

Ergebnisse aus Versuchen mit Abwasserklärslamm

Von S. DE HAAN *)

Abwasserreinigung und Klärschlammproduktion in den Niederlanden

In den Niederlanden wurde 1970 nach VERHAAGEN (1972) das Abwasser von 8 Millionen Einwohner-Gleichwerten gereinigt (von insgesamt 25 Millionen E. G. einschließlich Industrie). Die Klärschlammproduktion betrug 1970 umgerechnet auf Trockensubstanz rd. 80 000 Tonnen. Davon wird etwa 60 % in flüssigem oder stichfestem Zustand oder mit Hausmüll zu Kompost verarbeitet im Pflanzenbau verwendet. Der Rest wird deponiert oder findet eine unbekannte Bestimmung. Mit einer starken Vergrößerung der Schlammproduktion in naher Zukunft wird gerechnet.

Landbaulicher Wert des Klärschlammes aufgrund chemischer Analyse

In der Periode 1967/69 wurden vom Betriebslaboratorium für Boden- und Gewächswissenschaften in Oosterbeek 159 Klärschlammproben im Auftrag von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen untersucht. Die Proben entstammten den verschiedensten Anlagen und befanden sich in den verschiedensten Phasen der Trocknung. Das Ergebnis der Analysen ist in der Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tab. 1
Ergebnisse der chemischen Analyse von Klärschlammproben aus der Periode 1967-70
Gehalte umgerechnet auf Trockensubstanz

	Anzahl der Proben	Mittelwert	Streuung
Glühverlust %	157	45,13	6,94 - 89,34
Nt	159	2,47	0,36 - 7,83
P ₂ O ₅	159	2,99	0,10 - 10,46
K ₂ O	155	0,25	0,00 - 2,44
CaO	79	4,02	0,31 - 16,77
MgO	65	0,30	0,08 - 0,73
Cl	36	0,16	0,00 - 1,22
Na ₂ O	27	0,36	0,01 - 4,74
pH-KCl	13	7,2	5,3 - 10,2

Aus der Tabelle geht hervor, daß alle Gehalte starke Schwankungen aufweisen, die allerdings teilweise erklärt werden können. Der organische Stoff- und auch der Stickstoff- und Kaliumgehalt nehmen mit dem Trockensubstanzgehalt ab (Korrelationskoeffizienten — 0,59, — 0,65 und — 0,36). Der Stickstoffgehalt nimmt mit dem organischen Stoffgehalt zu (Korr.k. 0,69).

Bezogen auf organische Substanz ist der Stickstoffgehalt im Mittel 5,47 % und also recht hoch. Der Phosphorsäuregehalt ist noch höher und noch größeren Schwankungen unterworfen, die kaum durch Unterschiede im organischen Stoffgehalt erklärt werden können (Korr.k. 0,27). Der Kaligehalt ist bekanntlich sehr niedrig. Ebenfalls niedrig sind die Gehalte an Magnesium, Natrium und Chlor. In einigen Fällen können diese auch recht hoch sein. Der Kalkgehalt ist recht hoch und in Zusammenhang damit auch das pH. Die Schwankungen sind aber auch hier groß.

*) Ir. S. DE HAAN, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Haren (Groningen), Niederlande

Gehalte an Schwermetallen

Über den Gehalt an Schwermetallen im Klärschlamm liegen erst wenige Daten vor. In der Tabelle 5 sind neben den Gehalten an anderen Stoffen die Gehalte an Schwermetallen wiedergegeben von 15 Schlammarten, die verwendet wurden für den noch zu behandelnden Versuch VP 1053. Die Gehalte schwanken außerordentlich stark, je nach Art der angeschlossenen Industrien.

Vegetationsversuche mit Klärschlamm

Vegetationsversuche mit Klärschlamm sind bis jetzt an unserem Institut verhältnismäßig wenig durchgeführt worden. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse eines jetzt 20 Jahre laufenden Feldversuches auf einem schweren Flußmarschboden, auf dem bis 1968 alle 2 Jahre 30 und ab 1968 jedes Jahr 15 Tonnen/ha stichfester Schlamm angewendet wird bei normaler Mineraldüngung.

Tab. 2

Mehr (Minder)erträge durch Klärschlamm (15 t stichfest/ha/Jahr) in vH. der Erträge ohne organische Düngung auf dem Versuchsfeld Pr 1255 (schwerer Flußmarschboden), bei optimaler Mineraldüngung

Jahr	Gewächs	Korn/Knollen/ Rüben	Stroh/Kraut	Stärke/ Zuckergehalt
1952	Kartoffeln	— 3		
1953	Gerste	6	0	
1954	Kartoffeln	3		— 5
1955	Z. Rüben	11	30	— 2
1956	Hafer	4	— 1	
1957	Kartoffeln	1		— 2
1958	Z. Rüben	4	15	— 4
1959	Gerste	— 13	6	
1960	Kartoffeln	— 1		— 4
1961	Z. Rüben	5	26	— 2
1962	Weizen	18	15	
1963	Kartoffeln	1		— 1
1964	Z. Rüben	16	41	— 4
1965	Weizen	25	28	
1966	Kartoffeln	13		— 1
1967	Z. Rüben	— 15	10	— 2
1968	Weizen	4	12	
1969	Kartoffeln	— 4		— 1
1970	Z. Rüben	— 4	19	— 2
Mittel		4	17	— 2

Aus der Tabelle geht hervor, daß der Korn- bzw. Knollenertrag und die Gehalte an Stärke und Zucker vom Klärschlamm nur wenig beeinflusst worden sind, dagegen deutlich die Stroh- und Krauterträge. Daraus kann man ableiten, daß der Klärschlamm vorwiegend als Stickstoffdünger gewirkt hat. In einem anderen Versuch auf einem leichten Sandboden (Pr 1599) wurde das auch festgestellt. Hier war die Wirkung von Klärschlamm bei Zuckerrüben schlechter als die von Müllkompost. Bormangel (Herz- und Trockenfäule) wurde durch Müllkompost behoben, aber nicht oder nur unzureichend durch Klärschlamm.

Gefäßversuche mit Klärschlamm

Weil der landbauliche Wert von Schlammarten verschiedener Herkunft stark variieren kann und man doch nicht mit jeder einzelnen Schlammart einen Feldversuch durchführen kann, wurde schon vor Jahren an unserem Institut die Möglichkeit für Kläranlagen geschaffen, ihren Schlamm auf seinen Wert prüfen zu lassen mit Hilfe von Mitscherlichgefäßen. Hierbei wurden praxisübliche Gaben verabreicht (0, 12 1/2, 25 und 37 1/2 g Trockenschlamm/Gefäß), und die Effekte waren gering. Es erhob sich aber die Frage, was auf die Dauer geschieht bei kontinuierlichem Gebrauch von Klärschlamm, wie das in der Praxis üblich ist, wo der Schlamm zur Vermeidung hoher Transportkosten meist in der unmittelbaren Nähe der Kläranlage abgesetzt wird.

Um diese Frage beantworten zu können und auch um festzustellen, inwieweit der Schlamm sich als Bodenverbesserungsmittel eignet oder als Bestandteil von Pflanzerden oder auch als Kulturboden, falls keine andere Absatzmöglichkeit vorhanden ist, wurde ein Testversuch entworfen, wobei der Boden (ein leichter Sandboden) zu 0, 1, 2, 5, 10, 20, 50 und 100 Volumenprozent durch Klärschlamm ersetzt wird. Der Klärschlamm wird zuvor an der Luft getrocknet, gemahlen und wieder angefeuchtet bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt, bei dem eingesät werden kann. Für den Versuch werden Plastikgefäße benutzt mit einem Inhalt von 1,2 Liter. Er wird im Gewächshaus durchgeführt mit zusätzlicher Beleuchtung und Heizung im Winter. Die Zahl der Wiederholungen ist drei, die gegebenenfalls mit verschiedenen Versuchspflanzen eingesät werden, um zu ermitteln, inwieweit diese verschieden reagieren. Im Laufe der Zeit werden nacheinander mehrere Gewächse angebaut um dem Verlauf der Reaktion nachzugehen. Jedes Gewächs erhält eine mineralische Volldüngung, jedoch nur eine halbe N-Gabe, um sowohl N-Lieferung als N-Bindung durch den Klärschlamm feststellen zu können.

Versuch mit Klärschlamm der Versuchskläranlage in Oss

Es handelt sich hier um einen thermisch getrockneten Schlamm, der seinerzeit von der N.V. Vuilafvoermaatschappij (VAM) übernommen werden sollte, um zusammen mit Hausmüll kompostiert zu werden. Die Müllabfuhr A. G. möchte über den pflanzenbaulichen Wert dieses Schlammes informiert sein.

Die chemische Analyse des Schlammes hatte folgendes Ergebnis. Glühverlust 43; N 2,2; P₂O₅ 5,5; K₂O 0,01; CaO 7,2; MgO 0,52%; Fe 31 000, Cu 430, Cr 1930, Zn 8100, Pb 5600, Cd 20, Ni 0 ppm. Es wurden nacheinander Hafer, Spinat, *Brassica Napa* (eine als Blattgemüse verwendete Kohlart) und wieder Hafer angebaut. Beim letzten Gewächs wurde der Boden einer der Wiederholungen vorher mit 2 Liter Wasser/Gefäß durchgewaschen (etwa der Menge an Sickerwasser entsprechend, die im Winter durch den Boden läuft) um festzustellen, ob der bei den hohen Schlammgaben noch auftretende negative Effekt auf diese Weise behoben werden kann. Das Ergebnis gibt die Tabelle 3.

Aus der Tabelle geht hervor, daß der anfänglich stark negative Effekt der hohen Schlammgaben auch ohne Auswaschung des Bodens beim 4. Gewächs nahezu und nach Auswaschung vollkommen verschwunden war. Auffallend ist, daß dieser Schlamm allein bei Spinat einen positiven Effekt zeigt. Wahrscheinlich ist bei der thermischen Trocknung,

Tab. 3
Ertrag an Trockenmasse g/Gefäß

Klärschlamm Vol. %	0	1	2	5	10	20	50	100
Hafer	7,56	7,41	7,30	6,31	3,50	1,54	0,57	0,34
Spinat	1,76	2,13	3,44	2,87	4,96	4,21	1,06	0,16
<i>Brassica Napa</i>	7,20	6,55	6,44	6,84	6,78	7,69	7,28	0,37
Hafer	9,10	8,69	8,15	8,23	9,14	8,98	10,06	9,14
id. nach Auswaschung	8,36	7,52	8,07	8,15	7,90	8,62	8,54	10,12

wobei ein Teil der organischen Substanz verlorengeht, auch der leicht verfügbare Stickstoff verlorengegangen. Der Versuch läuft weiter mit Salat als 5. Versuchspflanze.

Versuch mit Klärschlamm der Kläranlage Sassenheim

Um eine Untersuchung dieses Schlammes wurde gebeten, weil die biologische Reinigung dieser Anlage in Unordnung geraten war. Der Schlamm wird in flüssiger Form angewandt auf leichten Blumenzwiebelböden zur Verhütung der Winderosion. Man wollte wissen, ob der Schlamm jetzt noch dafür gebraucht werden konnte und wenn nein, was die Ursache des schädlichen Effekts war. Die Reinigungsbehörden haben aufgrund des Gesetzes gegen Wasserverunreinigung die Befugnis, die Ableitung von Abwasser mit zu hohem Gehalt an schädlichen Stoffen aus dem betreffenden Betrieb zu unterbinden und somit die Umweltverunreinigung an der Quelle zu bekämpfen.

Die chemische Analyse des Klärschlammes hatte folgendes Ergebnis: Glühverlust 55, N 3,0; P₂O₅ 8,0; K₂O 0,38, CaO 8,3; MgO 0,49%; Fe 25 000, Cu 400, Cr 0, Zn 2500, Pb 900, Cd 0, Ni 0 ppm. Auf den Wiederholungen wechselten die Versuchspflanzen *Brassica Napa*, Gartenkresse und Hafer. Beim 5. Gewächs wurde der Boden einer der Wiederholungen vorher ausgewaschen mit 2 Liter Wasser/Gefäß. Die Versuchspflanze war in diesem Fall für alle Wiederholungen Hafer. Die Erträge gibt die Tabelle 4.

Tab. 4
Ertrag an Trockenmasse g/Gefäß

Klärschlamm Vol. ‰	0	1	2	5	10	20	50	100
Versuchspflanze <i>Brassica Napa</i>								
1. Gewächs	5,50	5,29	5,84	4,34	0,83	0,00	0,00	0,00
2. Gewächs	8,00	9,20	9,29	13,14	11,54	0,57	0,00	0,00
3. Gewächs	6,17	6,98	7,57	3,79	4,58	1,06	0,00	0,00
4. Gewächs	5,18	5,22	6,13	6,50	1,89	2,30	0,00	0,00
Versuchspflanze Gartenkresse								
1. Gewächs	0,83	1,50	1,58	1,40	0,35	0,01	0,00	0,00
2. Gewächs	2,99	4,50	4,25	1,52	0,47	0,45	0,00	0,00
3. Gewächs	1,47	1,00	1,30	1,40	0,78	0,91	0,00	0,00
4. Gewächs	0,40	0,81	0,94	0,12	0,40	0,13	0,00	0,00
Versuchspflanze Hafer								
1. Gewächs	4,33	5,23	4,88	4,10	3,44	1,67	0,07	0,00
2. Gewächs	9,22	9,52	8,09	4,76	4,69	1,30	0,00	0,00
3. Gewächs	5,10	4,92	5,21	4,70	3,01	3,00	0,30	0,00
4. Gewächs	0,52	1,79	2,04	2,32	1,70	0,33	0,12	0,00
5. Gewächs	8,92	8,54	9,01	8,24	8,08	6,03	2,77	2,50
id. nach Auswaschung	8,11	8,10	7,75	7,01	8,49	8,80	8,97	8,56

Aus der Tabelle geht hervor, daß Klärschlammgaben bis 2 und bei der stickstoffliebenden *Brassica Napa* bis 5 Vol. ‰ einen positiven Effekt zeigten. Bei höheren Gaben nimmt der Ertrag schnell ab. Die Ursache dafür konnte noch nicht geklärt werden. Stickstoffübermaß ist aufgrund der Erscheinungen am Gewächs eine, aber nicht die einzige Ursache. Jedenfalls konnte die schädliche Wirkung durch Auswaschung des Bodens behoben werden. Ohne Auswaschung zeigte sich auch schon eine Verbesserung der Erträge bei den hohen Klärschlammgaben an. Der Versuch läuft weiter.

Versuch mit 15 Schlammarten verschiedener Herkunft (VP 1053)

Um mit mehr Zuverlässigkeit ein Gutachten über zu untersuchende Schlammarten erstellen zu können, wird zur Zeit ein Versuch mit 15 Schlammarten verschiedener Her-

Tab. 5
 Ergebnisse der chemischen Analyse der Schlammarten gebraucht für VP 1053
 (umgerechnet auf Trockensubstanz)

	Glühverl. %/o	Nt %/o	PO ₄ %/o	K %/o	Ca %/o	Mg %/o	Fe %/o	Cu ppm	Cr ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Ni ppm
A	60	3,0	5,6	0,16	3,8	0,26	3,2	1600	2400	2000	500	300	400
B	41	2,3	6,1	0,02	3,1	0,19	3,1	600	0	1500	500	0	0
C	50	3,3	6,4	0,02	3,2	0,12	1,8	4350	750	3500	500	30	0
D	52	4,0	9,5	0,16	2,2	0,20	3,6	200	0	1600	400	10	0
E	43	1,2	2,0	0,03	4,2	0,07	1,7	2100	1750	1750	1050	150	350
F	51	2,4	7,5	0,17	10,0	0,33	1,8	1900	1700	3500	300	30	200
G	51	2,8	6,8	0,07	2,8	0,14	3,3	3400	900	2000	300	30	0
H	45	2,7	6,2	0,04	4,2	0,19	1,8	800	200	4700	900	20	0
J	38	2,5	7,4	0,05	5,4	0,25	1,2	300	0	3800	600	0	0
K	55	3,4	10,1	0,10	6,6	0,32	2,0	1100	2600	5400	700	300	900
L	50	3,3	10,8	0,03	8,9	0,41	1,7	500	0	2300	500	0	0
M	57	5,0	8,2	0,25	2,7	0,24	2,3	200	0	700	300	0	0
N	19	0,9	2,0	0,02	1,8	0,20	1,2	100	0	1100	300	20	0
O	47	1,2	1,0	0,06	1,3	0,04	0,52	250	0	900	400	0	0
P	57	3,7	4,7	0,22	2,0	0,15	2,2	400	400	1400	400	0	0
Mindestwert	19	0,9	1,0	0,02	1,3	0,04	0,5	100	0	700	300	0	0
Höchstwert	60	5,0	10,8	0,25	10,0	0,41	3,6	4350	2600	5400	1050	300	900

kunft durchgeführt. Die Auswahl der Schlammarten kam mehr oder weniger durch Zufall zustande. Das Ergebnis der chemischen Analyse gibt die Tabelle 5. Die verschiedenen Schlammarten sind hier auf Wunsch einiger Interessenten mit Buchstaben angedeutet worden.

Die Schlämme A, D, F, G und P wurden in flüssigem (= frischem) Zustand erhalten. Der Schlamm E war in frischem Zustand, aber künstlich getrocknet. Die anderen Schlämme waren mehr oder weniger lang auf Trockenbeeten getrocknet. Hundert Volumenprozent der verschiedenen Schlammarten entsprach in der in Tabelle 5 gegebenen Folge einem Trockengewicht von 950, 930, 950, 950, 1000, 1000, 1060, 1060, 1040, 930, 930, 900, 1280, 1000 und 950 g/Gefäß. Neben den Schlammarten lief eine Serie mit verschiedenen Stickstoffgaben (0, 75, 150, 225, 300, 375 und 450 mg N/Gefäß), um die Stickstoffwirkung der Schlämme messen zu können. Die übrigen Gefäße erhielten die übliche halbe Stickstoffgabe (150 mg/Gefäß) neben einer ausreichenden Gabe der übrigen Nährstoffe. Die erste Versuchspflanze war *Brassica Napa*, die am 18. 6. gesät und am 12. 7. 71 geerntet wurde. Durch die herrschende Wärme war die Wachstumsperiode diesmal etwas kurz. Die Erträge der ersten Versuchspflanze gibt die Tabelle 6.

Tab. 6
Ertrag an Trockenmasse g/Gefäß. Versuchspflanze *Brassica Napa*.

Klärschlamm Vol. ‰	0	1	2	5	10	20	50	100
A	7,18	7,40	7,73	7,28	0,51	0,13	0,00	0,00
B	7,18	7,03	7,47	7,91	7,22	8,85	8,90	8,31
C	7,18	8,82	9,37	8,96	7,86	1,28	0,07	0,00
D	7,18	10,12	10,72	9,34	0,27	0,00	0,00	0,00
E	7,18	5,88	3,92	1,38	0,43	0,10	0,13	0,12
F	7,18	9,00	9,32	10,01	5,16	0,81	0,03	0,00
G	7,18	8,42	9,23	10,33	7,54	0,48	0,00	0,00
H	7,18	8,29	8,50	9,73	8,78	4,50	0,61	0,11
J	7,18	8,41	9,02	10,18	9,95	4,96	0,38	0,01
K	7,18	8,91	9,37	10,74	7,76	0,77	0,01	0,00
L	7,18	9,33	9,95	10,50	9,42	1,33	0,07	0,00
M	7,18	10,62	10,66	7,84	0,05	0,00	0,00	0,00
N	7,18	8,54	8,18	8,99	9,35	8,43	5,95	1,93
O	7,18	7,51	7,55	7,15	6,84	6,99	5,27	4,59
P	7,18	8,48	9,33	9,62	1,87	0,27	0,00	0,00

Aus der Tabelle geht hervor, daß alle Schlämme bis zu einer Gabe von 5 Vol.‰ ertragserhöhend gewirkt haben außer der Schlamm E. Bei den stickstoffreichen Schlämmen war 10 ‰ schon entschieden zu viel. Von den weniger stickstoffreichen Schlämmen konnte mehr gegeben werden. Der Reifegrad des Schlammes spielt dabei auch eine Rolle. Der gut ausgereifte Schlamm B konnte zu 100 ‰ verabreicht werden.

Ob und inwieweit die Schwermetalle bei der Ertragsbildung eine Rolle gespielt haben, konnte nicht festgestellt werden. Der negative Effekt des Schlammes E kann sowohl durch den hohen Schwermetallgehalt als durch Stickstoffbindung verursacht sein. Die Reaktion des zweiten Versuchsgewächses weist in die letzte Richtung. Dennoch treten auch Symptome auf, die auf eine Störung im Schwermetallhaushalt der Gewächse hindeuten. Bei mehreren Schlammarten konnte bei den hohen Gaben Eisenmangel festgestellt werden. Der Eisenmangel ist in diesem Fall wahrscheinlich bedingt durch ein Übermaß an anderen Schwermetallen. Durch Weiterführung des Versuches und durch Gewächsanalyse wird versucht werden, hierüber mehr Klarheit zu erlangen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß

auch in den Kläranlagen derartige Erscheinungen eine Rolle spielen, denn die Grundprinzipien der mineralischen Ernährung sind letzten Endes für niedere und höhere Organismen die gleichen.

Schlußfolgerung

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, daß Klärschlamm bei Verabreichung praxisüblicher Gaben i. a. einen Mehrertrag ergibt, der auf eine Stickstoffwirkung zurückzuführen ist. Bei hohen Gaben kann bei stickstoffreichen Schlämmen Schaden durch zu viel Stickstoff entstehen und kann der Schwermetallhaushalt der Gewächse in Unordnung geraten. Der Reifezustand des Schlammes spielt dabei eine Rolle. Durch Weiterführung der Versuche und Gewächsanalyse wird versucht werden, die noch offenen Fragen zu klären. Eine Beantwortung dieser Fragen ist nicht nur landwirtschaftlich, sondern auch abwasserwirtschaftlich und damit umwelthygienisch von Bedeutung.

Schriftum

VERHAAGEN, J.: De produktie en afzet van afvalwaterzuiveringslib in Nederland. Mitteilung Nr. 9 des Schlammausschusses des Niederländischen Vereins für Abwasserreinigung. Zur Presse (H₂O 1972)