Na		
	Erbse	Gerste	Spinat	Erbse	Gerste	Spinat	Erbse	Gerste	Spinat
1	3,06	1,44	1,88	145	1102	787	134	33	69
2	2,90	1,40	1,78	166	1099	656	144	35	90
3	2,98	1,48	1,81	190	1166	960	133	33	59
4	3,02	1,48	1,84	218	1354	1287	126	30	45
5	3,44	1,63	2,52	255	1255	2053	96	34	26
6	3,42	1,97	2,75	240	1806	3164	101	26	20
7	3,50	3,60	-	468	2494	-	53	20	-
GD 5 %		0,22			382			16,5	

Wie die Tabelle 4 zeigt, bewirken die höheren Klärschlammgaben einen Anstieg des N- aber auch des Na-Gehaltes der Versuchspflanzen. Abermals reagiert Gerste am geringsten, sie verträgt Klärschlamm also relativ gut, und Spinat am deutlichsten. Bei Spinat ist das Verhältnis von K : Na spätestens ab der Düngungsstufe 5, umgerechnet 160 t KS-Trockenmasse pro ha, deutlich abgesenkt. Für Getreide liegen demnach die noch positiv wirkenden Gaben bei umgerechnet 320 t/ha, dem 4fachen der im erstgenannten Gefäßversuch verwendeten Höchstgabe. Für empfindliche Früchte wie etwa Spinat liegt jedoch die Grenze bei umgerechnet 160 t/ha.

Diese Daten gelten streng nur für die Bedingungen eines Gefäßversuches und, besonders, für eine einzige Applikation. Es ist schwierig, daraus höchstzulässige Gaben im Feld abzuleiten, besonders für wiederholte Anwendung. Jedenfalls müssen die Einzelgaben um

wesentliches niedriger bemessen werden. Ein Faktor 10 scheint als Sicherheitsabstand keineswegs zu hoch. Damit erscheinen für die praktische Anwendung Einzelgaben von 16 t Trockenmasse als Obergrenze. Die für die Praxis empfohlenen maximalen Gaben von 600 m^3 Naßschlamm/ha liegen tatsächlich beträchtlich höher (30 t).

3.3. Die Wirkung der Stroh- und Klärschlammdüngung auf das Huminstoffsystem der Versuchsböden:

Aus den Böden des Gefäßversuches 1975/76/77 wurden nach Abschluß des zweiten Versuchsjahres, also vor Beginn der Untersuchung der Nachwirkung, Proben zur Analyse des Huminstoffsystems der beiden Versuchsböden gezogen. Die Abbildungen 8 und 9 geben die Ergebnisse in OD/g Boden in dreidimensionaler Darstellung wieder.

Die Menge an extrahierbaren Huminstoffen wird durch die Strohdüngung auf Braunerde nicht, auf Schwarzerde nur wenig gesteigert. Dies könnte mit dem schon beobachteten, schnelleren Umsatz in der Braunerde zusammenhängen. Klärschlamm dagegen steigert auf beiden Böden die Menge an extrahierbaren Huminstoffen beträchtlich.

Der Vergleich der drei Huminstoff-Fractionen zeigt weiters, daß die organische Düngung auch das Verhältnis der Fraktionen zueinander, also die Molekulargewichtsverteilung der Huminstoffsysteme beeinflusst: Auf der Braunerde (Abb. 9) wirken Stroh-, Klärschlamm und kombinierte Düngung in gleicher Weise teilchenverkleinernd auf das Huminstoffsystem. Die niedermolekularen Fulvosäuren und die Teilchen mittlerer Molekülgröße, die Braunhuminsäuren, werden angereichert. Die Grauhuminsäuren dagegen gehen zurück. Auf der Schwarzerde (Abb. 8) zeigen Stroh und Klärschlammdüngung, jede für sich angewandt, den gleichen Effekt. Kombiniert jedoch ergeben sie eine deutliche Tendenz zur Polymerisation der Huminstoffe: Die Menge an Fulvosäuren bleibt unverändert, die der Braunhuminsäuren sinkt bei höchster KS-Gabe sogar ab, während die der hochmolekularen Grauhuminsäuren deutlich ansteigt.

Abb. 8

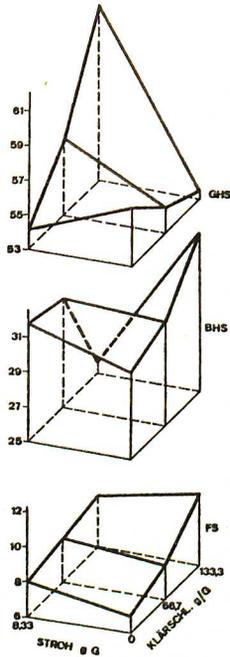


Abb. 9

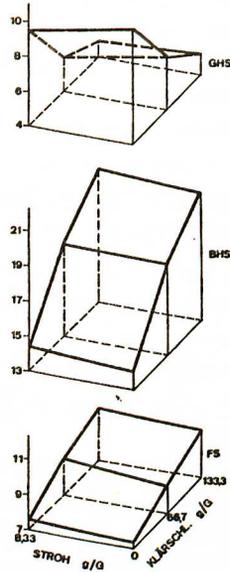


Abb. 8: Huminstoffsystem der Schwarzerde in OD/g Boden, in Abhängigkeit von der Stroh- und Klärschlammdüngung. FS: Fulvosäuren. BHS: Braunhuminsäuren. GHS: Grauhuminsäuren.

Abb. 9: Huminstoffsystem der Braunerde in OD/g Boden, in Abhängigkeit von der Stroh- und Klärschlammdüngung. FS: Fulvosäuren. BHS: Braunhuminsäuren. GHS: Grauhuminsäuren.

Im Gegensatz zu einer lange bestehenden Lehrmeinung sind Huminstoffe keineswegs völlig stabile Stoffe. Sie unterliegen im Gegenteil einer regen Dynamik, die sich immer aus einem Abbau bereits bestehender Huminstoffe und aus einer Huminstoffneubildung zusammensetzt. Beide Prozesse sind in erster Linie ein Werk der Boden-

mikroflora. Bei Zufuhr von organischen Stoffen zum Boden werden beide Prozesse angeregt. Stroh und Klärschlamm dürften hauptsächlich zur Bildung niederer bis mittlerer Molekülgrößen geeignet sein. Diese bevorzugte Nachbildung kleinerer Moleküle, gemeinsam mit einem durch die organische Düngung angeregten, allgemeinen Abbau, ergibt dann das beobachtete Bild. Im Gegensatz zur Braunerde muß die Schwarzerde jedoch einen - vorläufig unbekannt - Mechanismus besitzen, der eine höhere Polymerisation bewirkt. Dieser Mechanismus ist offenbar bei kombinierter Düngung wirksam, bei Einzelanwendung fehlen notwendige, aber als solche noch unbekannt Voraussetzungen. Es ist wahrscheinlich, daß die höhere Polymerisation der Huminstoffe der Schwarzerde mit dem langsameren Stoffumsatz und der geringeren Eigenmineralisierung, die hier beobachtet wurde, im Zusammenhang stehen.

3.4. Schwermetalle in Böden und Pflanzen nach Anwendung von Klärschlamm:

Tabelle 5 gibt den natürlichen Gehalt der beiden Versuchsböden der Gefäßversuche 1975/76/77, Rottenhaus und Fuchsenbigl, an Mn, Zn, Cu, Pb und Cd wieder, sowie die Zunahme, die sich rechnerisch aus dem Zusatz von Klärschlamm in der erhöhten Versuchsgabe ergibt. Der natürliche Gehalt an diesen Mikroelementen ist bei Rottenhaus etwa doppelt so hoch wie bei Fuchsenbigl. Die Erhöhung der Gehalte durch die Klärschlammzufuhr ist nur bei Mn unbedeutend, bei den anderen Elementen jedoch deutlich; am stärksten fällt die Erhöhung des Zn-Gehaltes ins Gewicht. Er wird bei Fuchsenbigl durch eine einmalige Klärschlammgabe fast verdoppelt.

Tab. 5 : Schwermetalle in den Versuchsböden

Gehalt (ppm)	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd
Fuchsenbigl	470	61	17	15	0,38
+ 133,3 g KS	478	114	26	26	0,46
% Zunahme	1,7	86,9	52,9	60,0	21,1
Rottenhaus	650	150	35	42	0,70
+ 133,3 g KS	658	203	44	51	0,78
% Zunahme	1,2	35,3	25,7	21,4	11,4

Die Gehalte der gleichen Mikroelemente im Stroh und Korn der ersten Weizenernte werden in Tabelle 6 wiedergegeben. Es werden die Ernten der O-Varianten mit den Ernten der höchsten Klärschlammstufe verglichen.

Tab. 6 : Schwermetalle im Sommerweizen der ersten Ernte,
Boden Fuchsenbigl

Gehalt ppm/TS		Mn	Zn	Cu	Pb	Cd
Stroh	O	12,0	104,7	1,8	6,6	0,73
	KS2	6,3	103,7	2,4	6,2	0,64
	GD 5 %	2,4	10,2	0,7	2,1	0,12
Korn	O	21,4	30,1	3,4	0,4	0,06
	KS2	12,2	45,0	4,8	0,6	0,08
	GD 5 %	1,5	4,1	0,8	0,3	0,03

Die Gehalte von Stroh und Korn an den toxischen Elementen Pb und Cd stiegen nicht signifikant an. Die Cu- und Zn-Gehalte des Kornes stiegen meßbar aber unwesentlich. Der Mn-Gehalt war nach KS-Düngung vermindert.

Die zweite Weizenernte, also nach 2maliger Klärschlammdüngung, wurde zusätzlich zu den oben genannten Elementen auch auf Cr und Ni untersucht.

Tab. 7 : Schwermetallgehalte im Korn von Sommerweizen in ppm/TS,
Versuchsboden Fuchsenbigl

Variante	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni
O	19,0	32,7	4,2	0,59	0,035	0,25	0,15
N	11,9	19,9	2,1	0,32	0,018	0,21	0,20
KS2	4,8	27,8	3,7	0,33	0,010	0,18	0,31
N + KS2	10,0	42,6	4,9	0,27	0,019	0,19	0,29
S + KS2	5,4	29,2	3,6	0,24	0,014	0,20	0,25
N + S + KS2	13,5	49,7	5,5	0,31	0,021	0,21	0,26
GD 5 %	2,5	3,6	0,7	0,2	0,01	0,04	0,05

Die Ergebnisse werden in Tabelle 7 wiedergegeben. Sie lassen keine einheitliche Wirkung der Klärschlammbehandlung auf den Schwermetallgehalt erkennen. Die Gehalte der Elemente Pb, Cd, Cr und Ni wiesen keine signifikanten Veränderungen auf.

Da also die eher praxisnahen Gaben, trotz einer bei mehrjähriger Anwendung nicht unbedenklichen Anreicherung im Boden, die Gehalte in den Pflanzen kaum veränderten, wurde ein Versuch mit überhöhten Gaben (siehe 2.3.) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 10, 11 und 12 dargestellt.



Abb.10: Zinkgehalt der Versuchspflanzen

- 1 = Nullvariante
- 2 = NPK-Düngung
- 3 = KS 1
- 4 = KS 2

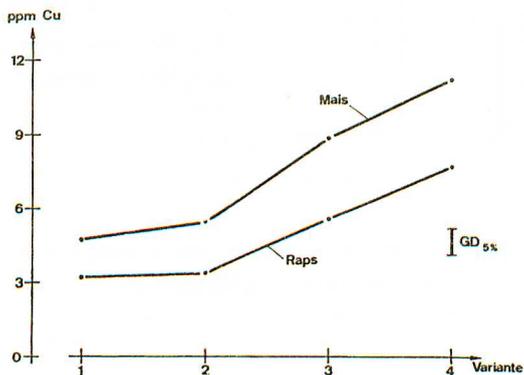


Abb.11: Kupfergehalt der Versuchspflanzen

- 1 = Nullvariante
- 2 = NPK-Düngung
- 3 = KS 1
- 4 = KS 2

Erwartungsgemäß war in den Pflanzen der Zn-Gehalt am stärksten erhöht (Abb. 10). Die höchsten Gehalte lagen mit 80 ppm Zn etwa 4mal so hoch wie die der Kontrolle.

Deutlicher als bei den früheren Ergebnissen ergab sich eine Erhöhung des Cu-Gehaltes (Abb. 11). Mais enthielt in allen Fällen mehr Cu als Raps.

Bei Mangan ergaben die überhöhten Dosen, im Gegensatz zu den praxisnahen Gaben, keine Verminderung des Gehaltes durch die Düngung. Die Pflanzen auf den mit den höchsten KS-Gaben gedüngten Böden enthielten stets das meiste Mn.

Der Mo-Gehalt der Pflanzen war deutlich durch die KS-Düngung, aber auch durch die Pflanzenart und die Versuchsböden beeinflusst. Wahrscheinlich liegt der Unterschied der Böden in den verschiedenen pH-Werten begründet (Abb. 12). Raps enthielt immer beträchtlich mehr Mo als Mais.

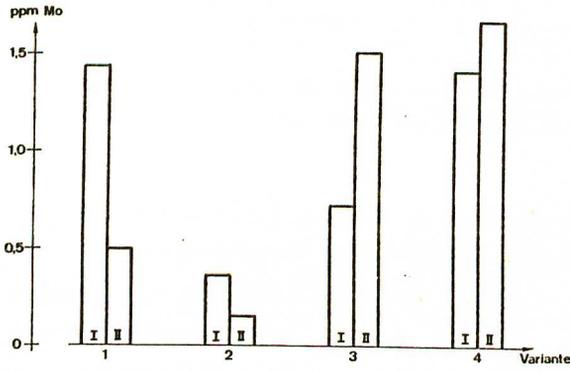


Abb.12: Molybdän-
gehalt von Raps auf
verschiedenen Böden
bei Mineral- und
Klärschlamm Düngung

Böden: I = Seibersdorf

II = Zwettl

1 = Nullvariante

2 = NPK-Düngung

3 = KS 1

4 = KS 2

Die Gehalte der Pflanzen an Pb, Cd, Ni, Cr und Co blieben auch durch die stark erhöhten Klärschlammgaben unbeeinflusst.

Es vermochten also sowohl praxisnahe als auch stark überhöhte Gaben des Badener Klärschlammes die Gehalte toxischer Elemente in Pflanzen nicht zu beeinflussen. Die Erhöhung des Cu-Gehaltes wird bei den meisten Kulturböden kaum als Nachteil empfunden werden. Die festgestellten Erhöhungen des Zn-Gehaltes können den Wert des Getreidekorns zur menschlichen Ernährung sicherlich nicht beeinträchtigen. Die festgestellte Anreicherung von Zn im Boden könnte dagegen wohl den pflanzentoxischen Bereich erreichen, besonders bei mehrjähriger Anwendung. Die geringe Toleranz etwa von Spinat gegen hohe Zn-Gehalte (LEEPER 1978) könnte eine der Ursachen seiner Empfindlichkeit gegen hohe Klärschlammgaben sein.

4. Zusammenfassende Beurteilung

Die Stroh-Klärschlammdüngung zeigt in den hier besprochenen Gefäßversuchen eine durchaus positive Wirkung sowohl auf die direkten, pflanzenbaulichen Ergebnisse, die Erträge, als auch auf den Bodenhumus und damit auf die nachhaltige Ertragsfähigkeit der Böden, die Bodenfruchtbarkeit. Die mehrjährige Anwendung von Stroh-Klärschlammdüngung bringt eine beträchtliche Nachwirkung und damit Einsparung an der notwendigen mineralischen Düngung. Besonders die Einsparung an Mineralstickstoff düfte ins Gewicht fallen. Bei mehrjähriger Anwendung sind die Einzelgaben eher vorsichtig zu bemessen. Dies sollte schon im Hinblick darauf geschehen, daß Überdüngungen vermieden werden müssen; ein zu geringes Anbot dagegen kann durch den besser dosierbaren Mineral-N leicht ausgeglichen werden.

Schlämme von der Qualität des Badener Klärschlammes können durchaus über längere Zeit mehrmals auf der gleichen Fläche eingesetzt werden, ohne daß pflanzentoxische oder humantoxische Anreicherungen von Schwermetallen im Erntegut zu befürchten sind. Pflanzentoxische Erscheinungen, etwa durch Zn-Überdüngung, sind eher zu befürchten als humantoxische (WORLD HEALTH ORGANIZATION 1973).

Die Anreicherung von Schwermetallen im Boden ist jedoch, trotz oder vielmehr wegen ihrer geringen Pflanzenverfügbarkeit, so hoch, daß sie eine dauernde, immer wiederkehrende Belastung der Böden mit Klärschlamm bedenklich machen. Strebt man eine Verwendung von Klärschlamm im Pflanzenbau als Dauerlösung an, was an sich begrüßenswert wäre, so müßte auf die Dauer auch eine bessere Kontrolle der Schwermetallkontamination erfolgen, sei es durch technologische oder organisatorische Maßnahmen. Beim jetzigen Stand der Dinge scheint es, daß eine Verwendung solcher Schlämme, wie des untersuchten, über begrenzte Zeit ohne weiteres verantwortet werden kann und beträchtliche Vorteile bringt. Sie erfordert aber eine dauernde analytische Kontrolle und kann sicher nicht ad infinitum erfolgen.

Anschrift der Verfasser:

Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie Ges.m.b.H.,
Institut für Landwirtschaft am Forschungszentrum Seibersdorf,
Lenaugasse 10, A-1082 Wien

Literatur

- BARBIER, S.: Heutiger Stand der Strohdüngung. *Bodenkultur* 13, 198-225, 1962.
- BERROW, M.L. u. J. WEBER: Trace elements in sewage sludges. *J. Sci. Food Agric.* 23, 93-100, 1972.
- v. BOGUSLAWSKI, E.: Verwertung von Abwasserklärschlamm im Pflanzenbau. *Mitt. DLG* 87, 264-267, 1972.
- BRADFORD, G.R., A.L. PAGE, L.J. LUND et al.: Trace element concentrations of sewage treatment plant effluents and sludges, their interactions with soils and uptake by plants. *J. Environm. Qual.* 4, 123-131, 1975.
- CABELA, E.: Energy from biomass. *Berichte der Österr. Studien-ges. f. Atomenergie*, Nr. 3057, GF-WT-35/79, 1979.
- DANNEBERG, O.H. u. K. SCHAFFER: Eine einfache kolorimetrische Analyse des Huminstoffsystems. *Bodenkultur* 25, 360-368, 1974.
- DANNEBERG, O.H. u. H. SISTANI: Die Wirkung von Stroh- und Klärschlamm-düngung auf das Huminstoffsystem einer Braun- und einer Schwarzerde. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 141, 353-365, 1978.
- DE VRIES, M.P.C. u. K.G. TILLER: The effect of sludges from two Adelaide sewage treatment plants on the growth of and heavy metal concentration in lettuce. *Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 18, 143-147, 1978.
- FURRER, O.J.: Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft. *Schweiz. J.* 42, 40-42, 1976.
- GABOR, G.: Abwasserversorgung unter zufriedenen Partnern. *Mitt. DLG* 87, 174-176, 1972.
- HAAN, S. DE: Die chemische Zusammensetzung von Gewächsen auf mit Klärschlamm behandelten Böden. *Landw. Forsch., Sonderh.* 31/I, 220-239, 1975.
- HAUNOLD, E. u. J. ZVARA: Die Ertragswirkung von Klärschlamm im Gefäßversuch. *Bodenkultur* 28, 270-276, 1977.

- HORAK, O.: Untersuchung der Schwermetallbelastung von Pflanzen durch Klärschlammgaben im Gefäßversuch. Manuskript eingereicht in "Die Bodenkultur", 1979.
- HORAK, O. u. R. R. BLER: Einfluß verschieden hoher Klärschlammgaben auf den Schwermetallgehalt von Pflanzen im Gefäßversuch. Berichte der Österr. Studienges. f. Atomenergie, Nr. 3048, LA-70/79, 1979.
- JANSSON, S.L.: Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft Schwedens. Landw. Forsch., Sonderh. 27/I, 61-66, 1972.
- JOHN, M.K. u. C.J. VAN LAEFHOVEN: Effect of sewage sludge composition, application rate and lime regime on plant availability of heavy metals. J. Environ. Qual. 5, 246-251, 1976.
- KICK, H.: Beitrag der Landwirtschaft zur Abfallbeseitigung. Landw. Forsch., Sonderh. 27/I, 1-12, 1972.
- KICK, H. u. H. POLETSCHNY: Erfahrungen mit langjähriger kontinuierlicher Strohdüngung. Landw. Forsch., Sonderh. 30/II, 146-152, 1974.
- KOLBE, G. u. H. STUMPE: Die Strohdüngung. Forschungsberichte für die Landwirtschaft 6, 1-71, 1968.
- KOPETZ, L.M.: Zur Frage der Einackerung von Stroh. Der Förderungsdienst 8, 231-233, 1960.
- LEEPER, G.W.: Managing the heavy metals on the land. Pollution Engineering and Technology, 6. Marcel Dekker, New York u. Basel, 1978.
- PAGE, A.L.: Fate and effect of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural land. Environmental Protection Technology Serie 760/2-74-005, 1974.
- REICHERT, O. u. W. LENGYEL: Umbau der vollbiologischen Kläranlage der Kurstadt Baden bei Wien. Österreichische Wasserwirtschaft 18, 220-227, 1966.
- SCHMID, G., A. RESOPULO u. H. WEIGELT: Grundsatzfragen zur Erzeugung einer gesunden Ernährung. Mitteilung III: Einfluß von Müllklärschlammkompost und Klärschlamm auf den Schwer-

- metallgehalt von Nahrungspflanzen. Landw. Forsch., Sonderh. 31/I, 191-205, 1975.
- SEIBERTH, W.: Orientierende Untersuchungen über die Stickstoffwirkung von thermisch getrocknetem Klärschlamm beim Einsatz als Bodenverbesserungsmittel auf Rekultivierungsflächen. Landw. Forsch. 25, 247-256, 1972.
- SUPERSPERG, H.: Landwirtschaftliche Schlammverwertung. Österreichische Wasserwirtschaft 24, 192-199, 1972.
- SUPERSPERG, H.: Naßschlammverwertung auf schweren Böden. 3. Europäisches Abwasser- u. Abfallsymposium, München, 1975.
- VLAMIS, J., D.E. WILLIAMS, K. FONG et al.: Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge. Soil Sci. 126, 49-55, 1978.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION: WHO-Technical Report Series No. 532, Genf, 1973.
- ZVARA, J.: Prüfung der Nachwirkung von Klärschlamm im Gefäßversuch. Bodenkultur 30, 1-6, 1979.
- ZVARA, J. u. O.H. DANNEBERG: Die Wirkung hoher Klärschlammgaben auf Ertragsbildung und Nährstoffentzug. Bodenkultur 30, 127-133, 1979.