

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Klärschlamm - Verwertung und Ablagerung

Band 58 - Wien 1985

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER · ABWASSER · GEWÄSSER

BAND 58

KLÄRSCHLAMM - VERWERTUNG UND ABLAGERUNG

VORTRÄGE DES 20. ÖWWV - SEMINARS
OTTENSTEIN, 4. - 7. 3. 1985

HERAUSGEBER : *W. (Wilhelm)*
O. PROF. DDR.-ING. W. v. d. EMDE
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
OOZ. DIPL. ING. DR. W. *W. (Wolfgang)* STALZER
AMT DER BURGENLÄND. LANDESREGIERUNG

116.843 I

V O R W O R T

Eine Abwasserreinigungsanlage kann ihren Zweck nur dann voll erfüllen, wenn nicht nur das Abwasser weitgehend gereinigt, sondern darüber hinaus auch der Klärschlamm schadlos verwertet oder beseitigt wird. Im Hinblick auf die im Klärschlamm enthaltenen Bodendünge- und Pflanzennährstoffe ist deren Rückführung in den natürlichen Stoffkreislauf anzustreben. Man wird daher nach Möglichkeit trachten, den anfallenden Klärschlamm direkt landwirtschaftlich zu verwerten.

In Österreich fallen täglich etwa 10.000 m³ Klärschlamm an. Der Österreichische Wasserwirtschaftsverband wählte daher für das 20. ÖWWV-Seminar für Siedlungswasserwirtschaft, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz (4. - 7. März 1985) das Thema "Klärschlamm - Verwertung und Ablagerung". Ziel dieser Veranstaltung ist es, neben der Vermittlung von Wissen vor allem den Erfahrungsaustausch der Fachkollegen, von Behörden, Ingenieurbüros, Abwasserverbänden, Industriebetrieben, Fachfirmen und Universitätsinstituten zu ermöglichen. Gleichzeitig soll eine sachliche Grundlage für diese zur Zeit emotionell diskutierte Problemstellung gegeben werden.

Die Vorträge dieses Seminars werden im vorliegenden Band 58 der "Wiener Mitteilungen - Wasser - Abwasser - Gewässer" einem breiten Leserkreis zugänglich gemacht. Allen Vortragenden sei bereits an dieser Stelle herzlich gedankt.

o. Prof. Dr. - Ing. Dr. - Ing. E. h. W. v. d. Emde
OBR Doz. Dipl. - Ing. Dr. W. Stalzer

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Wilhelm von der EMDE Entwicklung der Klärschlammproblematik	A - 1
Eugen MAIERHOFER Anforderungen der Landwirtschaft an die Klärschlamm- verwertung auf landwirtschaftlich genutzten Böden	B - 1
Anton CANDINAS Inhaltsstoffe von Klärschlamm, seine Bewertung und Anwendung aus landwirtschaftlicher Sicht	C - 1
Ruth GUSINDE Schwermetalle in der Nahrung - Gefährdung des Menschen im Wege der Nahrungskette	D - 1
Theodor DIEZ Zusammenhänge zwischen Schwermetallgehalten im Klärschlamm, im Boden und in der Pflanze	E - 1
Heinz MESSINER Untersuchungen für eine geordnete Klärschlamm- verwertung	F - 1
Karl AICHBERGER Ergebnisse aus Klärschlamm- und Bodenunter- suchungen	G - 1
Joachim EICHINGER Maßnahmen zur Reduktion des Schwermetallgehaltes im Klärschlamm am Beispiel der Stadt München	H - 1
Martin K. MEYER Organisation und Kontrolle der Klärschlammver- wertung am Beispiel der Kläranlage Bern	I - 1
Ewald MAYR Klärschlammverwertung - Modell Oberösterreich	J - 1
Eberhard ZINGLER Anpassung der landwirtschaftlichen Schlammver- wertung an den Bedarf (Zwischenspeicherung) und zweckmäßige Ausbringung des Klärschlammes am Beispiel des Niersverbandes	K - 1
Anton GRIMM Erfahrungen mit der Schlammverwertung am Beispiel von Maschinenringen in Bayern	L - 1

Wolfgang STALZER		
Klärschlammverwertung im ländlichen Raum am Beispiel des Burgenlandes		M - 1
Rüdiger KRAUSE		
Ausbringung und Einbringung von flüssigen und pastösen Klärschlämmen		N - 1
György MUCSY		
Technik der Klärschlammverwertung in Ungarn		O - 1
Ingo BERNINGER		
Neuere Entwicklungen bei der Schlammbehandlung. Aerob thermophile Teilstabilisierung mit an- schließender Faulung		P - 1
Wolfgang VATER		
Erfahrungen mit der maschinellen Schlamm- entwässerung bei den Stuttgarter Klärwerken		Q - 1
Peter LECHNER und Rainer PAWLICK		
Problematik der Klärschlammdeponierung		R - 1
Wolfgang VATER		
Neuere Aspekte bei der Klärschlammverbrennung am Beispiel der Stadt Stuttgart		S - 1
Günther BLÖSCHL und Helmut KROISS		
Das Problem der Zwischenspeicherung des Klärschlammes bei seiner landwirtschaft- lichen Verwertung		T - 1

VORTRAGENDE

- Dipl.-Ing.Dr.K.AICHBERGER, Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt,
4025 Linz, Wieningerstraße 8
- Dipl.-Ing.ETH I.BERNINGER, Motor Columbus Ingenieur-Unternehmung AG,
CH-5400 Baden, Im Roggebode 5/2/4
- Dipl.-Ing.A.CANDINAS, Eidgen.Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und
Umwelthygiene, CH-3097 Liebefeld-Bern, Schwarzenburgstraße 155
- Dr.T.DIEZ, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau,
D-8000 München, Menzingerstraße 54
- Baudir.Dipl.-Ing.J.EICHINGER, Landeshauptstadt München, Baureferat Entwässerung,
D-8000 München 2, Herzog-Wilhelm-Straße 15
- Prof.DDr.-Ing.W.von der EMDE, Technische Universität Wien,
1040 Wien, Karlsplatz 13
- Dr.A.GRIMM, Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V.,
D-8000 München 2, Kaiser Ludwig-Platz 5/III
- HR.Dr.R.GUSINDE, 9020 Klagenfurt, Getreidegasse 13/2/6
- Dr.-Ing.R.KRAUSE, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,
D-3300 Braunschweig, Bundesallee 50
- Dipl.-Ing.P.LECHNER, Technische Universität Wien,
1040 Wien, Karlsplatz 13
- Dir.Dipl.-Ing.Dr.E.MAIERHOFER, Oberösterreichische Landwirtschaftskammer,
4020 Linz, Auf der Gugl 3
- OBR.Dipl.-Ing.E.MAYR, Amt der oberösterreichischen Landesregierung,
4020 Linz, Kärntnerstraße 12
- Dipl.-Ing.Dr.H.MESSINER, Chemisch-Biologisches Institut,
9500 Villach, Franz Xaver Wirth-Straße 25
- Dipl.-Ing.M.MEYER, Tiefbauamt der Stadt Bern,
CH-3001 Bern, Postfach 2731
- Dipl.-Ing.G.MUCSY, Forschungszentrale für Wasserwirtschaft,
H-1095 Budapest, Kvassay J.ut 1
- Dipl.-Ing.R.PAWLICK, Technische Universität Wien,
1040 Wien, Karlsplatz 13
- OBR.Doiz.Dipl.-Ing.Dr.W.STALZER, Amt der Burgenländischen Landesregierung,
7041 Wulkaprodersdorf
- Baudir.Dr.W.VATER, Tiefbauamt Stuttgart,
D-7000 Stuttgart 1, Hohe Straße 25
- Dr.-Ing.E.ZINGLER, Niersverband,
D-4060 Viersen 1, Freiheitsstraße 173

ENTWICKLUNG DER KLÄRSCHLAMMPROBLEMATIK

W.v.d.Emde

Wird Abwasser gereinigt, so fällt als eines der Endprodukte Klärschlamm an. Die Reinigung des Abwassers ist ein wesentlicher Teil des Gewässerschutzes und damit des Umweltschutzes. Die Klärschlammproblematik ist daher ein Glied der Umweltproblematik.

1. DIE ZEIT VON 810 - 1810

Um 810 stand der geniale Kaiser Karl der Große auf dem Höhepunkt seiner Macht. Er hat antike, christliche und germanische Ideen verschmolzen und der Entwicklung des Mittelalters die Richtung gegeben. Das von ihm geschaffene Reich hatte etwa 1000 Jahre Bestand. In diesen 1000 Jahren wurden die wesentlichen geistigen und kulturellen Werte geschaffen, auf denen unser heutiges Leben aufbaut. Es wurden Wälder gerodet, Städte gegründet und die Umwelt gegenüber dem Urzustand wesentlich verändert.

Auf dem Gebiete des Umweltschutzes herrschten allerdings in diesen Städten katastrophale Verhältnisse. Die vorbildlichen Einrichtungen für Wasserversorgung und Abwasserableitung in der Antike waren vergessen. Um die Abwasserbeseitigung kümmerte man sich wenig. Das Abwasser gelangte auf jeden Fall in den Untergrund und verseuchte Boden und Grundwasser mit Krankheitserregern. Aus dem gleichen Grundwasser wurde mit Hilfe einfacher Brunnen Trinkwasser entnommen, ein Kurzschluß Wasser-Abwasser-Wasser war die Folge. Daher kam es immer wieder zu kleineren und größeren Epidemien (in größeren Städten z.B. dabei über 10.000 Tote).

Neben Trockenaborten hat es auch Senkgruben gegeben, in denen die Fäkalien (vor allem der Schlamm) gesammelt wurden, die aber meist auch einen Überlauf hatten. Aus

alten Berichten geht hervor, daß die Räumung der Senkgruben recht problematisch war. In den Straßen der Städte gab es meist Rinnen oder Kanäle, um das Regenwasser abzuleiten. Aber es war bei Strafe verboten, den Überlauf der Senkgruben oder sonstiges Schmutzwasser in diese Kanäle abzuleiten. Die Umweltprobleme, vor allem der Gestank, konzentrierten sich daher in erster Linie auf das Grundstück. Aber all diese schwerwiegenden Umweltprobleme wurden von der Bevölkerung als etwas Gottgegebenes hingenommen, ohne daß man sich, von wenigen Ausnahmen abgesehen, ernstlich um eine Besserung der Verhältnisse bemühte. In diesen 1000 Jahren des Mittelalters und der frühen Neuzeit war die menschliche Gesundheit durch die Umweltverschmutzung ständig bedroht und die geringe Lebenserwartung war mit auf die Umweltprobleme zurückzuführen.

2. DIE ZEIT VON 1810 - 1860

Um 1810 war es Kaiser Napoleon, der auf dem Höhepunkt seiner Macht stand. Durch die vorhergehende Französische Revolution war eine neue Epoche in geistiger und gesellschaftlicher Hinsicht eingeleitet worden. Für unsere Umweltprobleme hatte dies allerdings keine Bedeutung. Aber es ist in England um 1810 erstmals ein funktionsfähiges Wasserklosett auf den Markt gekommen und hat damit eine neue Epoche im Umweltschutz, soweit es Wasser und Boden betrifft, eingeleitet. Es wurde nun erlaubt, den Ablauf des WC in die Straßenkanäle abzuleiten. Hier blieben die Schlammstoffe z.T. liegen und die Mißstände waren vom Grundstück in die Straße verlegt worden. Bald hatte man erkannt, daß man unterirdische Kanäle mit entsprechend gutem Gefälle bauen muß, damit die Schleppkraft des Wassers groß genug ist, um die Schlammstoffe fortzuschwemmen.

Mit der Einführung der Schwemmkanalisation waren damit endgültig die Mißstände auf Grundstück und Straße, also im Bereich der Wohnungen, abgestellt. Die abfließenden Abwässer

wurden jedoch ohne jede Reinigung in den nächsten Bach oder Fluß eingeleitet. In den kleinen Flüssen der englischen Industriegebiete traten nun katastrophale Verhältnisse auf. So wird z.B. berichtet, daß die Flüsse z.T. eine "kochende, stinkende Masse" darstellten. Zum anderen wurde z.T. aus diesen Flüssen Trinkwasser für die Wasserversorgung entnommen. So ist es trotz öffentlicher Wasserversorgung in London bis um die Mitte des 19. Jahrhunderts immer wieder zu Choleraepidemien gekommen. Im Gegensatz zu heute nahm damals die Bevölkerung diese Zustände gelassen hin. Wenn der Gestank aus dem Fluß zu stark wurde, wurden die Fenster geschlossen.

Allmählich setzte jedoch ein Umdenken ein, daß die Gewässer-
verunreinigung nicht selbstverständlich sei, sondern daß man
dagegen etwas unternehmen müsse. Besonders dazu beigetragen
hat das Jahr 1858, das als "Jahr des großen Gestanks" in die
englische Geschichte einging. In diesem Jahr fielen wenig
Niederschläge und im Juni stieg die Temperatur auf 35°. Die
Themse stank so stark, daß die Fenster des Parlaments mit
feuchten Tüchern verhängt wurden, damit die Parlamentarier
noch etwas arbeiten konnten. Es wurden dann um 1860 in Eng-
land die ersten Gesetze erlassen, wonach das Abwasser vor
Einleitung in ein Gewässer zu reinigen ist.

3. DIE ZEIT VON 1860 - 1910

Nun begann ein emsiges Suchen nach Wegen zur Reinigung des
Abwassers. Vereinfacht sind es 2 Wege die zunächst einge-
schlagen wurden:

- Chemische Flockung
- Abwasserverrieselung

Chemische Flockung

Sehr bald kam die Idee auf, daß man dem Abwasser nur be-
stimmte Chemikalien zuzusetzen brauche, um die Schmutz-
stoffe zu entfernen. Es setzte eine Flut von Erfindungen ein

und bald wurden weit über 100 chemische Flockungsverfahren patentrechtlich geschützt. Die Erfinder hatten ein relativ leichtes Spiel um die Stadtväter zu überzeugen. Es wurde ein Glaszylinder mit Abwasser gefüllt, geringe Mengen an Chemikalien zugesetzt und schon bildeten sich große Flocken, die sich schnell absetzten. Das darüber stehende Wasser war klar.

Die Erfinder erklärten nun den Stadtvätern, daß in den abgesetzten Flocken wertvolle Dungstoffe enthalten seien und der Flockenschlamm für viel Geld verkauft werden könne. Erfinder und Stadtväter träumten nun vom großen Geld und gewiß auch von sauberen Flüssen. Aber die Wirklichkeit sah anders aus. Durch die Chemische Fällung wurden zwar die ungelösten Stoffe entfernt, nicht aber die gelösten Stoffe, und das gereinigte Abwasser war weiterhin fäulnisfähig. Die Flußverunreinigung wurde damit nicht behoben. Anstatt der erhofften Gewinne entstanden nur Kosten. In den Absetzbecken sammelten sich große Schlammengen an, die schnell anfangen zu faulen. Der stinkende Schlamm war nicht zu verkaufen und neben dem Abwasserproblem war noch ein Schlammproblem entstanden. Die über 200 englischen Städte, die eine chemische Abwasserreinigung gebaut hatten, haben diese bald wieder aufgegeben.

Abwasserverrieselung

Schon bald hatte man erkannt, daß das Abwasser nur dann fäulnisunfähig gemacht werden kann, wenn man es über Landflächen verrieselt. Es entwickelte sich nun bald ein wahrer Rieselenthusiasmus. Allerdings stand wieder die Verwertung der Dungstoffe im Vordergrund. So träumten auch jetzt die Stadtväter von einem großen Gewinn. Von dem bekannten deutschen Chemiker Liebig war damals ausgerechnet worden, daß der Dungwert der städtischen Schmutzwässer etwa 100 Schilling pro Kopf und Jahr betragen würde. Nach Liebig's Ansicht müßten sogar die Städte verarmen, die zukünftig ihr Abwasser nicht verwerten würden. Bei dieser Abwasserverrieselung gab es kein Schlammproblem, da das Abwasser ohne

mechanische Vorreinigung auf die Felder gebracht wurde. Aber auch hier stellten sich bald Mißerfolge ein, denn vielfach waren die tonigen Böden im Umkreis der englischen Städte für eine Abwasserverrieselung ungeeignet. Es wurde viel zu viel Abwasser auf den zur Verfügung stehenden Flächen verrieselt. Der Boden verschlammte, es bildeten sich stinkende Sumpfgenden und das Abwasser floß vielfach oberirdisch in den nächsten Graben ab. Auch der zunächst hoffnungsvolle Weg der Abwasserverrieselung erwies sich in England schließlich als Irrweg.

Die erste Abwasserrieselwelle in England hatte jedoch ein Gutes. Viele Städte hatten Landflächen erworben, die später zur Unterbringung des bei der technischen Abwasserreinigung anfallenden Schlammes verwendet werden konnten. Zum anderen erfolgten in diesem Zeitraum die großen Entwicklungen in der Naturwissenschaft, z.B. Bakteriologie, Chemie und Physik, die wiederum zu den wesentlichen Grundlagen, aber auch zu Erfindungen führten, auf denen die heutige Abwasserreinigung aufbaut. Was die Schlammseite betrifft, wurden für den aus den Absetzbecken entfernten Schlamm Schlamm-trockenbeete, Zentrifugen, Filterpressen, sogar Schlammverbrennung und Schlammvergasung eingesetzt. Allerdings handelte es sich dabei nur um einzelne Versuche oder einzelne Anlagen ohne größere Breitenwirkung. Im Gegensatz zu den wenigen Anlagen auf dem Kontinent hatten die englischen Städte um die Jahrhundertwende meist Absetzbecken, die intermittierend geräumt wurden und waren zur biologischen Reinigung des Abwassers vielfach mit Füllkörpern, die ebenfalls intermittierend beschickt wurden, ausgerüstet. Da der Schlamm in den Absetzbecken beim intermittierenden Betrieb anfaulte (Räumung von Hand etwa alle 2 Wochen) und er auf Trockenbeeten entwässern sollte, waren die englischen Kläranlagen damals durch ihre Geruchsentwicklung berüchtigt. Der Gestank des Schlammes war also auf dem Wege vom Grundstück, über die Straße, über den Fluß nun auf der Kläranlage gelandet. Der auf Trockenbeeten

entwässerte Schlamm wurde in der Landwirtschaft, meist auf dem früheren Rieselgelände, untergebracht. Z.T. wurde er jedoch direkt vom Absetzbecken auf die Felder transportiert.

4. DIE ZEIT VON 1910 - 1960

In diesem Zeitraum sind die verschiedensten Techniken zur Lösung der Probleme von Abwasserreinigung und Schlammbehandlung entwickelt worden, die wir heute anwenden. In der Technik der biologischen Abwasserreinigung verdrängte zunächst der am Ende des vorigen Jahrhunderts von CORBETT in Salford in England entwickelte kontinuierlich betriebene Tropfkörper den zunächst hauptsächlich angewendeten intermittierend beschickten Füllkörper. Aber auch beim Tropfkörper bestand bei zu hoher organischer Belastung die Gefahr der Verschlammung und der Geruchsentwicklung.

Die Sternstunde der Abwasserreinigung war ein Vortrag von ARDERN und LOCKETT am 3. April 1914 vor der Gesellschaft Englischer Chemiker in Manchester in dem sie über ihre Versuche mit dem Belebungsverfahren berichteten. Die Ergebnisse sind kurz folgende:

1. Die erforderliche Belüftungszeit ist abhängig von der Menge an belebtem Schlamm, der Abwasserkonzentration und dem angestrebten Reinigungsgrad.
2. Der belebte Schlamm besteht aus Bakterien (etwa 30 Mio/ml) und Protozoen, z.B. Glockentierchen, besitzt eine dunkelbraune Farbe und verfügt über gute Absetzeigenschaften.
3. Der belebte Schlamm besitzt einen hohen Stickstoffgehalt.

Von der Fachwelt wurde die Bedeutung des neuen Verfahrens für die Abwasserreinigung sofort erkannt. An den verschiedensten Stellen wurden nun Versuche mit dem Belebungsverfahren durchgeführt und bereits 1916 die ersten größeren Anlagen für 10.000 m³ Abwasser pro Tag in England und USA

in Betrieb genommen. Mit welcher Begeisterung mit diesem neuen Verfahren geforscht wurde zeigt eine Zusammenstellung von 1920. Bereits 6 Jahre nach der Erfindung des Prozesses und trotz des ersten Weltkrieges wurden über 800 Arbeiter über das Belebungsverfahren veröffentlicht.

Alle Vorstellungen von LOCKETT über die Vorteile des Belebungsverfahrens wurden in der Praxis bestätigt bis auf eine Ausnahme. LOCKETT hatte angenommen, daß der hohe Stickstoffgehalt des belebten Schlammes den Überschussschlamm zu einem begehrten Dünger machen würde. Aber die großen Überschussschlammengen wurden bald zu einem Problem und hinderten zunächst eine weitere Verbreitung des Belebungsverfahrens. Eine Reihe neuer technischer Entwicklungen halfen jedoch auch dieses Problem zu lösen.

Um die Jahrhundertwende waren im westdeutschen Industriegebiet zwischen Ruhr und Lippe, im Bereich des kleinen Flusses Emscher, katastrophale hygienische Verhältnisse eingetreten. Durch Bergsenkungen infolge des unterirdischen Kohleabbaues hatten die Bäche keine Vorflut mehr, es bildeten sich Abwasser-Schlamm-Sümpfe. Choleraepidemien und eine hohe Typhussterblichkeit war die Folge. Es war nun die Frage, ob das gesamte Industriegebiet aufgegeben werden oder ob man eine gründliche Sanierung durchführen sollte. Man entschied sich für eine Gemeinschaftslösung, wo Gemeinden und Industrie einer Genossenschaft beitraten um gemeinsam die erforderlichen Kosten zu tragen. Dieser erste Abwasserverband hat sich sehr segensreich nicht nur für das Emschergebiet, sondern für die gesamte Wassergütewirtschaft gewirkt. In vielen Industrieländern sind nach diesem Vorbild Abwasserverbände entstanden.

Um den Schlamm zurückzuhalten wurden nun im Emschergebiet von IMHOFF eine große Zahl von Emscherbrunnen gebaut. Die bahnbrechende Erfindung von IMHOFF war die Trennung des Absetzvorganges von der Schlammfäulung. Der ausgefautete, weit-

gehend geruchlose Schlamm konnte nun in Trockenbeeten ohne weitere Umweltprobleme entwässert werden. Damit war der erste Schritt zur geruchsfreien Kläranlage getan.

Während beim Emscherbrunnen keine maschinellen Einrichtungen erforderlich sind, wurden wenige Jahre später Räumlichkeiten entwickelt, die den Schlamm in den Absetzbecken während des Betriebes entfernten und damit ein Anfaulen des abgesetzten Schlammes vermieden. Weitere Arbeiten führten zum getrennten beheizten Faulbehälter, sodaß der in den Absetzbecken abgezogene Schlamm gezielt, unter optimalen Bedingungen (etwa 35°) ausgefault werden konnte. Nach einem Vorschlag von IMHOFF wurde nun der Überschussschlamm der Belebungsanlage zum Zulauf zurückgeführt und gemeinsam mit den absetzbaren Stoffen des Rohabwassers, entweder im Emscherbrunnen oder im getrennten beheizten Faulbehälter, ausgefault. Damit wurde auch bei großen Belebungsanlagen das interne Schlammproblem gelöst. So schrieb im Jahre 1938 der bekannte amerikanische Abwasserchemiker MOHLMANN anlässlich des 25. Geburtstages des Belebungsverfahrens:

"Heute nach 25 Jahren sind Hunderte von Belebungsanlagen in der ganzen Welt in Betrieb und Millionen m³ von Abwasser werden jeden Tag damit gereinigt. Diese außergewöhnliche Entwicklung hat keine Parallele in der Geschichte der Abwasserreinigung und läßt sich nur dadurch erklären, daß das Belebungsverfahren mit dem Lebensstil und dem Wissen unserer Zeit im Einklang ist. Abwasserreinigungsanlagen in unseren modernen Städten müssen geruchfrei arbeiten und wenig Platz in Anspruch nehmen. Der Reinigungsprozeß muß auf Grund von gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen gesteuert werden können."

Während man in England und Deutschland den Schlamm ausfaulte, auf Trockenbeeten entwässerte, bevor er meist landwirtschaftlich verwertet wurde, ging man in Amerika z.T. andere Wege.

So wurde z.B. in Milwaukee auf eine Vorklärung verzichtet und der stickstoffhaltige Überschussschlamm ohne Faulung durch Vakuumfilter künstlich entwässert und anschließend thermisch getrocknet. Seit über 50 Jahren wird der pulverförmige Schlamm in Säcke verpackt und verkauft.

Eine Reihe anderer amerikanischer Städte folgten diesem Beispiel. Andere Anlagen in USA begnügten sich nur mit der maschinellen Entwässerung und der entwässerte Schlamm wurde anschließend landwirtschaftlich verwertet oder abgelagert.

Auch in England und in der Bundesrepublik wurden nach dem 2. Weltkrieg einzelne Anlagen, allerdings für ausgefaulten Schlamm mit maschineller Entwässerung und thermischer Trocknung ausgerüstet.

Die technische Entwicklung ging schließlich weiter; ebenso wie Müllverbrennungsanlagen wurden von entsprechenden Industriefirmen zunehmend Schlammverbrennungsanlagen verkauft. Wie bei vielen maschinellen Einrichtungen war auch hier zunächst Amerika führend.

Während in England die Abwasserverrieselung aufgrund der ungünstigen Bedingungen um die Jahrhundertwende nahezu vollständig eingestellt wurde, hatten vor allem in Norddeutschland bei leichten Sandböden viele große Städte Abwasserrieselanlagen eingerichtet und mit Erfolg betrieben. Ohne die Rieselgüter in der Umgebung von Berlin wäre mit Sicherheit eine katastrophale Verunreinigung der mit Havel und Spree verbundenen Seen eingetreten. In den Jahren nach dem ersten Weltkrieg und besonders in den 6 Jahren vor dem 2. Weltkrieg setzte in Deutschland eine zweite Rieselwelle ein, wo vor allem die Abwasserverregnung propagiert wurde. Während in den Jahren zwischen 1920 und 1930 der Bau von technischen Abwasserreinigungsanlagen vor allem aus wirtschaftlichen Gründen unterblieb, durfte in den dreißiger Jahren eine Abwasserreinigungsanlage nur dann gebaut werden, wenn nachgewiesen wurde, daß eine landwirtschaftliche Abwasserverwertung technisch nicht möglich sei. Im Rahmen

der damaligen Autarkiebestrebungen wollte man nicht auf die Düngstoffe im Abwasser verzichten. Dies bedeutete, daß in diesen Jahrzehnten wenig neue Kläranlagen in Deutschland fertiggestellt wurden.

Die neu errichteten Siedlungen erhielten keinen Kanalschluß und die Siedler mußten sich verpflichten, ihr Abwasser und den Schlamm auf dem Grundstück unterzubringen. Die Abwasser- und Schlammverwertung in Gemüsegärten hat sich nach dem 2. Weltkrieg z.B. in Darmstadt katastrophal ausgewirkt. Verstärkt durch die mangelnde körperliche Konstitution kam es zu einer großen Zahl von Spulwurmerkrankungen mit Todesfolge.

Allgemein gab es auf den deutschen Kläranlagen in den zwei Jahrzehnten vor und in einem Jahrzehnt nach dem 2. Weltkrieg keine Schlammprobleme. Im Gegenteil, in den Notzeiten waren viele Landwirte und Gärtner froh überhaupt Dünger zu bekommen. So war es etwa zum Regelfall geworden, daß der Klärschlamm auf der Kläranlage abgeholt und auch noch dafür bezahlt wurde.

5. DIE ZEIT NACH 1960

Im Gegensatz zu England bestand in Deutschland aus den vorher angeführten Gründen ein großer Nachholbedarf an Abwasserreinigungsanlagen. Viele große Städte besaßen nur Rechen- oder Siebanlagen, z.T. waren aber auch die Flächen zur landwirtschaftlichen Verwertung des Abwassers stark überlastet oder sie wurden von den Städten als Bauland beansprucht. In einer Reihe von Städten wurde nun mit dem Bau von biologischen Abwasserreinigungsanlagen begonnen. Bei den Kläranlagenbetreibern kam nun die Sorge, was machen mit dem anfallenden Klärschlamm? Da jetzt ausreichend Handelsdünger zur Verfügung stand, war das Interesse der Landwirtschaft am Klärschlamm geringer geworden. Es wurde ein Fachausschuß der ATV gebildet, der sich speziell der Schlammprobleme annehmen sollte. Dabei sollte als erste Aufgabe die verschiedenen Systeme der maschinellen Entwässerung von ausge-

faulem Schlamm gegenübergestellt und Entwicklungsarbeiten koordiniert werden. Man hoffte damals, daß es möglich sei, eine Maschine zu entwickeln, die für wenig Geld die Schlammprobleme würde lösen können. Viele der damals diskutierten Systeme sind inzwischen vom Markt verschwunden. Schon nach wenigen Sitzungen mußten wir erkennen, daß, wo die örtlichen Voraussetzungen gegeben sind, die landwirtschaftliche Verwertung von ausgefauletem Flüssigschlamm die kostenmäßig günstigste Lösung ist, keine weiteren Maßnahmen mehr erfordert und auch einen gewissen volkswirtschaftlichen Nutzen bringt. Es ist interessant, daß gerade die Großanlagen, z.B. beim Niersverband oder in England, die eine maschinelle Entwässerung und thermische Trocknung des Schlammes betrieben hatten, die Vorreiter für eine moderne Flüssigschlammverwertung wurden. In USA wurde in Chicago 1962 das mit viel Vorschußlorbeeren gerühmte System der Naßverbrennung von Schlamm bei hoher Temperatur (250°) und hohem Druck (105 bar) für eine Feststofffracht von 270 t pro Tag (das entspricht etwa der doppelten Menge die in Wien täglich verbrannt wird) in Betrieb genommen. Aber diese modernste Technologie hat sich nicht bewährt und es wurde sofort mit dem Bau von Faulbehältern begonnen und der ausgefaulete Schlamm wurde 290 km weit verschifft, um damit Ödlandflächen ehemaliger Kohlengruben zu rekultivieren. Bereits 1972 wurde die Naßschlammverbrennung endgültig außer Betrieb genommen. Inzwischen wurde auch die 1939 erstellte thermische Trocknung von entwässertem Rohschlamm eingestellt.

In England hatte eine vom Bautenministerium eingesetzte Kommission ebenfalls die landwirtschaftliche Verwertung von ausgefauletem Flüssigschlamm als die am meisten befriedigende, wirtschaftlichste und angemessenste Methode der Schlamm-beseitigung empfohlen. Darauf ist es zurückzuführen, daß in England heute nur 4 % des Schlammes verbrannt, 30 % im Meer verklappt, 45 % landwirtschaftlich verwertet und 21 % deponiert oder im Landschaftsbau verwendet wird. Es sind in den

letzten Jahren mehr Verbrennungsanlagen stillgelegt als neue erstellt worden. Selbst im Großraum London wird von den Klärwerken, die nicht direkt an der Themse liegen, der ausgefaulte Schlamm flüssig oder entwässert landwirtschaftlich verwertet.

Ebenso wie früher bei der landwirtschaftlichen Verwertung des Abwassers, sei es durch Verrieselung oder Verregnung, wurden zahlreiche Untersuchungen in verschiedenen Ländern über den Düngewert des ausgefaulten Schlammes durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß im Bezug auf Stickstoff der Düngewert des flüssigen ausgefaulten Schlammes am höchsten ist.

Gleichzeitig wurde zu Beginn der 60-iger Jahre besonders von Liebmann in Bayern auf die Gefahr der Spulwurmeier bei der Verwendung von Klärschlamm im Gartenbau oder bei Früchten, die vor dem Verzehr nicht gekocht werden, hingewiesen.

In der Schweiz wurde die Forderung erhoben, den Klärschlamm vor der Anwendung auf Grünland zu pasteurisieren. In den meisten anderen Ländern glaubt man jedoch, daß eine ausreichende Karenzzeit vor der Beweidung ausreichend sei.

Bei einer der ersten Sitzungen des ATV-Ausschusses Klärschlammbehandlung beim Niersverband in 1960 wies TRIEBEL auf die großen Möglichkeiten der Flüssigschlammverwertung hin, aber er warnte bereits vor Schadstoffen im Schlamm und regte Forschungsarbeiten über den Einfluß von Schwermetallen an. Es sind daher bereits in den 60-iger Jahren mehrere Doktorarbeiten über Gefäßversuche mit Schwermetallen an der Universität Bonn unter der Leitung von KICK angefertigt worden.

Von 1968 bis 1970 wurden durch ein englisches landwirtschaftliches Forschungsinstitut in Leeds eine Reihe von Feldversuchen mit sehr hohen Schlammgaben (z.B. 125 t Feststoffe/ha - einmalige Gabe bzw. jährlich 30 t/ha) mit zusätzlicher Schwermetallaufstockung (z.B. Zink auf 4000 - 16.000 mg/kg, Kupfer 2000 - 8000 mg/kg, Nickel 1000 - 4000 mg/kg und Chrom 1100 - 8800 mg/kg) durchgeführt. Aufgrund dieser Unter-

suchungen wurden die zulässigen Schwermetallfrachten festgelegt, bei denen mit Sicherheit keine nachteiligen Folgen eintreten werden. In der Praxis hat sich das am Beispiel der Kläranlage London - Mogden (etwa 1,5 Mio EGW) folgendermaßen ausgewirkt. Der ausgefaulte Schlamm wurde in Mogden in tiefen Schlammteichen auf etwa 12 % Feststoffgehalt eingedickt. Im Jahre 1963 wurde alle drei Jahre etwa 300 t Feststoffe/ha aufgebracht (100 t/ha . a), während 1977 aufgrund der neuen englischen Richtlinien die Schlammmenge auf 12 t/ha für alle drei Jahre (bzw. 4 t/ha . a) vermindert werden mußte.

In der Zwischenzeit wurden zahlreiche Untersuchungen über die Auswirkungen von Schwermetallen im Klärschlamm auf Boden und Pflanze in den verschiedensten Ländern durchgeführt. Während zunächst nur die Frage der Ertragsminderung im Vordergrund stand, ist in den letzten 10 Jahren hauptsächlich die Aufnahme von Schwermetallen durch die Pflanze in Abhängigkeit von der Gesamt-Schwermetallfracht bzw. des Schwermetallgehaltes des Bodens behandelt worden. Besonders wertvoll sind natürlich die Feldversuche und die Erhebung an Flächen, die schon seit einer Reihe von Jahrzehnten beschlammte werden. Ein Bericht der amerikanischen Umweltschutzbehörde über den Effekt von Klärschlamm auf den Gehalt von Cadmium und Zink in Pflanzen von 1981 zitiert bereits über 50 Veröffentlichungen amerikanischer Forscher aus den Jahren 1975 - 1980.

Wegen der Bedeutung der Schwermetallaufnahme der Pflanzen für die menschliche Nahrung sind in nahezu allen Industrieländern Richtlinien für die Klärschlammverwertung erlassen worden. Zum Teil haben sie direkt Gesetzesform, zum Teil handelt es sich nur um Empfehlungen. Während die Bemessungsrichtlinie für biologische Abwasserreinigungsanlagen nahezu in allen Industrieländern etwa gleich sind bzw. nur geringe Unterschiede bestehen, ist bei den Klärschlammrichtlinien gerade das Gegenteil der Fall. Schon allein zwischen den

vier Skandinavischen Ländern (Dänemark, Schweden, Norwegen, Finnland) bestehen erhebliche Unterschiede in der Auffassung und damit in der zulässigen Belastung des Bodens mit Klärschlamm. Dasselbe trifft überigends auch für die deutschsprachigen Länder, die BRD, Schweiz und Österreich zu. Einzelne Länder, z.B. USA, Kanada und England kennen keine Grenzkonzentration für die Verwendung von Klärschlamm, sondern für sie ist allein die zulässige Fracht maßgebend. Dabei differenzieren die zulässigen Frachten noch im Verhältnis 1 : 5. Die meisten europäischen Länder verwenden Grenzkonzentrationen und zulässige Feststofffrachten pro Jahr oder über einen größeren Zeitraum. Dabei schwanken auch die Grenzkonzentrationen sehr stark, z.B. für Zink ist in Schweden 10.000 mg/kg und in Österreich 2000 mg/kg zulässig, wobei wiederum in Schweden 5 t Feststoffe/ha alle 5 Jahre und in Österreich ca. 4 t jedes Jahr zulässig sind.

Die europäischen Industrieländer haben sich von 1972 - 1974 und von 1977 - 1983 um einem Erfahrungsausch im Rahmen der "Konzertierte Aktion Behandlung und Verwertung von Klärschlamm COST 68"

bemüht. Es ist allerdings kaum zu erwarten, daß einheitliche Grenzwerte oder Belastungswerte für alle europäischen Industrieländer festgelegt werden können. Aber der Erfahrungsaustausch, vor allem die Koordinierung von Forschungsprojekten, ist sehr zu begrüßen.

In der Schweiz und in der Bundesrepublik sind in den letzten Jahren Gesetze bzw. Verordnungen erlassen, die die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft eindeutig festlegen. In Österreich ist mit dem Regelblatt 17 des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes der erste Schritt in einer ähnlichen Richtung gesetzt. Wieweit es richtig war, die Grenzkonzentrationen für Schwermetalle wesentlich niedriger anzusetzen als in unseren beiden Nachbarländern wird die Zukunft zeigen. Problematisch bleibt ja immer die Frage, was geschieht mit den Klärschlämmen mit einem erhöhten Schwermetallgehalt?

Es kann der Fall eintreten, daß der Schlamm, der durch einen erhöhten Schwermetallgehalt nun als "Giftschlamm" qualifiziert wird, kaum noch unterzubringen ist und dann ein echtes Klärschlammproblem entsteht. Es besteht dann erst recht die Gefahr, daß diese Klärschlämme auf dunklen Wegen irgendwie verschwinden. Viel wird daher davon abhängen ob den Gemeinden bzw. Verbänden Zeit gelassen wird, auf die Schwermetalleinleitenden Industriebetriebe einzuwirken, entsprechende Rückhaltemaßnahmen durchzuführen.

Auf jeden Fall ist zu begrüßen, daß heute die klare Absicht besteht von der früher vielfach geübten Praxis der Klärschlammeseitigung zu einer gezielten Klärschlammverwertung überzugehen. Das heißt, daß der Boden nur dann Klärschlamm erhält, wenn er ihn echt benötigt und daß die Zufuhr der Dungstoffe des Klärschlammes mit der Aufnahme durch die Pflanze in Einklang gebracht werden. Hierzu wird es sicher gerade auf der Seite der Kläranlagen zusätzliche Investitionen erfordern, z.B. für Stapelbehälter, aber auch ein echtes Verständnis für die Bedürfnisse der Landwirtschaft muß sich einstellen.

ANFORDERUNGEN DER LANDWIRTSCHAFT AN DIE KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG AUF LANDWIRTSCHAFTLICH GENÜTZTEN BÖDEN

E. Maierhofer

Durch Jahrhunderte hindurch war der Stoffkreislauf "Boden - Pflanze - Tier - Mensch - Boden" im bäuerlichen Betrieb praktisch geschlossen. Der Abgang an biogenen Stoffen durch die geringe Marktleistung der Selbstversorgungsbetriebe an die noch untergeordneten Urbanbereiche konnte vernachlässigt werden.

Mit zunehmender Verschiebung der Bevölkerungsstruktur und damit notwendigerweise steigender Marktleistung wurde es erforderlich, die Bildung pflanzlicher Substanz durch zusätzliche Nährstoffangebote mineralischen Ursprungs (Mineraldüngung) zu verstärken. Damit wurde der Stoffkreislauf intensiviert, prinzipiell hat sich jedoch zunächst noch nichts verändert. Erst die von Grund auf revolutionäre Strukturentwicklung der 50er und 60er Jahre dieses Jahrhunderts mit der Abwanderung von nahezu einer Million Menschen in die städtischen Ballungszentren, mit dem Ersatz menschlicher und tierischer Arbeitskraft durch Motor- und Maschinenteknik und mit der draus resultierenden Spezialisierung der landwirtschaftlichen Produktion brachte eine grundlegende Änderung des biogenen Stoffkreislaufes in vielen bäuerlichen Betrieben:

Aus den bis dahin nach dem Selbstversorgungsprinzip organisierten Bauernhöfen entwickelte sich in weiten Bereichen hochspezialisierte agrarische Produktionsstätten: Aus über 50.000 Betrieben verschwand die Viehhaltung, sie erbringen rein ackerbauliche Erntegüter. Andererseits konzentrierte sich die zunehmende Viehhaltung in grünlandbetonten Rinderwirtschaften und in intensiv geführten Schweinehaltungsbetrieben.

In den viehlosen Ackerbaubetrieben verschwanden mit den Nutztieren auch die Futterflächen, welche zumeist mit ihrem Stickstoffbindungsvermögen und ihrem starken Wurzelwerk die tragenden Komponenten der Humuswirtschaft waren. Sie fanden Ersatz im - dem Boden wieder eingebrachten - Rübenblatt oder Stroh, sowie im bewußt der Stoffbildung bzw. der Humuswirtschaft dienenden Zwischenfruchtbau.

Andererseits führt ein zu hoher Viehbestand, verbunden mit dem Zukauf großer Massen an Eiweiß- und Kraftfuttermitteln zu einem Mengenanfall an biogener Masse, welche - zumeist in flüssiger Form ausgebracht - vom Boden nicht mehr verkraftet werden kann- Die Folge sind Störungen des Bodengefüges mit Verdichtungshorizonten, Erosionen etc.

Wenngleich die negativen Erscheinungen der arbeitsteiligen Landbewirtschaftung vorerst nur in Extrembereichen aufgetreten sind, eröffnen sie jedoch zwei ökologische Sorgenbereiche:

- Erhaltung eines Mindestmaßes an biogenem Stoffkreislauf in viehlosen und in der Fruchtfolge verarmten Ackerbaubetrieben,
- Vermeidung einer Überbelastung dieses Kreislaufes bei flächenunadäquat hohem Viehbesatz.

Der erstere Sorgenbereich veranlaßt die Landwirtschaft zu ihrem immer lauter werdenden Ruf nach Alternativkulturen und eröffnet außerdem die Möglichkeit eines sinnvollen Einsatzes biogener Abfallstoffe der Urbanbereiche. Der Klärschlamm könnte von diesem Ansatz her als "Misthaufen außerhalb des Bauernhauses" betrachtet werden. Wenn die Landwirtschaft diesen "ortsverlagerten Misthaufen" mit großem Argwohn begegnet, dann ist es die Fülle an nicht biogenen, ja oft sogar persistenten Stoffen, die ebenfalls auf diesen "Misthaufen" geworfen werden.

Ganz allgemein gilt daher die Aussage, daß die Landwirtschaft jede Möglichkeit gerne aufnimmt, einen unvollkommenen internen Stoffkreislauf durch biogene Abfälle anderer Bereiche zu verbessern, daß die Einbringung von Klärschlamm oder Müllrottekompost aber davon abhängt, inwieweit es der Abfallbeseitigung der Urbanbereiche gelingt, schädliche oder bedenkliche Stoffe auszuschließen.

Hierbei erscheint es, ebenso grundsätzlich betrachtet - am effektivsten und billigsten, die Hebel schon beim Emittenten anzusetzen und nicht mit Milligrammfeilscherei oder Lebensmittelpolizei am Ende der Kette.

Wenn wir durch unsere Mitarbeit bei der Erstellung des ÖWWV-Regelblattes für die Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft den Willen bekundet haben, das übergeordnete Recyclingproblem einer ökologisch verantwortbaren Lösung näherzubringen, dann aus folgenden Gründen:

1. Die eingangs geschilderte Entwicklung zu einem partiellen Bedarf an zusätzlicher Biomasse in bestimmten Betrieben bzw. Produktionsgebieten;
2. Die Überlegung, daß auf Dauer eine Abfallentsorgung, reines Wasser und reine Luft nicht zu erhalten sind, ohne die biologische Kraft der Böden auch wenigstens teilweise miteinzuschalten;
3. Die Realität, daß mit oder ohne unser regulierendes Einwirken durch direkte Kontaktnahme der Kläranlagenbetreiber mit Bauern Klärschlamm ausgebracht wird, solange dies kein napoleonisches Polizeistaatsystem verhindert.

Hier erscheint es besser, in gemeinsamer Verantwortlichkeit ein Fremd- und Schadstofffilter zwischen Kläranlage und Kulturboden zu installieren, so gut es nur irgend geht.

4. Die Erkenntnis, daß ein Beiseitestehen und Theorie bleibende Ablehnung zu keiner Verbesserung oder Lösung beiträgt, da unsere wichtigsten Lebensgrundlagen "Luft, Wasser und Boden" untrennbar vernetzt sind.

Die Forderungen der Landwirtschaft an die gemeinsame Zusammenarbeit sind dabei relativ leicht und kurz zu formulieren:

- a) Festlegung einer Maschenweite des Schadstoffsiebes, welche auf dem Stand der jeweiligen Erkenntnis nicht nur einen Schutz vor unmittelbaren, sondern auch vor Langzeitgefahren bietet.
- b) Diese Maschenweite, sprich "Grenzwerte", muß so flexibel und so eng sein, daß über die Kläranlagenbetreiber auf die Erstverursacher ein steigender Druck zu immer weiterer Verbesserung von deren Emission ausgeübt werden kann.
- c) Bei der Entscheidung, welches Material noch anwendungsfähig ist, muß die Landwirtschaft als Verwerter die letzte und ausschlaggebende Stimme haben.
- d) Sollte bei korrekter Anwendung, das heißt bei Einhaltung der gemeinsam erarbeiteten Vorschriften trotzdem eine Schädigung ausgehen, muß der Bauer von seiner Haftung als Letztverursacher im Sinne des Gesetzes entbunden werden;

e) Zur Gewährleistung und Kontrolle der Einhaltung dieser Anwendungsrichtlinien muß eine lückenlose Verfolgung des Klärschlammes von der Ausfolge über Transport bis zur Fläche möglich sein.

f) Vor der Anwendung von Schlämmen mit einem innerhalb gewisser Grenzen überhöhten Gehalt an sogen. pflanzlichen "Spurenstoffen" ist auf Kosten der Kläranlagenbetreiber über eine Bodenuntersuchung zu klären, ob die Ausbringung noch verantwortbar ist.

Diese Aufzählung der Forderungen der Landwirtschaft an eine Mitwirkung zur Lösung der Entsorgungsprobleme ist sicherlich unvollständig und stellt nur das grobe Gerippe dar. Ein Gerippe, welches dringend einer legislativen Versteifung bedarf. Unsere Forderungen wirken sicherlich erschwerend auf die allenthalben heute noch geübte Praxis, sie liegen aber sicherlich in unser aller Interesse.

Von dieser Plattform der Zusammenarbeit aus wird es aber gelingen, die sicherlich noch zunehmenden Umweltprobleme im Bereiche der engen Verbundenheit von Bodenbewirtschaftung und Wasserwirtschaft zu bewältigen. Wir - zumindest soweit es das Bundesland Oberösterreich betrifft - bieten diese Zusammenarbeit aufrichtig an.

Direktor Dipl.-Ing.Dr.Eugen MAIERHOFER
Oberösterreichische Landwirtschaftskammer
A-4020 Linz, Auf der Gugl 3

INHALTSSTOFFE VON KLÄRSCHLAMM, SEINE BEWERTUNG UND ANWENDUNG AUS LANDWIRTSCHAFTLICHER SICHT

A. Candinas

1. EINLEITUNG

Ende 1983 waren in der Schweiz 870 Kläranlagen (ARA) in Betrieb. An diese Anlagen könnten 90 % aller Einwohner angeschlossen werden, rund 82 % waren es tatsächlich. Als schweizerische Besonderheit sei noch angemerkt, dass rund 2/3 der Einwohner an Kläranlagen mit Phosphatfällung angeschlossen sind.

1964 gab es erst 122 ARA. Diesem beispielhaften Ausbau von Gewässerschutzmassnahmen in den letzten 20 Jahren entspricht eine gewaltige Zunahme der anfallenden Klärschlammmenge (von 20 kt Trockenmasse 1964 auf rund 180 kt TM 1984). Die Klärschlammentsorgung ist damit immer mehr zu einem erstrangigen Problem im Gewässerschutz geworden.

Heute werden vermutlich knapp 70 % dieser Klärschlammmenge (rund 125 kt TM) landwirtschaftlich verwertet. Die Tendenz ist rückläufig, und wenn gewisse bestehende gravierende Mängel nicht behoben werden können, ist vorauszusehen, dass in verschiedenen Regionen der Schweiz in Zukunft kaum noch Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet werden können.

Obwohl die Landwirtschaft auf die Verwertung von Siedlungsabfällen nicht angewiesen ist, wäre eine solche Entwicklung zu bedauern. Aus ökologischer Sicht sprechen verschiedene Gründe für eine landwirtschaftliche Verwertung. Der Landwirtschaft würde ein billiges "einheimisches" Düngemittel verloren gehen. Heute vermag der Klärschlamm einen Beitrag zur Düngemittelversorgung in der Grössenordnung von 15 % des Phosphor- sowie 6 % des Stickstoff-Handelsdüngerumsatzes der Landwirtschaft zu leisten.

2. INHALTSSTOFFE VON KLÄRSCHLAMM

2.1 Nährstoffe

1980/81 wurden im Rahmen der obligatorischen Klärschlammkontrolle 1600 Proben aus 266 Kläranlagen (vorwiegend mittlere und grosse) analysiert. Diese ARA produzierten fast 120 kt Klärschlamm-Trockenmasse oder ca. 95 % des gesamten Schlammes, der pro Jahr landwirtschaftlich verwertet wurde.

Im gewichten Mittel (die grössten 50 ARA produzierten fast 2/3 der gesamten TM-Menge) fanden wir 6,3 % Trockenmasse in flüssigen Schlämmen. 42 % der TM waren organische Substanz.

Tabelle 1: Nährstoffgehalt der Klärschlämme in der Schweiz

Phosphor (P)	29 kg/t TM
	(20 kg in ARA ohne P-Fällung)
	(35 kg in ARA mit P-Fällung)
Stickstoff (N)	40 kg/t TM
	(20 kg/t TM davon rasch wirksam)
Kalzium (Ca)	69 kg/t TM
Magnesium (Mg)	7 kg/t TM

2.2 Schwermetalle

Der Schwermetallgehalt der Klärschlämme in der Schweiz beträgt im gewogenen Mittel die Hälfte oder weniger des zulässigen Totalgehaltes (Furrer et al, 1982). Dies gilt für alle untersuchten Metalle mit Ausnahme von Zink mit einem mittleren Gehalt von 2/3 des Grenzwertes.

Tabelle 2: Schwermetallgehalt der Schlämme und Schwermetallgrenzwerte gemäss Schweizerischer Klärschlamm-Verordnung (g/t TM)

Metall	Gehalt		Grenzwert
	\bar{x}	(Bereich)	
Molybdän	12	(1 - 44)	20
Cadmium	15	(1 - 350)	30
Kobalt	17	(2 - 1720)	100
Nickel	88	(9 - 1160)	200
Chrom	275	(17 - 4800)	1000
Kupfer	480	(50 - 3400)	1000
Blei	495	(18 - 4300)	1000
Zink	2035	(240 - 8500)	3000

Tabelle 3: Schwermetallgehalt der Schlämme aus Kläranlagen unterschiedlicher Grösse.

ARA-Grösse (t TM/Jahr)	< 50	50-100	100-500	500-2000	> 2000
Anzahl ARA	20	52	139	44	11
g Cd/t TM	9	14	13	18	17
% ARA mit >30 g Cd/tTM	0	4	5	11	0
g Ni/t TM	61	70	89	90	78
% ARA mit >200 g Ni/tTM	0	4	8	14	0
g Pb/t TM	340	329	360	570	493
% ARA mit >1000 g Pb/tTM	5	0	3	14	0
g Zn/t TM	2131	1855	1810	2140	2037
% ARA mit >3000 g Zn/tTM	15	4	6	11	0

Entgegen einer oft gehörten Annahme scheinen **kleine** Kläranlagen bezüglich Schwermetallgehalt ihres Schlammes nicht wesentlich weniger Probleme aufzuweisen als mittlere und grosse. Die mittleren gewichteten Schwermetallgehalte scheinen zwar mit zunehmender ARA-Grösse anzusteigen, höchst problematische Schlämme mit stark erhöhten Schwermetallgehalten sind aber in allen ARA-Grössenklassen zu finden. Daraus resultierte für uns die Forderung, die Klärschlammkontrolle auch auf kleine Kläranlagen auszudehnen.

3. BEWERTUNG DER KLÄRSCHLÄMME

3.1 Wirksamkeit von Stickstoff

Für die Analyse und Beurteilung des Stickstoffes im Klärschlamm (N_T) hat sich die Unterteilung in zwei Hauptfraktionen als sehr zweckmässig erwiesen:

$$N_T = N_A + N_O$$

(N_A = Ammoniumstickstoff; N_O = organisch gebundener Stickstoff)

Aufgrund bisheriger Ergebnisse rechnen wir damit, dass etwa 25 % des N_O sowie 90 % des N_A in der 1. Vegetationsperiode nach dem Austrag von Schlamm im Frühjahr zur Wirkung kommen (Furrer und Bolliger, 1978).

$$N_W = 0,9 N_A + 0,25 N_O$$

Diese Formel wurde international mehrfach überprüft und als recht zuverlässig beurteilt (Barideau, 1982; Coker, 1981; Larsen 1981; Schweiger und Völkel 1980). Abweichungen davon können zum Teil mit speziellen Schlammeigenschaften, der Bodenart oder dem Ausbringzeitpunkt erklärt werden.

Ammoniumstickstoff ist fast vollständig im Schlammwasser gelöst. Faulschlämme enthalten ca. 1 g N_A /l Wasser, aerob stabilisierte Schlämme jedoch nur etwa 0,2 g N_A /l Wasser (Abbildung 1)

Ammonium von Klärschlamm ist für die Pflanzen ebenso gut verfügbar wie Ammonium von Handelsdüngern. Fehlt jedoch eine Pflanzendecke oder wird massiv überdüngt, kann Stickstoff - nach Umwandlung in Nitrat - ausgewaschen werden. Dies sind die beiden Hauptursachen für Stickstoffverluste und damit für die Nitratbelastung des Grundwassers (Furrer, 1984).

Verluste von N_A sind auch durch Verflüchtigung von Ammoniak möglich, besonders aus alkalischen Böden.

Organisch gebundener Stickstoff ist in einer Vielzahl von verschiedenen organischen Verbindungen enthalten. Die organische Substanz von Klärschlamm enthält im Mittel 6 % N_O , unabhängig von der Art der Aufbereitung der Schlämme. Aerob stabilisierte Schlämme enthalten aber deutlich mehr organische Substanz in der Trockenmasse und damit mehr N_O in der Trockenmasse (34 g N_O /kg TM) als Faulschlämme (25 g N_O /kg TM, Abbildung 2).

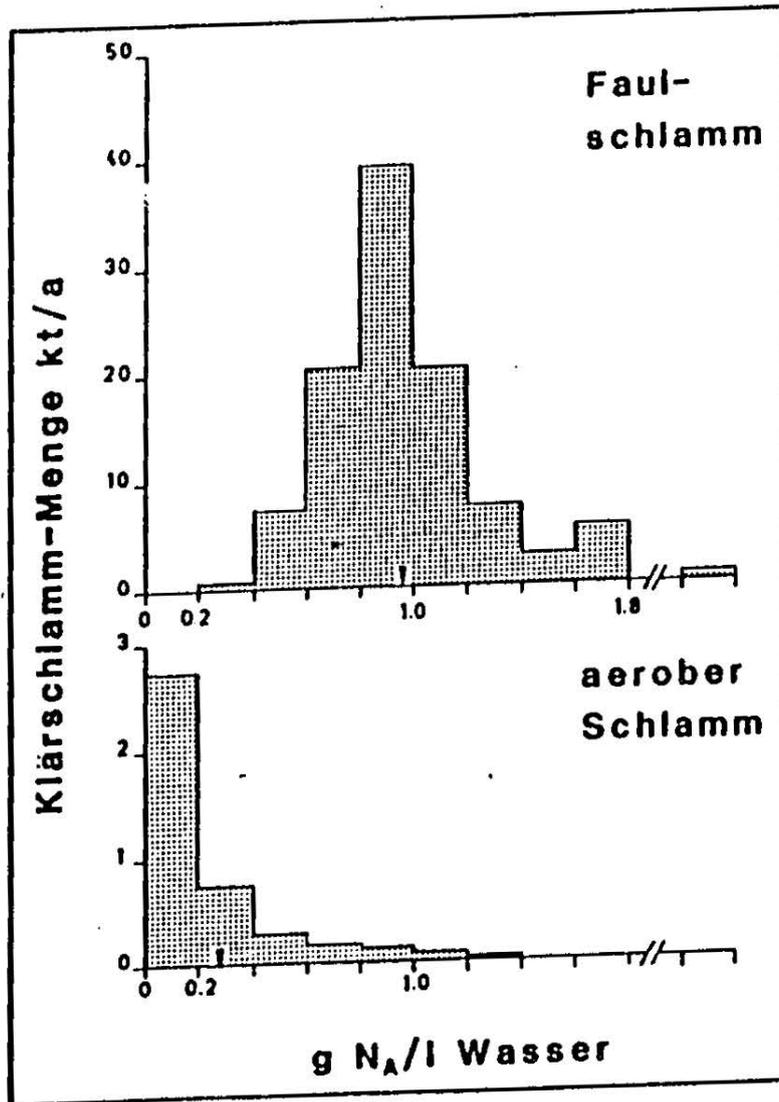


Abbildung 1: Histogramme über den Gehalt an Ammonium-Stickstoff (g N_A je Liter Wasser) von Faulschlämmen und aerob stabilisierten Schlämmen der Schweiz 1980/81, nach Furrer und Candinas, 1984).

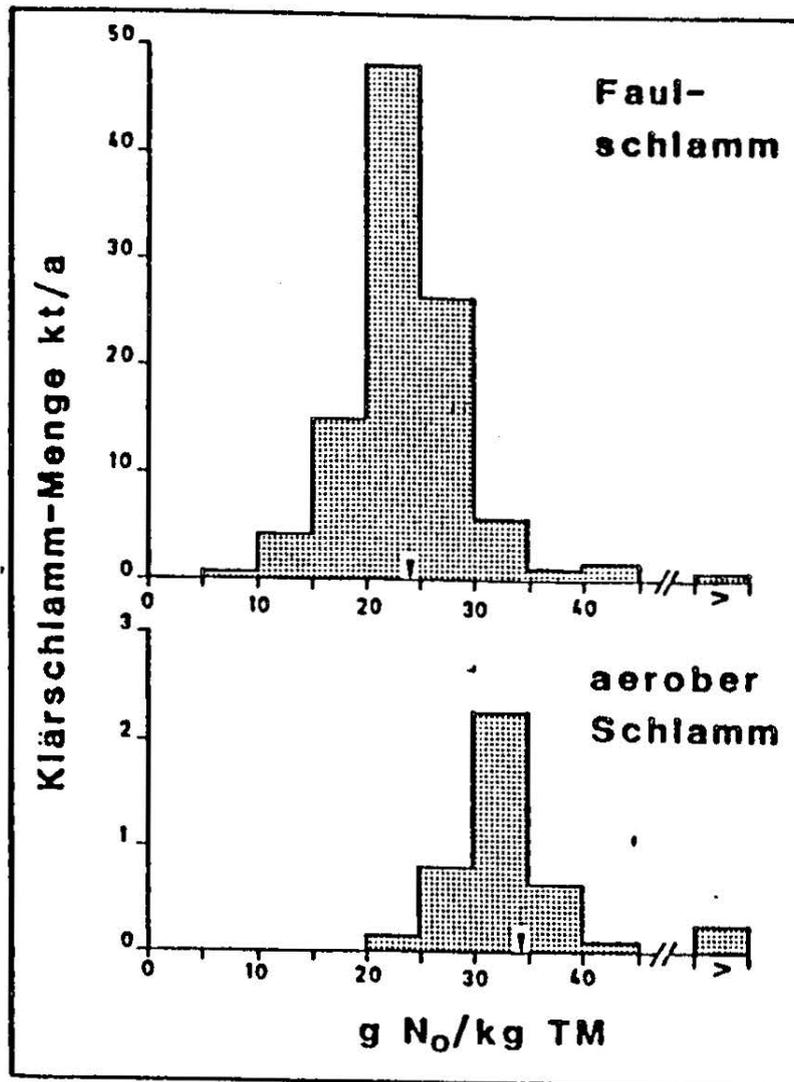


Abbildung 2: Histogramme über den Gehalt an organisch gebundenem Stickstoff (g N_O je kg Trockenmasse) von Faulschlämmen und aerob stabilisierten Schlämmen der Schweiz 1980/81, nach Furrer und Candinas, 1984).

Die Wirksamkeit von N_0 hängt von der biologischen Abbaubarkeit der organischen Verbindungen und von deren C/N-Verhältnis ab. Enthält eine organische Verbindung wenig Stickstoff (C/N-Verhältnis weiter als ca.15), wird die ganze freigesetzte N-Menge für den Aufbau der Körpersubstanz der abbauenden Mikroorganismen verbraucht. Die Wirksamkeit für Pflanzen ist unbedeutend. Die Abbaubarkeit der organischen Substanz ist offenbar in aerob stabilisierten Schlämmen deutlich grösser als in Faulschlämmen. Eine noch nicht abgeschlossene weitergehende Arbeit unserer Anstalt über die Wirksamkeit von N_0 zeigte im Mittel eine Wirksamkeit von 26 % für Faulschlätze aber eine solche von 41 % für aerob stabilisierte Schlämme. Zusammenfassend kann gesagt werden: Flüssige Faulschlätze zeigen im allgemeinen eine gute Stickstoffwirkung (50 % des Gesamtstickstoffes sind für die Pflanzen rasch verfügbar), diese nimmt jedoch mit zunehmendem Ti-Gehalt stark ab. Aerob stabilisierte Schlämme weisen eine etwas weniger gute Stickstoffwirkung auf, diese wird aber durch den Wassergehalt wesentlich weniger stark beeinflusst.

Tabelle 4: Gehalt an Gesamtstickstoff und wirksamem Stickstoff von Faulschlamm und aerob stabilisiertem Schlamm bei unterschiedlichem Wassergehalt, berechnet.*

Faulschlamm				
% Trockenmasse	1	5	10	20
N_T (g/m ³ Schlamm)	1230	2150	3300	5600
N_W (g/m ³ Schlamm)	970	1150	1410	1920
N_W in % v. N_T	79	53	43	34
N_W in % v. N_T ,rel.	100	67	54	43
aerober Schlamm				
% Trockenmasse	1	5	10	20
N_T (g/m ³ Schlamm)	540	1890	3580	7960
N_W (g/m ³ Schlamm)	320	850	1520	2860
N_W in % v. N_T	59	45	42	36
N_W in % v. N_T ,rel.	100	76	71	61

*(Berechnungsgrundlagen:

Faulschlätze: 24 g N_0 /kg TM, 1 g N_A /l Wasser; $N_{II} = 0,9 N_A + 0,25 N_0$

aerobe Schlätze: 34 g N_0 /kg TM, 0,2 g N_A /l Wasser; $N_W = 0,9 N_A + 0,4 N_0$

3.2 Wirksamkeit von Phosphor

Bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Düngerphosphat darf nicht vergessen werden, dass bei der Phosphatversorgung der Pflanzen verschiedene äusserst komplexe Vorgänge zusammenwirken, die trotz jahrzehntelanger Forschung noch ungenügend geklärt sind.

Untersuchungen an unserer Anstalt (Gupta, 1976; Gupta und Häni, 1978; Häni und Gupta, 1978; Gupta et al. 1979; Gupta und Häni, 1981) zeigten, dass Phosphor von flüssigen Schlämmen, sowohl aus Kläranlagen mit, wie ohne P-Fällung, eine gute Wirksamkeit aufweist. Sie ist vergleichbar mit derjenigen von Thomasschlacke, dem wichtigsten P-Handelsdünger der Schweiz.

Die P-Wirksamkeit kann allerdings in weiten Grenzen schwanken, wie eine Literaturübersicht zu diesem Thema zeigt (Siegenthaler und Gupta, 1981). Dies mag sowohl von Eigenschaften der Schlämme wie der Böden abhängen. Von einer gewissen Bedeutung ist auch, dass Klärschlamm-Phosphat im Vergleich zu verschiedenen Handelsdüngerprodukten eine deutlich verzögerte Anfangswirkung aufweisen kann (Werner, 1975; Pommel, 1981).

Die Wärmetrocknung (105°C) von Klärschlamm, mehr noch die Veraschung, kann die P-Wirksamkeit stark herabsetzen (Häni und Gupta, 1978). Eine Kalkung von sauren und leicht sauren Böden erhöht oft die P-Verfügbarkeit der Schlämme. Dies hängt damit zusammen, dass die P-Adsorption in den meisten Böden mit fallendem pH-Wert zunimmt (Mengel, 1979).

In den letzten Jahren sind an unserem Institut Gefäss- und Feldversuche zur Beantwortung der Frage der Verfügbarkeit von Klärschlamm-Phosphat weitergeführt worden. Eine abschliessende Beurteilung dieser Frage ist leider noch nicht in Sicht. Die bisherigen provisorischen Ergebnisse lassen jedoch vermuten, dass wir die P-Wirksamkeit von Klärschlamm eventuell zu hoch einschätzen. Dies wird auch durch andere Autoren (Baran und Cervenka, 1984) unterstützt, welche insbesondere mit eisengefällten Schlämmen eine schlechte Wirksamkeit erzielten. Der Wirksamkeit von Phosphor im Klärschlamm kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da der Düngerwert von Klärschlamm in der Schweiz in erster Linie von dessen Phosphorgehalt abhängt.

3.3 Minimalanforderungen und Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis

Die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft rechtfertigt sich nur, wenn einerseits ein minimaler Gehalt an Nährstoffen erreicht, andererseits ein maximaler Gehalt an Schadstoffen nicht überschritten wird. Während die maximalen zulässigen Gehalte an Schwermetallen oder an Enterobacteriaceen durch die Klärschlammverordnung gegeben sind, sucht man mit geringem Erfolg nach definierten Mindestanforderungen an Klärschlamm. Einig ist man darin, dass die Schlämme, um Geruchsprobleme zu vermindern, stabilisiert und, aus ästhetischen Gründen, von sichtbaren Grobstoffen weitgehend befreit sein sollen.

Mindestanforderungen bezüglich des Gehalts an nutzbringenden Inhaltsstoffen sind schwierig zu definieren, da je nach aktueller Situation der verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebe das Interesse an Phosphor, Stickstoff, Kalzium, organischer Substanz oder gar an Wasser vorrangig sein kann.

Unter den häufigsten betriebswirtschaftlichen und klimatischen Bedingungen der schweizerischen Landwirtschaft ist vorab der Phosphor- und Stickstoffgehalt der Klärschlämme von Bedeutung. Wir erwarten, dass mit einer Höchstmenge von 2,5 t TM pro ha und Jahr wenigstens die Hälfte einer üblichen Phosphor- oder Stickstoff-Volldüngung verabreicht werde.

Im Durchschnitt werden heute in unserer Landwirtschaft rund 200 kg N/ha sowie 110 kg P₂O₅/ha ausgebracht. Damit lassen sich folgende Mindestanforderungen an Klärschlamm ableiten, die landwirtschaftlich verwertet werden sollen:

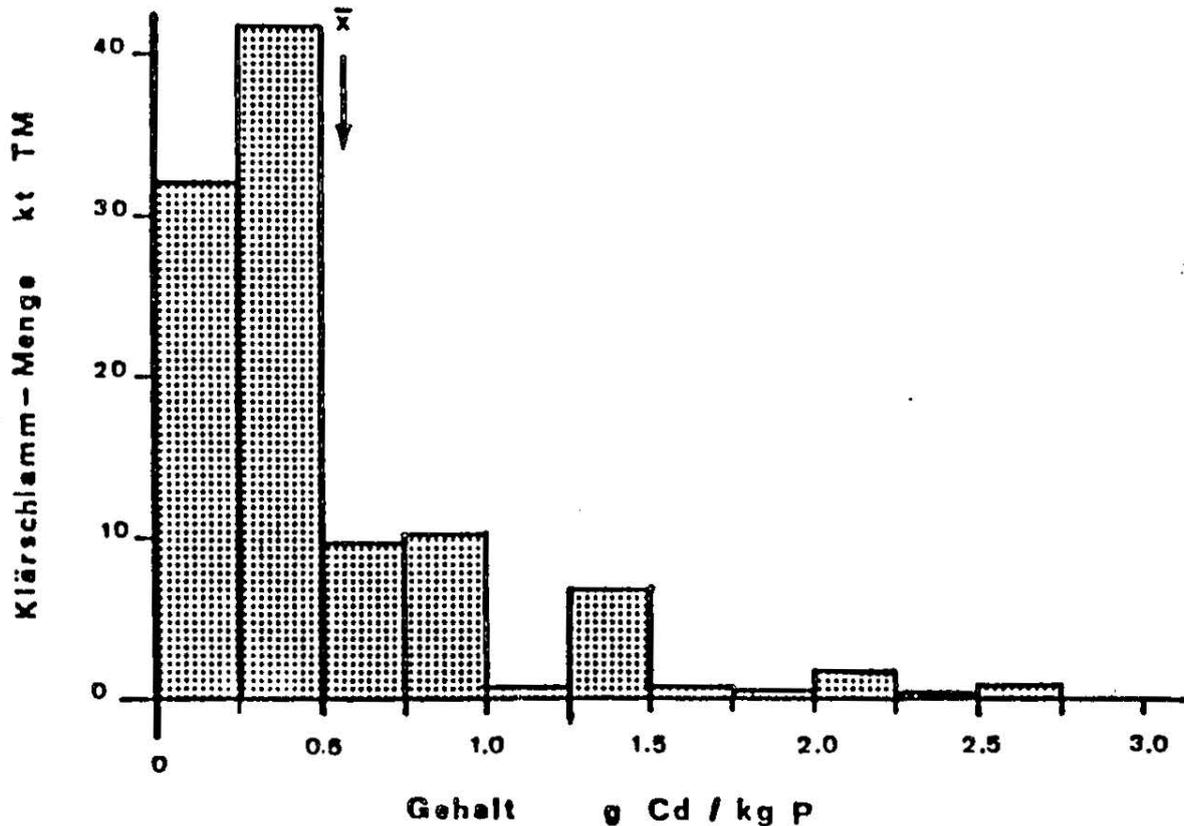
entweder P₂O₅-Gehalte > 25 kg pro t TM (10 kg P/t TM)
 oder N_T-Gehalte > 80 kg pro t TM (bei 50 % Wirksamkeit)

Durch diese Anforderungen würde 2000 t TM von der landwirtschaftlichen Verwertung ausgeschlossen. Dies entspricht knapp 2 % der gesamten landwirtschaftlich verwerteten Menge.

Einen Hinweis darüber, wie gut die grundsätzlich akzeptierbaren Schlämme (Minimalanforderungen erfüllt, Grenzwerte eingehalten) für die landwirtschaftliche Verwertung geeignet sind, kann das Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis geben.

Da Phosphor der wichtigste Nährstoff im Klärschlamm und Cadmium der wichtigste Schadstoff in Phosphordüngern ist, beschränken wir uns auf das Cd/P-Verhältnis.

Abbildung 3: Histogramm über den Cadmium-Gehalt der Schweizer Klärschlämme bezogen auf den Phosphorgehalt (g Cd/kg P; nach Furrer et al., 1982)

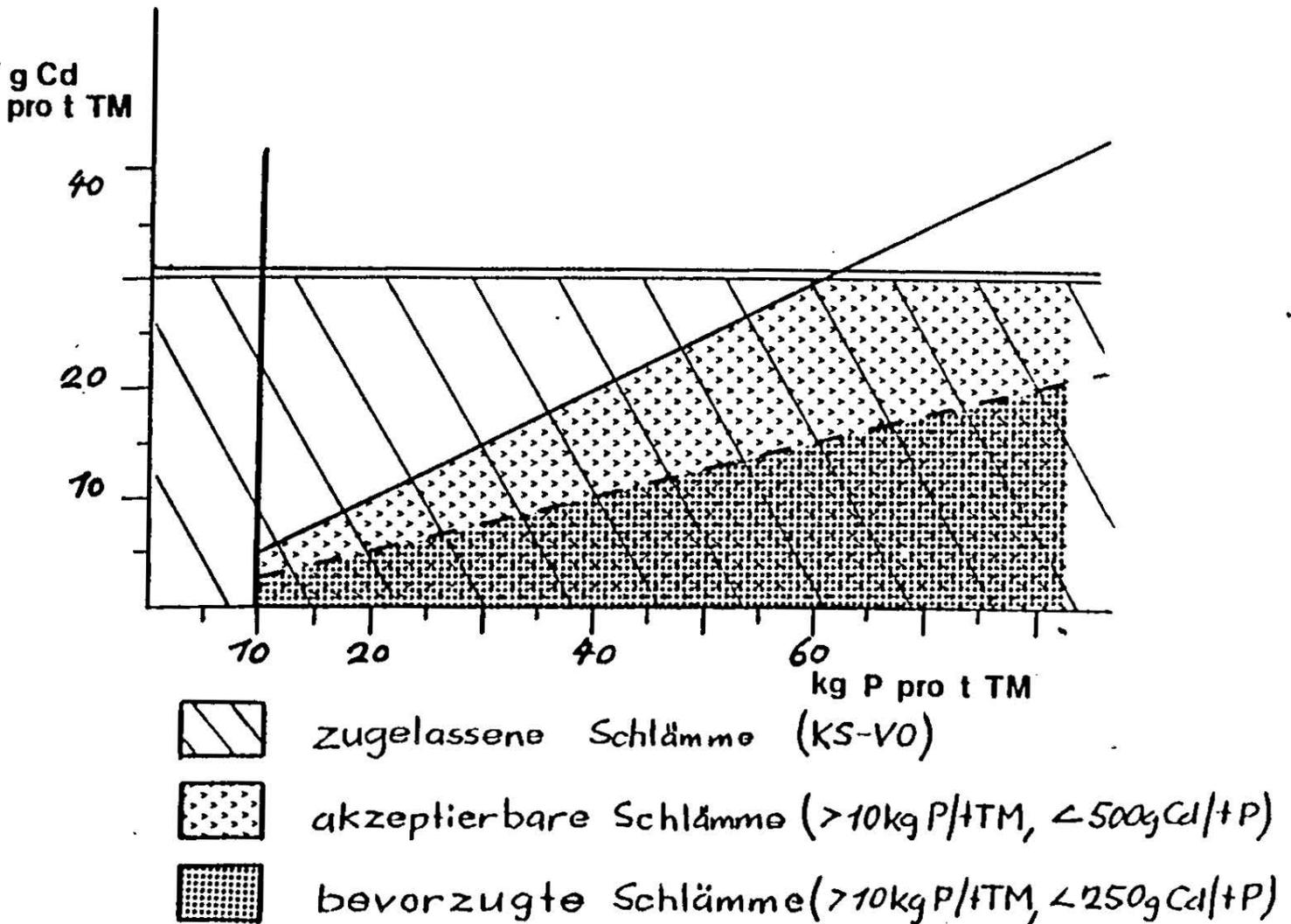


Klärschlamm enthält im Mittel 570 g Cd pro t P (70-2700 g Cd/t P). Ein Drittel aller Schlämme weist einen Gehalt von weniger als 250 g Cd/t P auf, ist also vergleichbar mit Superphosphat, das je nach Rohphosphat-Herkunft etwa 100 bis 250 g Cd/t P enthält (Furrer et al. 1982). Da wegen regionaler P-Ueberdüngung durch intensive Tierhaltung nicht alle Klärschlämme in der Landwirtschaft verwertet werden können, gilt es, die Verwertung der Schlämme mit einem Cd/P-Verhältnis unter 250 g Cd/t P zu bevorzugen. Von einem Ausschluss der Schlämme mit einem Cd/P-Verhältnis > 500 g Cd/t P würden 30'000 t TM (rund 25 % der heute verwerteten Menge) betroffen.

Aus landwirtschaftlicher Sicht können Klärschlämme für die Verwertung über längere Zeit nur dann empfohlen werden, wenn sie folgende Anforderungen erfüllen:

1. Alle Schwermetalle < Grenzwert
2. P-Gehalt > 10 kg P/t TM
(oder N-Gehalt > 80 kg N/t TM)
3. Cd-Gehalt < 500 g Cd/t P

Abbildung 4: Beurteilung der Klärschlämme für die landwirtschaftliche Verwertung.



4. Klärschlammverwertung heute und morgen

Am 8. April 1981 wurde die schweizerische Klärschlammverordnung in Kraft gesetzt. Sie richtet sich an alle, die mit Klärschlamm zu tun haben und bezweckt sicherzustellen, dass Klärschlamm entweder einwandfrei verwertet oder geordnet beseitigt wird. Ihre wichtigsten Forderungen:

- Qualitätsanforderungen an den Schlamm (Schwermetallgehalt, Hygiene)
- Stapelmöglichkeiten (kein Austrag zu Unzeiten)
- Qualitätskontrolle, Nährstoffe, Schadstoffe, Enterobacteriaceen)
- Begrenzte Ausbringmenge und Kontrolle derselben (SchlammBuchhaltung)
- Information der Abnehmer (Lieferscheine)
- Sachgemässes Ausbringen (Dosierung gemäss dem Nährstoffbedarf, Zeitpunkt)

Diese Verordnung hat zweifellos einen Prozess in Gang gebracht, der die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung deutlich verbessert. Ueber 95 % des verwerteten Schlammes werden heute kontrolliert, an vielen Orten werden Stapelmöglichkeiten und Hygienisierungsanlagen gebaut, SchlammBuchhaltungen eingeführt und Lieferscheine abgegeben. Trotzdem sind wir vom Ziel einer optimalen Klärschlammverwertung noch weit entfernt.

Auf ein paar der wichtigsten Probleme sei hingewiesen:

- Klärschlamm hat ein schlechtes Image, sowohl bei der Landwirtschaft wie bei den Konsumenten (teils wegen tatsächlicher Misswirtschaft, teils wegen Fehlinformationen).
- Als Folge davon nehmen immer weniger Landwirte immer grössere Schlamm-mengen. Dies trägt wiederum zur Imageverschlechterung bei.
- In verschiedenen Regionen hat sich die Schlammqualität in den letzten Jahren nicht gebessert. Die Bereitschaft der Landwirte, bei der Verwertung von Klärschlamm zu helfen, ist zurückgegangen.
- Die Bestimmungen der Klärschlamm-Verordnung werden nicht mit genügender Strenge durchgesetzt. "Feuerwehrübungen" werden bei prekären Verhältnissen grosszügig toleriert. Eine sensibilisierte Oeffentlichkeit reagiert immer unnachsichtiger auf solche "Ausnahmefälle".

Wir stehen heute vor der paradoxen Situation, dass trotz erfreulicher Fortschritte bei der Klärschlammverwertung die Opposition gegen diese Art der Klärschlammverwertung wohl noch nie so gross war. Es scheint, dass die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft nur dort von Erfolg gekrönt ist, wo in der Region in engagierter Aufbauarbeit ein Vertrauensverhältnis zwischen ARA-Verband, Landwirtschaft und breiter Oeffentlichkeit geschaffen werden kann.

Dazu genügt es nicht, die Vorschriften der Klärschlammverordnung einzuhalten.

Ein möglicher Weg könnte darin bestehen, für die verschiedenen ARA-Regionen eine Art "Ehrenkodex" für die Verwertung von Schlamm aufzustellen, welcher den weitergehenden Wünschen und Bedenken von Landwirten und Konsumenten Rechnung tragen würden. Diesen gilt es in der Öffentlichkeit bekannt zu machen, zu diskutieren und laufend den aktuellen Bedürfnissen anzupassen.

5. Zusammenfassung

Dank dem enormen Ausbau des Gewässerschutzes in den letzten 20 Jahren ist die Klärschlamm Entsorgung zu einem Problem ersten Ranges geworden.

Ein Teil der Landwirtschaft ist grundsätzlich bereit, bei der Lösung dieses Problems mitzuhelfen. Langfristig gilt dies aber nur, wenn bestimmte Bedingungen eingehalten werden.

Es gilt, die Anforderungen der Klärschlamm-Verordnung nun so rasch wie möglich vollumfänglich zu erfüllen. Zusätzlich sollten aber in den einzelnen Regionen weitergehende Modelle - z.B. in Form eines "Ehrenkodexes" für die landwirtschaftliche Verwertung - entwickelt werden, welche den tieferliegenden Ängsten und Wünschen von Landwirten und Konsumenten Rechnung tragen.

Mögliche Ansatzpunkte in Form von Minimalanforderungen an Schlamm sowie von einem flexiblen Schadstoff/Nutzstoff-Verhältnis werden vorgestellt.

Anton Candinas, Ing.agr. ETH
Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene
Schwarzenburgstrasse 155
CH-3097 Liebefeld-Bern

6. LITERATUR

- Baran, E., Cervenka, L., (1984): Phosphatdüngewirkung von Abwasser-schlamm aus der dritten Reinigungsstufe. Thome-Komiensky, K.J. (Hrsg): Recycling International, Berlin, 398-403.
- Barideau, L., (1982): Nitrogen Value of Sludge. EEC-COST Meeting, As, Norway.
- Coker, E.C., (1981): Research and Experience in the Utilisation and Disposal of Sewage Sludge in the U.K. Final Report of the Community-COST Concertation Committee. Treatment and Use of Sewage Sludge, COST 68 bis, 383-394.
- Furrer, O.J., (1984): Einfluss der Klärschlämme auf das Abschwemmen und Auswaschen von Nährstoffen. 16. Essener Tagung vom 9.3.-11.3. 1983. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 65, 663-677.
- Furrer, O.J., Bolliger, R., (1978): Die Wirksamkeit des Stickstoffes im Klärschlamm. Schweiz. landw. Forsch. 17 (3/4), 137-147.
- Furrer, O.J., Candinas, T., (1984): Art, Menge und Wirksamkeit des Stickstoffes im Klärschlamm. 16. Essener Tagung vom 9.3.-11.3. 1983. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 65, 519-546.
- Furrer, O.J., Candinas, T., Lischer, P., (1982): Schwermetallgehalt der Klärschlämme in der Schweiz. Landw. Forsch., Kongressband 1982, Sonderheft 39, 309-318.
- Gupta, S.K., (1976): Ueber die Phosphat-Elimination in den Systemen H_3PO_4 - γ - $FeO(OH)$ und H_3PO_4 - $FeCl_3$ und die Eigenschaft von Klärschlamm-Phosphat. Philosoph.-naturwissensch. Fak. Univ. Bern.
- Gupta, S.K., Häni, H., (1978): Form und Wirksamkeit von Klärschlamm-Phosphat. Bulletin "Bodenkundl. Gesellsch. der Schweiz", 2, 24-31.
- Gupta, S.K., Häni, H., (1981): Estimation of Available Phosphat Content of Sewage Sludge. Proceedings of the First European Symposium on "Treatment and Use of Sewage Sludge", Cadarache F, 1979. Commission of the European Communities, Brussels, 261-268.
- Gupta, S.K., Häni, H., Schindler, P., (1979): Factors Affecting the Degree of Phosphate Removal in the System $FeCl_3$ -Orthophosphat and Nature of the Precipitates. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 147, 705-718.
- Häni, H., Gupta, S.K., (1978): Kann Klärschlamm als P-Dünger verwendet werden? Schweiz. Landw. Forsch. 17, (1/2), 15-28.
- Larsen, K.E., (1981): Nitrogen Value of Sewage Sludge, Danish Experiments on Sewage Sludge Valorisation. Final Report of the Community-COST Concertation Committee, Treatment and Use of Sewage Sludge, COST 68 bis, 339-350.

Mengel, K., (1979): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart BRD, 5. Aufl.

Pommel, B., (1981): A Plant Test for Determination of Phosphorus Value of Urban Wastes. Acta Horticulturae 126, 237-244.

Schweiger, P., Völkel, R., (1980): Zur N-Wirkung von Klärschlamm im Gefässversuch mit Weidelgras. Landw. Forsch. 33 (4), 323-330.

Schweizerischer Bundesrat, (1981): Klärschlamm-Verordnung vom 8. April.

Siegenthaler, A., Gupta, S.K., (1981): Düngewert von Klärschlamm. LBL-Kurs "Umweltgerechte Anwendung von Düngemitteln", Lindau CH.

Werner, W., (1976): Untersuchungen zur Phosphatwirkung von Klärschlämmen aus der chemischen Abwasserreinigung, Landw. Forsch., Sonderheft 32, Kongressband 17, 177-185.

VERDANKUNG

Für die gewissenhafte und saubere Niederschrift des Manuskripts dankt der Autor Frau Maria Kuess bestens.

SCHWERMETALLE IN DER NAHRUNG -
GEFÄHRDUNG DES MENSCHEN IM WEGE DER NAHRUNGSKETTE

R.-E. Gusinde

Schwermetalle in der Nahrung haben erst nach den Katastrophen in Japan vor nun schon mehr als 20 Jahren wieder ein besonderes Interesse für ihre Bedeutung als gesundheitsgefährdende Faktoren erweckt. Es handelte sich damals um Massenvergiftungen mit Quecksilber durch den Genuss von Fischen aus mit Industrieabwässern belasteten Gewässern und um Massenvergiftungen mit Cadmium durch den Genuss von Reis, der mit abwasserbelastetem Flusswasser bewässert worden war. Dass Schwermetalle Gefahren für den Menschen darstellen können, ist an sich schon sehr lange bekannt, denn eine Reihe von diesen Bestandteilen der Erde wird seit langer Zeit genutzt. So wurden Eisen, Gold, Silber, Kupfer, Blei, Quecksilber, Zinn, Antimon, Wismut und Arsen bereits im Altertum gefördert, verarbeitet und verwendet. Die Entdeckung von Zink wird im 16. Jahrhundert Paracelsus zugeschrieben und die übrigen Schwermetalle wurden um die Wende des 18. zum 19. Jahrhundert entdeckt. Die Kenntnisse über die unterschiedlichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis zur tödlichen Vergiftung stammten sowohl aus dem gewerblichen und häuslichen Umgang mit diesen Metallen, als auch aus ihrem Gebrauch in der Medizin als Heilmittel und nicht zuletzt aus ihrer Verwendung zu kriminellen Zwecken. Erst in der Mitte unseres Jahrhunderts waren die Schwermetalle aus der Medizin fast völlig verdrängt, während die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Gewerbehygiene und die Einführung von Arbeitsschutzmassnahmen die Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz auf ein Minimum reduzierten. Ein übriges taten dann noch die Massnahmen der Trinkwasserhygiene sowie lebensmittelhygienische Vorschriften, die die Geräte und Geschirre zur Herstellung und Aufbewahrung von Lebensmitteln betrafen, um Gefährdungen auszuschliessen.

So schien die Gefährdung des Menschen durch Schwermetalle, von einzelnen Fällen, die ihre Ursache in Unkenntnis, Unachtsamkeit oder Verwechslungen hatten, im wesentlichen beherrscht zu sein, bis die Erkenntnisse über die Gefährdungsmöglichkeiten aus der anthropogen verunreinigten Umwelt eine neue Problematik brachten.

Mehr oder minder schwere Vergiftungen sind durch alle Schwermetalle möglich. Die Voraussetzung dafür ist das Zustandekommen der erforderlichen toxischen Dosis. Für die Abschätzung der Gefährlichkeit einer aufgenommenen Menge von Schwermetallen ist die Tatsache wichtig, dass bei der Aufnahme über den Verdauungstrakt aus anorganischen Verbindungen nur 1 - 10 % der Metalle resorbiert werden. Organische Verbindungen werden fast zur Gänze aufgenommen. Sind die Substanzen als Staub oder Aerosol in der Luft enthalten, so werden sie über die Atemwege auch fast vollständig resorbiert. Bei direktem Kontakt kann auch ein Teil über die Haut resorbiert werden. Die Art der chemischen Verbindung ist bei der oralen Aufnahme von Schwermetallverbindungen nur für die Menge und die Geschwindigkeit der Resorption entscheidend, nicht für die Ausprägung des spezifischen Krankheitsbildes. Die örtliche Wirkung aller Metalle ist weitgehend abhängig von ihrer Ionisierung. Nicht ionisierte Verbindungen besitzen gewöhnlich eine geringere örtliche Wirkung oder diese fehlt völlig. Nach der Resorption treten Schädigungen der Leber, der Niere, des Zentralnervensystems, bei einigen Metallen Anämien, Veränderungen der Knochen, der Haut oder Haarausfall auf. Es gibt dabei Übergänge von uncharakteristischem Unbehagen bis zu schwerem chronischen Siechtum und tödlichem Ausgang. Embryonal teratogene und auch carcinogene Wirkungen müssen ebenfalls erwähnt werden. Die jeweils im Vordergrund stehenden Erscheinungen bei Menschen und auch bei Tieren sind erstaunlich unterschiedlich in der Ausprägung der Krankheitsbilder. Man weiss die Ursache noch nicht, bringt sie aber mit einer gewissen Organotropie der Metall-

ionen in Zusammenhang. Die Wirkung der reorbierten Schwermetalle im Organismus ist jedenfalls durch ihre Affinität zu Sulfhydrylgruppen der Eiweisskörper gekennzeichnet. Sie gehen auf diese Weise feste Bindungen mit organischen Gewebsbestandteilen ein und blockieren dadurch den Stoffwechsel bestimmter Zellen. Die Ablagerung der Metalle erfolgt in erster Linie in der Leber und in der Niere, bei Blei vorwiegend im Knochen. Die Ausscheidung der Metalle erfolgt durch Niere, Galle und Dickdarm und geht sehr langsam vor sich, sodass eine Kumulierung im Organgewebe erfolgt, die u.U. Anlass zu chronischen Vergiftungen, sogar zu plötzlichen Todesfällen geben kann. Nicht unerwähnt soll auch die Fähigkeit vieler Metalle sein, allergische Reaktionen hervorzurufen.

Im Gegensatz zu den genannten negativen Auswirkungen auf den lebenden Organismus stehen aber die der essentiellen Metalle oder Spurenelemente, die Menschen, Tiere und Pflanzen in sehr kleinen Mengen zu ihrer Gesunderhaltung benötigen. Dabei gibt es Unterschiede des Bedarfs zwischen Mensch und Tier, auch zwischen verschiedenen Tierarten und Pflanzen. In Tab. 1 sind die bis jetzt bekannten, für den Menschen essentiellen Metalle aufgeführt mit der Angabe des täglichen Bedarfs, der etwa 1 - 10 % der täglich in der Nahrung benötigten Menge darstellt.

Element	Körperbestand (g)	Tagesbedarf (mg)	Entdeckung
Eisen	3,5 - 4,5	0,5 - 5,0	19. Jh.
Kupfer	0,08 - 0,12	1,0 - 2,5	1928
Mangan	0,012 - 0,020	2,0 - 5,0	1931
Zink	1,4 - 2,3	0,4 - 6,0	1934
Kobalt	~ 0,010	< 0,005	1935
Molybdän	~ 0,020	~ 0,4	1953
Selen	?	0,06 - 0,12	1957
Chrom	< 0,006	~ 0,06	1959

Tabelle 1: Essentielle Metalle für den menschlichen Körper

Eisen entfaltet seine Wirksamkeit im Hämoglobin. Von den anderen Metallen weiss man bis jetzt, dass sie in rund 34 enzymatischen Verbindungen eingebaut sind. Keines kann durch ein anderes Metall ersetzt werden und vielfach sind Funktion und Wirkart essentieller Elemente noch unbekannt. Dass sich diese Aufstellung im Lauf der Zeit noch erweitern dürfte, liegt auf der Hand. Bei Chrom z.B. wurde erst in jüngster Zeit entdeckt, dass es als Glukosetoleranzfaktor eine wesentliche Rolle im Zuckerstoffwechsel spielt. Für Ratten hat sich inzwischen sogar Blei als essentielles Element herausgestellt (KIRCHGESSNER et al., zit. bei DIEHL 1982).

Mangel an Spurenelementen macht empfindliche spezifische Ausfallserscheinungen. Die Mangelercheinungen sind vor allem auch bei Nutztieren beobachtet worden: Kupfer-, Chrom-, Kobalt-, Selen- oder Zinkmangel mindern die Entwicklung und führen zu Fertilitätsstörungen und Dahinsiechen auch bei sonst gutem Futterangebot. (Beispiel: Lecksucht) Gerade bei diesen Tieren wurde aber auch festgestellt, dass bei einer Reihe von essentiellen Elementen zwischen Mangel- und toxischen Erscheinungen bei Überangebot nur ein sehr schmaler Bereich liegt. Menschen haben eine grössere Kupfer- und Selentoleranz als Wiederkäuer. Bei Schweinen bedient man sich der noch grösseren Kupfertoleranz bei der Mästung. Was Chrom anbetrifft, so wird angenommen, dass in der menschlichen Nahrung eher ein Mangel besteht, als ein Überangebot (WHO-EURO-Reports 1979).

Sind für die Ermittlung der toxischen Dosis von Schwermetallen in der Nahrung ausser der Art der chemischen Verbindung auch Alter, Geschlecht und körperlicher Allgemeinzustand des gefährdeten Menschen zu berücksichtigen, so wird diese Tatsache noch dadurch kompliziert, dass zwischen den verschiedenen Metallen antagonistische Beziehungen bestehen. Eisen, Kupfer und Zink mindern die Toxizität von Cadmium. Eisen und Zink geben einen gewissen Schutz

vor Bleiintoxikationen. Cadmium und Blei wirken übrigens auch weniger toxisch bei ausreichender Anwesenheit von Calciumionen und Vitamin C. Selen vermindert die Toxizität von Quecksilber (UNDERWOOD 1979), Arsen schützt Weidetiere vor Selenvergiftung (EICHHOLTZ 1957), Molybdän, Eisen und Zink vermindern für sie die Toxizität von Kupfer (NUSSHAG 1954). Diese komplexen und recht unübersichtlichen Vorgänge lassen erkennen, wie schwierig die Suche nach der Begrenzung von tolerierbaren Gehalten an gesundheitsgefährdenden Schwermetallen in der Nahrung war und noch ist.

Als die gefährlichsten Schwermetalle sind derzeit Quecksilber, Blei und Cadmium anzusehen. Bei den Wiederkäuern kommt noch Kupfer dazu. Cadmium ist wie Quecksilber ein Mitglied der Zink-Familie. Es war nach seiner Entdeckung rund 100 Jahre lang gar nicht beachtet worden. Man hatte es sogar als "unerwünschtes Stiefkind des Zinks" bezeichnet bis sich erst in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts seine vielseitige Verwendbarkeit herausstellte. Aus dem jährlichen Verbrauch durch alle Arten der Verarbeitung und dem durchschnittlichen Bodengehalt errechneten FÖRSTNER und MÜLLER (zit. in WHO-EURO-Reports 1982) für eine Reihe von Schwermetallen einen Index für das relative Verunreinigungspotential im Boden. Nicht die Metalle, die am meisten zur Verarbeitung kommen, weisen den höchsten Index auf, sondern diejenigen, die auch für Menschen und Tiere die stärkste Giftwirkung aufweisen, nämlich Blei, Quecksilber, Cadmium und Kupfer. Davon abgesehen, kann lokal gehäuftes Vorkommen von allen möglichen Metallen zu Problemen führen. Die Wege der Zufuhr von unerwünschten Schwermetallen über die Nahrungskette zum Menschen sind in Abb. 1 dargestellt. Als zusätzlicher Verunreinigungsfaktor wären noch die Mülldeponien zu erwähnen, die sowohl den Boden wie das Trinkwasser beeinflussen können. Sie müssen bei den nachfolgenden Betrachtungen so wie die Verunreinigung durch Luft und Staub unberücksichtigt bleiben.

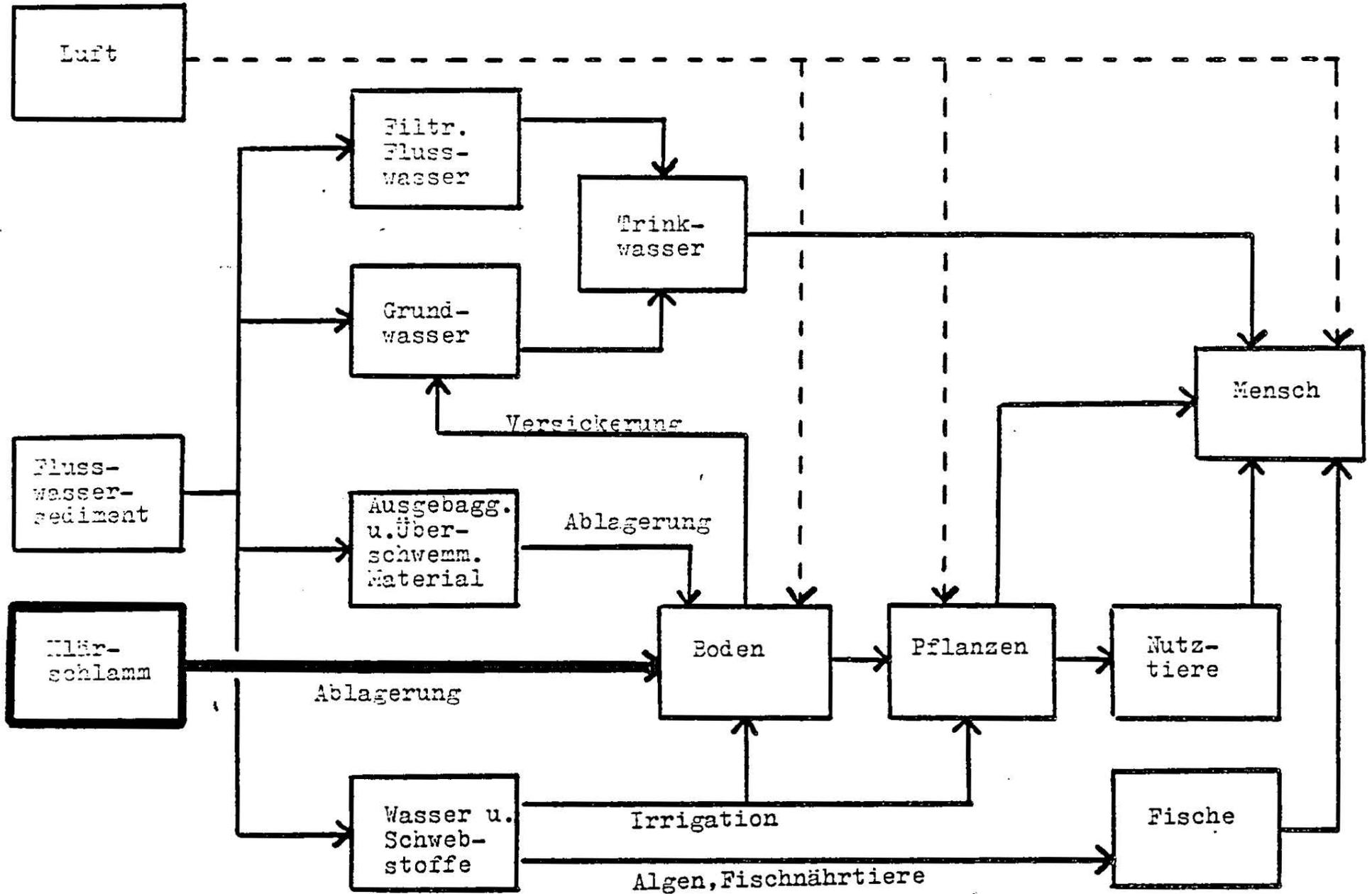


Abbildung 1: Weg der Schwermetalle über die Nahrungskette zum Menschen.

Eine Gefährdung des Menschen und auch der Haustiere durch Hg, Pb und Cd im Trinkwasser ist unter normalen Verhältnissen nicht anzunehmen, sofern nicht unaufbereitetes Oberflächenwasser aus belasteten Gewässern verwendet wird. In den Richtlinien der WHO 1982 sind die Konzentrationen für toxische Schwermetalle festgelegt, die nicht überschritten werden sollen. Zugrundegelegt ist der tägliche Wasserverbrauch eines erwachsenen Menschen mit etwa 2 l. (Ein Rind benötigt pro Tag etwa 30 - 40 l.) Es ist nicht bekannt, dass Quecksilber jemals in unzulässiger Konzentration im Trinkwasser aufgetreten wäre. Das Gleiche gilt für Blei und Cadmium, obwohl bei diesen beiden gelegentlich lokal leichte Erhöhungen festzustellen sind, die bei weichem Wasser auf aus dem Leitungssystem herausgelöste Substanzen zurückzuführen sind. Höhere Bleikonzentrationen aus alten Bleirohren lassen sich bei entsprechender Vorsicht vermeiden. Im übrigen ist durch Trinkwasseruntersuchungen jederzeit eine Kontrolle relativ leicht auszuüben.

Im Oberflächenwasser sind Quecksilber-, Blei- und Cadmiumkationen vorwiegend an Feststoffpartikel angelagert, aus denen sich die Sedimente bilden. Sie treten aber auch in die freie Wassersäule über. Unter Bakterienbeteiligung bilden sie leicht mit Sulfiden Komplexe. Bei einem weiteren Umbau zu Sulfaten wird besonders Cadmium für Pflanzen verfügbar gemacht, während im Boden und in Sedimenten Blei und Quecksilber methyliert werden können, wie es auch in organischem Gewebe der Fall ist. Bei Cadmium findet diese Umwandlung nicht statt. Ausserdem können von Mikroorganismen natürliche Chelate gebildet werden, die die Ionen aus bereits gebildeten Komplexen herauslösen und so eine Aufnahme in Pflanzen ermöglichen. Das kommt sowohl in Flusssedimenten als auch in der Humusschicht des Bodens vor. Grössere Organismen im Wasser nehmen derart inkorporierte Metalle mit der Nahrung auf, die dann weiter ihren Weg in Fische, Muscheln und Krustentiere nimmt. Die höchsten Metallgehalte werden daher bei älteren Raubfischen beobachtet.

Fische können aus Gewässern Quecksilber, Blei und Cadmium aufnehmen. Blei und Cadmium werden in der Leber und in der Niere gespeichert, aber nicht im essbaren Muskelfleisch. Die Konzentrationen im Fischfleisch liegen unter 0,05 ppm Cd und überwiegend unter 0,5 ppm Pb, sogar bei Anwesenheit von Schlämmen, die 20 - 40 ppm Cd, bzw. Bleikonzentrationen bis 800 ppm in der Trockensubstanz enthielten (WISSMATH und KLEIN 1981). Bei Quecksilber dagegen findet die Speicherung als Methyl-Hg im Muskelfleisch wie in der Leber statt (KRUSE 1981), so dass sie in der Nahrungskette eine Quelle für eine Quecksilberbelastung darstellen können. Die Voraussetzung für eine Quecksilberspeicherung findet sich in Ozeanen, in Flüssen nach Abwassereinleitungen und in geringem Mass in einigen Seen, die von Erzlagerstätten beeinflusst sind (KROCZA et al. 1973, 1974). Die Quecksilbergehalte von Raubfischen in Salzwasser (Hai, Thunfisch) und Süßwasser (Hecht) überschreiten in der Regel den Gehalt von 2 ppm Hg nicht. Allerdings weiss man aus den Erfahrungen von Minimata, dass verendete Fische im Muskelfleisch Methyl-Hg-Konzentrationen bis zu 24 ppm Hg aufwiesen. In Österreich ergaben Untersuchungen, dass Fische (Salmoniden und Karpfen) aus stehenden Gewässern und Fischzuchten zu 95 % einen Quecksilbergehalt bis 0,2 ppm Hg und Raubfische zu 97 % einen Hg-Gehalt bis 0,5 ppm hatten, also unter dem Richtwert für den Quecksilbergehalt im Fischfleisch blieben (KROCZA und HAIDL 1975).

Für Pflanzen sind Quecksilber und Blei im Boden schwer verfügbar. Gras, das auf Flächen gewachsen war, auf denen Hg-kontaminierter Flussschlamm abgelagert war, und der Boden 5 mg Hg/kg enthielt, wies nicht mehr Quecksilber im Trockengewicht auf als 0,05 ppm. Auf mit 200 - 300 mg Pb/kg angereicherten Böden wies das Gras nur 0,1 - 10 mg Blei/kg Trockengewicht auf (WHO-EURO-Reports 1982). Während auch für Chrom- und Nickelgehalte eine weitgehende Unabhängigkeit der Pflanzen von den Schwermetallanreicherungen im Boden besteht, ist bei Kupfer, Zink und Cadmium eine enge

Korrelation zwischen Boden und Pflanzengehalten zu beobachten. Es gibt bei den Pflanzen offenbar sortenspezifische Unterschiede in der Anreicherung (ROSOPULO und DIEZ 1981). Diese Unterschiede wirken sich bei den von Menschen genossenen pflanzlichen Nahrungsmitteln so aus, dass Spinat die höchsten Cadmiumgehalte aufweisen kann. Normale Ernten von Salat, Kohl, Spinat, Karotten und Kartoffeln hatten sämtlich einen Gehalt von $< 0,1$ ppm Cd. Wies der Boden höhere Cadmiumgehalte auf als 1 mg Cd/kg , so überschritten die Gehalte von Salat, Kohl, Karotten und Kartoffeln $0,2$ ppm Cd noch nicht, bei Spinat dagegen war eine Cd-Speicherung bis $0,63$ ppm festzustellen (SHERLOCK 1981). Pilze sollen übrigens auch zu einer gewissen Cadmium- und Quecksilberspeicherung fähig sein (DIEHL 1982). Bleigehalte von Blattgemüsen betragen etwa $0,6$ ppm, übrige Gemüse und Obst enthalten bis $0,25$ ppm (DIEHL 1982). Bei Blei ist der Luft- und Staubgehalt unbedingt mit zu berücksichtigen, da er sich auf die oberirdischen Pflanzenteile legt, von wo ein Teil resorbiert werden kann. Niederschläge bringen zusätzlich Blei auf und in den Boden. In Immissionsgebieten können Pb-Gehalte in Pflanzen beträchtlich sein und gelegentlich zu Viehvergiftungen Anlass geben. Schäden am Menschen sind auf diesem Wege nicht bekannt.

Bei Tieren wird die Applikation von Schwermetallen -wie beim Menschen- in verschiedene Dosierungen unterteilt:

- 1) die Indifferenzdosis, die bei guter Gesundheit ohne Schwermetallspeicherung in den Organen vertragen wird,
- 2) die Toleranzdosis, die ohne klinische Erscheinungen zur Speicherung in Leber und Niere führt,
- 3) die toxische Dosis, die Krankheitserscheinungen hervorruft,
- 4) die Letaldosis.

Eine ausführliche Zusammenstellung, die die Belastungsgrenzen von verschiedenen Schwermetallverbindungen bei Hauswiederkäuern behandelt, wurde von GRÜNDER (1982) mitgeteilt, jedoch mit dem Hinweis, dass die unterschiedlichen Stallungs-

Fütterungs- und individuellen Bedingungen die Erkenntnisse erschweren.

Quecksilbergehalte sind in den Organen der Schlacht- und Wildtiere im allgemeinen nicht zu finden. Eine Ausnahme machen vereinzelt Schweinenieren und Hasenlebern, in denen eine gewisse Hg-Speicherung vorkommen kann. Bei Blei kann man mit folgenden Werten rechnen, sofern der Bleigehalt der Futterpflanzen nicht mehr als höchstens 10 mg Pb/kg Trockensubstanz (HAPKE 1982) beträgt: in Fleisch, Milch und Eiern weniger als 0,1 ppm Pb, in der Leber etwa 0,15 - 0,28 ppm Pb (DIEMEL 1982).

In den skandinavischen Ländern wird auch der Cadmiumgehalt in Pflanzen zu einem hohen Mass auf die Ablagerung von Luftverunreinigungen aus der Verbrennung und aus der Verwendung von künstlichem Dünger zurückgeführt, der bis zu 38 - 48 ppm Cd enthalten kann, während der Cadmiumgehalt des Klärschlammes mit 3 - 15 ppm Cd (Werte bis zu 1.000 sollen auch möglich sein) angenommen wird. (HANSEN und TJELL 1982, BERGLUND 1982). Dafür könnte sprechen, dass ältere Elche aus dem stärker industrialisierten Süden Schwedens sehr viel höhere Cadmiumwerte in den Nieren aufwiesen, als im Norden geschossene Elche (BERGLUND 1982). In Futterpflanzen soll der Cadmiumgehalt 1 mg Cd/kg Trockensubstanz nicht überschreiten, bei ca 30 mg Cd/kg Trockenfutter soll die Toxizitätsgrenze liegen (HAPKE 1982). Da die Cadmiumspeicherung vorwiegend in der Niere erfolgt, kann der normalerweise zwischen 0,2 - 0,8 ppm Cd liegende Cd-Gehalt auf etwa 2 ppm Cd ansteigen. In der Leber werden solche Konzentrationen nicht erreicht. Im übrigen findet weder im Muskelfleisch noch in Milch oder Eiern eine Cadmiumanreicherung statt. Hier pflegen die Werte unter 0,005 ppm Cd zu liegen (KOIVISTOINEN zit. bei BERGLUND 1982).

Eine Arbeit aus Australien (EVANS et al. 1979) soll ausführlicher zitiert werden, da sie ausgezeichnete Daten über

den Weg der Schwermetalle vom Boden über die Pflanzen zum Tier enthält. Die städtischen Abwässer von Melbourne werden seit 1897 auf der Metropolitan Farm verregnet. Der Schwermetallgehalt des Verregnungswassers wurde 1978, schon nach Reduktion der Abwasserlast, mit folgenden Werten angegeben: Cd 0,015 ppm, Cr 0,40 ppm, Cu 0,35 ppm, Pb 0,30 ppm, Ni 0,15 ppm und Zn 0,80 ppm. Teile der Farm, die nie beregnet wurden und solche, die seit 80 Jahren mit Abwasser beregnet worden sind, wurden hinsichtlich ihres Schwermetallgehaltes in Boden, Pflanzen und den Lebern und Nieren der dort weidenden Rinder miteinander verglichen (Tab. 2)

Element	Boden nicht mit Abwasser beregnet (in ppm)			
	Boden	Pflanzen	Leber	Niere
Cadmium	< 0,5	0,19	0,17	1,24
Chrom	13 - 22	2,3	<0,05	<0,05
Kupfer	7 - 14	11	44	19,6
Blei	11 - 29	3,4	0,93	2,24
Nickel	7 - 11	1,9	< 0,05	<0,05
Zink	26 - 66	45	139	111
Mangan	?	36	?	?
Molybdän	?	1,2	1,99	0,7
Eisen	?	?	238	497
Element	Boden seit 80 J. mit Abwasser beregnet (in ppm)			
	Boden	Pflanzen	Leber	Niere
Cadmium	0,5 - 3,9	1,1	0,38(↑)	2,07 ↑
Chrom	90 - 325	15	0,07	0,07
Kupfer	31 - 77	22	5,1 ↓	14,4 (↓)
Blei	56 - 241	12	1,12	1,41
Nickel	25 - 50	6,3	<0,05	0,07
Zink	112 - 374	171	155	95
Mangan	?	43	?	?
Molybdän	?	6,4	2,2	0,7
Eisen	?	?	337	502

Tabelle 2 : Vergleich von Schwermetallgehalten (EVANS et al.)

Weder Pflanzen noch Tiere hätten offensichtliche Schäden gezeigt. Bei den Rindern fanden sich als einzige signifikante Veränderungen leichte Erhöhungen der Cadmiumkonzentrationen in der Niere und eine auffallende Verminderung der Kupferkonzentrationen in der Leber, die auf die Unausgeglichenheit im Angebot der Metalle zurückgeführt wird. Bei den Pflanzen wird ein Wechsel zu resistenten Stämmen in Erwägung gezogen und der erhöhte Molybdängehalt auf eine grössere Verfügbarkeit im Boden bezogen.

Nach all diesen Betrachtungen ergibt sich die Frage nach der Gefährdung des Menschen im Wege der Nahrungskette. FAO und WHO haben 1972 Richtlinien für die vorläufig duldbare wöchentliche Aufnahme der Schwermetalle Quecksilber, Blei und Cadmium in der Nahrung herausgegeben, die natürlich im Indifferenzbereich liegen und zwar mit mehrfacher Sicherung unterhalb der Toleranzgrenze, die für Risikogruppen (das sind etwa 5 % der Bevölkerung) erreicht wäre. Für Quecksilber richtete man sich nach arbeitsmedizinischen und epidemiologischen Erkenntnissen, während für Blei wahrscheinlich der Ist-Zustand der Bleiaufnahme, wie er vom Komitee eingeschätzt wurde, Verwendung fand. Für Cadmium errechnete man den Wert auch nach umfangreichen epidemiologischen Beobachtungen an menschlichen Nieren aus Obduktionsmaterial. Man fand bei langjährig beruflich exponierten Personen Nierenschädigungen im Sinne einer tubulären Dysfunktion bei Cadmiumkonzentrationen von 200 ppm im Gewebe. Unbelastete Personen weisen nach den Untersuchungen aus mehreren Ländern Cd-Nierengehalte von 20 - 30 ppm auf, Raucher können es im Laufe ihres Lebens auf einen bis zu 50 % höheren Cd-Gehalt in der Niere bringen, da beim Inhalieren einer Zigarette 0,1- 0,2 µg Cadmium resorbiert werden. Der kritische Nierengehalt von 200 ppm Cd soll bei einer täglichen Aufnahme von 250 - 400 µg Cadmium aus der Nahrung bei Nichtrauchern nach 50 Jahren erreicht sein. An Stelle des sonst für gefährliche Substanzen üblichen ADI - Wertes (= acceptable daily intake), hat man sich hier wegen der un-

gleichen Schwermetallkonzentrationen in den Mahlzeiten an verschiedenen Tagen für den Wert der wöchentlichen Schwermetallaufnahme entschlossen und ihn als PTWI - Wert (= provisional tolerable weekly intake) bezeichnet. Die Werte können aus Tab. 3 entnommen werden.

<u>Element</u>	<u>pro kg/Körpergewicht</u>	<u>pro Person(70kg)</u>
Blei	50 μg	3,5 mg
Cadmium	7 μg	490 μg
Quecksilber ges.	5 μg	350 μg
davon Methyl-Hg	3,3 μg	230 μg

Tabelle 3: Vorläufig duldbare wöchentliche Aufnahme von Schwermetallen (PTWI)

Für die Ermittlung der tatsächlich von einer Bevölkerung mit der Nahrung aufgenommenen Schwermetallmengen werden derzeit zwei Methoden angewendet:

- 1) die Warenkorb-Methode oder Verzehrsbilanz, die aus den in verschiedensten Lebensmitteln gemessenen Schwermetallkonzentrationen und aus den Verbrauchsmengen der Lebensmittelstatistik errechnet wird,
- 2) die Duplikat-Methode, die aus einer zweiten Essensportion (wie sie tatsächlich verzehrt wurde) den Schwermetallgehalt ermittelt.

Die Werte der Duplikatmethode sind realistischer und niedriger als die der Warenkorbmethode, denn die letztere berücksichtigt nicht die küchentechnische Verarbeitung, das Wegwerfen von Resten und den Küchenabfall. Die Verzehrsmengen werden so zu hoch angesetzt. Ungenauigkeiten können sich ausserdem dadurch ergeben, dass Werte zum Rechnen eingesetzt werden, wo die Schwermetallgehalte unter der Erfassungsgrenze liegen, dass Analysengeräte und Methoden die Werte beeinflussen können. Den Vergleich der beiden Methoden mit Werten aus mehreren Ländern (DIEHL 1982) zeigt Tab.4. Im Vergleich zu "anderen Staaten" (BRD, Niederlande, Grossbritannien) liegt Österreich mit der Schwermetallbelastung im unteren Bereich, aber auch die Werte der

anderen erwähnten Länder liegen sämtlich unter den Richtwerten der FAO/WHO. Für das Rauchen von 20 Zigaretten täglich müssen auf die wöchentliche Cadmiumaufnahme noch 20 - 30 µg aufgeschlagen werden. Starke Raucher können so die mit der Nahrung aufgenommene Cd-Menge verdoppeln.

Element	Aufnahme / Person / Woche			
	Andere Staaten		Österreich 1982	
	Warenkorb	Duplikat	Warenkorb	Duplikat
Blei	0,79-3,86 mg	0,41-1,31 mg	1,38 mg	0,43 mg
Cadmium	110 - 500 µg	80 - 400 µg	470 µg	170 µg
Quecksilber	35 - 205 µg	33 - 150 µg	47 µg	33 µg

Tabelle 4: Vergleich der beiden Methoden zur Erfassung des Schwermetallgehaltes in der Nahrung.

Was nun eventuell etwas höhere Schwermetallgehalte in gelegentlich verzehrten Gerichten (z.B. Nieren, Pilze, Fische oder Spinat) anbetrifft, so fallen sie bei einer abwechslungsreichen und ausgewogenen Ernährung nicht ins Gewicht. Der Verzehr von Innereien betrifft übrigens nur etwa 0,5 % des Fleischkonsums/Person.

Wegen des natürlichen und ubiquitären Vorkommens von Schwermetallen ist es nicht möglich, schwermetallfreie Lebensmittel zu erzeugen. In Hinsicht auf die essentiellen Metalle und ihre antagonistischen Wirkungen ist es auch nicht einmal wünschenswert. Man muss sich hier der Meinung von DIEHL anschliessen, dass es besser ist, für die potentiell schädlichen Metalle niedrige Richtwerte und über dem Ist-Wert liegende Höchstwerte (= Grenzwerte) anzusetzen. Dadurch ist der Verbraucher besser geschützt und wertvolle Lebensmittel können noch genutzt werden. Ursachen für erhöhte Richtwerte sollten allerdings eruiert und abgestellt werden. Eine wichtige Aufgabe ist hier auch in der Kontrolle der Importe (Nahrung für Mensch und Tier) und der aus dem Tierkörperrecycling gewonnenen Futtermittel zu sehen. Für die BRD scheinen die Analysen-

daten der letzten 10 Jahre dafür zu sprechen, dass die Schwermetallrückstände in von Tieren stammenden Lebensmitteln nicht mehr zugenommen haben (HAPKE 1982). Zum allgemeinen Trend finden sich auch bei DIEHL umfassende Angaben. In Amerika, England, Dänemark und Deutschland (BRD) ist ein Rückgang der Bleibelastung des Menschen - auch aus Nahrungsmitteln - zu verzeichnen. Aus Amerika wird ein seit 1913, in England seit 1949 beginnender Rückgang der Quecksilberbelastung des Menschen beobachtet. Eine Verminderung der Quecksilberbelastung von Rheinfischen war seit 1976 festzustellen. Bei der Cadmiumbelastung ist derzeit in England, Schweden und der BRD keine Zunahme zu beobachten.

Aus den Untersuchungen von Flusssedimenten des Rheins (WHO-EURO-Report 1982), die eine Datierung der Schichten aus verschiedener Zeit erlauben, hat man erkennen können, dass schon zu Beginn dieses Jahrhunderts anthropogene Metallverunreinigungen vorhanden waren, die von 1920 bis 1958 sämtlich ständig zunahmen. In den darauf folgenden Jahren bis 1975 nahmen die Konzentrationen von Cadmium, Kupfer und Chrom weiter zu, während eine Abnahme der Konzentrationen von Quecksilber und Blei hauptsächlich auf die Kontrolle der Verunreinigungsquellen zurückzuführen war. Bei Quecksilber war die Regulierung der Abwasserlasten aus der Chlor-Alkali-Industrie wirksam, bei Blei die Verminderung der Konzentrationen in Petroleum. Besonders drastisch war die Senkung der Arsenwerte in den Sedimenten nach dem Verbot von arsenhaltigen Pflanzenschutzmitteln. Man kann die erfreuliche Tatsache zur Kenntnis nehmen, dass Bemühungen und Massnahmen zur Verminderung der Umweltbelastung tatsächlich schon in relativ kurzer Zeit Erfolge zeitigen können.

Aus den Arbeiten aller Autoren geht hervor, dass zur Zeit kein Anlass besteht, eine Gesundheitsgefährdung durch die Schwermetalle Blei, Quecksilber und Cadmium aus der Nahrung anzunehmen. Ebenso klar geht aber auch hervor, dass

eine stärkere Schwermetallanreicherung im Boden und im Oberflächenwasser nicht zugelassen werden soll. Alle Bemühungen müssen darauf gerichtet sein, die Konzentrationen potentiell toxischer Schwermetalle im Abwasser - und in der Folge auch im Klärschlamm - so niedrig wie möglich zu halten. Dies kann nur durch die weitgehende Rückhaltung der Schwermetalle beim Emittenten geschehen. Darüber hinaus könnte noch eine dem jeweiligen Boden angepasste Spezialbehandlung des Klärschlammes zur Minderung einer eventuellen Toxizität in Erwägung gezogen werden.

Hofrat
Ruth-E. Gusinde, Dr.
Getreidegasse 13
9020 KLAGENFURT

Literaturhinweise

- BERGLUND S.: Plant uptake of cadmium, summary of Swedish investigations up to and including 1981. CEC-Konferenz Stevenage 1982
- DIEHL J.F.: Schwermetallgehalte in der Nahrung - Werden die Grenzwerte der duldbaren Belastung überschritten? 94.VDLUFA-Kongress Münster 1982
- EICHHOLTZ F.: Lehrbuch der Pharmakologie, 9. Aufl. Verl. Springer Berlin, Heidelberg 1957
- EVANS K.J., G. MITCHELL u. B. SALAU: Heavy plant accumulation in soils irrigated by sewage and effect in the plant-animal system. Prog. Wat. Tech. Bd. 11, 1979
- GRÜNDER H.D.: Belastungsgrenzen für Schwermetalle bei Hauswiederkäuern. 94.VDLUFA-Kongress Münster 1982
- HANSEN J.A. u. J.C. TJELL: Sludge application to land - overview of the cadmium problem. CEC-Konferenz Stevenage 1982
- HAPKE H.J.: Schwermetalle in der Nahrungskette - Belastungsgrenzen für Mensch und Tier. 94.VDLUFA-Kongress Münster 1982
- KROCZA W., H. PECHLANER u. M. WETSCHER: Studie über den Quecksilbergehalt von Fischen aus Gewässern des Landes Tirol. Wiener tierärztl. Monatschr. 60. Jhrg. 1973

- KROCZA W., P. GLANTSCHNIG u. W. STÖCKL: Über den Quecksilbergehalt von Fischen aus Seen des Landes Kärnten.
Wiener tierärztl. Monatsschr. 61. Jhrg. 1974
- KROCZA W. u. W. HAIDL: Zur Frage der Toleranzgrenze von Quecksilber in Fischen.
Österreichs Fischerei 28. Jhrg. 1975
- KRUSE R.: Erfahrungen bei der Spurenanalyse von Quecksilber, Blei, Cadmium in Fischen unter Anwendung moderner Bestimmungsverfahren.
Fisch und Umwelt 9. Jhrg. 1981
- NUSSHAG W.: Hygiene der Haustiere.
S. Hirzel Verlag Leipzig 1954
- ROSOPULO A. u. TH. DIETZ: Die Anreicherung von Schwermetallen verschiedener auf kontaminierten Böden angebauter Pflanzen.
93. VDLUFA-Kongress 1981
- SHERLOCK J.C.: The intake by man of cadmium from sludged land.
CEC-Konferenz Stevenage 1982
- UNDERWOOD E.J.: Environmental sources of heavy metals and their toxicity to man and animals.
Prog. Wat. Tech. Bd. 11 1979
- WHO-EURO REPORTS and STUDIES 16: Health effects of the removal of substances occurring naturally in drinking water.
Regional Office for Europe, Copenhagen 1979
- WHO-EURO REPORTS and STUDIES 61: Micropollutants in river sediments.
Regional Office for Europe, Copenhagen 1982
- WISSMATH P. u. J. KLEIN: Die Schwermetallbelastung von Fischen.
Fisch und Umwelt 9. Jhrg. 1981

ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN SCHWERMETALLGEHALTEN IM KLÄRSCHLAMM, IM BODEN UND IN DER PFLANZE

Th. Diez

1. EINLEITUNG

In der Diskussion um den Bodenschutz nehmen die Schwermetalle einen breiten Raum ein. Schwermetalle können auf verschiedenen Wegen in den Boden gelangen, ein relativ starker Eintrag erfolgt derzeit auf etwa 3 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland durch die landwirtschaftliche Klärschlamm-Verwertung. Da Klärschlämme in der Regel ein Vielfaches an Schwermetallen enthalten als Böden, muß die Klärschlammdüngung der Felder zu einer Schwermetall-Anreicherung in den Böden führen.

Für die Frage der landwirtschaftlichen Klärschlamm-Verwertung ist es entscheidend, wie diese Schwermetall-Anreicherung zu beurteilen ist

- a) im Hinblick auf die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit,
- b) im Hinblick auf den Schwermetall-Transfer Boden - Pflanze, d. h. auf die gesundheitliche Unbedenklichkeit der auf solchen Böden gewachsenen Pflanzen.

Über die Wirkung von Schwermetallen im Boden auf das Pflanzenwachstum gibt es eine sehr umfangreiche Literatur.

Bekannt ist, daß eine Reihe von Schwermetallen zu den essentiellen Nährstoffen gehört und daß ein zu geringes Angebot zu Ernährungsstörungen der Pflanzen führt (Spurenelementemangel). Ähnliche Wirkungen hat auch ein Überangebot an diesen Elementen (Schwermetall-Toxizität). Darüber hat kürzlich SAUERBECK umfassend berichtet (1982).

Bekannt ist, daß einige Schwermetalle im Boden sehr wenig beweglich, d. h. unter anderem auch wenig pflanzenverfügbar sind, während andere eine relativ hohe Mobilität besitzen. Zu letzteren gehören Zn und Cd.

Bekannt ist weiterhin, daß die Mobilität der Schwermetalle vom Säuregrad des Bodens abhängig ist. Sie steigt mit abnehmendem pH-Wert für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Molybdän. Von der Schwermetall-

Einlagerung in die Pflanze sind in erster Linie die vegetativen Organe betroffen, also Wurzeln, Blätter, Stengel.

Viele dieser Zusammenhänge wurden durch Modellversuche mit Schwermetall-Lösungen in Gefäßen ermittelt. Dagegen sind Langzeitversuche mit Klärschlamm unter natürlichen Bedingungen immer noch ziemlich selten. Sie sind jedoch um so notwendiger, als sich die über Klärschlämme dem Boden zugeführten Schwermetalle meist anders verhalten als lösliche Schwermetall-Salze. Relevante Aussagen über Wirkungen von Schwermetallen auf das Pflanzenwachstum und den Schwermetall-Transfer Boden - Pflanze sind letztlich nur unter praxisnahen Bedingungen, d. h. in der Regel von langjährig beschlammten Flächen zu erhalten.

Im folgenden soll über einige an der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau durchgeführte Untersuchungen an Klärschlamm-Langzeitversuchen und langjährig beschlammten Böden berichtet werden, soweit sie zu der Themenstellung beitragen können. Da die Versuche noch nicht abgeschlossen sind, handelt es sich um eine Zwischenbilanz.

2. ERGEBNISSE

2.1 Klärschlammversuche mit relativ niedrigen Klärschlammgaben auf Ackerland (Puch)

Böden: 1) Parabraunerde aus Löß, schluffiger Lehm, pH 6,3

2) Parabraunerde aus Kalkschotter, sandiger Lehm, pH 6,4

Klärschlammausbringung von

1972 - 1982 100 m³ Naßschlamm/ha und Jahr, entsprechend 5,5 t Klärschlamm-TS/ha und Jahr, entsprechend ca. 60 t Klärschlamm-TS/ha in 11 Jahren.

Derartige Klärschlamm-Mengen waren bei Versuchsanlage in der Landwirtschaft durchaus üblich. Heute liegen sie um mehr als das Dreifache über der nach der Klärschlamm-Verordnung höchstzulässigen Menge von 1,67 t/ha · a. Unter Zugrundelegung dieser Menge würden zur Ausbringung von 60 t Klärschlamm-TS etwa 36 Jahre benötigt. Wie Tabelle 1 zeigt handelt es sich um Schlämme mit relativ hohen Zn- und Cd-Gehalten.

Tabelle 1: Schwermetall-Zufuhr durch Klärschlamm (KS) und Schwermetallanreicherung im Boden

	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Schwermetall-Gehalte im Klärschlamm, mg/kg	379	3263	130	56	224	16
Schwermetall-Zufuhr mit 60 t TS, kg/ha	22,7	196	7,8	3,4	13,4	1,0
Schwermetall-Gehalte im Boden nach 11-jähriger Beschlämmung (1982)						
Lößboden ohne KS	18	69	25	22	23	0,10
Lößboden mit KS	25	141	27	24	27	0,45
Schotterboden ohne KS	17	72	24	20	32	0,15
Schotterboden mit KS	26	149	29	21	38	0,50

Die hohen Zn- und Cd-Gehalte im Klärschlamm spiegeln sich auch in relativ hohen Anstiegen dieser Elementgehalte im Boden (Tabelle 1). Daß die Schwermetall-Einträge durch die Bodenuntersuchung (Königswasser-aufschluß, Bestimmung im Atomabsorptionsspektrometer) gut erfaßt wurden, zeigt die relativ gute Übereinstimmung zwischen der rechnerisch und der analytisch ermittelten Anreicherung. Eine höhere Wiederfindungsrate kann angesichts der natürlichen Heterogenität der Böden und der Unmöglichkeit einer exakten Klärschlamm-Mengendosierung und -verteilung in der Praxis nicht erwartet werden. Der Versuch zeigt, daß man aus der Schwermetall-Belastung des Klärschlammes und der aufgetragenen Klärschlamm-Menge die Schwermetall-Anreicherung im Boden für Überwachungszwecke hinreichend genau berechnen kann.

Tabelle 2: Vergleich zwischen theoretisch möglichem* und analytisch ermitteltem Anstieg der Schwermetall-Gehalte im Boden (mg/kg)

	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
theoretisch möglich	7,56	65,33	2,60	1,13	4,46	0,33
analytisch (Lößboden)	7	72	2	2	4	0,35
analytisch (Schotterboden)	9	77	5	1	6	0,35

*) bezogen auf ein Krumengewicht von 3 Mio kg

Tabelle 3: Schwermetall-Gehalte in den Pflanzen (mg/kg), Ernte 1983

Lößboden		Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Weizen Korn	ohne KS	3,4	55	<0,5	1,3	<1,0	<0,1
	mit KS	4,1	81	<0,5	1,4	<1,0	<0,1
Gerste Korn	ohne KS	3,8	26	<0,5	<1,0*	<1,0	<0,1
	mit KS	4,5	36	<0,5	<1,0*	<1,0	<0,1
Zuckerrübe Körper	ohne KS	5,6	27	1,1	1,4	<1,0	0,32
	mit KS	7,8	54	1,2	1,8	1,9	0,40
Zuckerrübe Blatt	ohne KS	6,8	337	2,9	2,6	3,9	0,48
	mit KS	8,8	233	2,8	2,1	3,5	0,51
<u>Schotterboden</u>							
Weizen Korn	ohne KS	3,4	25	<0,5	<1,0	<1,0	<0,1
	mit KS	4,2	41	<0,5	<1,0	<1,0	<0,1
Gerste Korn	ohne KS	3,7	25	<0,5	<1,0*	<1,0	<0,1
	mit KS	4,3	32	<0,5	<1,0*	<1,0	<0,1
Kartoffeln Knollen	ohne KS	3,8	49	0,6	2,3	<1,0	<0,5
	mit KS	5,3	50	0,6	1,5	<1,0	<0,5

*) Ernte 1982

Wie sich die Schwermetall-Anreicherung im Boden auf die Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen auswirkt geht aus Tabelle 3 hervor. Deutlich erhöhte Pflanzengehalte auf den beschlammten Parzellen finden sich nur bei den Elementen Cu und Zn, bei Zink ausgeprägter als bei Kupfer. Die Cd-Anreicherung im Boden liegt anscheinend auch in den beschlammten Flächen noch so niedrig, daß ihre Auswirkung auf die Pflanzengehalte mit der Standard-Analytik (Flammen-AAS) nicht erfaßbar ist. Dasselbe gilt im wesentlichen auch für das Blei und, wie Stichprobenuntersuchungen gezeigt haben, für Quecksilber. Insgesamt bewegen sich auch die Schwermetallgehalte der Pflanzen der Beschlammungsparzellen noch im Rahmen normaler Pflanzengehalte.

2.2 Klärschlammversuche mit extrem hohen Klärschlammgaben auf Ackerland

2.2.1 Gut gepufferter Boden (Großlappen)

Kritische Grenzen der Schwermetall-Belastung von Böden werden bei üblichen Klärschlamm-Gaben, wie die beiden vorgenannten Versuche gezeigt

haben, offensichtlich erst nach sehr langer Beschlammungsdauer erreicht. Es liegt deshalb nahe, solche kritischen Belastungen dort zu suchen, wo durch eine langjährige Beschlammungspraxis bereits hohe Schwermetall-Gehalte zu erwarten sind. Solche Böden bieten sich auf der im Norden Münchens gelegenen ehemaligen Klärschlamm-Verwertungsfläche der Stadt München an. Die landwirtschaftliche Klärschlamm-Verwertung lief dort seit Eröffnung der Kläranlage im Jahr 1925 bis 1978. In den letzten Jahrzehnten wurden hier sehr große Klärschlamm-Mengen (bis zu 100 t TS/ha in einer Gabe) mit sehr hohen Schwermetallgehalten aufgebracht. Diese Böden zählen heute zu den stärksten belasteten Böden, die wir in Bayern haben (DIEZ und ROSOPULO, 1976). Auf einer solchen Fläche wurde 1980 ein Versuch mit 12 verschiedenen Früchten angelegt, um die Wirkung hoher Schwermetall-Konzentrationen im Boden auf Wachstum und Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen fruchtspezifisch zu untersuchen. Eine weitere Versuchsfrage war die Beeinflussung der Schwermetall-Transfers durch hohe Kalkgaben. Zu diesem Zweck wurde ein Teil der Versuchsfläche mit 400 t Kalk-Klärschlamm-TS, einer Mischung von entwässertem Klärschlamm und Branntkalk im Verhältnis 1 : 0,7, abgedüngt. Der weit über den heutigen Grenzwerten liegende Belastungsgrad der Böden geht aus Tabelle 4 hervor.

Tabelle 4: Schwermetall-Gehalte im Boden (mg/kg), Probenahme 1982

	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Altlastfläche (AF)	270	1464	203	65	1216	42
AF + Kalk-Klärschlamm (CaKS)	270	1464	200	66	1154	40

Tabelle 5 zeigt, wie die Pflanzen auf diese extreme Schwermetall-Belastung der Böden und eine zusätzliche massive Kalkzuführung reagieren. Stellvertretend für die geprüften 12 Früchte sollen hier nur drei Pflanzenarten aus der vorletzten Ernte dargestellt werden.

Boden: Pararendzina aus Kalkschotter

(vor der Beschlammung etwa 20, jetzt 35 - 40 cm mächtig)

sandig-schluffiger Lehm, pH 6,6

Tabelle 5: Schwermetall-Gehalte in den Pflanzen (mg/kg TS), Ernte 1983
Winterweizen, Kartoffeln, Weidelgras

		Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Winterweizen Korn	AF	5,6	148	<0,5	0,6	0,8	1,4
	CaKS	6,2	104	<0,5	<0,5	<0,5	0,8
Kartoffeln Knollen	AF	13,9	63	0,8	2,2	2,4	0,7
	CaKS	14,3	45	0,7	1,5	2,1	0,6
Weidelgras (1. Schnitt)	AF	7,8	78	6,7	2,4	2,4	1,1
	CaKS	10,0	67	8,3	2,8	2,2	0,8

Bedenklich ist vor allem der hohe Cd-Gehalt von Weizen auf den Altlastflächen, der den Richtwert von 0,1mg/kg (KÄFERSTEIN u. a., 1979) um mehr als eine Zehnerpotenz überschreitet. Auch der Cd-Wert der Kartoffeln liegt noch darüber, allerdings nur geringfügig, wenn man den TS-Wert auf Frischsubstanz (auf die sich der Richtwert bezieht) umrechnet. Auch der Blei-Richtwert von 0,5 (Getreide) bzw. 0,2 mg/kg (Kartoffel) wird von beiden Nahrungspflanzen überschritten. Erhöhte, wenn auch nicht kritische Gehalte finden sich bei Zink und Kupfer (alle Früchte).

Durch die Kalkzufuhr konnten besonders die gefährlich hohen Gehalte an Cd aber auch die der meisten anderen Elemente deutlich gesenkt werden - ein Ergebnis, das uns veranlaßt hat, der Stadt München vorzuschlagen, die extrem stark belasteten Altlastflächen mit dem derzeit auf die Deponie gefahrenen Kalk-Klärschlamm weiter zu beschlammern. Auf diese Weise ließe sich die Lösung der Entsorgungsprobleme mit einer zumindest teilweisen Sanierung der belasteten Flächen - noch dazu äußerst kostengünstig - verbinden. Leider steht dieser Lösung die zur Zeit geltende Klärschlamm-Verordnung im Weg.

Bemerkenswert bei diesem Kalk-Klärschlammversuch ist noch folgendes: Die extrem hohen Schwermetall-Gehalte im Boden haben bisher zu keinen Wachstumsstörungen geführt, übrigens auch die hohen Gaben an Kalk-Klärschlamm nicht. Das Ertragsniveau - und dies ist aus den langjährigen Ernteergebnissen des Betriebes zu ersehen - ist durch die Beschlämmung erheblich angestiegen, die Böden sind also, gemessen an den Erträgen, sehr viel fruchtbarer geworden.

Daß dies so ist, hängt sicherlich mit der hohen Pufferkapazität der Münchner Böden zusammen. Um die Reaktion der Pflanzen bei hoher Schwermetall-Belastung auf einem schlecht gepufferten Boden zu untersuchen, wurde 1976 mit großen Mengen Münchner Klärschlammes der nachstehend beschriebene Versuch angelegt.

2.2.2 Schlecht gepuffertter Boden (Baumannshof)

Boden: Braunerde, schwach lehmiger Sand, pH 5,5

Klärschlamm-Ausbringung 1976 einmalig 100, 230, 300 und 690 t TS/ha

Tabelle 6 zeigt, wie sich in Abhängigkeit von der Beschlammungsintensität die Schwermetall-Gehalte und einige Bodenkennwerte verändert haben.

Tabelle 6: Bodenkennwerte und Schwermetall-Gehalte im Boden 1982

KS, t/ha	pH	C _t %	Cu	Zn	Cr mg/kg TS	Ni	Pb	Cd
ohne	5,5	1,72	8	30	27	9	24	0,4
100	6,2	1,77	22	109	38	12	120	3,4
230	6,3	2,18	41	199	56	16	230	6,8
300	6,5	2,07	57	274	58	19	296	9,5
690	6,6	2,89	122	580	119	33	672	23,0

In Abbildung 1 ist die Schwermetall-Aufnahme einiger landwirtschaftlicher Kulturarten und Gemüsepflanzen in Abhängigkeit von der Schwermetall-Konzentration des Bodens am Beispiel des Cadmiums dargestellt. Folgendes fällt auf:

- Die Cd-Gehalte der landwirtschaftlichen Kulturarten (Weizen, Kartoffeln, Klee gras) sind auf dem schlecht gepufferten Boden entgegen der Erwartung keineswegs höher als auf dem gut gepufferten.
- Die zunächst steigenden Aufnahmekurven flachen mit zunehmenden Bodengehalten ab, zum Teil weisen sie sogar abwärts gerichtete Tendenz auf. Zwischen Boden- und Pflanzengehalten besteht deshalb scheinbar keine lineare Beziehung (DIEZ, 1982).

Tatsächlich läßt sich diese Frage jedoch an diesem Versuch nicht beantworten, da mit zunehmendem Schlammauftrag nicht nur die Schwermetall-Gehalte, sondern auch der pH-Wert und der Humusgehalt (C_t) angestiegen sind. Die massiven Schlammgaben haben den Boden nicht nur mit Schwermetallen belastet, sondern gleichzeitig auch sein Puffervermögen beträchtlich erhöht.

Die gleiche Tendenz ist auch bei den nachgebauten gärtnerischen Kulturen Salat und Spinat erkennbar, allerdings auf sehr viel höherem Niveau. Bekanntlich gehören die Blattgemüsearten zu den am stärksten Cd-aufnehmenden Kulturarten.

Auch auf diesem Standort hat die starke Schwermetall-Anreicherung nicht zu Wachstumsstörungen geführt, abgesehen von gelegentlich leichten, durch die pH-Erhöhung ausgelösten Mn-Mangelercheinungen in Trockenperioden.

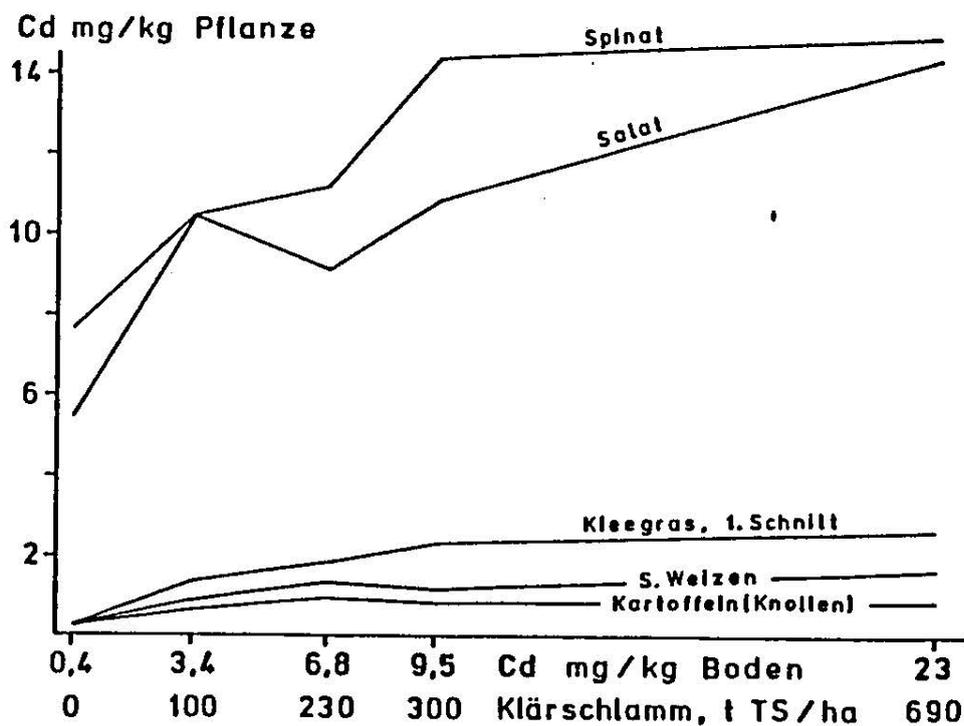


Abb. 1: Beziehungen zwischen Boden- und Pflanzen-Cadmiumgehalten bei verschiedenen Kulturpflanzen in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften

2.3 Klärschlamm-Versuch mit praxisüblichen Klärschlamm-Gaben auf Grünland

Im Gegensatz zu Ackerland erfolgt bei Klärschlamm-Ausbringung auf Grünland keine Vermischung mit dem Krumboden. Wegen ihrer relativen Unbeweglichkeit reichern sich die Schwermetalle deshalb in der obersten Bodenschicht schnell an. Da diese von den Grünlandpflanzen besonders stark durchwurzelt wird, ist bei gleicher Schwermetall-Zufuhr wie auf dem Acker mit einem erhöhten Schwermetall-Transfer zu rechnen. Der nachstehend beschriebene Versuch sollte diese Thesen überprüfen.

Boden: Braunerde aus Oberer Süßwassermolasse,
sandig-schluffiger Lehm, pH um 5,8,
Dauergrünland im Voralpengebiet.

Klärschlammausbringung von 1975 - 1982

50 bzw. 100 m³ Naßschlamm/ha und Jahr
entsprechend 1,5 bzw. 3 t TS/ha und Jahr,
entsprechend 12 bzw. 24 t TS/ha in 8 Jahren.

Die verwendeten Klärschlämme wiesen durchschnittliche Schwermetall-Gehalte auf, mit Ausnahme von Cd, dessen Gehalt den Grenzwert nach der geltenden Klärschlamm-Verordnung fast um das Doppelte überstieg. Entsprechend der oben genannten Hypothese wurden die Bodenproben der Krume für die Tiefen 0 - 2, 2 - 6 und 6 - 20 cm getrennt entnommen (Tabelle 7).

Ein Vergleich der unbeschlammten und beschlammten Flächen zeigt, daß die Schwermetall-Anreicherung zum großen Teil in den obersten zwei Zentimetern stattfindet. Auch die zweite Tiefe (2-6 cm) weist deutlich erhöhte Gehalte auf. Dies gilt besonders für die Cd-, Zn- und Cu-Gehalte. Berücksichtigt man die unterschiedliche Schichtdicke und das nach unten zunehmende Raumgewicht des Bodens, so dürfte sich die zugeführte Cd-Fracht ungefähr je zur Hälfte auf die beiden oberen untersuchten Schichten verteilen. Dagegen bleibt die Schicht 6-20 cm völlig unbeeinflusst, und zwar von allen untersuchten Elementen. Dies bestätigt die Auffassung, daß Schwermetalle in gut gepufferten Böden nahezu unbeweglich sind.

Tabelle 7: Schwermetall-Gehalte im Klärschlamm und Schwermetall-Anreicherung im Boden nach 8jähriger Beschlämmung (mg/kg)

		Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Schwermetall-Gehalte im Klärschlamm							
Mittelwerte		358	2312	139	113	173	35
Schwermetall-Gehalte im Boden (1982)							
ohne KS	0-2 cm	25	118	60	30	44	0,7
	2-6 cm	24	122	60	30	40	0,5
	6-20 cm	22	112	40	30	33	0,3
mit KS 50 m ³ /ha	0-2 cm	42	214	69	31	49	1,8
	2-6 cm	29	138	60	29	41	0,9
	6-20 cm	22	96	38	31	32	0,2
mit KS 100 m ³ /ha	0-2 cm	53	266	67	31	51	2,9
	2-6 cm	38	160	70	30	42	1,3
	6-20 cm	23	100	38	30	31	0,3

Wie sich die Schwermetall-Anreicherung der Oberkrume auf die Schwermetall-Gehalte des Aufwuchses auswirkt, zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Schwermetall-Gehalte im Aufwuchs (mg/kg TS),
Mittel aus 1. und 2. Schnitt 1983

	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd *
ohne Klärschlamm	6,2	40	2,0	2,3	2,6	0,16
mit Klärschlamm 50 m ³ /ha · a	6,1	37	2,8	2,7	3,2	0,26
Mit Klärschlamm 100 m ³ /ha · a	5,8	42	2,4	2,4	2,3	0,32

*) Ernte 1981

Eine eindeutige Korrelation zwischen der Schwermetall-Belastung des Bodens und des Aufwuchses besteht nur beim Element Cadmium, hier aller-

dings eine fast lineare. Die mit Klärschlamm in 8 Jahren zugeführte Cd-Menge von insgesamt 840 g/ha hat zu einer Verdoppelung der Cd-Belastung des Futters geführt. Das heißt bei geradliniger Fortsetzung dieses Trends würde der angestrebte Richtwert von 1 mg/kg im Futter nach 42 Jahren Beschlämmung erreicht sein.

2.4 Schwermetall-Transfer Boden - Pflanze in Abhängigkeit von der Schwermetall-Belastung des Bodens

Aus den vorstehend geschilderten Versuchen wurde bereits deutlich, daß die Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen von der Schwermetall-Konzentration im Boden abhängt. Gesucht wird nach einer mathematischen Formel, mittels der die Schwermetall-Gehalte der Pflanze aus den Schwermetall-Gehalten des Bodens zu errechnen sind. In der Praxis stellte sich für uns diese Frage, als für ein Belastungsgebiet gefordert wurde, den Cd-Grenzwert im Boden festzulegen, bei dessen Überschreitung mit nicht mehr tolerierbaren Cd-Gehalten in Nahrungspflanzen zu rechnen sei.

Im Gegensatz zu den in der Klärschlamm-Verordnung festgelegten Schwermetall-Grenzwerten, die lediglich das weitere Aufbringen von Klärschlamm verbieten, müßte eine Überschreitung dieses Grenzwertes Anbaubeschränkungen zur Folge haben.

Eine solche allgemeine Formel gibt es noch nicht und wird es nie geben, weil

- die Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen auf Grund ihres Wahlvermögens je nach Pflanzenart sehr verschieden ist
- Standorteinflüsse, insbesondere pH-Wert, Ton- und Humusgehalt, die Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen beeinflussen
- die Schwermetall-Aufnahme der Pflanzen je Ertragseinheit, ebenso wie die Aufnahme der Hauptnährstoffe, von Jahr zu Jahr witterungsbedingt starken Schwankungen unterliegt.

Das heißt nicht, daß es solch eine Formel für einen bestimmten Standort für eine bestimmte Pflanzenart nicht geben kann.

Auf den bereits erwähnten mehr oder weniger stark Schwermetall-belasteten Flächen im Münchner Norden hatten wir Gelegenheit, eine für die Ableitung einer mathematischen Beziehung genügend große Zahl von Boden- und Pflanzenproben hinsichtlich ihrer Schwermetall-Gehalte zu korrelieren. Gute Korrelationen fanden sich, wie in den bereits geschilderten Versuchen, für die Elemente Cu, Zn und Cd. Darüber wurde bereits ausführlich berichtet (ROSOPULO, DIEZ, 1981). Auszugsweise seien hier nur die Korrelationen für Cd nochmals wiedergegeben.

Tabelle 9: Regressionsgleichungen aus den Cadmiumgehalten in Böden und Pflanzen der Erntejahre 1979 (A) und 1980 (B)
(Grafische Darstellung siehe Abb. 2)

Frucht		n	$Y_{\text{Korn}} =$	r	$Y_{\text{Stroh}} =$	r
Hafer	A	6	$0,030x + 0,12$	0,92	$0,045x + 0,24$	0,90
	B	3	$0,026x + 0,16$	0,98	-	-
W.Weizen	A	21	$0,016x + 0,24$	0,64	$0,049x + 0,48$	0,58
	B	10	$0,030x + 0,11$	0,95	-	-
W.Gerste	A	8	$0,016x + 0,18$	0,79	$0,045x - 0,10$	0,80
	B	4	$0,025x + 0,00$	0,97	-	-
Mais	A	12	$0,015x + 0,04$	0,93	$0,500x - 0,11$	0,94
	B	11	$0,004x + 0,05$	0,72	$0,305x - 0,19$	0,88
Roggen	A	5	$0,005x + 0,12$	0,84	$0,011x + 0,14$	0,90
	B	12	$0,006x + 0,13$	0,83	-	-
S.Gerste	A	23	$0,006x + 0,03$	0,79	$0,014x + 0,15$	0,70
	B	17	$0,005x + 0,05$	0,51	-	-
Kartoffeln	A	13	$0,026x + 0,21$	0,88	-	-
	B	12	$0,011x + 0,21$	0,65	-	-

Y_{Korn} = Gehalt in Korn (mg/kg TS),

Y_{Stroh} = Gehalt in Stroh (mg/kg TS),

x = Gehalt in Boden (mg/kg luft-trocken)

r = Korrelationskoeffizient

n = Zahl der Standorte

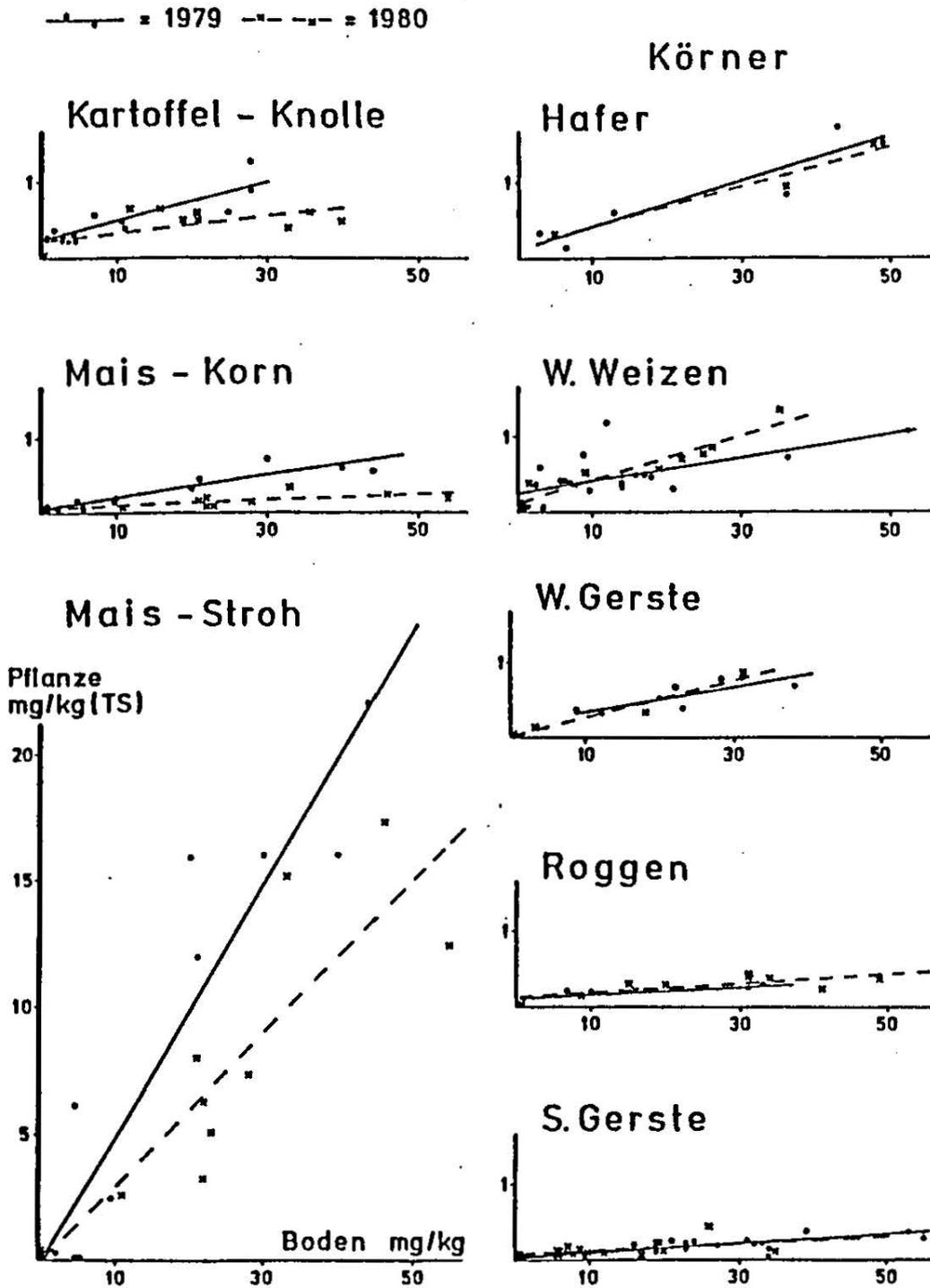


Abbildung 2: Cadmium-Aufnahme durch die Pflanzen in Abhängigkeit vom Cadmium-Gehalt des Bodens

Wie die Abbildung 2 erkennen läßt, hat jede der untersuchten Fruchtarten eine eigene Regressionsgleichung, die zudem nur für die Vegetationsperiode eines Jahres gilt. Aus der Steigung der Geraden ist zu ersehen, daß die einzelnen Fruchtarten auf zunehmende Cd-Gehalte im Boden sehr unterschiedlich reagieren. Relativ stark wird Cd von den Getreidearten Hafer, Weizen und Wintergerste aufgenommen, relativ schwach von Roggen und Sommergerste. Die bekanntlich stärkere Cd-Einlagerung in die vegetativen Organe zeigt eindrucksvoll die unterschiedliche Steigung der Geraden von Mais-Korn und Mais-Stroh.

Die Beziehungen sind in der Mehrzahl gut gesichert (vgl. Tab. 9). Noch bessere Korrelationen wären wahrscheinlich zu erzielen gewesen, wenn die Schwermetalle im CaCl_2 -Auszug bestimmt worden wären (STYPEREK und SAUERBECK, 1984).

3. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Beziehungen zwischen Schwermetall-Gehalten in Klärschlamm, in Böden und Pflanzen werden anhand mehrerer Langzeitversuche auf Acker- und Grünland dargestellt. Aus Erhebungsuntersuchungen von mehr oder weniger stark belasteten Böden und ihrem Aufwuchs wurde versucht, eine mathematische Korrelation zwischen Boden- und Pflanzengehalten abzuleiten. Die Ergebnisse und die daraus zu ziehenden Schlußfolgerungen stellen sich wie folgt dar:

1. Eine Schwermetall-Anreicherung im Ackerboden läßt sich nach einer Klärschlamm-Düngung, die einer mindestens 30jährigen Beschlämmung im Rahmen der Klärschlamm-Verordnung entspricht, deutlich nachweisen. Die analytisch im Boden gefundene Schwermetall-Anreicherung (Gesamtgehalte) stimmt annähernd mit der rechnerisch ermittelten Schwermetall-Zufuhr überein. Mit zunehmender Bodenbelastung steigen auch die Schwermetall-Gehalte in den Pflanzen, sie bleiben jedoch für die ersten Jahrzehnte der Beschlämmung weit unterhalb kritischer Grenzwerte.
2. Klärschlamm-Anwendung auf Grünland führt relativ schnell zu starker Schwermetall-Anreicherung in den obersten, am stärksten durch-

wurzelten Zentimetern der Krume. Das eigentliche Problemelement ist wegen seiner guten Pflanzenverfügbarkeit und Giftigkeit das Cadmium. Mit der Cadmium-Anreicherung in der Oberkrume steigen die Cd-Gehalte im Aufwuchs wesentlich stärker als die der meisten Feldfrüchte bei entsprechender Beschlämmung von Ackerland. Die Klärschlammverwertung auf Grünland ist deshalb (und nicht nur aus hygienischen Gründen) kritischer zu betrachten als die auf Ackerland.

3. Auch bei einer um das Vielfache über den derzeitigen Grenzwerten liegenden Schwermetall-Belastung wird das Pflanzenwachstum auf gut gepufferten Böden anscheinend nicht beeinträchtigt. Dagegen kann die Schwermetall-Anreicherung in den Pflanzen Werte erreichen, die ihre Verwertung als Nahrungspflanzen in Frage stellen. Durch starke Kalkzufuhr läßt sich die Schwermetall(Cd)-Aufnahme auch auf basenreichen Böden beträchtlich senken.
4. Schlecht gepufferte Böden erfahren durch hohe Klärschlamm-Gaben eine so starke Veränderung (Humus- und Basenanreicherung), daß die befürchteten Schädwirkungen hoher Schwermetall-Zufuhren zumindest kurzfristig nicht stärker in Erscheinung treten als auf ursprünglich gut gepufferten Böden.
5. Eine gute Korrelation zwischen Boden- und Pflanzengehalten besteht nur für die Elemente Cadmium, Zink und mit Einschränkung für Kupfer. Sie ist jedoch frucht- und standortspezifisch und ändert sich witterungsbedingt von Jahr zu Jahr.

Die Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Schwermetall-Gehalten im Klärschlamm, im Boden und in der Pflanze ist notwendig, um die unterschiedliche Belastbarkeit der Böden herauszufinden.

Wo die Grenzen der Schwermetall-Belastbarkeit von Böden zu ziehen sind, ist weniger ein pflanzenphysiologisches als ein humantoxikologisches Problem. Die Ärzte müssen uns sagen, welche Schwermetall-Gehalte in der Nahrung sie tolerieren können, wir müssen herausfinden, bis zu welcher Grenze wir welche Böden mit Schwermetallen belasten können, daß diese Gehalte in Pflanzen bzw. den daraus hergestellten Nahrungsmitteln nicht überschritten werden.

Dr. DIEZ, Theodor, Landwirtschaftsdirektor
Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
Menzinger Straße 54
D-8000 München 19

Literaturhinweise:

- DIEZ, TH. und ROSOPULO, A.: Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen nach extrem hohen Klärschlammgaben.
Landwirtschaftl. Forsch., Sh. 33/I, Kongreßband 1976
- DIEZ, Th.: Einfluß der Klärschlammbehandlung und der Beschlam-
mungsintensität auf den Schwermetalltransfer Boden -
Pflanze.
Landwirtschaftl. Forsch., Sh. 39, Kongreßband 1982
- KÄFERSTEIN, F.K. u. a.: Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf
Lebensmitteln.
ZEBS-Berichte 1/1979, Dietrich Reimer Verlag
- ROSOPULO, A. und DIEZ, TH.: Anreicherung von Schwermetallen ver-
schiedener auf kontaminierten Böden angebaute
Pflanzen.
Landwirtschaftl. Forsch., Sh. 38, Kongreßband 1981
- SAUERBECK, D.: Welche Schwermetall-Gehalte in Pflanzen dürfen nicht
überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen
zu vermeiden?
Landwirtschaftl. Forsch., Sh. 39, Kongreßband 1982
- STYPEREK, P. und SAUERBECK, D.: Eignung von chemischen Extraktions-
verfahren zur Abschätzung des pflanzenverfügbaren
Cd und Zn in verschiedenen Böden und Substraten.
Landwirtschaftl. Forsch., Sh. 41, Kongreßband 1984
(im Druck)

UNTERSUCHUNGEN
FÜR
EINE GEORDNETE
KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG

H. Messiner

1. ALLGEMEINES

Klärschlamm ist das Produkt, das beim Reinigungsprozeß von Abwasser entsteht. Dieser Klärschlamm, der täglich anfällt, muß aus der Kläranlage entfernt und in irgend einer Weise beseitigt werden. Dabei ergibt sich die Frage, inwieweit ein solcher Schlamm nützlich verwertet werden kann. Klärschlamm besteht in der Trockenmasse etwa zu 50% aus organischer Substanz; daneben sind etwa je 3 - 5 % Stickstoff und Phosphor sowie Calcium und Magnesium enthalten. Alle diese Stoffe lassen sich in der Landwirtschaft als Pflanzennährstoffe bzw. Bodenhilfsstoffe einsetzen.

Da Klärschlamm aber auch schädliche Stoffe, insbesondere Schwermetalle in größeren Mengen enthalten kann, ist nicht jeder Klärschlamm für den Einsatz in der Landwirtschaft geeignet. Solche belastete Klärschlämme müssen auf Sonderabfalldeponien abgelagert werden. Hierzu sind große Aufwendungen erforderlich und auch die gefüllte Deponie muß weiter kontrolliert werden.

Man kann auch landwirtschaftlich verwertbare Klärschlämme auf Deponien bringen, doch die Probleme der Kontrolle bleiben dieselben.

Es erscheint daher die Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft in jeder Hinsicht als ein günstiger Weg. Für die Landwirtschaft bringt der Klärschlamm Nährstoffe, die nicht erst mit Energieaufwand und Emission von Schadgasen hergestellt werden müssen und mehr oder weniger

kostenlos zur Verfügung stehen.

Die Kläranlage braucht keine nutzlosen Deponiekosten aufzuwenden. Der Volkswirtschaft werden beachtliche Kosten an Rohstoffen und Energie erspart.

1.1. Die erforderliche Schlammqualität

Zur landwirtschaftlichen Verwertung kommen jedoch nur Schlämme aus Abwässern mit überwiegend kommunalen Charakter und aus der Lebensmittelindustrie in Frage. Schlämme aus der chemischen und metallverarbeitenden Industrie, aus Montanbetrieben und Raffinerien etc. sind hierfür ungeeignet. Es wird daher ein kommunaler Kläranlagenbetreiber solche Industrien und Gewerbebetriebe entweder vollkommen von seinem Kanalnetz ausschließen oder aber durch entsprechende Vorreinigung dieser Abwässer Schadstoffe aus dem Kanalnetz fernhalten müssen, wenn der Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet werden soll.

Hiefür muß in erster Linie die Qualität des Schlammes stimmen und für den Einsatz als Dünger geeignet sein. Der Schlamm muß stabilisiert sein, d.h. er darf nicht mehr in Gärung übergehen; er soll hygienisch einwandfrei sein und möglichst keine Grobstoffe enthalten, die auf den landwirtschaftlichen Flächen ein unästhetisches Bild hinterlassen. Weiters soll der Schlamm möglichst wenig Schwermetalle und ausreichend Pflanzennährstoffe sowie organische Substanz enthalten.

Für die Kenntnis der Schlammqualität ist eine entsprechende Untersuchung des Schlammes erforderlich.

Gleichzeitig wird es nötig sein, eine genaue Kenntnis über die in das Kanalnetz einleitenden Betriebe zu haben und diese laufend zu überwachen, damit im Schlamm keine unvorhergesehene Belastung entstehen kann. Aber auch die Einbringungen der sogenannten Fäkalabfuhrer müssen unter Kontrolle geschehen, damit keine Abfälle aus Betrieben (Galvanikschlamm, Bohremulsionen, Lackreste etc.) in den Klärschlamm gelangen.

Die Qualität des Schlammes sollte jedenfalls durch eine längere Zeit hindurch garantiert werden können, was in mehrererlei Hinsicht erforderlich ist:

- o Die Landwirtschaft muß ständig mit Schlamm passender Qualität beliefert werden können.
- o Beim Bau einer Kläranlage muß bereits die landwirtschaftliche Schlammverwertung mit den erforderlichen Einrichtungen eingeplant werden
- o Bei bestehenden Kläranlagen müssen unter Umständen zusätzliche Einrichtungen für die Schlammabgabe geschaffen werden.

Schwankt die Qualität des Schlammes zu sehr zwischen verwertbar und nicht verwertbar, dann wird die Landwirtschaft den Schlamm bald überhaupt nicht mehr übernehmen und die getätigten Aufwendungen waren umsonst.

1.2.Menge des anfallenden Schlammes

Neben der Schlammqualität ist die Kenntnis der Menge des anfallenden Schlammes wesentlich, wenn eine landwirtschaftliche Verwertung ins Auge gefaßt ist.

Aus dem Gehalt des Schlammes an Pflanzennährstoffen und der Schlammmenge läßt sich im ersten Schritt auf die erforderliche Agrarfläche für die Beschlämmung schließen. Dabei wird man auf die landwirtschaftlichen Bewirtschaftsformen (Ackerbau mit den verschiedenen Feldfrüchten, Grünland etc.) Rücksicht zu nehmen haben. Ebenso sind Bodenart, Klimazone und Niederschläge sowie Hangneigungen zu bedenken.

1.3.Agrarflächen zur Beschlämmung

Soll der anfallende Klärschlamm in der Landwirtschaft verwertet werden, ist die Feststellung der möglichen Agrarflächen in der Umgebung der Kläranlage erforderlich. Dabei ist das Einzugsgebiet der Kläranlage zu berücksichtigen. Flächen im Einzugsgebiet anderer Kläranlagen können nur dann herangezogen werden, wenn dort der Klärschlamm

anders beseitigt wird oder die Transportentfernung die landwirtschaftliche Verwertung des eigenen Schlammes dort nicht erlaubt.

Nach diesen Untersuchungen kann verschiedentlich bereits durch Vergleich von Flächenbedarf auf Grund des Schlamm-anfalls und der insgesamt zu Verfügung stehenden Fläche festgestellt werden, ob und in welchem Ausmaß eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes möglich ist. Aber auch die zu erwartende Kontaminierung des Schlammes oder eine erschwerte Schlammausbringung wegen des hängigen Geländes können eine Klärschlammdüngung ausschließen.

Erscheint eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung auf Grund der oben dargelegten ersten Schritte als möglich, wird man genauere Untersuchungen anstellen müssen.

2. UNTERSUCHUNG DER KLÄRSCHLAMMQUALITÄT

2.1. Bei bereits bestehender Kläranlage

In diesem Fall läßt sich durch chemische Analysen des Klärschlammes dessen Verwendbarkeit in der Landwirtschaft beurteilen.

Vor allem muß die Stabilisierung des Schlammes gewährleistet sein. Diese kann auf dem Wege der Bestimmung der petrolätherextrahierbaren Stoffe (Lipoide) ermittelt werden. Schlämme, deren Lipidgehalt in der IS unter 6 % liegt, weisen eine ausreichende Stabilisierung auf. Es gibt allerdings auch noch andere Methoden, die Stabilisierung zu prüfen, wie z.B. die Ermittlung der Gasbildung im Schlamm oder die Glührückstandsbestimmung in frischem und ausgefaultem Schlamm nach Hopmans.

Im Schlamm sollen möglichst keine Grobstoffe enthalten sein, die auf einem Sieb mit 5 mm Maschenweite zurückbleiben. Die Angabe eines Maßstabes für die zulässige Menge der am Sieb zurückbleibenden Grobstoffe ist schwierig, weil kein Zusammenhang zwischen Volumen und Gewicht dieser Stoffe besteht und vielfach nur deren Sperrigkeit den Siebdurchgang verhindert.

Weiters ist die Bestimmung der Trockensubstanz im Schlamm und deren Glühverlust erforderlich. Daraus läßt sich auf den Gehalt an organischer Substanz schließen. Aus dem Gehalt an Trockensubstanz läßt sich die erforderliche Ausbringungsmenge ermitteln.

Es ist auch vorteilhaft, den in Salzsäure unlöslichen Teil der Asche zu bestimmen. Dieses Salzsäureunlösliche besteht aus Feinsand, Schluff und Ton. Besonders bei Mischkanalisationen wird viel von diesen Stoffen durch Niederschläge eingespült und gelangt in den Klärschlamm. Durch diese Stoffe wird der relative Nährstoffgehalt aber auch der Schwermetallgehalt in der Trockensubstanz gedrückt.

Solche Schlämme weisen vielfach niedrige Schwermetallgehalte in der Trockensubstanz auf. Da aber auch die Stickstoff- und Phosphorgehalte, bezogen auf die Trockensubstanz, entsprechend niedrig liegen, bedingt die erforderliche Aufbringungsmenge zu hohe Schwermetallfrachten, weshalb auch diese begrenzt sind. Bleibt man aber unter den zulässigen Schwermetallfrachten, dann kann es sein, daß die aufbringbare Nährstoffmenge sehr klein und die Schlammdüngung unwirtschaftlich wird. Ich schlage daher vor, Nährstoffe und Schwermetalle nicht getrennt zu beurteilen, sondern deren Verhältnis zueinander als Maßstab der Beurteilung zu verwenden.

Die Bestimmung von Gesamtstickstoff und -Phosphor ist selbstverständlich und bedarf keiner weiteren Erläuterungen. Es hat sich jedoch als recht brauchbar erwiesen - besonders bei vorgesehener Flüssigdüngung - in der wässrigen Phase des Schlammes den gelösten Stickstoff (als $\text{NH}_4\text{-N}$) und Phosphor zu bestimmen.

Diese gelösten Nährstoffe sind sofort wirksam, können aber bei leichten Böden oder nachfolgenden Regenfällen rasch ausgewaschen werden und ins Grundwasser gelangen. Beim Stickstoff liegt dieser gelöste Anteil meist zwischen 100 und 250 mg N/l und liegt somit in der Größen-

ordnung einer Düngung von 50 - 100 kg Ammonsulfat/ha.
 Die Bestimmung des Kaligehaltes ist nicht unbedingt erforderlich, da nur sehr geringe Mengen festgestellt werden. Die Angabe des geringen Kaligehaltes hat jedoch demonstrativen Wert, der zeigen soll, daß mit dem Klärschlamm praktisch kein Kali dem Boden zugeführt wird. Sehr wichtig ist die Ermittlung der im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle.

Diese werden im Königswasser- oder Perchlorsäureextrakt der Schlamm Trockensubstanz bestimmt.

Dabei soll vor allem der Gehalt von

Zink	Cadmium
Chrom	Blei
Nickel	Quecksilber
Kupfer	

festgestellt werden. (Quecksilber ist erfahrungsgemäß nur in sehr geringen Mengen vorhanden, so daß man die sehr aufwendige Bestimmung nur bei Verdacht wird durchführen müssen).

Bei Anlagen mit Phosphatfällung als 3. Reinigungsstufe empfiehlt sich die Bestimmung von Eisen bzw. Aluminium im Schlamm, da damit ein gewisser Rückschluß auf die Phosphatbeweglichkeit im Schlamm möglich ist.

Liegt der pH-Wert des Schlammes deutlich unter 7, dann hat eine saure Gärung eingesetzt und der Stabilisierungsprozeß ist noch nicht beendet. Es ist bei der Ausbringung mit Geruchsbelästigung zu rechnen; außerdem sind solche Schlämme hygienisch bedenklich.

2.2. Bei noch nicht bestehender Kläranlage

Befindet sich eine Kläranlage im Planungsstadium und soll die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes ins Auge gefaßt werden, dann ist es erforderlich, durch entsprechende Untersuchungen die Qualität und Quantität der aus Industrie und Gewerbe zu erwartenden Abwässer zu erfassen.

Dabei sind vor allem die Stickstoff-, Phosphor- und BSB_5 Frachten anzusetzen, um auf die zu erwartende Schlammmenge und dessen Nährstoffgehalt schließen zu können. Den summierten Werten aus der Industrie sind dann noch die Frachten aus den häuslichen Abwässern hinzuzuzählen. Hierzu folgendes Beispiel:

Betriebe	Frachten in kg/d			m^3/d
	BSB_5	N	P	
Schlachthof	200	20	2	100
Brauerei	98	1	3	280
Papierfabrik	744	∅	∅	600
Textilfabrik	400	40	5	2.000
Obstverwertung	2.200	15	7	1.100
Molkerei	80	4	1	40
Summe Industrie	3.722	80	18	4.120
zuzügl.häusl.Abwäss.	2.513	400	125	6.700
insgesamt	6.235	480	143	10.820

Aus diesen Frachten ergibt sich das folgende Nährstoffverhältnis:

	BSB_5	:	N	:	P
Summe der Abwässer	100	:	7.7	:	2.3
Mindesterfordernis	100	:	5	:	1-0.5

Es liegt bei dem gezeigten Beispiel reichlich Stickstoff und Phosphor im Abwasser vor. Daher wird es zu einer normalen Schlammentwicklung in der Kläranlage kommen. Von dem Stickstoffanfall verbleiben etwa 35 % im stabilisierten Schlamm, beim Phosphor sind es etwa 60 - 70 %. Je kg BSB_5 im Rohabwasser kann man mit 0.55 - 0.65 kg TS im stabilisierten Klärschlamm und mit etwa 13 l Flüssigschlamm

rechnen. Daraus ergibt sich, daß ein Schlamm annähernd folgender Zusammensetzung und Menge zu erwarten sein wird:

	i.d.TS.
Stickstoff (N)	4.1 - 4.9 %
Phosphat (P_2O_5)	2.1 - 2.9 %

Mit einem täglichen Schlammanfall von ca. 81 m³ mit 4-5 % TS. ist zu rechnen.

Werden bei den Untersuchungen von Industrie und Gewerbe Schwermetalle im Abwasser festgestellt, dann muß primär die Vorreinigung dieser Abwässer erreicht werden. Sind jedoch die Emissionswerte eingehalten, die Schwermetallfrachten wegen hoher Wasserfrachten so hoch, daß damit zu hohe Schwermetallgehalte im Klärschlamm zu erwarten sind, dann wird man bereits im Planungsstadium auf die landwirtschaftliche Verwertung des Schlammes verzichten müssen.

Bei der Schwermetallberechnung wird man ebenso vorgehen müssen wie bei der Nährstoffberechnung, jedoch wird man von den ermittelten Frachten mindestens 90 % als Verbleib im Klärschlamm anzunehmen haben. Die Industriebetriebe leiten oft nur fallweise belastete Abwässer ein (Wochenende, wechselnde Produktionen etc.). Daher muß man dann jene Zeitspanne zur Berechnung heranziehen, die der Schlamm zur Stabilisierung benötigt (etwa 3 Wochen).

Dies deshalb, weil der Schwermetallanfall im Rohabwasser aus dem gesamten Zeitabschnitt in den Schlamm eingemischt wird.

3. DIE AUFNAHMEFÄHIGKEIT DER LANDWIRTSCHAFT FÜR KLÄRSCHLAMM

3.1. Erfassung der landwirtschaftlichen Flächen im Einzugsgebiet der Kläranlage

Als ersten Schritt wird man alle Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden, auf Plänen möglichst

großen Maßstabes abgrenzen und kennzeichnen. Dabei sind alle gartenbaulich genutzten Flächen und solche, auf denen ständig Feldgemüsebau betrieben wird, aus hygienischen Gründen auszuscheiden.

Weiters empfiehlt es sich, Dauergrünland und Äcker getrennt zu erfassen.

Vernäbte Böden, Flächen mit starker Hangneigung und mit Überschwemmungsgefahr müssen ebenfalls ausgeschieden werden. Selbstverständlich sind alle Brunnen und Quellschutzgebiete von einer Beschlämmung ausgeschlossen.

Aus ästhetischen Gründen wird man auch Flächen unmittelbar vor geschlossenen Orten und Fremdenverkehrseinrichtungen ausnehmen müssen.

Nun wird die ausgewiesene Fläche nach Ackerland und Dauergrünland getrennt ermittelt.

Ein kurzer Vergleich des so festgestellten Flächenausmaßes mit dem Schlamm- und damit auch Stickstoffanfall im Jahr und der dafür erforderlichen Düngungsfläche kann bereits zeigen, ob der gesamte Schlamm landwirtschaftlich verwertbar ist. Dabei muß man davon ausgehen, daß einerseits eine Fläche maximal alle zwei Jahre beschlammt werden soll, andererseits niemals die daraus resultierende halbe Agrarfläche restlos für die Schlammdüngung zur Verfügung steht, da Witterung und betriebswirtschaftliche Gründe aber auch die Einstellung des Landwirtes entgegenstehen. Daher erscheint es sinnvoll, mindestens das Dreifache der zur Schlammausbringung benötigten Fläche bei diesem Vergleich in Rechnung zu stellen.

3.2. Erfassung des Viehbesatzes

Die Viehhaltung der landwirtschaftlichen Betriebe bedingt gleichzeitig den Anfall von wirtschaftseigenem Dünger (Stallmist, Jauche, Gülle). Diese Wirtschaftsdünger enthalten bedeutende Mengen an Pflanzennähstoffen, wobei Stickstoff und Kali im Vordergrund stehen. Demgegenüber liegt beim Klärschlamm das Schwergewicht beim Stickstoff und Phosphor.

Da der Landwirt seinen Wirtschaftsdünger zwingend auf seine Agrarflächen ausbringen muß, erhalten diese Flächen bereits eine Stickstoff-Grundlast, die beim Einsatz von Klärschlamm vorher zu berücksichtigen ist, damit es zu keiner Stickstoff-Überdüngung mit all ihren negativen Auswirkungen kommt.

Der jährliche Stickstoffbedarf/ha hängt von der Art der Bodennutzung ab.

Es ist daher erforderlich, den jährlichen Stickstoffbedarf je ha bei der gegebenen Wirtschaftsweise im Einzugsbereich der Kläranlage zu ermitteln.

Davon muß man den Stickstoffanfall aus der Viehhaltung abziehen.

Der sich daraus ergebende Restbetrag für Stickstoff/ha kann dann für die Berechnung der Schlammdüngung unter dem Aspekt des Stickstoffgehaltes im Schlamm herangezogen werden. Dabei muß man aber berücksichtigen, daß niemals der gesamte Restbetrag für Stickstoff durch Klärschlamm gedeckt werden kann, weil der Landwirt nicht bis an die Obergrenze des Stickstoffbedarfes mit Wirtschaftsdünger und Klärschlamm gehen wird. Dies deshalb nicht, weil die biologischen Mineralisierungsprozesse im Boden sehr witterungsbedingt und daher vom Landwirt selbst nicht steuerbar sind. Er wird daher stets unter der optimalen Stickstoffmenge bleiben und nötigenfalls mit mineralischem Stickstoffdünger ausgleichen.

3.3. Beispiele für die Berechnung der Klärschlamm-Aufnahmefähigkeit

Beispiel A:

Kläranlage für 50.000 EGW
 39 m³ Klärschlammanfall/d mit
 4.5 % TS. und 4.3 % N i.d.Ts.

Landwirtschaft im Einzugsbereich mit mittlerer Ertragsmöglichkeit 970 ha davon 45 % Dauergrünland, Viehbesatz 0.9 GVE/ha

Beispiel B:

Kläranlage für 8.000 EGW
 6.2 m³ Klärschlammanfall/d mit
 3.8 % TS. und 5 % N i.d. TS.
 Landwirtschaft im Einzugsbereich mit
 niedriger Ertragsmöglichkeit 420 ha
 davon 80 % Dauergrünland
 Viehbesatz 1.6 GVE/ha.

Beispiel C:

Kläranlage für 2.000 EGW
 1.6 m³ Klärschlammanfall/d mit
 5.8 % TS. und 3.8 % N i.d. TS.
 Landwirtschaft im Einzugsbereich mit
 hoher Ertragsmöglichkeit 500 ha
 nur Ackerland, davon 30 % Feldgemüse
 Viehbesatz 0.2 GVE/ha.

Pos.	Beispiel	A	B	C
1	114 LNF im Einzugsbereich	920	420	500
2	abzüglich ha: Gartenbau und Feldgemüse	25	---	150
	vernähte und stark hängige Flächen	17	43	---
	Überschwemmungsgefährdet	56	12	---
	Wasserschutzgebiet	12	---	18
	Fremdenverkehr und Ortsnähe	6	8	2
3	verbleibende Restfläche ha	804	357	330
	davon Ackerland ha	442	71	330
	Grünland ha	362	286	---

Pos	Beispiel	A	B	C
4	N-Bedarf je ha Jahr im Ackerland* im Grünland	120 60	85 50	124 ---
5	N-Bedarf auf der Fläche Pos. 3: Ackerl. kgN/Jahr Grünl. ,kgN/Jahr Summe kgN/Jahr	53.040 21.720 74.760	6.035 14.300 20.335	40.920 ----- 40.920
6	N-Anfall aus Viehhalt. 65 kg N/GVE . Jahr bezogen auf Fläche Pos. 3 in kg N davon 50 % wirksamer N/kg	47.034 23.517	34.808 17.404	4.290 2.145
7	N-Bedarf Summe Pos. 5 abzüglich: N aus Viehhaltung Pos. 6 Reserve für Getreide- bau 25 kg N/ha	74.760 23.517 2.763	20.335 17.404 888	40.920 2.145 5.775
8	Für Klärschlammdüng. freier N-Bedarf in kg	48.480	2.043	33.000
9	Mittlerer N-Bedarf in kg/ha Acker- und Grün- land zusammen	93	57	124
10	Für Klärschlammdüng. freie LNF (Pos.8:Pos.9 ha	521	35	266
11	mit Klärschlamm fallen jährl. kg N an davon 30% wirksamer N (kg)	27,545 8.264	4,300 1.290	1,287 368
12	Quotient aus Pos.8 u. Pos. 11 wirks. N	5.9	1.6	85.5
13	mögl.Schlammausbring. 5.0t IS je ha Ackerl/J 2.5t IS je ha Grünl/J. daraus ergeben sich im gewogenen Mittel t IS/ha . Jahr	3.9	3.0	5.0
14	Schlamm IS Anfall/J.	641	86	34
15	Benötigte Fläche in ha Quotient aus Pos.14: Pos. 13	164	29	7

Pos	Beispiel	A	B	C
16	Zur Verfügung stehende Fläche in ha: Pos. 10 Schlammdüngungsturnus in Jahren (Quotient aus Pos. 16 : Pos. 15.	521	35	266
		3	1	38

*Beispiel A: Ackerland 10% Zuckerrübe 130 kg N/ha im gewo-
25% Getreide 90 kg N/ha) genen Mit-
65% Mais 130 kg N/ha tel 120 kg
Beispiel B: Ackerland 50 % Getreide 70 kg N/ha N/ha
50 % Hackfrucht 100 kg N/ha 85 kg N/ha

Beispiel C: Ackerland 10% Zuckerrübe 150 kg N/ha
70% Getreide 110 kg N/ha 124 kg N/ha
20% Mais 160 kg N/ha

Da für die Schlammdüngung mindestens die dreifache Fläche als erforderlich zur Verfügung stehen sollte, ist eine gesicherte landwirtschaftliche Schlammverwertung im

Beispiel A gerade noch gegeben

Beispiel B nur mehr teilweise möglich, eine andere Schlambeseitigung sollte jedoch insgesamt überlegt werden.

Beispiel C: ist ausreichend gegeben. Es könne noch Klärschlamm aus einer anderen Kläranlage in diesem Bereich ausgebracht werden ohne Nachteile für die Landwirtschaft.

4. DIE SCHLAMMAUSBRINGUNG

4.1. Technische Möglichkeiten

Die einfachste Art der Klärschlammdüngung ist die Flüssigausbringung. Dies gelingt bis etwa 7 % TS. im Schlamm. Bei weiterer Entwässerung des Schlammes wird dieser pasteus-schmierig.

Die Verteilung eines solchen Schlammes auf landwirtschaftlichen Flächen ist schwierig und gelingt nur gemeinsam mit Stroh oder ähnlichem Material.

Der Schlamm wird dabei in kleinen Patzen verteilt, die austrocknen, dabei sehr hart werden, nur sehr langsam zerfallen und der Bodenbearbeitung großen Widerstand entgegensetzen. Diese Schlammpatzen bilden im feuchten Zustand Reduktionsherde, die von den Wurzeln gemieden werden. Der Erfolg solcher Klärschlammdüngung ist dann eher negativ.

Es ist daher besser, diese Schlammpatzen nicht einzuarbeiten und im Regen zerfließen zu lassen. Der Frost läßt pasteusen Schlamm in eine trockene feinkrümelige Masse zerfallen, die sich dann leicht einarbeiten läßt.

Entwässert man einen Klärschlamm bis zu 40 und mehr % TS dann wird dieser streufähig. Natürlich muß der Entwässerungskuchen entsprechend zerkleinert werden. Die zur Entwässerung erforderlichen Zusatzmittel, insbesondere Branntkalk, verringern durch Ammoniak-Verluste und Erhöhung des Aschgehaltes den Nährstoffgehalt des Klärschlammes, erhöhen allerdings dessen Streufähigkeit.

Das bei der Entwässerung dem Schlamm entzogene Wasser enthält nicht unerhebliche Mengen an Stickstoff und Phosphor, die ebenfalls der Düngung verloren gehen. Man wird daher stets Analysen des entwässerten Schlammes für Düngungsbilanzen heranziehen müssen, wenn eine solche Entwässerung durchgeführt wird oder werden soll.

4.2. Schlammtransport

Die flüssige Klärschlammdüngung ist sehr transportintensiv, müssen doch zur Ausbringung von 5 t TS 100 m³ Schlamm und mehr auf 1 Hektar Fläche (d.s. mindestens 20 Fuhren) verbracht werden.

Die Transportkosten dürfen daher auf keinen Fall die Kosten einer Mineraldüngung übersteigen, wobei die Klärschlammabgabe kostenlos anzusetzen ist.

Übersteigen die Transportkosten den Nährstoffwert des Klärschlammes, dann wird die Klärschlammdüngung für den Landwirt unrentabel. In diesem Fall, d.h. wenn die für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nutzbaren Flächen weiter entfernt sind, muß der Kläranlagenbetreiber entweder den flüssigen Klärschlamm auf seine Kosten transportieren oder den Schlamm entsprechend entwässern. Die Klärschlammbehandlung wird daher auf die Entfernung der nutzbaren Agrarflächen abzustellen sein.

4.3. Ausbringungszeiten

Klärschlamm kann nicht das ganze Jahr hindurch ausgebracht werden. Es ergeben sich je nach Bodennutzung bestimmte Düngungsperioden. Es sind daher bei der Kläranlage oder bei den nutzbaren Agrarflächen Stapelräume für den Klärschlamm in dem Maße zu errichten, daß die längste Zeit zwischen den Düngungsperioden überbrückt und der in dieser Zeit anfallende Klärschlamm aufgenommen werden kann. Becken zur Flüssigschlammstapelung sollen zur Durchmischung des gelagerten Schlammes eingerichtet sein, damit ein homogenes Material zur Düngung gelangt.

4.4. Hygienisierung des Klärschlammes

Bereits die Stabilisierung von Klärschlamm, insbesondere in Faulräumen, bewirkt eine weitgehende Hygienisierung. Klärschlamm in den Boden gebracht ergibt für fast alle Krankheitskeime eine derartige Milieuveränderung, daß sie in der sie umgebenden Mikroorganismenpopulation zugrunde gehen.

In reinen Grünlandgebieten empfiehlt sich jedoch die Pasteurisierung des Klärschlammes, um eine mögliche Infektion des Viehs durch das Futter auszuschließen.

Ähnliche keimtötende Wirkung hat die Zugabe von Branntkalk ($7-8 \text{ kg/m}^3$), wobei ein pH-Wert von über 11 erreicht werden soll. Solcherart behandelte und abgepreßte Schlämme sind weitestgehend hygienisiert und mit pasteurisierten Schlämmen vergleichbar.

Die Hygienisierung des Klärschlammes erscheint vor allem in Fremdenverkehrsgebieten wichtig, da beim Auftreten einer kleinen Durchfallserie bereits die Schuld der Klärschlammdüngung zugeschrieben wird. Der Schlammabsatz an die Landwirtschaft kann damit blockiert sein.

4.5. Bodenuntersuchungen

Vor dem Beginn einer organisierten Klärschlammverwertung ist eine Untersuchung der in Frage kommenden Böden durchzuführen. Diese Untersuchung sollte umfassen:

Bodenart	Humusgehalt
pH-Wert	Phosphat
Kalkgehalt	Schwermetalle

Weiters empfiehlt sich die Erfassung des Festhaltevermögens von Wasser und Nährstoffen in den Böden um (vor allem in niederschlagsreichen Einzugsgebieten von Seen) ein Eindringen von N und P in das Grundwasser abschätzen zu können.

Aus diesen Werten kann man dann auf die zulässigen Flüssigschlamm-Einzelgaben rückschließen.

In der weiteren Folge sollten ca. alle 5 Jahre dieselben Untersuchungen durchgeführt werden, wobei vor allem stets dieselben Flächen bemustert werden sollen. Außerdem ist es erforderlich, von diesen Flächen genau jede Klärschlammgabe aufzuzeichnen, um später Rückschlüsse ziehen zu können.

5. ORGANISATION DER KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG

5.1. Information der Landwirte

Durch intensive Beratung, Vorträge, Diskussionen und praktische Vorführungen sollen die Landwirte vor Beginn der Klärschlammdüngung entsprechend fachlich ausgebildet werden. Sie sollen die Vorteile, Probleme und Nachteile der Klärschlammverwendung kennen und damit die Möglichkeiten des Schlammeinsatzes in ihrem Betrieb abschätzen können.

5.2. Abnahmevertrag

Es ist von Kläranlage und Landwirten ein Vertragsverhalt für die Klärschlammlieferung und Abnahme anzustreben.

Dabei sollte von der Kläranlage aus gleichzeitig die Betreuung der Landwirte durchgeführt werden.

Mit einem solchen Vertrag sind beide Teile auf Lieferung und Abnahme verpflichtet. Dabei wird die Kläranlage durch die laufende Schlammkontrolle und den Zwang, geeigneten Klärschlamm an die Landwirtschaft abgeben zu müssen, gezwungen, ihrerseits z.B. mögliche oder verdächtige Einbringer von Schwermetallen laufend zu kontrollieren. Dadurch geht von der Landwirtschaft ein Druck auf erhöhten Umweltschutz aus. Gleichzeitig steigt mit der landwirtschaftlichen Verwertung des Schlammes die Haftung von Einleitern.

Es erscheint zuletzt noch wichtig, hier die Frage der Versicherung der Kläranlage als Lieferant von Klärschlamm und deren eventuelle Ausfallhaftung zu ventilieren.

Dipl.Ing. Dr. Heinz Messiner

Chemisch-biologisches Institut für
Wasser, Schlamm und Boden,
F.X.Wirth-Straße 25
9500 Villach

LITERATUR:

- AICHBERGER K.: Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlamm in der Landwirtschaft. Der fortschrittliche Landwirt S 301 1980
- BAUMGART P.: Landwirtschaftliche Verwertung von Abwasserschlämmen, Resumé des Ersten EAS-Seminars Korrespondenz Abwasser 721, 1980
- BECK W.: u.
AICHBERGER K.: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft. Zs. der Förderungsdienst S 314, 1984
- GLATHE H.: Die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft, Nachteile und Vorteile. Broschüre Wintertagung 1975 der Österr. Ges.f.Land- und Forstwirtschaftspolitik S 261.
- HOFFMANN C.: Klärschlamm - nicht alles verwertbar. Zs. der land- u. forstwirtschaftliche Betrieb, S 131, 1980
- KICK H.: Landwirtschaft und Abwasserklärschlamm. Vortrag gehalten am 11. ÜWWV-Seminar in Raach 1976
- KUGEL G.: Pasteurisierung von flüssigem Klärschlamm. Technisch-wirtschaftliche Aspekte. Münchner Beiträge Bd 24, 1973
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER
F.OBERÖSTERR.: Empfehlungen für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. 1982
- MAIERHOFER E.: Erwartungen der Landwirtschaft an die Qualität der Siedlungsabfälle und Forderungen an den Gesetzgeber. Vortrag gehalten am Seminar "Verwertung von Siedlungsabfällen" 1984 in Linz von Landw. chem. Bundesanstalt, OÖ.-Landesregierung u. Österr. Bodenkundliche Ges.

- MESSINER H.: Probleme bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.
Zs. Österr. Wasserwirtschaft S 37, 1982
- ÖSTERR. DÜNGER-
BERATUNGSSTELLE Bodenuntersuchung und Düngung
Beratungsschrift 3. Aufl. 1980
- ÖSTERR. WASSER-
WIRTSCHAFTSVERBAND Regelblatt 17, 1984
- SCHREIBER-ROTHSCHILD R. Der Einfluß von Kalk als Kondi-
tionierungsmittel bei Kammerfilter-
pressen.
Diss.Univ. Hohenheim 1980
- STRAUCH D. und
SCHEIBER-ROTHSCHILD Hygienische Untersuchungen bei der
Kalkkonditionierung von Klärschlamm
Gwf.-Wasser/Abwasser, S 607, 1980
- SUPERSBERG H.: Ergebnisse von Feldversuchen mit
Klärschlamm in Österreich.
Broschüre Wintertagung 1975 der
Österr.Ges.f.Land-u. Forstwirtschafts-
politik S 272
- SCHWEIZER BUNDESAMT
FÜR UMWELTSCHUTZ Bericht zur Klärschlammverordnung 1981

ERGEBNISSE AUS KLÄRSCHLAMM-
UND BODENUNTERSUCHUNGEN

K. Aichberger

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Fortschreitende Industrialisierung und Urbanisierung führten in den letzten Jahrzehnten zu einer ständig steigenden Menge an festen und flüssigen Siedlungsabfällen. In Ermangelung entsprechender Deponieflächen und anderer kostengünstiger technologischer Entsorgungsvorfahren wird heute vorwiegend die landwirtschaftliche Verwertung von Siedlungsabfallstoffen angestrebt. Für die Landwirtschaft ist Recycling vom Prinzip her nichts Neues, werden doch seit jeher Abfälle im hofinternen Stoffkreislauf rückgeführt. Zu bedenken bleibt jedoch, daß Siedlungsabfälle vielfach eine andere Zusammensetzung aufweisen als wirtschaftseigene Abfälle. Ein "Verwerten" von Klärschlamm in der Landwirtschaft setzt daher einen Anteil an wertgebenden Inhaltsstoffen und damit eine bestimmte Düngewirksamkeit voraus, - bei gleichzeitiger höchstmöglicher Schadstofffreiheit, um ihn ohne Risiko in den biologischen Kreislauf einbinden zu können. Die Forderungen der Landwirtschaft an die Qualität der Klärschlämme müssen deshalb so weitreichend sein, daß unter allen Umständen verhindert wird, daß Böden auf Grund einer Klärschlammdüngung mit Schwermetallen oder anderen schwer abbaubaren Chemikalien so stark kontaminiert werden, daß sie letztlich für die Produktion von Lebensmittel nicht mehr geeignet sind. Die Entsorgung der Abfälle ist daher mit einem Flächen-als auch mit einem Qualitätsproblem verbunden.

Auf Grund der hier dargelegten Problematik befaßt sich die Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt Linz seit etwa 10 Jahren sowohl mit der chemischen Untersuchung von Klärschlamm und anderen Siedlungsabfällen, als auch mit Fragen der Nährstoffwirkung und Pflanzenverträglichkeit dieser Stoffe. Es waren vor allem die Kontakte und die Zusammenarbeit mit der Öö. Landesregierung, Abteilung Wasserbau, die uns veranlaßten, diesem Fachgebiet verstärkte Beachtung zu schenken bzw. systematische, serienmäßige Untersuchungen vorzunehmen.

2. ERGEBNISSE DER SYSTEMATISCHEN KLÄRSCHLAMMUNTERSUCHUNG IN OBERÖSTERREICH

Während Anfangs nur bestimmte ausgewählte Klärschlammproben für Untersuchungen bzw. Gefäßversuche verwendet wurden und die Analysen sich in erster Linie auf Nährstoffe, einige Spurenelemente und Schwermetalle erstreckten, erfolgt seit Einführung des "Modells Oberösterreich" (AICHBERGER, 1983; MAYR, 1985) eine systematische Untersuchung der Klärschlämme und Auswertung der Ergebnisse, bei ständiger Erweiterung der Analysenparameter. Derzeit umfaßt unser Untersuchungsprogramm ca. 30 Bestimmungsstücke, wobei gewisse Parameter mangels Aussageinhalt heute nicht mehr serienmäßig untersucht werden, dafür aber laufend neue Nachweisverfahren adaptiert werden, um einerseits die Kenntnis von der Produktzusammensetzung und andererseits ein entsprechendes Niveau des Untersuchungslabors zu gewährleisten. Die in Tabelle 1 angeführten Parameter reichen von physiko-chemischen Bestimmungsgrößen über Makroelemente, Spurenelemente, toxische Schwermetalle bis zu organischen Verbindungen, wobei vorgesehen ist, das Analysenprogramm in nächster Zeit auch um die Bestimmung von Phenolen und PCBs zu erweitern.

H ₂ O/Trockensubstanz	Eisen
pH-Wert	Mangan
el. Leitfähigkeit	Bor
org. Substanz	Molybdän
Stickstoff	Kupfer
C/N	Zink
Ammon-N	Blei
Nitrat-N	Nickel
Phosphor	Chrom
Kalium	Cobalt
Calcium	Cadmium
Natrium	Quecksilber
Magnesium	Arsen
Sulfat	Benzpyren
Chlorid	Phenole
	PCBs
	Selen

Tabelle 1: Analysenparameter

2.1. Nährstoffe

Tabelle 2 gibt einen Überblick über gesammelte Untersuchungsergebnisse ab dem Jahre 1979. Neben der Probenanzahl sind darin die Streubreite und Mittelwerte von Trockensubstanz, organischer Substanz, der wichtigsten Nährstoffe, Spurenelemente und der organischen Verbindung 3,4 Benzpyren enthalten. Auf Grund der großen Variationsbreite der Werte fehlt der Darstellung des arithmetischen Mittelwertes oft die praktische Bedeutung, sodaß weiters die Dichtemittel (= D) oder häufigsten Werte berechnet und als Durchschnitt der Jahre angeführt wurden. Relativ konstant im Verlauf des Untersuchungszeitraumes verhalten sich Trockensubstanz und organische Substanz, deren häufigste Werte 6,6 % bzw. 55,9 % betragen. Die Stickstoffwerte der meisten Klärschlämme liegen im mittleren bis hohen Gehaltsbereich, in der Mehrzahl bei 2,3 kg pro m³ Frischschlamm, die ca. 3,5 % in der TS entsprechen. (Der Ammoniumanteil beträgt etwa ein Sechstel des Gesamt-N). Der Phosphorgehalt (2,3 % P₂O₅/TS) liegt ca. ein Drittel niedriger als Stickstoff und Kalium auf dem niedrigen Niveau von 0,3 %/TS. Je nach Standort und Anlageverfahren schwankt der CaO-Gehalt über einen weiten Bereich von 0,07 bis 190 kg pro m³ Frischschlamm. Bei einer Ausbringungsmenge von 5 t Klärschlamm-trockenmasse entsprächen diese Werte einer durchschnittlichen Nährstoffzufuhr von 175 kg Stickstoff, 115 kg P₂O₅, 15 kg K₂O und über 200 kg CaO. Hinzu kommen noch 2,8 t organische Substanz. Diese organische Masse des Klärschlammes fördert allerdings eher die biologische Aktivität des Bodens als die Bildung von Dauerhumus, wie dies später noch gezeigt werden wird. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend auch mit den Untersuchungen von KÜCHL (1980) und HOFFMANN (1985), durchgeführt an 1.200 Klärschlammproben Baden-Württembergs.

2.2. Schwermetalle

Die Ergebnisse der Schwermetallanalysen sind ebenfalls in Tabelle 2 dargestellt, wobei die Streubreite bei diesen Parametern meist mehrere Zehnerpotenzen beträgt. Die Bildung arithmetischer Mittelwerte hat in diesen Fällen eigentlich nur rechnerische Bedeutung, während die Darstellung der Ergebnisse als Verteilungshistogramme mit Berechnung der Dichtemittel wesentlich mehr Information beinhaltet (Abb. 1).

PARAMETER	n (Proben)	Bereich		\bar{X}	D
		min.	max.		
<u>Nährstoffe</u>					
TS %	861	0,5	- 58,1	9,9	6,6
OS % d.TS	838	5,9	- 93,3	53,3	56
N _{Kjeld.} kg/m ³ FS	836	0,14	- 15,0	2,9	2,3 (3,5 % TS)
P ₂ O ₅ kg/m ³ FS	836	0,06	- 18,0	2,3	1,5 (2,3 % TS)
K ₂ O kg/m ³ FS	836	0,03	- 10,0	0,4	0,2 (0,3 % TS)
CaO kg/m ³ FS	836	0,07	- 190	7,8	2,9 (4,3 % TS)
<u>Schwermetalle (ppm)</u>					
Zink	621	<100	- 12900	1824	1480
Kupfer	600	20	- 5740	281	163
Nickel	600	1	- 2190	41	28
Chrom	618	8	- 59500	1278	44
Blei	617	5	- 23900	488	175
Cadmium	606	0,1	- 285	5,0	3,1
Quecksilber	578	0,04	- 153	4,1	1,0
<u>org. Stoffe (ppm)</u>					
3,4 Benzpyren	163	n.n.	7,7	0,97	0,38

Tabelle 2: Inhaltsstoffe der Klärschlämme OÖ.
(Kontrollzeitraum 1979-1984)

Histogramm der Analysenwerte für Zn

133 Analysenwerte

Folgende Werte sind nicht im Histogramm:

5190 5860 6270 4410

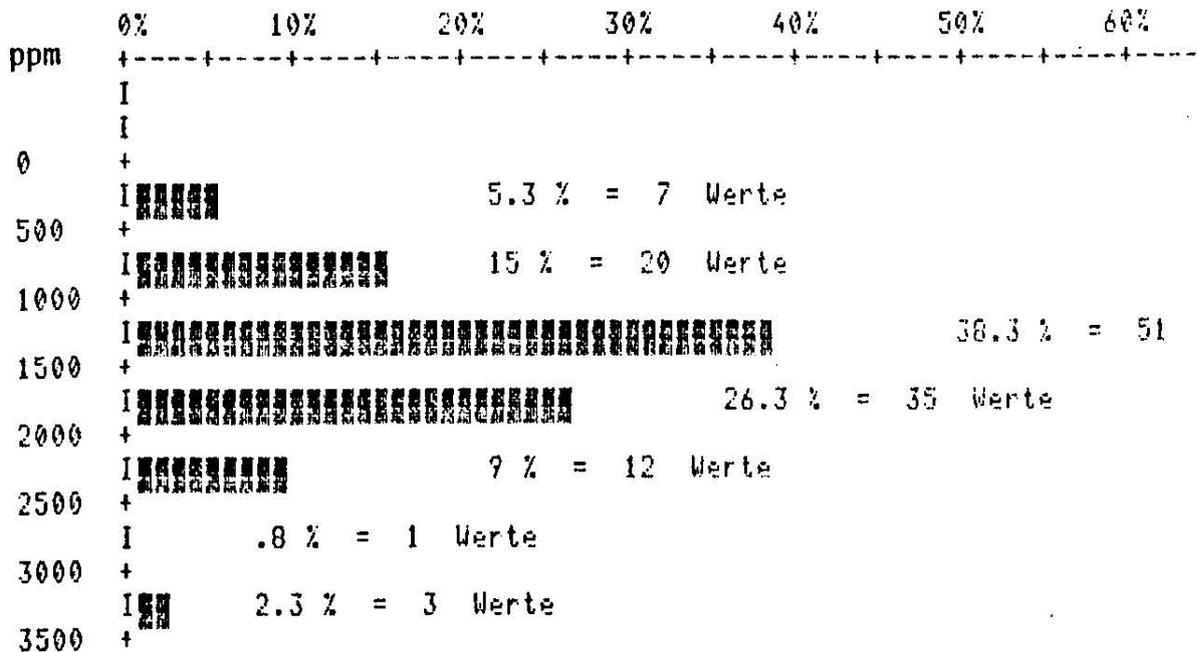


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Zinkwerte von Klärschlamm-analysen des Jahres 1984

Die angeführten häufigsten Schwermetallwerte liegen durchwegs beträchtlich unter den in Österreich vorgeschlagenen Grenzwerten (ÖWWV-REGELBLATT, 1984) und lassen damit einen allgemein niedrigen Belastungsgrad der Klärschlämme erkennen. Sie betragen im Fall von Zink 74 %, für Kupfer, Nickel, Blei und Cadmium rund 30 % und für Quecksilber und Chrom bloß 10 % bzw. 8,8 % des tolerierbaren Wertes. Diese größtenteils mäßige Schwermetallbelastung ist mit ein Grund, daß wir uns in Oberösterreich bei der Beurteilung der Klärschlämme zur Eignung in der Landwirtschaft weiterhin an rigorosen Richtwerten orientieren und nach unseren mehrjährigen Erfahrungen keinen Anlaß sehen, die Grenzwerte der BRD oder der Schweiz zu übernehmen.

Natürlich hängt die Schwermetallbelastung der Klärschlämme davon ab, ob das Einzugsgebiet der Anlagen den städtisch-industriellen Bereich oder den ländlichen Raum ohne Gewerbetriebe umfaßt. Bezogen auf die

Gesamtanzahl der Anlagen ist der Prozentsatz derer, wo Grenzwertüberschreitungen vorkommen allerdings gering. Im Jahre 1984 wurden beispielsweise von 18 Anlagen (= 10 %) die Zinkwerte, bei 11 Anlagen die Chromwerte (= 6 %) in 5-7 Fällen (= 3-4 %) die Nickel, Blei und Quecksilberwerte und nur von jeweils 2 Anlagen (=1 %) die Kupfer und Cadmiumgrenzwerte überschritten. Insgesamt gesehen sind es von 180 Abwasserreinigungsanlagen bloß 36 gewesen, die nicht oder nur bedingt geeigneten Klärschlamm lieferten, wobei in mehreren Fällen die Grenze bei mehr als einem Element zugleich überschritten wurde.

Wird dieser Kalkulation nun die Klärschlammmenge zugrunde gelegt, so sind die Verhältnisse weitaus weniger günstig, denn von den insgesamt anfallenden ca. 200.000 m³ Klärschlamm in Oberösterreich gingen in den letzten Jahren ein hoher Prozentsatz (34 %) sofort auf eine Naßschlammdeponie. Die übrige Menge wurde in Trockenbeeten, Silos oder maschinell eingedickt und größtenteils landwirtschaftlich verwertet. Zur landwirtschaftlichen Verwertung geeignet bzw. bedingt geeignet waren etwa 50 % des anfallenden Klärschlammes (MAYR, 1985). Das effektive Problem ist dabei, daß mit steigendem Anschlußwert der Abwasserreinigungsanlagen, auf Grund der Zunahme diverser Kontaminationsquellen, der zur Verwertung in der Landwirtschaft geeignete Schlamm zumeist abnimmt (Abb. 2). Gerade zu Ungunsten für die landwirtschaftliche Verwertung wurden in den letzten Jahren eine Reihe der kleineren Kläranlagen aufgelassen, bzw. wurden sie durch verfahrenstechnisch verbesserte Verbandsanlagen ersetzt, aber damit zugleich das Absatzproblem wegen der höheren Schwermetallbelastung des nun anfallenden Klärschlammes vergrößert.

Daß durch rigorose Kontrollen und Beratung der Kläranlagenbetreiber nicht nur anlagenspezifische Verbesserungen sondern auch eine Steigerung des qualitativen Niveaus insgesamt möglich ist (teilweise Reduzierung der Schwermetalldurchschnittswerte im Verlauf der Jahre !) kommt in der Graphik 3 zum Ausdruck.

In Zukunft wird es allerdings notwendig sein, die Richtlinien des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft bzw. ÖNORMEN für zulässige Schwermetallkonzentrationen im Abwasser zu verschärfen, um die Einleitung schwermetallhaltiger Abwässer weiter zu reduzieren und damit eine langfristig entscheidende, qualitative Verbesserung beim Endprodukt Klärschlamm zu erzielen.

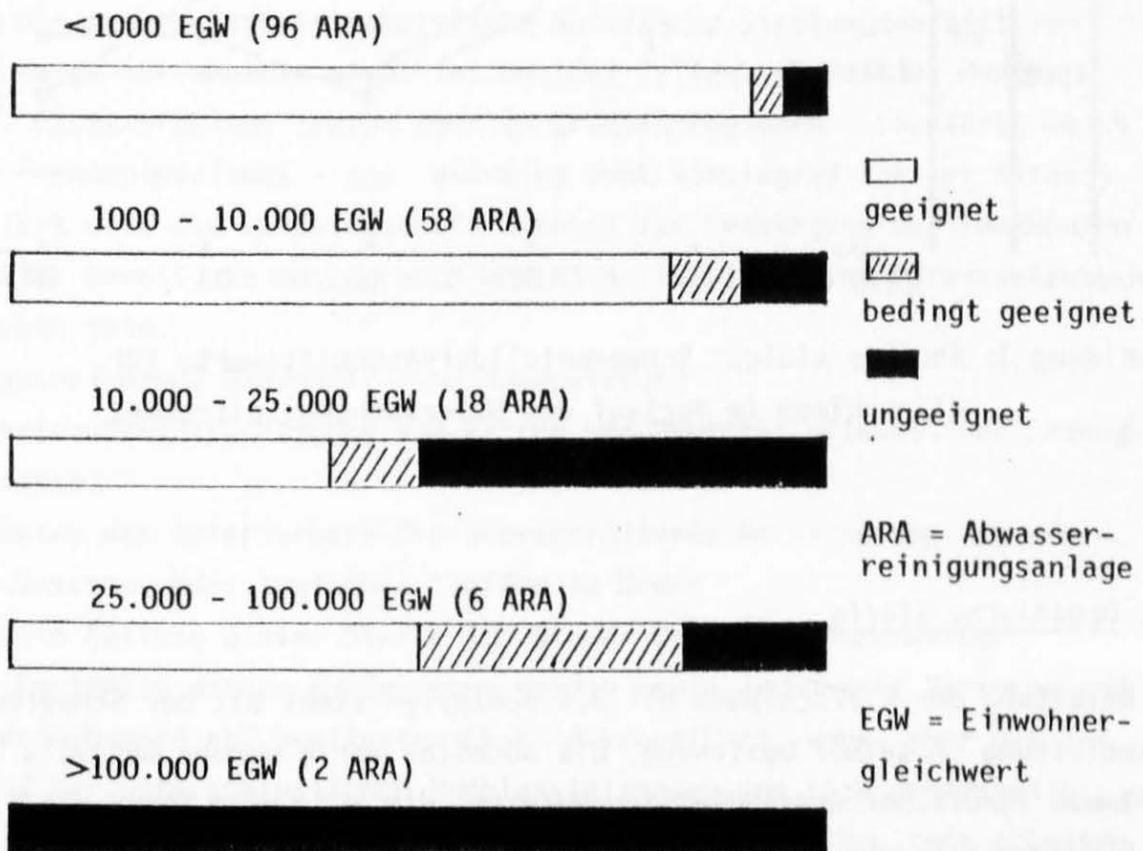


Abbildung 2: Eignung der Klärschlämme zur landw. Verwertung in Abhängigkeit vom Anschlußwert der Kläranlagen

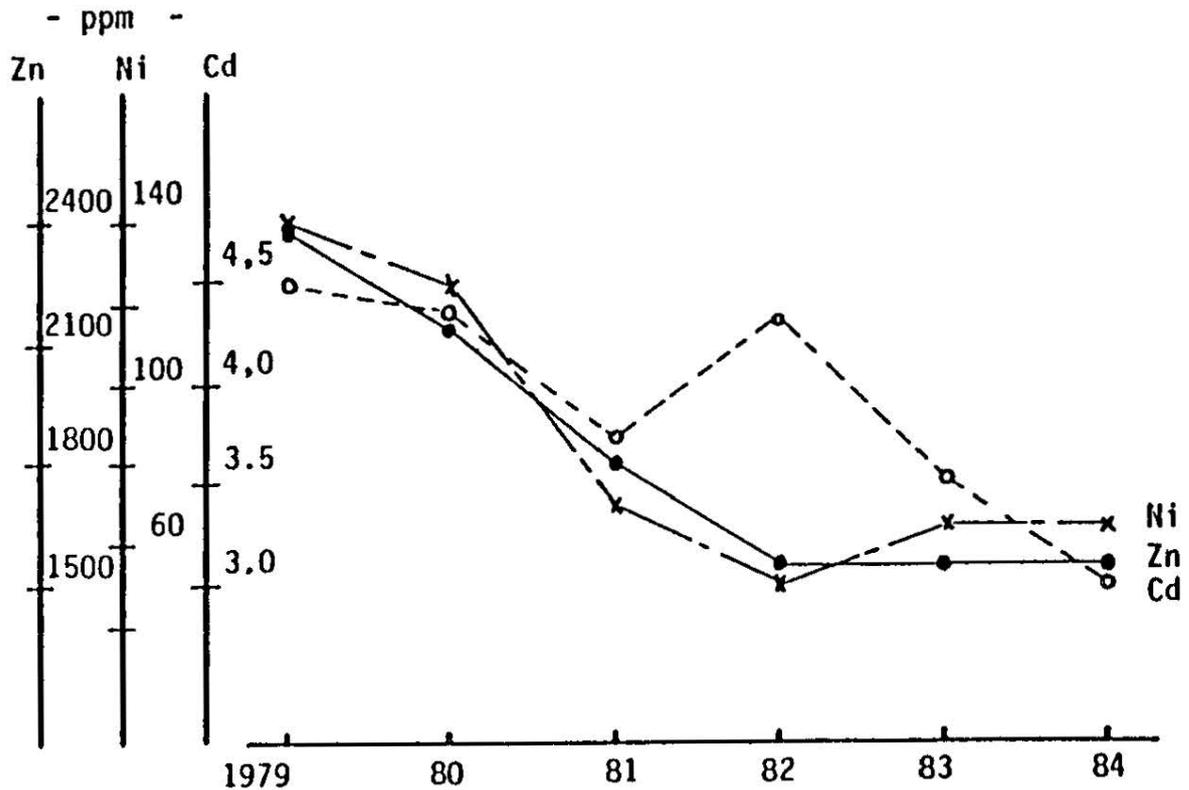


Abbildung 3: Abnahme einiger Schwermetalldurchschnittswerte für Klärschlamm im Verlauf des Untersuchungszeitraumes

2.3. Organische Stoffe

Die Belastung der Klärschlämme mit 3,4 Benzpyren steht mit der Schwermetallbelastung in keiner Beziehung. Die höchsten Werte wurden mehrmals bei Schlämmen ländlicher Gemeinden nachgewiesen, die auf Grund ihrer niedrigen Schwermetallwerte aber durchaus als geeignet für die Landwirtschaft eingestuft sind (AICHBERGER, 1984). Im Gegensatz dazu läßt sich aus dem Belastungsgrad mit Chlorkohlenwasserstoffpestiziden (HCB, HCH, Aldrin, usw.) und PCBs eher erkennen, welcher Provenienz das Material entstammt. So konnte HOFFMANN (1983) am Beispiel von über 400 Proben eindeutig nachweisen, daß Klärschlamm von großstädtischen Anlagen verstärkt mit PCBs belastet ist.

3. ERGEBNISSE AUS DER BODENUNTERSUCHUNG

Wie schon einleitend bemerkt, genügt es nicht, daß bei der Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft keine Schäden verursacht werden, sondern es muß für die Landwirtschaft auch ein bestimmter Mindestnutzen erzielbar sein. Prinzipiell braucht die Landwirtschaft zur sachgerechten Produktion keine Siedlungsabfälle, weder von der Nährstoff- noch von der Humusseite her, da sie heute durch innerbetriebliche Maßnahmen (Stallmistdüngung, Gründüngung, Fruchtfolge, usw.) einen entsprechenden Nährstoff- und Humuszustand der Böden aufrechterhalten kann und für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche Siedlungsabfälle von der Menge her ohnehin nicht ins Gewicht fallen. (Effektive Mengen - bzw. Absatzprobleme treten aber in Grünlandregionen - verstärkt durch den Fremdentourismus - auf und sind dort vorwiegend lokaler Natur.) Erklärt sich die Landwirtschaft dennoch zur Entsorgung der kommunalen Abfälle bereit, so müssen nach HOFFMANN (1985) gewisse Voraussetzungen gegeben sein:

- a) ausreichende Nährstoff- und Humuswirkung
- b) keine Beeinträchtigung von Ertrag und Qualität pflanzlicher Erzeugnisse
- c) keine das tolerierbare Maß überschreitende Anreicherung von unerwünschten oder toxischen Stoffen im Boden
- d) kein Austrag dieser Stoffe ins Grund- und Oberflächenwasser

Zur Kontrolle dieser Forderungen werden heute europaweit Versuche und Untersuchungen auf breitester Ebene durchgeführt, wobei aber oft auf Grund der unterschiedlichen Problemstellungen und sich gegenseitig beeinflussender wechselnder Faktoren divergierende Resultate erhalten werden. In Österreich haben sich dieser Problematik besonders landwirtschaftliche Versuchsanstalten, Hochschulinstitute, Kammern u.a. öffentliche Ämter angenommen. So wurden von der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt in Linz in Zusammenarbeit mit der OÖ. Landesregierung neben zahlreichen Gefäßversuchen schon vor etlichen Jahren ein Feldversuch mit Klärschlamm- und Müllkompostdüngung angelegt, der bereits wertvolle Erkenntnisse über die Auswirkungen auf Boden und Pflanzen liefert. In diesem Versuch werden in 4-facher Wiederholung vier verschiedene Klärschlämme, die mit Schwermetallen über die vor-

geschlagenen Grenzwerte belastet sind und zwei Müllkomposte auf einem mittelschweren Boden gegen eine unbehandelte Kontrollparzelle geprüft. Es werden jährlich 100 m^3 Klärschlamm / ha und 50 t Müllkompost / ha verabreicht. Der Trockensubstanzgehalt bei den Klärschlämmen beträgt durchschnittlich 5 % (eine Variante 22 % !) bei den Müllkomposten durchschnittlich 70 %. Als Fruchtfolge wurde Winterweizen - Wintergerste - Mais - Hafer gewählt. Im folgenden soll auf die bodenkundliche Aspekte dieses Versuches unter selbstverständlicher Einbeziehung verfügbarer Ergebnisse anderer Autoren näher eingegangen werden.

3.1. Beeinflussung der physikalischen Verhältnisse des Bodens

Mit Siedlungsabfällen werden dem Boden organische Stoffe zugeführt, die neben der Erhöhung des Humuswertes auch positive Wirkungen auf das Bodengefüge ausüben können. HOFFMANN (1985) berichtet, daß mit 300 - 1200 t Müllkompost / ha innerhalb von 8 Jahren das Porenvolumen der Böden analog der Kompostgabe von 40 auf 55 Volumsprozent angehoben wurde und die Böden auch visuell in ihrer Struktur und Bearbeitbarkeit verbessert wurden. Klärschlammgaben von 180-540 dt TS/ha erhöhten signifikant das Grobporenvolumen auf Kosten der Feinporen. Solche nachhaltige Veränderungen der physikalischen Verhältnisse des Bodens konnten bei unserem Versuch noch nicht festgestellt werden (Tab. 3).

Versuchsvariante	TS-Zufuhr t/ha	Raumgew. kg/dm ³	Bodenvol. %	Porenvol. %
Kontrolle	-	1.44	54.4	45.6
Klärschlamm I	22	1.46	55.1	44.9
Klärschlamm II	88	1.46	55.1	44.9
Klärschlamm III	24	1.44	54.4	45.6
Klärschlamm IV	22	1.44	54.1	45.9
Müllkompost A	144	1.45	54.8	45.2
Müllkompost B	134	1.45	54.6	45.4

Tabelle 3: Bodenphysikalische Untersuchungen beim Klärschlammversuch St. Florian (nach 4 Versuchsjahren; A-Horizont 5 cm)

Trotz Zufuhr von insgesamt 22-144 t Trockenmasse in Form von Klärschlamm oder Müllkompost waren nach 4 Jahren gegenüber der unbehandelten Kontrollparzelle keine Änderungen im Gesamtporenvolumen nachweisbar.

Während FURRER (1977) eine Zunahme der Krümelstabilität bei Ackerböden bis zu 8 % durch Klärschlammgaben beobachtete, wird von EDER (1985) bei einem Klärschlammversuch auf Dauergrünland eher das Gegenteil festgestellt (Tab.4).

Horizont- tiefe cm	Klärschlamm A			Klärschlamm B			Müllk. A	Müllk. B	Kon- trol- le
	2,5 t	5,0 t	7,5 t	2,5 t	5,0 t	7,5 t	5 t	5 t	
0 - 5	69,9	65,8	64,7	64,5	63,8	82,0	85,3	83,8	85,2
6 - 10	29,0	45,2	46,2	45,2	51,8	71,0	70,6	68,6	73,0
10 - 20	22,8	11,4	22,1	30,2	42,7	33,6	54,3	39,7	50,0

EDER, Gumpenstein I/85

Tabelle 4: Bodenkrümelstabilität nach Klärschlammdüngung bei Dauergrünland (in %)

3.2 Verlagerung von Inhaltsstoffen in tiefere Bodenschichten

"Kein Austrag von unerwünschten Stoffen in das Grundwasser durch eine Klärschlammdüngung" wurde bereits als eine der Forderungen bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung postuliert. Echte Messungen wie weit das Grundwasser beeinflusst wird, sind sehr schwer durchzuführen, sodaß man in erster Linie auf Modellversuche (Saugkerzen-, Lysimeteranlagen) angewiesen ist. Angaben aus der Literatur sind oft widersprüchlich, resümierend läßt sich aber festhalten, daß trotz unterschiedlicher Mobilität der Schwermetalle (Cadmium, Nickel, Zink können Verlagerungstendenzen aufweisen, während Quecksilber und Blei sehr immobil sind) keine akute Gefährdung durch diese Stoffe besteht. Diese Ergebnisse können durch eigene Untersuchungen - beim Klärschlammversuch wurde der Boden horizontweise bis zu 1 m Tiefe analysiert - und auf Grund der Lysimeterbefunde von EDER (1985) bestätigt werden (Tab.5).

Horizont- tiefe cm	Kontrollparz.					Klärschlammvar. II (500 m ³ /ha)				
	Zn	Ni	Cd	Pb	Hg	Zn	Ni	Cd	Pb	Hg
0 - 30	72	41	0,22	30	0,09	123	54	0,31	40	0,19
30 - 60	70	42	0,17	26	0,08	70	42	0,19	27	0,08
60 - 90	69	44	0,18	29	0,07	66	41	0,16	25	0,07

Tabelle 5: Schwermetallverteilung im Boden nach Klärschlammdüngung (mg/kg)

Etwas anders stellt sich die Situation bei den Nährstoffen dar. So unterliegt beispielsweise Stickstoff je nach Dünger-, Boden-, Kulturart, Ausbringungsmenge und -intervall immer einer Tiefenverlagerung (vergleiche N_{\min} -Werte Tabelle 6), aber auch im Lysimeterversuch unter Dauergrünland enthält Sickerwasser aus den Klärschlammvarianten 2,5 - 7,5 t TS/Jahr rund die 10fache Nitratmenge im Vergleich zur Kontrollvariante. Etwa die gleich hohe Verlagerungsrate im Lysimeter weisen noch Natrium und Kalium auf, während eine Kalk- oder Magnesiumverlagerung durch Klärschlammdüngung nicht feststellbar war. Phosphat ist im Boden grundsätzlich kaum beweglich und wird im Humushorizont gespeichert. Daß in Sickerwasser beim erwähnten Lysimeterversuch dennoch Phosphor im Bereich von 40 bis über 80 Mikrogramm P_2O_5 / l nachgewiesen wurde, dürfte mit der Verlagerung organischer Substanzen und Bodenkolloide zusammenhängen (EDER, mündliche Mitteilung).

Horizont- tiefe cm	Kontrolle	KS I	KS II	KS III	KS IV	MKA	MKB
0 - 30	0,15	0,26	0,35	0,25	0,38	0,36	0,30
30 - 60	0,14	0,40	0,51	0,77	0,59	0,49	0,25
60 - 90	0,14	0,40	0,48	0,64	0,57	0,57	0,39

Tabelle 6: Stickstoffverlagerung im Boden nach Klärschlammdüngung (mg NO_3 -N / 100 g)

3.3. Beeinflussung der biologischen Verhältnisse des Bodens

Mit der Zufuhr von organischer Substanz aus Klärschlamm und Müllkompost läßt sich grundsätzlich der Humusgehalt des Bodens verbessern. So wurden im bisherigen Versuchszeitraum beim Klärschlammversuch etwa 15 - 50 t organische Substanz verabreicht, die eine Humussteigerung von 1,5 % auf etwa 2,3 % bewirkte und in etwa mit der ha-Mengenbilanz übereinstimmt. Neben der Zufuhr umsetzbarer organischer Masse hat diese weiter den Vorteil, daß Böden mit höherem Humusgehalt Schwermetalle und organische Schadstoffe allgemein besser "abpuffern" und für Pflanzen weniger verfügbar machen. Die leichte Mineralisierbarkeit der organischen Substanz des Klärschlammes trägt allerdings wenig zur Bildung von Dauerhumus bei. Nach Erfahrungen verschiedener Autoren (BECK und SOß, 1979 ; FURRER, 1977; HOFFMANN, 1985) werden durch die Klärschlamm Düngung die biologischen Verhältnisse im Boden meist verbessert bzw. Rückschläge durch die mitgeführten Schwermetalle nicht festgestellt. STADELMANN (1984) konnte allerdings mit reinen Schwermetalllösungen verschiedene Enzymaktivitäten im Boden eindeutig hemmen. Untersuchungen von ÖHLINGER (1985) auf eine Reihe bodenenzymatischer Parameter beim Versuch St. Florian bestätigten wiederum die ersteren Ergebnisse (Abb. 4), wobei er aber eine Oberlagerung der Wirkung durch die organische Substanz vermutet und spätere negative Folgereaktionen nicht ausschließt.

3.4. Beeinflussungen der chemischen Verhältnisse des Bodens

Neben der Zufuhr organischer Masse sind es vor allem die Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor, deretwegen ein Landwirt eventuell bereit ist, Klärschlamm auf seinem Acker anzuwenden. Im Verlauf der 5 Versuchsjahre wurden beim Klärschlammversuch diese Nährstoffe in beträchtlicher Menge (1000-2000 kg N sowie 700 - 6200 kg P_2O_5) zugeführt und durch die chemische Bodenuntersuchung auch relativ genau festgestellt (Tab. 7). Eine Zufuhr von Stickstoff und Anreicherung von Phosphor im Boden ist grundsätzlich positiv zu beurteilen, zu berücksichtigen bleibt allerdings die mögliche Stickstoffauswaschung und P-Verluste durch Bodenabtrag. Die hohen Kalkgaben von 3000 kg / ha und Jahr bei Variante KS II bewirkten außerdem einen pH-Wertanstieg im Boden auf 7.0, wobei wieder einmal mehr die direkte Wirkung von Calcium auf den Boden bewiesen wurde.

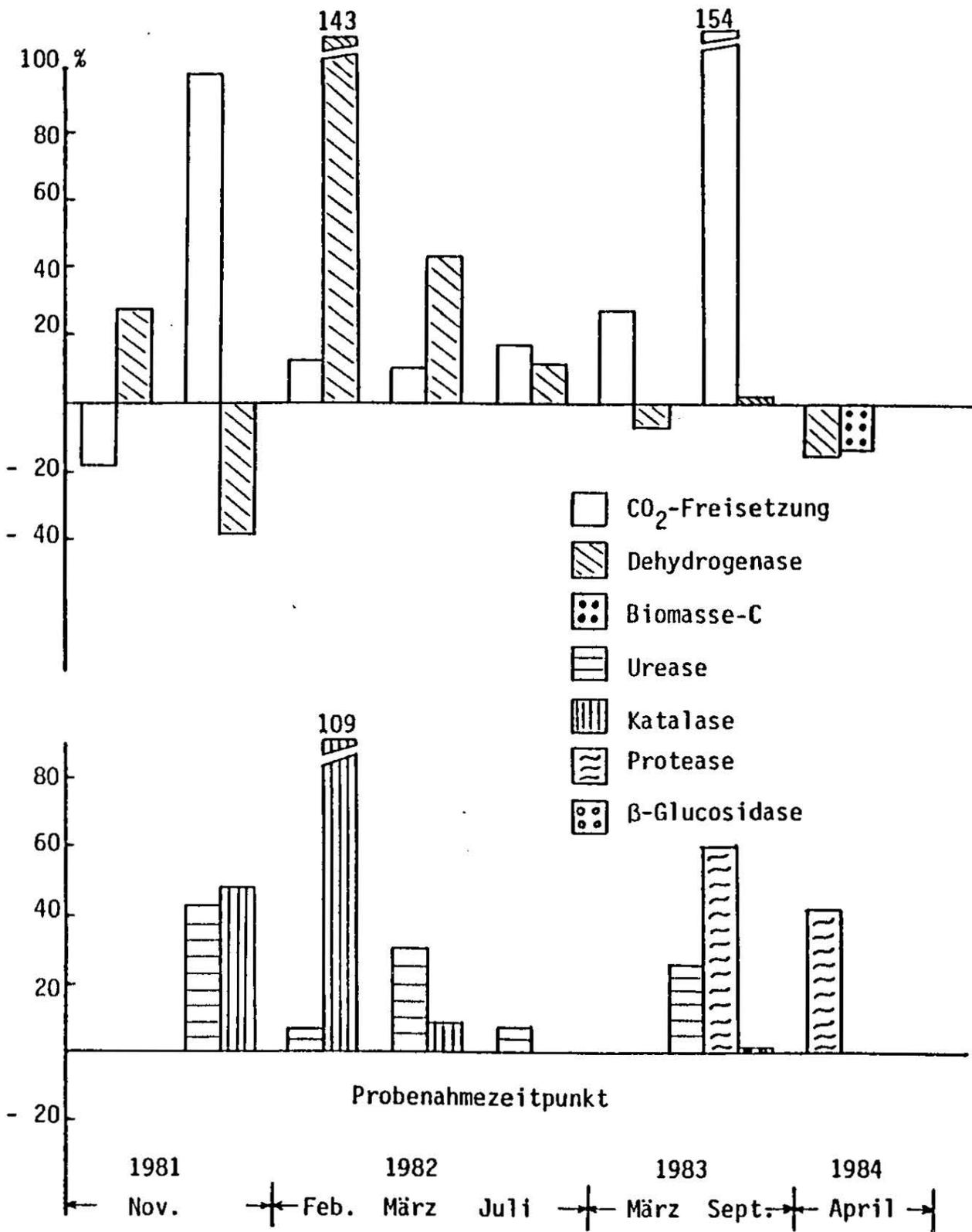


Abbildung 4: Relativvergleich verschiedener Enzymaktivitäten nach Klärschlammdüngung (Var.I) gegen Kontrollparzelle (=0%)

Keine Auswirkung zeigte die Klärschlammdüngung dagegen auf die K_2O -und Magnesium-Bodenwerte.

Entgegen den Erfahrungen von ASCHE (1982) wurde im bisherigen Versuchsverlauf weder die Kationenaustauschkapazität positiv beeinflusst, noch der Ionenbelag am Austauschkomplex entscheidend verändert. Die Verfügbarkeit der Nährstoffe ist durch die hohe organische Bindungsrate vielfach eingeschränkt, der Pflanzenbedarf kann jedoch bei Phosphor meist ganz und bei Stickstoff zum Teil abgedeckt werden (WIMMER, 1985).

Variante	org.Sub. %	pH	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	Mg	KAK mval/100 g
Kontrolle	1,5	6,3	9	7	23	18,8
KS I	1,8	6,4	7	7	22	19,5
KS II	2,3	7,0	50	7	21	18,8
KS III	1,9	6,5	10	6	23	19,5
KS IV	1,9	6,4	13	7	23	18,8
MK A	2,3	7,0	12	10	21	18,8
MK B	2,0	7,1	9	11	22	18,0

Tabelle 7: Bodenuntersuchung nach 5-jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostanwendung

Der Schwermetallgehalt von Klärschlamm und Boden stellt derzeit den entscheidendsten begrenzenden Faktor für die landbauliche Verwertung dieser Siedlungsabfälle dar. Schwermetalle sind jene Schadstoffe, über die heute international die meisten Erfahrungen vorliegen und damit Beurteilungen ermöglichen. Obwohl noch vieles in Diskussion steht, wurden oder werden in verschiedenen Staaten Schwermetallhöchstwerte für Klärschlamm und Boden festgelegt, um zu verhindern, daß stark belastete Siedlungsabfälle in die Landwirtschaft gehen bzw. Böden über Gebühr mit Schwermetallen kontaminiert werden. Nach dem heutigen Wissensstand sind die in Tabelle 8 angegebenen Höchstwerte für Schwermetalle im Boden noch umweltverträglich, d.h. diese Mengen stellen zugleich die Grenze der Belastbarkeit der Böden dar (BECK und AICHBERGER, 1984). Die Festlegung solcher Toleranzgren-

zen ist unbedingt wichtig, weil sich Schwermetalle im Gegensatz zu anderen Umweltschadstoffen biologisch nicht abbauen, sondern im Boden und in der Nahrungskette anreichern.

Schwermetalle	mg/kg Boden	entsprech.kg/ha bei 3000 t OB/ha
Molybdän	10	30
Kupfer	100	300
Zink	300	900
Blei	100	300
Nickel	60	180
Chrom	100	300
Cadmium	2	6
Kobalt	50	150
Quecksilber	2	6
Arsen	20	60

Tabelle 8: Schwermetall - Höchstwerte im Boden

Schwermetallanreicherung im Boden wurden von DIEZ und BIHLER (1984) und HOFFMANN (1985) im Rahmen großräumiger Erhebungsuntersuchungen bei mit Klärschlamm beaufschlagten gegenüber mit Klärschlamm unbehandelten Kontrollflächen festgestellt und können auch auf Grund der eigenen Versuchserfahrungen bestätigt werden (Abb. 5). Natürlich spielt für das Ausmaß der Anreicherung im Boden die Schwermetallfracht, die sich aus Konzentration mal Ausbringungsmenge errechnet, eine entscheidende Rolle. Bei den sehr vorsichtig kalkulierten Frachten in Österreich werden die Schwermetallhöchstwerte im Boden theoretisch erst in einigen hundert Jahren erreicht. Da hierbei eine Reihe von Faktoren (z.B. Schwermetallgrundlevel, Eintrag über Luft) nicht berücksichtigt sind, wird von BECK (1985) geschätzt, daß die zulässigen Höchstwerte tatsächlich schon in 50 bis 100 Jahren erreicht werden können. Im gegenständlichen Versuch lagen die fünfjährigen Frachten mit Mengen bis zu über 300 kg Zink und Kupfer, 268 kg Chrom, >100 kg Blei und 80 kg Nickel weit über dem tolerierbaren Maße und wurden durch die Bodenuntersuchung nahezu quanti-

tativ wiedergefunden (Tab. 9).

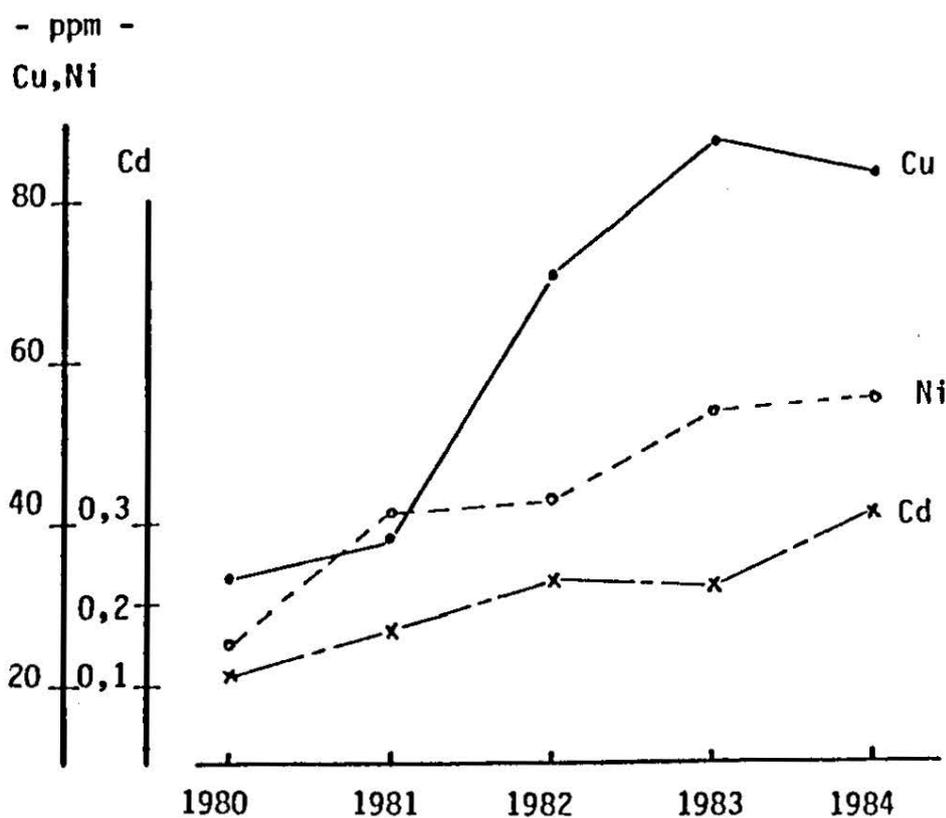


Abbildung 5: Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden nach 5-jähriger Anwendung von belastetem Klärschlamm (Var. II)

Variante	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
	- p p m -						
Kontrolle	31	72	41	32	30	0,22	0,09
KS I	31	82	39	70	31	0,23	0,15
KS II	84	123	54	39	40	0,31	0,19
KS III	33	83	40	33	45	0,25	0,13
KS IV	34	91	42	33	34	0,24	0,15
MK A	44	111	43	35	48	0,31	0,17
MK B	41	108	42	38	53	0,35	0,15

Tabelle 9: Schwermetallgehalte im Boden (0 - 30 cm) nach 5-jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostanwendung

Die Schwermetallgehaltswerte im Boden wurden nach 5 Anwendungsjahren um das 1,5 bis 3-fache erhöht, ohne aber dabei die Grenzwerte zu überschreiten. Nach WIMMER (1985) ist die Bodenuntersuchung daher durchaus in der Lage, eine mehrjährige, mißbräuchliche Anwendung von belasteten Klärschlämmen nachzuweisen, vorausgesetzt, daß die natürlichen Schwermetallgehalte für das betreffende Gebiet bekannt sind. Für Oberösterreich wurden diesbezügliche Untersuchungen von AICHBERGER und Ma. (1982) durchgeführt.

Es ist im Rahmen des gegebenen Themas nicht möglich, auf die chemische Aktivität, Löslichkeit und Pflanzenaufnehmbarkeit der Schwermetalle unter Einbeziehung verschiedener Bodeneigenschaften näher einzugehen. Ebenso muß für die verschiedenen bodenchemischen Extraktions- und Nachweisverfahren für Schwermetalle auf die dafür einschlägige Literatur verwiesen werden. Festzuhalten bleibt abschließend, daß es eine der Hauptaufgaben eines künftigen Umweltschutzgesetzes oder einer Bodenschutzverordnung sein muß, verbindliche Grenzwerte für Schwermetalle und andere toxische Stoffe in Böden festzulegen und die Einhaltung effizient zu überwachen, um damit auch in Zukunft der Landwirtschaft die Produktion qualitativ hochwertiger Nahrungsmittel zu ermöglichen.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Mehrjährige und systematische Untersuchungen an Klärschlämmen Oberösterreichs lassen einen mittleren bis hohen Stickstoffgehalt (3,5 % i.d.TS), durchschnittliche Phosphat- und niedrige Kaliwerte erkennen. Die häufigsten Werte für organische Substanz und Trockenmasse betragen 56 % bzw. 6,6 %. Die Schwermetallgehalte der Klärschlämme schwanken durchwegs über mehrere Zehnerpotenzen, die Häufigkeitsdichte liegt jedoch deutlich unter den in Österreich geltenden Grenzwerten. Von der insgesamt anfallenden Klärschlammmenge werden etwa 50 % landwirtschaftlich verwertet, wobei aber mit der Größe der Abwasserreinigungsanlage (Anschlußwert) die landwirtschaftliche Verwertbarkeit abnimmt.

Neben der Düngerwirkung ist vor allem die höchstmögliche Schadstofffreiheit eine Voraussetzung für die Verwertung von Klärschlamm in der

Landwirtschaft. Zur Klärung betreffender Fragen werden heute Versuche und Untersuchungen auf breiter Basis durchgeführt, und es ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit, die Auswirkungen einer Klärschlammdüngung auf die physikalischen, biologischen und chemischen Verhältnisse im Boden darzulegen. Nach bisherigen Erkenntnissen kann vor allem die Anreicherung von Schwermetallen im Boden zum vorrangigen Problem werden, sodaß es wichtig ist, Sicherheitsmargen (zulässige Schwermetallfrachten; Grenzwerte für Schwermetalle in Böden) festzulegen und zu überwachen. Von Seiten der Abwasserwirtschaft ist außerdem dafür zu sorgen, daß durch Verschärfung von Richtlinien und Normen für Metallemissionen ins Abwasser die Schadstoffbelastung der Klärschlämme in Hinkunft weiter verringert wird.

Dank

Für die gewissenhafte Durchführung der zahlreichen Klärschlamm- und Bodenanalysen gebührt ein aufrichtiger Dank meinen Mitarbeitern Ing.G.Hofer, H.Pichler, H.Sommer und G.Hofmann.

AICHBERGER Karl, Dipl.Ing.Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
4025 Linz, Wieningerstr. 8

5. LITERATUR

AICHBERGER, K. BACHLER, W. u. PICHLER, H.: Schwermetalle in Böden Oberösterreichs und deren Verteilung im Bodenprofil.
Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 38, 350-362, 1982

AICHBERGER, K.: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm nach den Richtlinien des Modells Oberösterreich.
Mitteilungen d. VDLUFA, Heft 2, 281-283, 1983

AICHBERGER, K. u. REIFENAUER, D.: Determination of polycyclic, aromatic hydrocarbons in sewage sludge.
Processing and use of sewage sludge (3rd Int.Symposium Brighton)
D.Reidel Publishing Company, 161-163, 1984

ASCHE, N.: Die Wirkung von Klärschlamm auf die Kationenumtauschverhältnisse einer Lößlehm-Parabraunerde unter Fichte.

Z.Pflanzenernähr.Bodenkde., 145, 17-24, 1982

BECK, Th. u. SOB, A.: Der Einfluß von Klärschlamm auf die mikrobielle Tätigkeit im Boden.

Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 142, 299-309, 1979

BECK, W. u. AICHBERGER, K.: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft.

Der Förderungsdienst, Heft 11, 32.Jg., 314-316, 1984

BECK, W.: Einleitung zum Seminar "Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Eignung der landwirtschaftlichen Böden".

Aktuelle Probleme der Landwirtsch.Forschung; 10.Seminar: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft; Landw.chem.Bundesanstalt Linz, 1985

DIEZ, Th. u. BIHLER, E.: Schwermetallgehalte bayerischer Ackerböden nach mehrjähriger Klärschlammdüngung im Vergleich zu unbeschlammten Böden.

Bayer.Landw.Jahrbuch, Heft 5, 61, 679-688, 1984

EDER, G.: Einflüsse von Wirtschaftsdüngern (Gülle und Stallmist) und Siedlungsabfällen (Klärschlämme und Müllkomposte) auf Böden.

Tätigkeitsbericht der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, 1985

FURRER, O.J.: Einfluß hoher Gaben an Klärschlamm und Schweinegülle auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften.

Landwirtsch.Forsch., Sonderh. 33/I, 249-256, 1977

HOFFMANN, G.: Belastung von Klärschlämmen mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen. (Vortragskurzfassung)

ALVA-Halbjahrsnachrichten, Heft 11, 37-39, 1983

HOFFMANN, G.: Bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte beim Einsatz von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft.

Aktuelle Probleme der Landwirtsch.Forsch.; 10. Seminar: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft; Landw.chem.Bundesanstalt Linz, 1985

KÜCHL, A.: Anwendung und Auswirkung der Klärschlammdüngung.

Dokumentation der Österr.Gesellschaft f. Land- und Forstwirtschaftspolitik über die Wintertagung 1980, Wien, 179-206, 1980

MAYR, E.: Modell Oberösterreich - Klärschlammanfall und Entsorgung.

Aktuelle Probleme der Landwirtschaft.Forsch.; 10. Seminar: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft; Landw.chem. Bundesanstalt Linz, 1985

ÖHLINGER, R.: Bodenenzymatische Untersuchungen beim Versuch St. Florian.

Aktuelle Probleme der Landwirtsch.Forsch.; 10. Seminar: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft; Landw.chem.Bundesanstalt Linz, 1985

Regeln des Österr.Wasserwirtschaftsverbandes: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen-Empfehlungen für Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen. ÖWWV-Regelblatt 17, Öst.Wasserwirtschaftsverb., Wien, 1984

STADELMANN, F.X.: Die Schwermetallbelastung des Bodens als Gefahr für die Bodenmikroorganismen.

Schweizerische Landw.Forsch., Heft 3, 23.Jg., 227-239, 1984

WIMMER, J.: Aufbau und bisherige Ergebnisse des Klärschlamm- und Müllkompostversuches St. Florian.

Aktuelle Probleme der Landwirtsch.Forsch.; 10. Seminar: Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft; Landw.chem.Bundesanstalt Linz, 1985

MASSNAHMEN ZUR REDUKTION
DES SCHWERMETALLGHALTES
IM KLÄRSCHLAMM AM BEI-
SPIEL DER STADT MÜNCHEN

J.Eichinger

1. AUSGANGSSITUATION

Das Münchener Entwässerungsnetz erfaßt das Stadtgebiet und 20 Regionsgemeinden mit insgesamt ca. 1,4 Mio. Einwohnern und ca. 0,9 Mio. Einwohnergleichwerten. Der durchschnittliche Trockenwetterzufluß beträgt rd. 550 000 m³/d.

Im Einzugsgebiet der Entwässerung liegen etwa 550 Gewerbe- und Industriebetriebe, von denen etwa 250 Betriebe mit Schwermetallen im Abwasser im Besitz von Genehmigungen zur Einleitung in das städtische Kanalnetz sind. Im wesentlichen handelt es sich dabei um:

- spezielle chemische Industriezweige,
- metalloberflächenbehandelnde und metallbearbeitende Industrie,
- Druckereien, Klischeeanstalten, Batteriestationen, Fotogroßlabors etc.

Der im Münchener Klärwerk anfallende Klärschlamm (Faulschlamm) - derzeit ca. 35 000 t Trockensubstanz pro Jahr - wurde wegen seiner bodenverbessernden Eigenschaften und seines Düngewertes über Jahrzehnte landwirtschaftlich verwertet.

Anfang 1979 wurde aufgrund der damals vorliegenden Vorarbeiten zur deutschen Klärschlammverordnung und den damals diskutierten Grenzwertvorschläge für den Schwermetallgehalt von Klärschlamm, die landwirtschaftliche Verwertung weitgehend eingestellt. Der größte Teil des Klärschlammes wurde seitdem auf einer Deponie abgelagert, der Rest nur

noch auf stadteigenen Gütern kontrolliert landwirtschaftlich verwertet. Seit 1981 wird auch dort die landwirtschaftliche Verwertung nicht mehr betrieben. Ab Frühjahr 1985 wird eine Anlage zur gemeinsamen Verbrennung von Klärschlamm mit Müll zur Verfügung stehen.

Unmittelbarer Anlaß für die Abkehr von der landwirtschaftlichen Verwertung war der damalige, erhöhte Cadmiumgehalt des Münchener Klärschlammes. Er betrug 1978 je nach verwerteter Schlammart im Mittel 48 - 60 mg/kg Trockensubstanz, im Maximum ca. 75 mg/kg.

Die Beschränkung der landwirtschaftlichen Verwertung auf die städtischen Güter mit einer relativ geringen Fläche von 400 ha stellte 1979 und in den Folgejahren die Stadt München vor erhebliche Schwierigkeiten bei der Erfüllung ihrer Entsorgungsverpflichtung. Wichtigstes Ziel mußte deshalb die schnellstmögliche Reduktion des Schwermetallgehaltes im Abwasser und Klärschlamm sein. Anders wäre die damals noch erforderliche landwirtschaftliche Verwertung auf den städtischen Gütern trotz kontrollierten Anbaues in Frage gestellt und die zukünftige Verbrennung erheblich erschwert worden. Auch die derzeit betriebene Klärschlammdeponie wäre aufgrund der erheblichen Widerstände in den Genehmigungsverfahren wesentlich schwerer durchsetzbar gewesen.

2. DURCHGEFÜHRTE MASSNAHMEN

1979 lagen in München wie anderswo keine gesicherten Erkenntnisse über die Anteile der einzelnen Quellen der Schwermetalle im Abwasser vor. Es war jedoch davon auszugehen, daß eine Beeinflussung des Schwermetallgehaltes nur im Bereich der industriellen Abwässer möglich war. Zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Entsorgung mußte deshalb versucht werden, die Einleitungen aus Industrie und

Gewerbe auf ein geringstmögliches Maß zu reduzieren.

Die zwei wesentlichen Mittel zum Erreichen dieses Zieles waren eine erheblich intensivierete Überwachung der gewerblichen Einleitungen und eine drastische Verschärfung der Einleitungsbedingungen der Schwermetalle, insbesondere für Cadmium:

- Bis 1979 wurden die ca. 250 gewerblichen Einleiter mit Schwermetallen im Abwasser ausschließlich auf der Basis von Stichproben überprüft. In der Regel wurden pro Betrieb 1 - 2 Stichproben im Jahr entnommen. Inzwischen konnte die Zahl der entnommenen Proben auf ca. 1800 pro Jahr gesteigert und damit etwa verfünffacht werden. Von besonderer Bedeutung ist, daß es sich bei der Mehrzahl der Proben (ca. 1000) jetzt um Mischproben handelt, die je nach Bedarf ein bis zwei Arbeitstage erfassen. Sofern erforderlich werden Betriebe an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen überprüft. Insgesamt fallen pro Jahr ca. 15 000 - 20 000 Analysendaten an.

Diese Intensivierung war nur durch einen erhöhten Geräte- und Personaleinsatz möglich. Für die Probenahme war die Anschaffung von 10 automatischen Probenahmegegeräten und 4 Laborhilfswagen erforderlich. Für die Analyse wurde zusätzlich zu den schon damals im Labor der Münchener Entwässerung vorhandenen 2 Atomabsorptionsspektrometern ein Atomemissionsspektrometer angeschafft, durch den es ermöglicht wurde die erhöhte Analysenzahl zu bewältigen. Das bei der Industrieüberwachung und im Labor eingesetzte Personal mußte um 12 Stellen verstärkt und damit etwa verdoppelt werden.

Gegenwärtig wird zur Registrierung und Auswertung von Daten bei der Industrieüberwachung die elektronische Datenverarbeitung eingeführt. Die dazu erforderlichen umfangreichen Vorarbeiten wie Programmierung und Dateneingabe stehen kurz vor dem Abschluß.

Die laufenden Kosten der Industrieüberwachung betragen derzeit in München ca. 1,1 Mio. DM pro Jahr.

Gemäß Beschluß des Stadtrates der Landeshauptstadt München sind seit 1980 diese Kosten von den Industriebetrieben zu tragen. Die städtische Entwässerungsabgabensatzung sieht gegenwärtig deshalb pro Einleitungsgenehmigung eine Gebühr von 2800,-- DM pro Jahr und pro Probenahme und Analyse von mindestens 220,-- DM vor.

- Die Einleitung von Industrieabwässern darf nach der städtischen Entwässerungssatzung nur aufgrund einer Genehmigung im Einzelfall erfolgen. Industrieabwässer können nur aufgrund von Genehmigungsbescheiden, in denen die entsprechenden Auflagen, also auch die Grenzwerte für die einzelnen Stoffe, festgelegt sind, eingeleitet werden (Tabelle 1). Bei den genannten 250 Betrieben mit schwermetallhaltigen Abwässern ist zudem eine werksseitige Behandlung der Abwässer Grundvoraussetzung. Bei Grenzwertüberschreitungen werden je nach Schwere und Häufigkeit der Überschreitung Fristen zur Behebung von Mängeln gesetzt oder sog. Zwangsgelder angedroht bzw. erhoben. Die gesetzlich festgelegte Höchstgrenze für diese Zwangsgelder liegt bei 10 000,-- DM.

Für Cadmium betrug der Grenzwert bis zum April 1978 3 mg/l, ab diesem Zeitpunkt wurde ein Grenzwert von 1 mg/l eingeführt, ab 1.1.1980 ist in München allgemein ein Grenzwert von 0,5 mg/l einzuhalten. Zudem wurde ab 1980 bei allen 19 Betrieben die damals Cadmium direkt verarbeiteten - es handelte sich dabei um 18 Galvaniken und einen Betrieb der Chemieindustrie - die getrennte Behandlung des cadmiumhaltigen Abwasserteilstromes gefordert. Durch diese Sonderbehandlung ist eine effektivere Reinigung der Abwässer möglich. Zugleich reduziert sie die einleitbare Cadmiumfracht, da der Grenzwert von 0,5 mg/l am Ablauf der Anlage einzuhalten ist und eine Verdünnung durch Abwässer aus anderen Produktionsbereichen nicht erfolgen kann. Dem bereits genannten Chemiebetrieb, der u.a. Cadmiumstearat produziert, wurde zudem

schon 1979 eine Frachtlimitierung für Cadmium auferlegt. Dort wird mit Hilfe von induktiven Mengenmessungen an den Übergabestellen in das Kanalnetz die eingeleitete Tagesfracht kontinuierlich (mengenproportionale Probenahme) überwacht. Ergänzend ist zu erwähnen, daß in der Regel die Grenzwerte am Ablauf der Behandlungsanlage einzuhalten sind, nicht wie bei diesem Betrieb an der Übergabestelle in das Netz.

Besonders zu dem Zeitpunkt als der Grenzwert für Cadmium in München auf 0,5 mg/l festgesetzt wurde, wurde eingewandt, daß ein derart niedriger Grenzwert mit heutigen technischen Mitteln nicht erreichbar ist. Die inzwischen gesammelten Erfahrungen bestätigen jedoch, daß dieser Grenzwert als Regel der Technik bezeichnet und eingehalten werden kann. Dies bestätigt auch das Arbeitsblatt A 115 der deutschen Abwassertechnischen Vereinigung vom Januar 1983, das für Cadmium ebenfalls einen Grenzwert von 0,5 mg/l vorsieht.

Metall	Landeshauptstadt München		ATV / A 115 (Jan. 1983)
	bis 31.12.79	ab 1.1.80	
Blei	3	2	2
Cadmium	1	0,5	0,5
Chrom	2	2	3
Kupfer	1	1	2
Nickel	3	2	4
Quecksilber	0,1	0,1*	0,05
Silber	1	1	-
Zinn	3	3	6
Zink	1(3)**	1*(3)**	5

* Ende 1981 wurde für Zink ein Grenzwert von 2 mg/l, für Quecksilber von 0,05 mg/l festgelegt.

** () für Klischeeanstalten

Tabelle 1: Grenzwerte der Landeshauptstadt München und Empfehlungen der ATV in mg/l

Aufgrund der angespannten Entsorgungssituation, in der die Stadt München sich befand mußten die geschilderten Maßnahmen konsequent und in kürzester Zeit durchgesetzt werden. Bei Betrieben, die nicht bereit waren, zeitgerecht die Auflagen zu erfüllen, mußten temporäre Einleitverbote für Abwässer aus dem Cd-verarbeitenden Bereich ausgesprochen werden. Insgesamt sechs der ursprünglich 19 Betriebe mit Cd-Verarbeitung entschlossen sich zum Einbau der geforderten Sonderbehandlungsanlagen. Die restlichen 13 Betriebe haben die Cadmiumverarbeitung inzwischen eingestellt.

Die Durchsetzbarkeit der Maßnahmen wurde sicherlich durch die intensive Diskussion der Münchener Klärschlammproblematik im Münchener Stadtrat und in den Medien erheblich gefördert. Es ist jedoch auch zu erwähnen, daß die Bereitschaft der gewerblichen Einleiter an einer Reduzierung der eingeleiteten Schadstoffe aktiv mitzuarbeiten, die in der Regel vorhanden war, eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der Maßnahmen bildete. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß sich die gegen die Einleitungs- und Gebührenbescheide eingelegten Widersprüche inzwischen erledigten.

Parallel zu den geschilderten übergeordneten Maßnahmen im Bereich der Industrie wurde das in München vorhandene Einschüttsystem saniert. Bis 1979 waren im Einzugsgebiet der städtischen Entwässerung 8 Einschütten vorhanden, in die von Vertragsunternehmern der Inhalt der Faulgruben von Hauskläranlagen aus den nichtkanalisierten Bereichen des Einzugsgebiets in das Kanalnetz eingebracht werden durfte. Da die Einschüttfahrzeuge nur selten stichprobenartig überprüft werden konnten, war nicht auszuschließen, daß über diese Einschütten auch gewerbliche Abwässer und Schlämme in das Kanalnetz gelangten. Zwei dieser Einschütten wurden inzwischen geschlossen, die übrigen sechs mit einem automatischen Kontroll- und Überwachungssystem ver-

sehen, das gewährleistet, daß nur zugelassene Unternehmen einschütten. Das einschüttende Fahrzeug wird registriert. Nach einem festgelegten Plan werden, für den Einschütten- den nicht erkennbar, automatisch Proben genommen.

3. FOLGEN DER MASSNAHMEN

Durch die geschilderten Maßnahmen konnte der Schwermetall- gehalt des Münchener Klärschlammes insgesamt erheblich ge- senkt werden. Die Konzentrationen im zentrifugierten Klär- schlamm sind für 1979 bis 1984 aus Tabelle 2 zu ersehen. Es handelt sich um Durchschnittswerte bei in der Regel wöchentlicher Probenahme.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Grenzwert
Cd	46	23	16	10	8	7	20
Cr	524	372	239	205	191	167	1200
Cu	563	523	498	475	462	436	1200
Hg	6	7	7	7	6	6	25
Ni	141	130	99	85	82	68	200
Pb	735	211	223	285	257	228	1200
Zn	2593	2375	2146	2250	2088	1995	3000

Tabelle 2: Mittlere Schwermetallgehalte des zentrifugier- ten Klärschlammes 1979/1984 und Grenzwerte der deutschen Klärschlammverordnung von 1982 in mg/kg TS

Von besonderer Bedeutung ist aufgrund der geschilderten Ausgangssituation der drastische Rückgang des Cadmiumge- haltes im Klärschlamm und Abwasser.

Im Klärschlamm wurden, wie schon erwähnt, 1978 noch durch- schnittliche Cadmiumgehalte von 48 - 60 mg/kg TS gemessen. Auch 1979 wurden ähnliche Größenordnungen erreicht. Im

Jahr 1980, als die geschilderten Maßnahmen zum Tragen kamen, nahm die im Klärwerk zugeleitete Cadmiumfracht gegenüber dem Jahr 1979 um über 50 % ab. Während im Jahr 1978 die Cadmiumkonzentrationen im Abwasser, das dem Klärwerk zufließt, noch durchschnittlich $13 \mu\text{g}/\text{l}$ betrug, wurde im Jahr 1982 nur noch ein Wert von $1,2 \mu\text{g}/\text{l}$ - das ist ein Fünftel des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung - gemessen. Im Ablauf des Klärwerkes betrug der Cd-Gehalt nur noch $0,3 \mu\text{g}/\text{l}$. Etwa 74 % der Cadmiumfracht des Abwassers wurden damit im Klärschlamm zurückgehalten.

4. UNTERSUCHUNG ÜBER HERKUNFT UND VERBLEIB VON SCHWERMETALLEN IM ABWASSER UND KLÄRSCHLAMM DER LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN

4.1 Untersuchungsprogramm und Durchführung

Von Ende 1979 bis Ende 1981 wurde flankierend zu den geschilderten Maßnahmen im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Stadt München vom Prüfamte für Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der TU München und der Bayerischen Landesanstalt für Wasserforschung eine Untersuchung über die diffusen und konkreten Quellen der Schwermetalle durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es auf der Basis der Quellenermittlung, Maßnahmen zur weiteren Reduktion des Schwermetallgehaltes im Münchener Abwasser und Klärschlamm, soweit möglich, vorzuschlagen.

Das Untersuchungsprogramm, das in seiner umfassenden Art bisher weltweit ohne Beispiel sein dürfte, erstreckte sich auf 21 chemische Elemente. Insgesamt wurden ca. 100 000 Analysendaten ermittelt. Daneben mußten zur Errechnung der Anteile der einzelnen Quellen eine Vielzahl von Abwasser- und Klärschlammengenmessungen durchgeführt werden.

Bei den konkreten Quellen waren durch Entnahme von Misch- und Stichproben die Abwässer der bereits genannten ca.

250 Betriebe mit Schwermetallen im Abwasser zu erfassen und Mengenmessungen bzw. -ermittlungen der anfallenden Frachten durchzuführen.

Bei den sogenannten diffusen Quellen mußten folgende Anteile ermittelt werden:

- der Oberflächenabfluß, der bei Regen ins Kanalnetz gelangt mit Schwermetallen aus atmosphärischen Verunreinigungen, Autoabgasen und Reifenabrieb.
- das häusliche Abwasser mit Schwermetallen aus Wasch- und Reinigungsmitteln, aus dem Trinkwasser und menschlichen Ausscheidungen,
- die Schwermetallbelastung des Grundwassers, das z.B. aus Baustellen in das Kanalnetz eingeleitet wird.

4.2 Ergebnis der Untersuchung

Bemerkenswertestes Ergebnis des Schlußberichtes über das Untersuchungsvorhaben ist, daß 1980 nur bei Cadmium und Nickel bezogen auf den Klärwerkszulauf größere Anteile (ca. 50 %) aus industriellen Abwässern stammten. Bei allen übrigen bilanzierten Metallen (Chrom, Kupfer, Blei, Silber, Zink) betrug dieser Anteil nicht mehr als 10 %.

Im folgenden wird exemplarisch auf die Untersuchungsergebnisse für die Metalle Cadmium und Zink eingegangen:

Bei der Bilanzierung der Cadmium-Frachten für 1980 dominiert - bei einem mittleren Cd-Gehalt des zentrifugierten Klärschlammes von ca. 23 mg/kg TS in diesem Jahr - deutlich der Einfluß der gewerblichen Abwässer. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß auch mit den häuslichen Abwasser und dem Oberflächenabfluß in annähernd gleicher Größenordnung dem Klärwerk Cadmiumfrachten zuflossen. Inzwischen konnte der Anteil des gewerblichen Abwassers nochmals erheblich reduziert werden. Während die in das Klärwerk eingebrachte Cadmiumfracht 1980 noch 445 kg betrug, reduzierte sie sich 1982 auf 270 kg und 1984 auf 220 kg. Aufgrund

dieser Reduktion kann auch für Cadmium davon ausgegangen werden, daß der industrielle Anteil wie bei den übrigen Schwermetallen jetzt unter 10 % liegt. Dies gilt auch für das Schwermetall Nickel, bei dem ebenfalls ein erheblicher Rückgang erzielt wurde.

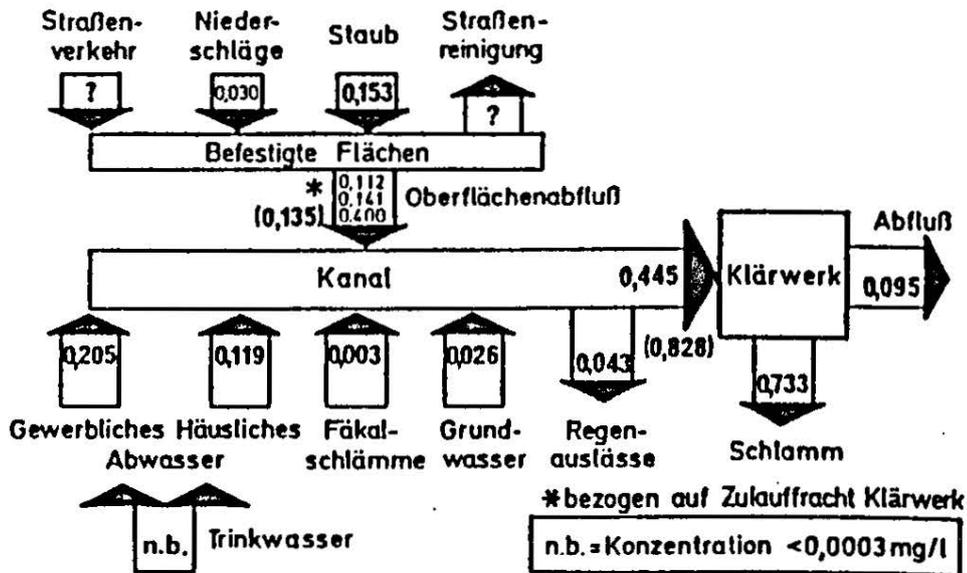


Bild 1: Bilanzierung der Cadmium-Frachten im Jahr 1980 (t/a)

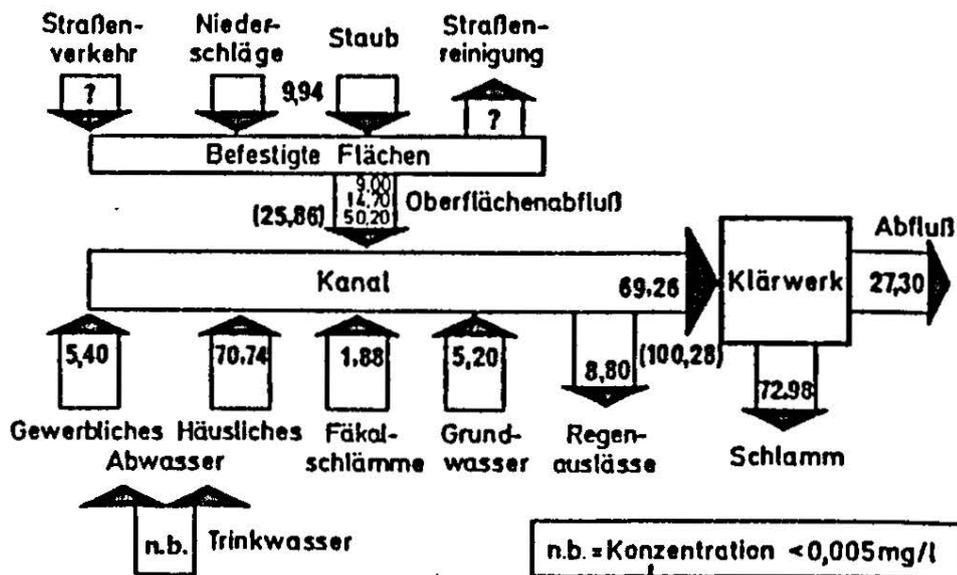


Bild 2: Bilanzierung der Zink-Frachten im Jahr 1980 (t/a)

./.

Die für 1980 ermittelten Zink-Frachten lassen bei einem mittleren Zn-Gehalt des zentrifugierten Klärschlammes von ca. 2400 mg/kg TS erkennen, daß Zink in erster Linie aus dem häuslichen Abwasser und zu einem nicht unerheblichen Teil aus dem Oberflächenabfluß stammt. Der industrielle Anteil an der Fracht im Zulauf zum Klärwerk beträgt dagegen weniger als 10 %.

5. FOLGERUNGEN

Durch die geschilderten Maßnahmen ist es gelungen, die Schwermetallgehalte des Münchener Klärschlammes so zu reduzieren, daß die seit 1983 in Deutschland gültigen Grenzwerte (Klärschlammverordnung) für die landwirtschaftliche Verwertung sicher eingehalten werden können.

Parallel dazu wurde in einer umfangreichen Untersuchung der Nachweis erbracht, daß der Anteil der sog. diffusen Quellen am Schwermetallgehalt im Abwasser und Klärschlamm zwar hoch ist, aber diese Quellen in München die Grenzwerte der Klärschlammverordnung nicht in Frage stellen. Wenn auch möglicherweise dieses Ergebnis wegen des nicht auszuschließenden Einflusses örtlicher Verhältnisse nicht generell übertragbar sein muß, dürfte es zumindest orientierenden Charakter für andere Kommunen besitzen.

Trotz der erreichten niedrigen Schwermetallbelastung des Klärschlammes wurde in München inzwischen auf die landwirtschaftliche Verwertung verzichtet. Gegenwärtig wird der Klärschlamm ausschließlich deponiert, in Zukunft die völlige Verbrennung angestrebt. Dies ist v.a. durch die gemäß Klärschlammverordnung maximal zulässige Aufbringungsmenge von 5 t TS/a innerhalb drei Jahren bedingt. Daraus ergibt sich ein Flächenbedarf der in Ballungsräumen in der Regel nicht zur Verfügung steht. In München würde z.B. die ausschließliche landwirtschaftliche Verwertung von Klär-

schlamm mit ca. 25 000 ha schon jetzt eine Fläche beanspruchen, die nahezu dem Stadtgebiet entspricht.

Auch nach Verzicht auf die landwirtschaftliche Verwertung setzt die Landeshauptstadt München ihr Bemühen fort, die über Einleitungen in das Kanalnetz in die Umwelt gelangenden Schadstoffe weiter zu reduzieren bzw. das Erreichte zu stabilisieren. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß auch bei der Verbrennung aufgrund der gerade in der letzten Zeit heftig diskutierten und verschärften Emissionsgrenzwerte der Schwermetallgehalt des Schlammes von Bedeutung ist. Dies gilt auch bei der Deponierung, da die anfallenden Sickerwasser im Münchener Klärwerk gereinigt werden. Zudem ist zu beachten, daß das deutsche Abwasserabgabengesetz die in den Vorfluter eingeleitete Cadmium- und Quecksilberfrachten bewertet.

Eichinger Joachim, Dipl.-Ing.
Landeshauptstadt München
Baureferat
Hauptabteilung Entwässerung
Herzog-Wilhelm-Straße 15

8000 München 2

ORGANISATION UND KONTROLLE DER KLAER-
SCHLAMMVERWERTUNG AM BEISPIEL DER
KLAERANLAGE BERN

M.K.Meyer

1. STIRBT DER BODEN?

"Die schleichende Vergiftung unserer Lebensgrundlage", so lautete der Titel einer Tagung im November 1984 am Gottlieb Duttweiler Institut bei Zürich.

Die Experten warnten vor einer ökologischen Katastrophe: "Wir sind auf dem besten Wege dazu, durch Versauerung der Böden, durch Ueberdüngung und Giftstoffakkumulation unsere Lebensgrundlage zu zerstören, wenn nicht energisch Gegenruder gelegt wird". So forderten beispielsweise weitsichtige Oekologen den Nulleintrag von Schwermetallen!



Stirbt der Boden?

Klärschlamm

Zn

Cd

Pb

PCB

Bild 1:

Ist es da überhaupt noch sinnvoll, über Organisation und Kontrolle einer landwirtschaftlichen Schlammverwertung zu sprechen? Stirbt mit dem Boden nicht auch gezwungenermaßen die Schlammverwertung?

Immer und immer wieder werden in letzter Zeit ganze Artikelserien in der Presse veröffentlicht, die sich zu Recht mit der masslosen Ueberdüngung unserer Böden befassen, aber dauernd - und dies ärgert mich jedesmal - wird der Klärschlamm mit in den Vordergrund gerückt, zum Prügelknaben abgestempelt. (Bild 1)

Gestatten Sie mir einleitend noch eine weitere Bemerkung zur Tragik der Klärschlammverwertung. Nachdem in der Schweiz in den letzten Jahren mit Millionenaufwand hochwertige Hygienisierungsanlagen erstellt wurden, setzt heute die Grundlagenforschung in verschiedenen Teilbereichen erst richtig ein. Ich meine damit nicht die Forschung, welche sich mit der Praxis-Tauglichkeit der Klärschlamm (KS)-Hygienisierung befasst; dieser Beweis ist bei uns längst erbracht. Nein, ich meine damit die Frage, welche Auswirkungen letztlich der hochwertig getrimmte Schlamm auf dem landwirtschaftlichen Felde zeitigt, und diese Auswirkungen sind vielfach noch unbekannt. Kennt man beispielsweise die Synergieeffekte von verschiedenen Schwermetallen?

So stehen unter anderen auf dem Programm des "Schweizerischen Nationalfonds" zur Lösung der KS-Problematik folgende Themen:

- schwer abbaubare Phenolverbindungen im Klärschlamm, d.h. organische Verunreinigungen, Metaboliten, Polychlorphenole, lineare Alkylbenzolsulfonate etc. etc.
- Verhalten von PCB, polyaromatische Kohlenwasserstoffe etc. im System Klärschlamm-Boden-Pflanze

- Viren im Klärschlamm, Überprüfung der derzeit angewandten Schlammbehandlungsverfahren

Zunächst waren es noch relativ harmlose Kolibakterien, welche uns Praktikern Sorge bereiteten und auf welche unsere Pasteurisierungsanlagen zielen. Heute sind es die Schwermetalle und morgen vielleicht die linearen Alkylbenzolsulfonate? Was hierunter auch immer zu verstehen sein mag, die Zukunft bereitet mir etwelche Sorgen.

Rücken wir aber im folgenden die Bedeutung des KS in der Landwirtschaft wieder ins richtige Licht, in die angemessenen Proportionen.

Die richtigen Proportionen aber erreichen wir in Zukunft meiner Meinung nach nur mit einer rigorosen Kontrolle der Klärschlammverwertung einerseits und mit einer sachlichen Aufklärung der Landwirtschaft andererseits.

Von einer Lösungsmöglichkeit, welche wir in Bern seit 2 Jahren betreiben, soll hier die Rede sein.

2. SCHLAMMVERWERTUNG IN DER KLAERANLAGE BERN

Allen sich verhärtenden Randbedingungen zum Trotz: Wir werden versuchen, auch in der Zukunft möglichst viel Schlamm in der Landwirtschaft einzusetzen, nicht weil es billig wäre, sondern weil es sinnvoll ist.

Wie sieht nun das Umfeld der Kläranlage Bern aus?

Hügeliges Gelände, Ortschaften und Siedlungen mit viel Acker- und Grasland: Auf den ersten Blick wie geschaffen für die Schlammausbringung, wenn da das Problem mit dem Käse und den Salmonellen nicht wäre.

Viele Bauern, welche geeignete Abnehmer wären, verzichten auf Klärschlamm, weil sie, beeinflusst durch Vertreter der

Milchwirtschaft, befürchten, dass der berühmte Schweizer Käse mit Salmonellen, statt mit Löchern durchsetzt würde. Da der Berner-Schlamm aber qualitativ gut ist - Bern ist vorwiegend eine Verwaltungsstadt mit relativ wenig Industrie - konnte, allerdings ohne das hier zur Diskussion stehende Kontroll-Instrument, der überwiegende Anteil in Nassform abgegeben werden.

Zusätzlich noch einige Merkmale der ARA Bern:

- 400'000 Einwohnerggleichwerte
- 4-stufige Abwasserreinigung (mech.-chem.-biol.-Filtration)
- Faulschlammverwertung in Landwirtschaft oder Beseitigung in entwässerter und gekalkter Form auf Deponie, evt. Verwertung
- Anlagebetrieb mit computergestütztem Leitsystem
- Anlageerweiterung, abgeschlossen 1985, bringt weitergehende Schlammbehandlung mit z.B. Vorpasteurisierung, Gasverwertung - Stromerzeugung - Abluftverbrennung in Gasturbinen usw.

3. IST KLAERSCHLAMM EIN KONKURRENT VON HOFDUENGER UND HANDELS- DUENGER ?

Die hier zu diskutierende Verwertungskontrolle ist auf einer Phosphor-Bilanzierung aufgebaut.

Stellen wir uns deshalb, unser Gesichtsfeld etwas erweiternd, einführend die Frage:

Welchen Stellenwert nimmt Klärschlamm (KS) als Phosphorlieferant im gesamten Haushalt der Landwirtschaft ein? In der Schweiz liefert KS im Vergleich zu Handelsdünger nur

etwa 4 % N und rund 15 % P (FURRER,1). Trotz dieser geringen Anteile wird der Hebel der bundesrätlichen Vorschriften hier angesetzt. Die Kommunen als Betreiber der Kläranlagen sind offenbar leichter dazu zu zwingen, Düngungs- und Kontrollmassnahmen nachzukommen als die Landwirtschaft selbst. Eindrücklich wird für mich die Sache erst dann, wenn wir die Gesamtschau, den Phosphorkreislauf in der Landwirtschaft auf Bild 2 betrachten (FURRER 2,3).

Für die Viehhaltung werden alljährlich 11 Kilotonnen (kT) Phosphor (P) mit Futtermitteln importiert (alle Zahlen nur Grössenordnungen). 26 kT P liefert der Feldbau. Von diesen 37 kT fallen 30 kT in Form von Hofdünger an, und 7 kT gelangen in den Nahrungsmitteln zum Konsumenten.

Wie sieht nun die Bilanz im Feldbau aus?

Hier werden 22 kT P als Handelsdünger importiert. Die erwähnten 30 kT Hofdünger gelangen auf unsere Felder. Der Klärschlamm steht mit bescheidenen 3 kT zu Buche. Zusammen mit 1 kT Phosphor in den Niederschlägen ergibt sich ein P-Input im Feldbau von 56 kT pro Jahr.

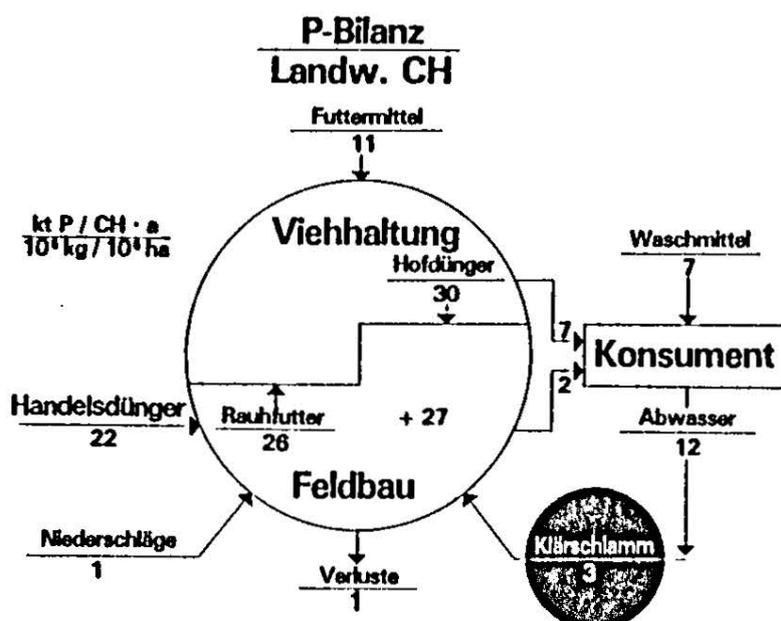


Bild 2: Der Phosphorkreislauf in der Schweiz

Die Phosphor-Entzüge betragen für die Viehhaltung 26 kT, für die Nahrungsmittelproduktion 2 kT, ausgewaschen wird 1 kT, zusammen somit 29 kT P.

Das Resultat ist ein Ueberschuss von 27 Kilotonnen Phosphor jährlich.

Wo hier angesetzt werden muss, um wieder ein ökologisch sinnvolles Gleichgewicht zu erhalten, bleibt dem Leser überlassen. Der Konsens zwischen Landwirtschaft und Gewässerschutz sollte baldmöglichst gefunden werden.

4. DIE GESETZLICHEN GRUNDLAGEN ZUR VERWERTUNGSKONTROLLE

An dieser Stelle seien nur diejenigen Vorschriften der schweizerischen Klärschlammverordnung aus dem Jahre 1981 erwähnt, welche für den Aufbau einer Verwertungskontrolle massgebend sind (BUNDESRAT, 7).

Es wird vorausgesetzt, dass der zu verwertende Klärschlamm die Schwermetall-Grenzwerte unterschreitet und bei Verwendung auf Futter- und Gemüseflächen hygienisch einwandfrei ist.

Für die Führung einer Kontrolle werden verlangt:

- Jedem Schlammabnehmer soll ein Lieferschein abgegeben werden (Art. 4)
- Es muss ein Abnehmerverzeichnis geführt werden (Art. 5)
- Innert 3 Jahren sind nicht mehr als 7,5 T/ha Schlamm-Trockensubstanz auszubringen (Art. 11)

Fakultativ, d.h. je nach Vorschrift der einzelnen Kantone ist ein Abnehmernachweis. Dies finde ich schade, denn mir scheint dies ein wesentlicher Aspekt der Kontrolle zu sein. Es geht darum, dass nur dann Schlamm verwertet werden darf,

wenn der Abnehmer den Nachweis erbringt, dass Klärschlamm nebst dem Hofdünger vorschriftsgemäss ausgebracht werden kann (Art. 6).

Nicht in der Verordnung enthalten, sondern durch die Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene in Bern-Liebefeld separat empfohlen, sind die nachfolgenden wichtigen Parameter: (SIEGENTHALER, CANDINAS, 4)

- 100 kg Phosphat/ha decken den jährlichen P-Bedarf bei mittleren Erträgen
- Einzelgaben bis max. 300 kg Phosphat/ha sind erlaubt, wenn die P-Bilanz im Laufe einer Fruchtfolge ausgeglichen ist
- 50 kg wirksamen Stickstoff/ha als oberste Limite ausbringen.

5. WESHALB WURDE DIE PHOSPHOR BILANZIERUNG GEWAHLT?

Es stellt sich nun die entscheidende Frage, nach welchem Kriterium die Schlammlieferungen überwacht und begrenzt werden sollten. Steht die Schwermetallbelastung der Böden im Vordergrund? Ist nicht die Nährstoffversorgung der limitierende Faktor? Oder sind vorwiegend Belange des Gewässerschutzes - ich verstehe darunter die Abschwemmung von eutrophierenden Stoffen in ein Gewässer - zu beachten?

Wir haben die Phosphor-Bilanzierung aus folgenden Gründen gewählt (VOEKT, 5) Bild 3

- Klärschlamm ist ein ausgesprochener P-Dünger. Der P-Anteil entspricht im CH-Mittel rund 75 % des Düngewertes (FURRER, 3)

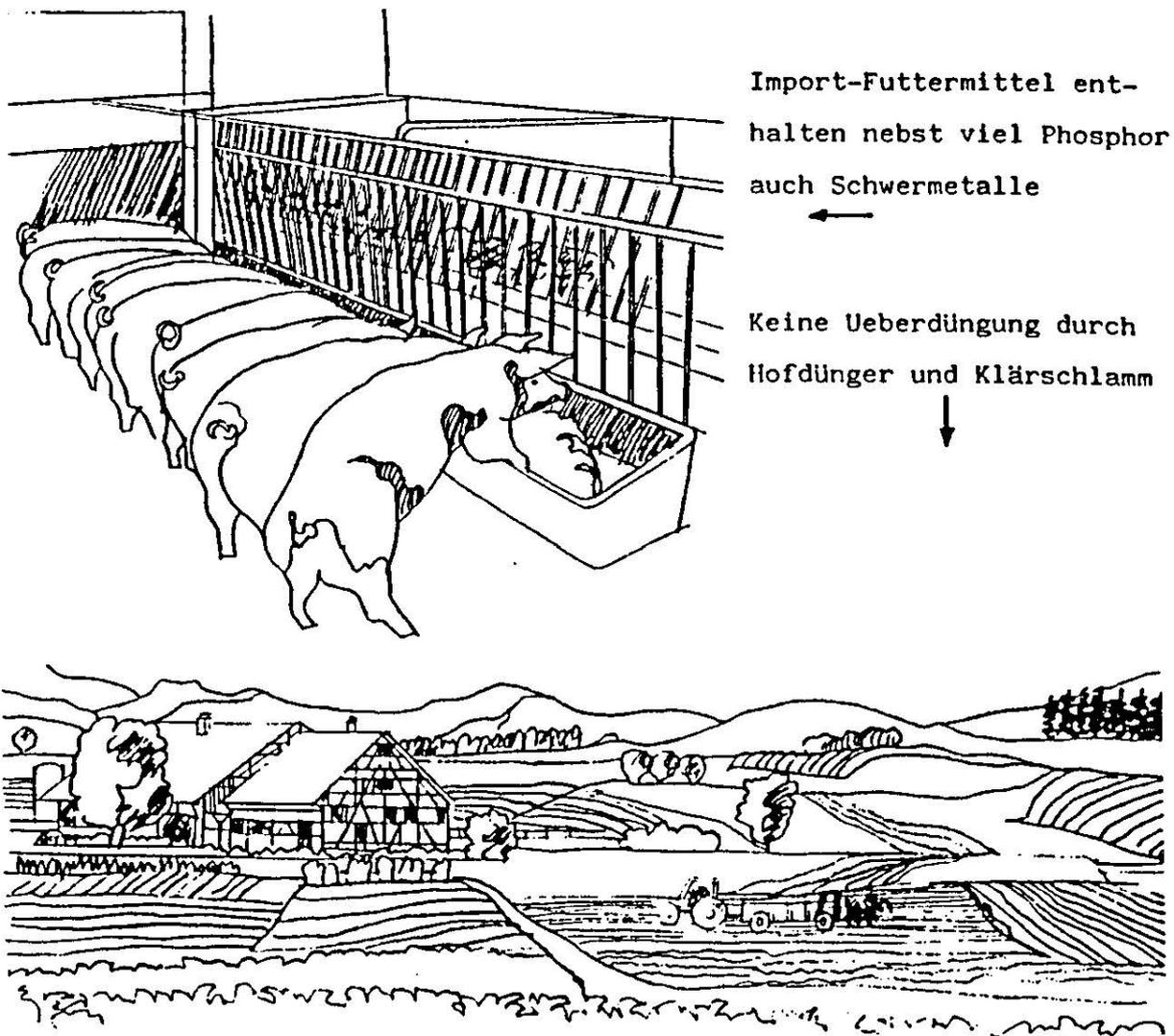


Bild 3:

- Tiermastbetriebe (vor allem Schweinemästereien) weisen im Hofdünger einen hohen Phosphorgehalt auf. Viele Import-Futtermittel sind stark phosphorhaltig - und was vielleicht weniger bekannt ist - sie enthalten auch recht viele Schwermetalle.

Es ist nun wenig sinnvoll, Landwirtschaftsbetrieben, die mit Phosphor und Schwermetallen überversorgt sind, noch mittels Klärschlamm Phosphor und Schwermetalle zu liefern.

- Durch Begrenzung der P-Zufuhr soll der Nährstoff Phosphor richtig eingesetzt und (indirekt) die Schwermetallzu-

fuhr zum Boden unter Kontrolle gebracht werden. Nur so können wir eine Gewässereutrophierung und eine Bodenvergiftung verhindern.

- Für jeden Landwirt ist Phosphor ein Begriff. Als Handelsdünger muss er diesen recht teuer einkaufen. Sein Interesse an der Klärschlammanwendung mag zum Teil recht gross sein, wenn er den Ankauf von Phosphor durch Gratis-Schammlieferungen umgehen kann.

- Phosphor ist ein Rohstoff, dessen Vorrat begrenzt ist. Aus diesem Grunde sollten nur diejenigen Betriebe mit KS beliefert werden, welche wirklich einen Phosphorbedarf aufweisen.

- Schlamm soll nur dort als Dünger eingesetzt werden, wo ein Ertragszuwachs der Ernte zu erwarten ist. P- und N-Überschüsse bringen keinen Gewinn.

- Die Klärschlamm-Menge ist nach jenem Nährstoff zu bemessen, dessen Bedarf zuerst gedeckt ist. Dies trifft in den allermeisten Fällen auf den Phosphor zu.

6. DIE BETRIEBSDATEN - ERHEBUNG

Es war von Anbeginn der Arbeiten das Ziel, die Schlammverwertungskontrolle so einfach und praxisgerecht zu halten wie möglich. Es ging uns nicht darum, Düngungs-Einsatzpläne zu erarbeiten oder Einzelparzellen optimal mit Nährstoffen zu versorgen. Dies ist die Aufgabe des Landwirts. Ziel unseres Projektes war es, von jedem einzelnen Betrieb ein Phosphor-Nährstoffversorgungs-Abbild zu erhalten.

Demgemäss wurde ein Fragebogen formuliert, welcher nebst den Adressangaben nur die Grösse von Acker, Kunst- und

Naturwiese enthält. Beim Tierbestand fragten wir nach der Anzahl von Kühen, Rindern, Schweinen und Geflügel.

Wie wurden diese Daten erhoben?

In einer ersten Aktion sind die Fragebogen zusammen mit einem erläuternden Brief per Post versandt worden, mit schlechtem Ergebnis. Dann wurde die aufwendigere aber richtige Methode gewählt, die persönliche Befragung des Landwirts.

7. DIE EDV-LOESUNG

Die Auswertung der Fragebogen

Mit zwei Eingabemasken werden die Fragebogen-Daten auf einfache Weise in die Datenbank der ca. 350 Bezüger eingegeben (JOST, 6).

Die erste Maske enthält administrative Angaben: Adresse, Abnehmergruppe (Landwirt, Deponie, Private), ob ein Lieferschein verschickt werden soll, ARA- und Schlammregion, Jauchegruben-Inhalt, Sperrdaten.

In die zweite Maske werden die Betriebsdaten eingetippt. Nach dem letzten Tastendruck wird der P₂₀₅-Bedarf pro Jahr berechnet.

P ₂₀₅ -Entzug	=	Kulturfläche	x	spez. P-Entzug	/ha
P ₂₀₅ -Produktion	=	Tierzahl	x	spez. P-Produktion	
P ₂₀₅ -Bedarf	=	P ₂₀₅ -Entzug minus P ₂₀₅ -Produktion			

Demgemäss entsteht entweder eine durch Klärschlamm zu deckende P₂₀₅ Bedarfs-Lücke, welche gleichzeitig zur Orientierung in Kubikmeter Schlamm angegeben wird. Dies ist auf

Bild 4 ersichtlich. Im Falle von hohen Tierbeständen und kleiner Landfläche wird ein P₂₀₅-Überschuss ausgewiesen.

ERHEBUNG DER KLAERSCHLÄMMENGE PRO JAHR		29.11.83	
ARA BERN-NEUDRUECK			
3037 HERRENSCHWANDEN			
DALMANN ERNST NIEDERBOTTISEN 3018 BERN			
SCHLÄMMREGION: DE		TEL-NR. 031/ 34 08 93	
ARA-REGION : DC			
FLÄCHEN UND KULTUREN (INKL. PACHTLAND)		KG-P ₂₀₅	
OFFENE ACKERFLÄCHE	974 AREN	X 1	= 974 KG
KUNSTWIESEN	880 AREN	X 1	= 880 KG
NATURWIESEN	26 AREN	X 0.8	= 21 KG
TOTAL P₂₀₅ NÄHRSTOFFENTZUGE 1 875 KG			
TIERBESTAND	ANZAHL	KG-P ₂₀₅	
RINDER			
KUHE	20 X 1	GVE X 35	= 700 KG
RINDER 2 - 3 J.	2 X 0.6	GVE X 35	= 42 KG
RINDER 1 - 2 J.	3 X 0.4	GVE X 35	= 42 KG
RINDER - 1 J.	9 X 0.25	GVE X 35	= 79 KG
MASTVIEHPLÄTZE	0 X 0.4	GVE X 35	= 0 KG
SCHWEINE			
MASTSCHWEINEPLÄTZE	0 X 1	MSP X 7	= 0 KG
ZUCHTSCHWEINE	0 X 2.3	MSP X 7	= 0 KG
REMONTEN	0 X 1	MSP X 7	= 0 KG
GEFLÜGEL			
MASTPOULETPLÄTZE	0 X 0.4	LHP X 0.6	= 0 KG
LEGENHENNENPLÄTZE	0 X 1	LHP X 0.6	= 0 KG
TOTAL P₂₀₅ AUS HOFDUENGER 863 KG			
NOCH ZU DECKENDE P₂₀₅-MENGE 1 012 KG			
DIESE MENGE ENTSPRICHT -CA. 130 M³ SCHLÄMM			
JAUCHEGRUBEINHALT	200 M ³		
MIT FREUNDLICHEN GRÜESSEN ARA BERN LANDW. SCHULE RUETTI			

Bild 4: Betriebsdaten, P₂₀₅-Entzug, -Produktion, -Bedarf
Anstelle des P-Entzuges kann eine variable P-Belastungs-
grenze eingeführt werden. Diese wird höher angesetzt, wenn
Schlämme viel Phosphor aber wenig Schwermetalle enthalten
(VOEKT, 5).

So ergibt beispielsweise das Cadmium/Phosphat-Verhältnis
des Berner KS einen Wert von 65 mg Cd/kg P₂₀₅, welches
als sehr niedrig bezeichnet werden darf. Deshalb konnten
wir unsere P-Belastungsgrenze mit 125 kg P₂₀₅/ha·a um
25 % über dem Richtwert ansetzen.

Periodische Eingabe am Bildschirm

Eine wesentliche Grundlage der Bilanzierung bilden die Düngeberatungs-Tabelle, welche den Nährstoffgehalt bezüglich N und P in Funktion der Schlamm-Trockensubstanz enthält, sowie die Angaben über Schwermetallgehalt und hygienische Beschaffenheit.

Tägliche Eingabe am Bildschirm

Die Schlammkennziffern werden täglich in eine weitere Maske eingetragen. Der TS-Gehalt des Nassschlammes und des Dickstoffes sind wichtige Berechnungsgrundlagen.

Ein Beispiel aus der Praxis

Landwirt Baumann bestellt beim Schlammtransporteur telefonisch 14 m³ Schlamm. Der Disponent kontrolliert auf dem Abnehmerverzeichnis, siehe Bild 5, ob Baumann aufgelistet

ARA BERN		*** ABNEHMERVERZEICHNIS ***		DVD, 20.08.83		SEITE 1
L A N D W I R T E , DIE IM LAUFENDEN JAHR NOCH SCHLAMM ABNEHMEN KOENNEN						
NAME ORT	REGION TELEFON-NR.	LAUFENDES JAHR P-SOLL P-ABWEICH. P-IST (IN KG)		FREI 83 SCHLAMM IN M3	NOTIZEN	
BACHMANN FRITZ 3052 ZOLLIKOFEN	BE - WO 031 / 57 09 11	246 0	246-	31		
BAEHLER HANS 3046 WAHLENDORF	BE - BE 031 / 82 07 29	282 0	282-	36		
BALSIGER FRITZ 3127 MUEHLETHURNEN	BE - GU 031 / 80 13 02	139 0	139-	17		
BALSIGER WERNER 3127 MUEHLETHURNEN	BE - GU 031 / 80 12 89	421 97	324-	41		
BAUMANN ERNST 3018 BERN	BE - BE 031 / 34 08 95	1012 593	419-	54		
BAUMANN FRANZ 3206 RIZENBACH	BE - SE 031 / 95 10 46	387 0	387-	50		
BAUMGARTNER BRUNO 3054 SCHUEFFEN	BE - LY 031 / 87 15 21	1506 1368	138-	17		

Bild 5: Abnehmerverzeichnis

ist. Dies ist der Fall. Hätte er das ihm zustehende Kontingent überzogen, so würde er hier nicht mehr aufgeführt. Die noch verfügbare Menge von 54 m³ wird ihm bekanntgegeben. Dieselben Angaben können auch direkt am Bildschirm nach Eingabe des Namens oder der Telefonnummer erfragt werden. Im täglichen Gebrauch erweist sich eine Liste, periodisch aufgefrischt, z.B. jeden Montag neu ausgedruckt, als praktischer.

Die gewünschte Schlammlieferung erfolgt. Normalerweise wird Nassschlamm in die Jauchegrube geliefert, Verregnung oder Verzettung von Dickstoff sind weitere Möglichkeiten. Der Lastwagenfahrer trägt auf einer Fuhrliste Menge und Bestimmungsort der Lieferung ein.

Durch das ARA-Personal werden gleichentags oder auch später die Schlammlieferungen am Key-Board eingegeben. Die in Bild 6 dargestellte Maske "Lieferungen erfassen" von

HS17	LIEFERUNGEN ERFASSEN (EIGENE)		10.09.06/29.11.83			
TELEFON-NR. :	031 / 34 08 95	NAME:	BAUMANN ERNST, BERN			
REGION/GRUPPE:	BE - BE / L	SPERRDAT:				
LAUFENDES JAHR 83						
	TS(KG)	P(KG)				
SOLL		1 012				
IST	7 360	702				
ABW.		310-				

M3:	14.0	ART:	S	DAT:	28.09.83	
ARA :	BE :	TC:	1 :	HYG:	N :	MET: N :
						TS (KG) P (KG) NT (KG) NW (KG)
						1 120 109 31 13
M3:		ART:		DAT:		
ARA :		TC:		HYG:		MET: :
M3:		ART:		DAT:		
ARA :		TC:		HYG:		MET: :
DAT FREIG= NEUES ERFASSUNGS-BILD GLEICHER ABNEHMER PF10= NEUAUSWAHL						
PF11= ZURUECK AUF AUSWAHLBILD						
*** LIEFERUNGEN SIND GESPEICHERT						

Bild 6: Erfassung der Lieferungen

Baumann wird verlangt und die Schlammengen einzeln oder tageweise zusammengefasst eingetragen. Unverzüglich erscheint am Bildschirm der neueste Stand bezüglich Menge, TS, P und N. Wird trotz allem zuviel Schlamm geliefert, so setzt der Rechner ein Sperrdatum, bis zu welchem der betroffene Landwirt nicht mehr bedient werden darf.

ARA BERN-NEUBRUECK	29.11.1983				
3037 HERRENSCHWANDEN					
	BAUMANN ERNST NIEDERBOTTIGEN 3018 BERN				
L I E F E R S C H E I N F U E R K L A E R S C H L A M M B E Z U E G E					
DER VON UNS GELIEFERTE KLAERSCHLAMM IST AB 1985 HYGIENISIERT, DIE SCHWERMETALLGEHALTE SIND TIEF.					
DER IN DIESEM JAHR BISHER GELIEFERTE KLAERSCHLAMM HAT EINEN DUENGERWERT VON:					
STICKSTOFF WIRKSAM:	86 KG X 4.0 = 344 KG EINES 25% N-DUENGER (AMMONSALPETER)				
PHOSPHOR	702 KG X 6.3 = 4 422 KG EINES 16% P-DUENGER (THOMASPHOSPHAT)				

LIEFER-DATUM	SCHLAMM-ART	MENGE IN M3	TROCKENSUB-STANZ (KG)	PHOSPHOR (KG)	STICKSTOFF WIRKSAM(KG)
28.09.83	FAULSCHLAMM	14.03	1 120	109	13

BEZOGEN 1983	FAULSCHLAMM	90.4	7 232	702	86
BEDARF 1983		130.5	10 440	1 012	

NOCH ZU DECKENDE MENGE 1983			40.1	3 208	310

TRANSPORTUNTERNEHMUNG:			MIT FREUNDLICHEN GRUESSEN		
TRANSPORT AG			ARA BERN		
GUETERSTR. 32			LANDW.SCHULE RUETTI		
3008 BERN					
031/ 25 70 22					

Bild 7: Lieferschein

Am Ende der Woche werden die Lieferscheine, vergleiche Bild 7, gedruckt. Diese enthalten Angaben über den Düngewert im Vergleich zu Handelsdünger und die einzelnen Tageslieferungen bezüglich Menge, TS, P und N. Ein wesentliches Element des Lieferscheines ist der Soll-Ist-Vergleich. Im Falle eines noch anstehenden P-Bedarfs, wird dieser ausgewiesen. Anderfalls wird vermerkt, dass ein Ueberbezug stattfand. Dieser Ueberschuss wird vom Rechner auf das nächste Jahr vorgetragen und von der Soll-Menge subtrahiert werden.

Die Lieferscheine sind in ihrem Format derart konzipiert, dass sie nur noch in einen Sichtumschlag gesteckt werden müssen.

Die Phosphor-Bilanz

Wie schon früher erwähnt, soll für jeden Betrieb, mit Berücksichtigung der Hofdünger, eine ausgeglichene Phosphor-Bilanz angestrebt werden.

ARA BERN		*** P205-BILANZ ***			DVD, 29.11.83/HP34			SEITE 1		
NAME ORT	REGION LAND HA	SPERRDAT GRUPPE	P-IST B1 ABWEI IN KG	P-IST B2 ABWEI IN KG	BEZOGEN B3 SCHLAMM M3 DICKST. M3	P-1983 P-SOLL IN KG	P-1983 P-ABWEICH IN KG	P-UEBERDUENG! AB 01.01.84 IN KG	JAHRE	FREI B3 SCHLAMM IN M3
BAUMANN ERNST 3018 BERN	BE-BE 18,8	L	0 1012-	0 1012-	88 0	1012 702	310-			40
BAUMANN FRITZ 3019 OBERBOTTIGEN	BE-BE 21,4	L	0 1112-	0 1112-	221 0	1112 1399	287+	287	0,2	
BAUMANN PAUL 3018 BERN	BE-BE 22,8	L	0 1512-	0 1512-	305 0	1512 2437	925+	925	0,6	
BAUNGARTNER HANSUELI 3172 NIEDERWANGEN	BE-BE 18,3	L	0 239-	0 239-	42 0	239 399	160+	160	0,6	
BECK HANS 3038 KIRCHLINDACH	BE-BE 6,0	L	0 0+	0 0+	0 0	UEBERSCHUSS HOFD. 0	0+	***		
BEGERT URS 3019 OBERBOTTIGEN	BE-BE 14,1	L	0 306-	0 306-	255 0	306 1930	1432+	1432	5,3	
BEINER ALFRED 3019 OBERBOTTIGEN	BE-BE 12,2	L	0 123-	0 123-	61 0	123 408	285+	285	2,3	
BIENZ HANS 3018 BUENPLIZ	BE-BE 19,0	L	0 1278-	0 1278-	318 0	1278 2270	992+	992	0,7	

Bild 8: P205-Bilanz-Ausdruck

Allfällige Phosphor-Ueberschüsse werden laufend auf die nächsten Jahre vorgetragen. Aus dem P₂O₅-Bilanz-Ausdruck in Bild 8 ist ersichtlich, dass Landwirt Begert im Jahre 1983 (noch vor Einführung der Kontrolle) 1632 kg P₂O₅ zuviel abgegeben wurde. Diese Ueberschuss-Menge wird in den nächsten Jahren vom P-Soll-Wert subtrahiert werden.

Auf dem Formular werden der Phosphor-Ueberschuss ausgewiesen, die Dauer der Sperrfrist, sowie der früheste Termin für weitere Lieferungen gesetzt. Zudem werden die P-Lieferungen der beiden Vorjahre aufgeführt.

Landwirt Baumann Ernst erhielt hingegen zu wenig Klärschlamm. Dieses P₂O₅-Defizit und die ihm theoretisch im darauffolgenden Jahr zustehende Mehrmenge wird im nächsten Jahr nicht berücksichtigt. Wir müssen ja davon ausgehen, dass Baumann diese P-Lücke mit Handelsdünger abdeckte. Auf die zusätzliche Dünger-Anwendung haben wir ohnehin keinen Einfluss. Es wird auch bei einer massgeschneiderten P-Kontrolle der Fall eintreten, dass zusätzliche, überflüssige Mengen Handelsdünger verstreut werden, wofür allerdings der Landwirt die Verantwortung trägt.

Auf unserer Liste sind der Vollständigkeit halber auch die Landwirte mit einem Ueberschuss an Hofdünger ausgewiesen.

Weitere Auswertungen

Mit der Düngebilanz, nach Absatzregionen geordnet, wird eine "strategische" Uebersicht angeboten, die erlaubt, die zusammengefassten Soll- und Ist-Mengen bezüglich P₂O₅, TS und M3 abzufragen. Damit wird ersichtlich, wo noch welche Mengen Schlamm verwertet werden können.

Welches ist nun die mittlere TS-Rate pro Hektare Landfläche, die sich aus unserer Kontrolle ergibt? Wir erinnern uns an die gesetzliche Limite von 2,5 Tonnen TS/ha-a. Mit

Hilfe des Ausdruckes Düngebilanz lässt sich diese Rate leicht errechnen. Wird beispielsweise die Sollmenge TS durch die Fläche Kulturland dividiert, so ergibt sich mit 2413 Tonnen TS und 5070 Hektaren ein Wert von 0,5 t TS/ha·a, welcher den grossen Einfluss der Hofdünger dokumentiert. Daraus lässt sich weiter folgern, dass mit dieser niedrigen spezifischen Schlammmenge eine zusätzliche Sicherheitsreserve bezüglich der Ausbringung von Schwermetallen impliziert wird. Wie dies bei jeder EDV-Lösung möglich ist, können mit wenig Aufwand weitere On-line-Anzeigen oder Ausdrücke nach beliebigen Kriterien erfolgen:

- Adresslisten der Schlammabnehmer
- Jahresabschluss, in welchem alle Einzellieferungen detailliert pro Landwirt aufgelistet werden. Sollte es in späteren Jahren zu unangenehmen Diskussionen betreffend Überdüngung einzelner Betriebe kommen, so kann hiermit jederzeit eine lückenlose Dokumentation vorgewiesen werden.
- Grafiken, welche das umfangreiche Zahlenmaterial etwas anschaulicher präsentieren.

8. ERFAHRUNGEN

Negative

- Viele Landwirte zeigen wenig Verständnis für eine Düngung nach Mass. Sie sind verwöhnt, von früher her gewohnt, dass ihnen jede gewünschte Menge Schlamm geliefert und verregnet wird. Selbst Bauern mit grossem Hofdünger-Überschuss (z.B. Schweinemästereien) fordern telefonisch Schlamm an, obwohl ihnen eine P₂₀₅-Bilanz zugeschickt wurde.
- Einzelne Landwirte, welche die begrenzte Menge aus unserer Kläranlage erhielten, fordern zusätzlich von einer an-

deren Kläranlage Schlamm an. Dies kann leider noch nicht verboten werden in einem Land mit freier Marktwirtschaft. Bestrebungen zur Behebung dieses Missstandes sind im Gange mit dem Ziel, jeden Bauernhof einer Kläranlage zur Kontrolle zuzuweisen.

- Die Schlammverwertungsrate ist um mehr als die Hälfte gesunken. In Bern können noch 1/3 verwertet werden, 2/3 der Jahresmenge werden entwässert, gekalkt und deponiert.

Positive

- Wir haben ein reineres Gewissen als früher. Die bisherige Schlammdeponie in der Landwirtschaft verwandelte sich in eine echte Schlammverwertung.

- Der Schlammtransporteur hält sich an die vorgeschriebene Schlammmenge. Er kann sein Augenmerk nicht mehr wie bisher vorwiegend auf den Jahresumsatz richten.

- Seitens der Landwirte wird den Bodenanalysen vermehrt Beachtung geschenkt. Falls die sogenannte Testzahl eine Unterversorgung des Bodens mit Phosphor anzeigt, so wird unsererseits die P-Sollmenge für eine 3-Jahresperiode um 50 % erhöht.

Zeitlicher und finanzieller Aufwand

Der tägliche Arbeitsaufwand ist dank gut durchdachter Bildschirm-Masken gering. Nach Eröffnung der Datenbank beträgt er für die Eingabe der Lieferungen pro Landwirt und Tag 1 - 2 Minuten, d.h. für unsere Anwendung täglich ca. 5 - 10 Minuten. Die Bedienung des Systems kann von jedem Klärwärter problemlos erlernt werden. An EDV-Kosten rechnen wir mit jährlich ca. Fr. 20'000.-- entsprechend öS 160'000.--. Dieser Betrag entspricht ca. 0,4 % unseres Betriebsbudgets oder ca. 4 % der Schlammtransportkosten. Der

Personalaufwand wird hier im Vergleich zu einer manuellen Buchführung echt verringert, was bekanntlich nicht für jedes EDV-Projekt zutrifft.

9. SCHLAMMVERBUND ODER "SCHLAMMKRIEG"

Im Kanton Bern wurde unlängst der obligatorische Abnehmer-nachweis eingeführt. Unter Berücksichtigung des Hofdünger-Anfalls sanken die Verwertungsraten in der Landwirtschaft deutlich. Dadurch droht nun um die noch verbleibenden Landwirte ein eigentlicher "Schlammkrieg" auszubrechen. Denn verständlicherweise will jeder Kläranlage-Verband seinen mit viel Geld aufbereiteten und hygienisierten Schlamm auch möglichst der Landwirtschaft zuführen und nicht noch zusätzliche Entwässerungs- und Deponiekosten bezahlen.

In letzter Minute konnte das drohende Konkurrenzverhältnis unter den benachbarten Kläranlagen der Region Bern verhindert werden. Die ideale Lösung heisst Schlammverbund. Was im Ausland (z.B. beim Niersverband) schon seit Jahren üblich ist, bedeutet für die Schweiz eigentliches Neuland, denn bei uns stellt praktisch jede Kläranlage ein kleines Königreich dar. Vor allem dank der restriktiven KS-Verordnung konnte mit dem Schlammverbund erreicht werden, dass die benachbarten Kläranlagen auf die geplanten Hygienisierungs- und Entwässerungsanlagen verzichten und ihren Faulschlamm stattdessen in einer Druckleitung zur Kläranlage Bern pumpen.

Hier wird eine zentrale Hygienisierungs- und Entwässerungsanlage betrieben und die Schlammverwertung in der Landwirtschaft organisiert, wobei die angeschlossenen Kläranlagen ihre Landfläche und Landwirte vollständig dem Schlammverbund zur Verfügung stellen. (Bild 9)

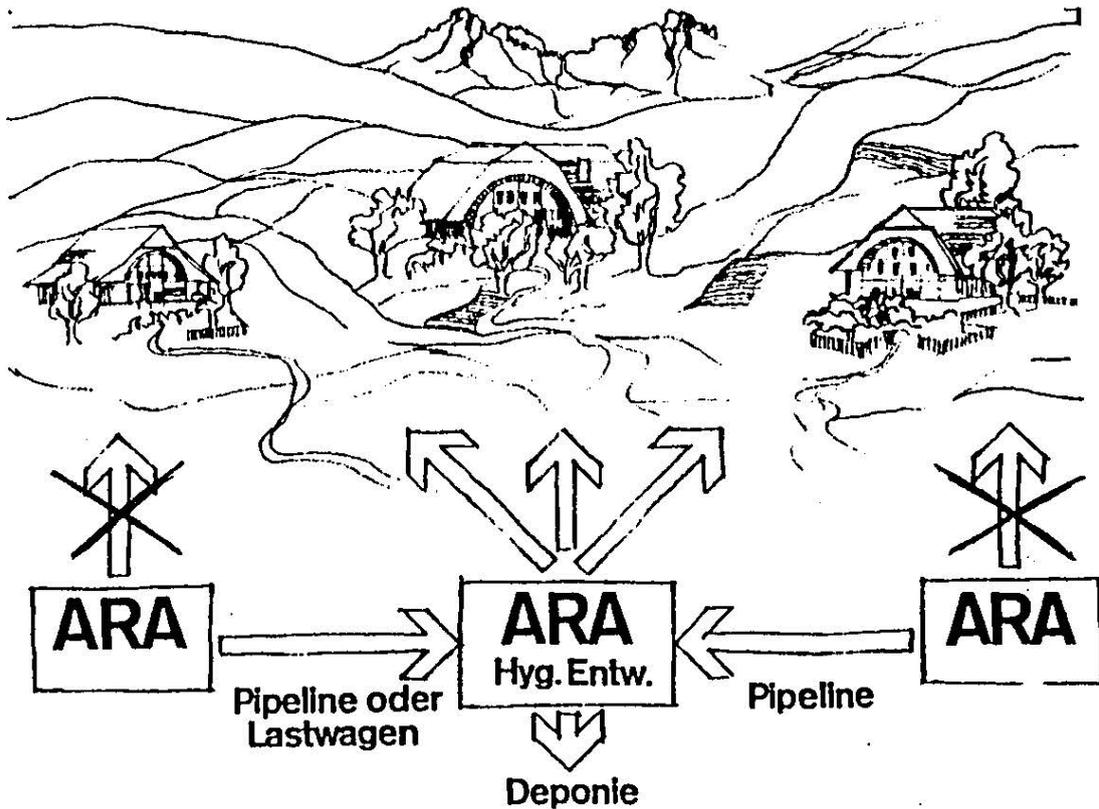


Bild 9: Durch Schlammverbund kein Schlammkrieg

Die Kosten der gemeinsamen Lösung sind erheblich geringer. Am erzielten Gewinn werden anteilmässig alle Partner beteiligt

10. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Zukunft der oekologisch sinnvollen landwirtschaftlichen Schlammverwertung muss langfristig abgesichert werden. Dies ist nur dann möglich, wenn eine rigorose Kontrolle der Austragsmengen durchgeführt wird. Diese Kontrolle stützt sich auf die Phosphor-Bilanzierung jedes einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes ab. Phosphor als wertvoller Rohstoff und Minimumstoff bei der Düngung soll nicht im Ueberschuss mit Klärschlamm abgegeben werden. Dadurch gelingt es uns, das Schwermetall-Problem, sowie die sekundäre Gewässerschutzverschmutzung durch Erosion von P und N

in den Griff zu bekommen.

Mit kleinem administrativem Aufwand und vertretbaren Kosten verbunden, hat sich die erläuterte EDV-Kontrolle bewährt. Wenn unserem Projekt zunächst seitens der Landwirtschaft nicht immer Verständnis entgegengebracht wurde, so bin ich überzeugt, dass allmählich ein Umdenken bei der Düngereanwendung einsetzen wird, ähnlich wie dies bei der Energieversorgung bereits der Fall ist.

Auch wenn durch die Kläranlagen ein nur bescheidener Anteil an Nährstoffen und ein minimaler Anteil an Schwermetallen in den landwirtschaftlichen Kreislauf zurückgespielen wird, so sollten wir, als deren Betreiber, mit dem guten Beispiel vorangehen.

Martin K.Meyer, Dipl.-Ing.
Tiefbauamt der Stadt Bern
Postfach 2731
CH-3001 BERN

Hinweise/Literatur

- (1) Furrer O.J.: Landwirtschaftlicher Wert des Klärschlammes. EAS-Seminar landwirtschaftliche Verwertung von Abwasserschlämmen ,Basel 4.4. 1-11 (1983)
- (2) Furrer O.J.: Eidgen. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 3097 Liebefeld-Bern, persönliche Mitteilung (1983)
- (3) Furrer O.J.: Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft .Schweiz. Arch. Tierheilkunde 125, 1-10. (1983)
- (4) Siegenthaler A. und Candinas T.: Klärschlamm in der Landwirtschaft ,FAC Liebefeld-Bern (1983)
- (5) Vökt U.: Landw. Schule Rütli-Zollikofen, Fachtechnische Beratung
- (6) Jost R.: Datenverarbeitungsdienst der Stadt Bern, Realisierung EDV-Projekt.
- (7) Schweizerischer Bundesrat: Klärschlammverordnung vom 8. April 1981.

KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG - MODELL OBERÖSTERREICH

E. Mayr

Im Jahre 1976 betrug die Ausbaugröße der Kläranlagen in Oberösterreich rund 500.000 Einwohnerwerte, wovon ein erheblicher Prozentsatz nur mechanische Anlagen waren. Entsprechend gering war auch der Anfall an Klärschlamm und seine Beseitigung stellte praktisch kein Problem dar. Die Entwicklung ließ jedoch erwarten, daß mit den raschen Fortschritten bei der Abwasserreinigung die Entsorgung des Klärschlammes neue Probleme schaffen könnte. Rückblickend ist festzustellen, daß die Erwartungen des Jahres 1976 erheblich übertroffen wurden. Ende 1985 wird die Anlagenkapazität ohne Papier- und Zellstoffindustrie annähernd 2,500.000 Einwohnerwerte bei einem Anschlußwert von rund 2,000.000 Einwohnerwerten betragen (Abb. 1 u. 2).

Um für die Zukunft Schwierigkeiten bei der Entsorgung des Klärschlammes weitgehend zu vermeiden, wurde 1976 von folgenden grundsätzlichen Überlegungen ausgegangen: Welche Technologien und Verfahrensschritte auch immer zur Anwendung kommen, letztlich bleiben nur zwei Alternativen (Abb. 3):

- Deponie
- Landwirtschaft

Der Wiederverwertung von Abfallstoffen sollte in Oberösterreich grundsätzliche Priorität eingeräumt werden. Die Deponie sollte möglichst nur dann in Frage kommen, wenn auf Grund der Schadstoffbelastung oder der örtlichen Gegebenheiten (ausschließlich Grünland, Fremdenverkehr, zu wenig Fläche) eine landwirtschaftliche Verwertung nicht möglich ist. Die landwirtschaftliche Verwertung bedeutet auch geringen technologischen Aufwand und damit auch geringere Kosten. Dieser wirtschaftliche Aspekt ist zweifelsfrei wichtig, doch noch

wesentlicher scheint es, die Umweltbelastung nicht vom Gewässer in die Luft, den Boden oder das Grundwasser zu verlagern. Die Landwirtschaft darf nicht als Deponieersatz betrachtet werden. Vielmehr muß die Qualität des Klärschlammes so beschaffen sein, daß für den Landwirt die positiven Aspekte der Klärschlammverwendung wie Düngewert, Spurenelemente und Bodenverbesserung durch organische Substanz zum Tragen kommen.

Die Bestrebungen in Oberösterreich gingen von Anfang an nicht dahin, Klärschlamm um jeden Preis in die Landwirtschaft zu bringen, sondern eine Übereinstimmung mit den Interessen der Landwirtschaft zu erzielen. Dies hat im Jahre 1977 zur Zusammenarbeit von Landwirtschaftskammer, Landwirtschaftlich-chemischer Bundesanstalt und dem Land Oberösterreich geführt, welche eine geordnete und kontrollierte landwirtschaftliche Verwertung gewährleisten sollte. Diese Zusammenarbeit hat sich bewährt und, so glauben wir, einen nicht unwesentlichen Beitrag zum Regelblatt 17 des ÖWWV geleistet. Sie umfaßt bzw. umfaßte folgende Punkte:

- Festsetzung der maximal zulässigen Schwermetallkonzentrationen (Abb. 4) und daraus folgend die Einteilung der Klärschlämme in "geeignet", "bedingt geeignet", "nicht geeignet".

Im Vergleich mit der Europäischen Gemeinschaft und anderen europäischen Ländern ist festzustellen, daß die bei uns zulässigen Werte bei weitem niedriger sind. Die Konzentrationen sind nicht das alleine entscheidende Kriterium. Aber es soll dadurch dokumentiert und auch sichergestellt werden, daß kein übermäßig durch industriell-gewerbliche Abwässer kontaminierter Klärschlamm zur landwirtschaftlichen Verwertung kommt.

- Festsetzung der maximal zulässigen Ausbringungsmengen in Abhängigkeit von der Trockensubstanz.
Dadurch wurden auch die zulässigen Schwermetallfrachten begrenzt. Diese Frachten entsprechen dem internationalen

Standard oder liegen zum Teil erheblich darunter (Abb. 5). Der Landwirt kann somit auf Grund der niedrigeren Konzentrationen, wenn der Bedarf z.B. an Stickstoff, Phosphor, Kalk, an organischer Substanz oder an Spurenelementen gegeben ist, wesentlich mehr Klärschlamm anwenden, ohne seinen Boden dadurch stärker zu belasten.

- Die Probennahme erfolgt durch die Kläranlagenüberwachung des Amtes der o.ö. Landesregierung an Hand des Entnahmeprotokolls. Die Probe sollte möglichst repräsentativ sein (Abb. 6).
- Die Analyse wird von der landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt Linz auf Kosten des Landes Oberösterreich mit einer Ermäßigung von 40 % seitens der Bundesanstalt durchgeführt (Abb. 7).
- Das Amt der o.ö. Landesregierung stellt eine Eignungsbescheinigung aus (Abb. 8). Diese Eignungsbescheinigung wird nur in Übereinstimmung mit der Landwirtschaftskammer und der Bundesanstalt ausgestellt. Der Kläranlagenbetreiber erhält diese Eignungsbescheinigung nur, wenn der Klärschlamm geeignet oder bedingt geeignet ist. Eine bedingte Eignung wird nur dann ausgesprochen, wenn nur bei einem Schwermetall eine geringe Überschreitung vorliegt. Ist der Klärschlamm nicht geeignet, wird der Kläranlagenbetreiber hievon in Kenntnis gesetzt.
- Die Landwirtschaftskammer hat ein eigenes Merkblatt zur Anwendung von Klärschlamm für die Landwirte herausgegeben.
- Landwirtschaftskammer und Land Oberösterreich halten Informations- und Beratungsveranstaltungen für Landwirte und Kläranlagenbetreiber ab.
- Feldversuche mit Klärschlamm, welche stark überhöhte Schwermetallkonzentrationen aufwiesen. Die Versuche auf einem mittelschweren Boden wurden vor allem deshalb angelegt, um die Risiken einer mißbräuchlichen Anwendung bes-

ser abschätzen zu können. Die Versuche werden in Zusammenarbeit mit dem Amt von der Bundesanstalt durchgeführt, wobei die Kosten geteilt werden.

Um der Landwirtschaft tatsächlich Klärschlamm in entsprechender Qualität anbieten zu können, müssen bei den Verursachern gezielte Maßnahmen gesetzt werden. Seit 1979 konnten bei einzelnen Schwermetallen Erfolge erzielt werden:

- Cadmium: stellt in Oberösterreich praktisch kein Problem dar, denn 99,2 % der Analysen liegen unter dem Grenzwert von 10 ppm bei einem Durchschnitt von 2,9 ppm (Abb. 9).
- Kupfer: weist mit 98,4 % der Analysen unter dem Grenzwert mit einem Durchschnitt von 202 ppm einen ebenfalls sehr günstigen Wert auf (Abb. 10).
- Nickel: bringt in einigen Fällen Probleme durch die Galvanoindustrie. Deshalb werden hier in den letzten Jahren besonders strenge Maßstäbe bei den Betrieben angelegt (Abb. 11).
- Blei: verursacht auch in Einzelfällen Probleme. Die Ursachen sind vor allem in der Bleikristallwarenerzeugung, der Keramik- und Akkumulatorenindustrie zu suchen. Nicht bestätigt werden kann die vielfach gemachte Aussage, die Belastung aus dem Straßenverkehr stelle die Hauptbelastung dar (Abb. 12).
- Zink: weist den niedrigsten Prozentsatz der Analysen, welche unter dem Grenzwert liegen, auf. Wenn gleich in der Praxis bei kleineren Kläranlagen festgestellt werden konnte, daß neue Wasserleitungsinstitutionen kurzfristig zu höheren Zinkwerten im Klärschlamm führen können, sind für höhere Zinkwerte vor allem Galvanobetriebe und Verzinkereien verantwortlich (Abb. 13).

- Chrom: ist dem Blei vergleichbar. Die extrem hohen Konzentrationen werden von einzelnen Gerbereien verursacht. Die Galvanobetriebe stellen vergleichsweise nur einen kleinen Teil dar (Abb. 14).
- Quecksilber: würde ebenso wie das Cadmium kein Problem darstellen, würden nicht einzelne kleinere bis mittlere Anlagen durch Krankenhausabwässer stark belastet. Desinfektionsmittel aber auch in der Arbeitskleidung vergessene Fieberthermometer konnten als wesentliche Ursachen ermittelt werden (Abb. 15).

Bei allen Schwermetallen mit Ausnahme von Nickel und Zink ist eine stetig fallende Tendenz zu beobachten. Während bei Zink kaum entscheidende Erfolge erreichbar erscheinen, wird die Nickelbelastung durch gezielte Maßnahmen bei den Verursachern zu senken sein.

Bemerkenswert erscheint auch, daß die Durchschnittswerte bei Cadmium, Nickel, Quecksilber und Chrom unter den zulässigen Bodenwerten liegen. Bei Kupfer und Blei könnte vielleicht eine durchschnittliche Verminderung in Richtung Bodengrenzwerte möglich sein, nicht jedoch bei Zink. Es scheint, daß in Zukunft das Zink möglicherweise von den Bodengrenzwerten der limitierende Faktor sein könnte. Andererseits zählen Zink und Kupfer zu den Spurenelementen, sodaß die Entwicklung abzuwarten sein wird.

Diese Tabellen zeichnen jedoch insgesamt ein zu positives Bild. Betrachtet man die Mengenbilanz für 1983, waren von den rund 180.000 m^3 Gesamtschlammfall nur 97.000 m^3 (54 %) geeignet und 5.000 m^3 (3 %) bedingt geeignet, zusammen somit etwa 57 %. Dies bedeutet gegenüber 1982 mit 51 % eine erfreuliche Steigerung, kann jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß fast 78.000 m^3 (43 %) 1983 ungeeignet waren (Abb. 16).

55.000 m³ (30,4 %) wurden auf einer kläranlageneigenen Naßschlammdeponie gelagert. 105.000 m³ wurden in Trockenbeeten, Schlammteichen und Silos eingedichtet oder maschinell entwässert (Abb. 17).

Somit mußten 1983 letztlich rund 75.500 m³ durch Abfuhr aus der Kläranlage entsorgt werden. 65.500 m³ (87 %) wurden landwirtschaftlich verwertet, 10.000 m³ (13 %) wurden auf Deponie oder nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen verbracht (Abb. 18).

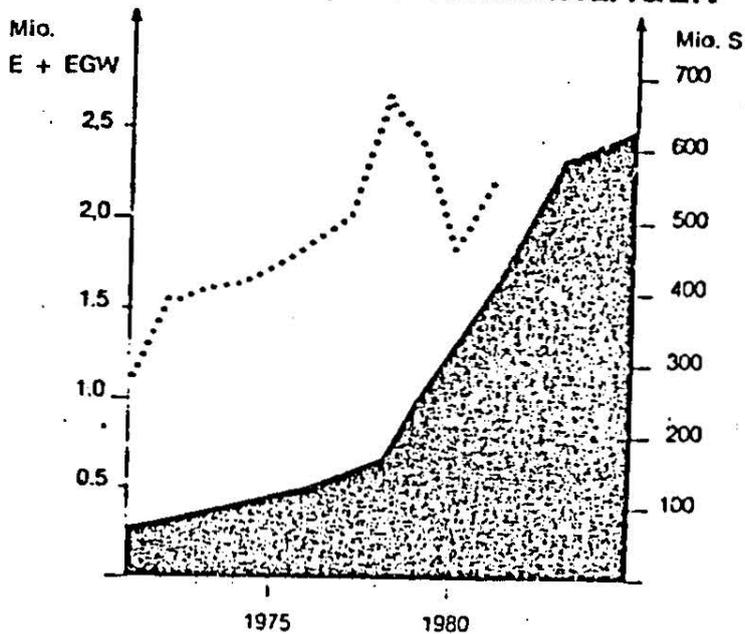
Wenig erfreulich ist die Tatsache, daß etwa 6.000 m³ nicht geeigneter Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet wurden (Abb. 19).

Abschließend darf ich feststellen, daß es in Oberösterreich gelungen ist, ein Klima des Vertrauens und der Zusammenarbeit zu schaffen, wofür ich mich bei den Vertretern der Landwirtschaft besonders bedanken möchte. Dieses Klima war es vor allem, welches es bis jetzt ermöglicht hat, geeignete Klärschlämme als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel an die Landwirtschaft in einer wirtschaftlich vertretbaren Weise abzugeben.

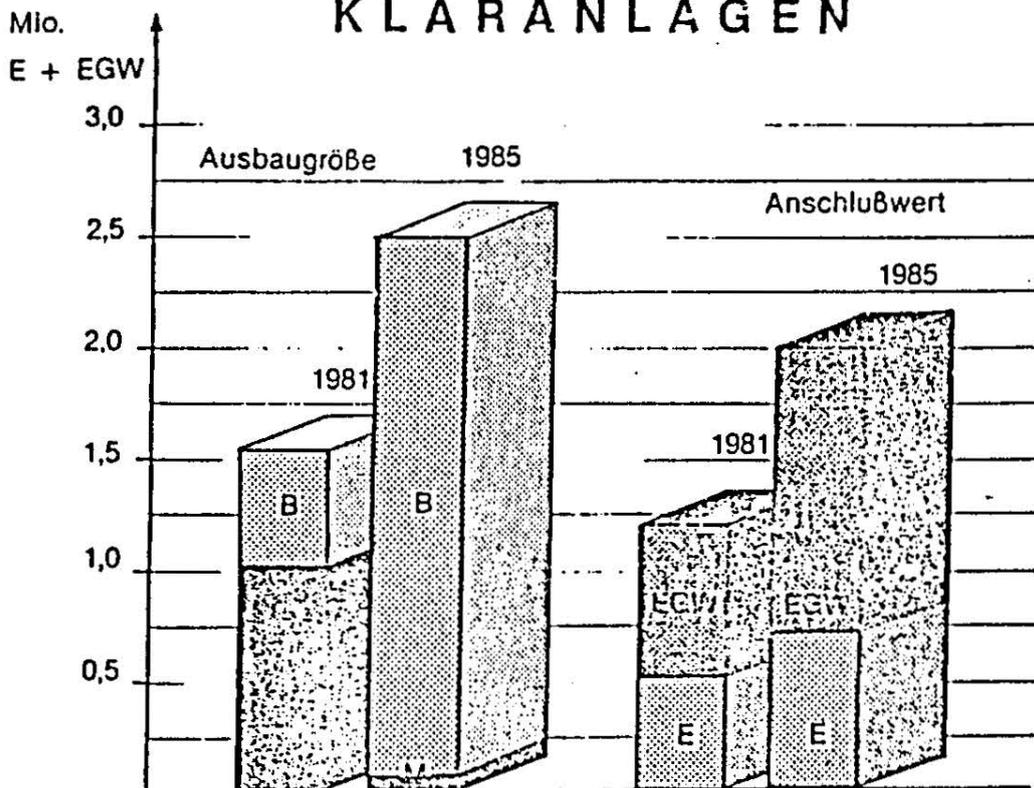
Es wird in Zukunft gelten, das bestehende System zu verbessern und ähnlich wie in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz eine gesetzliche Regelung, welche in den Bereich der Länder fällt, zu schaffen.

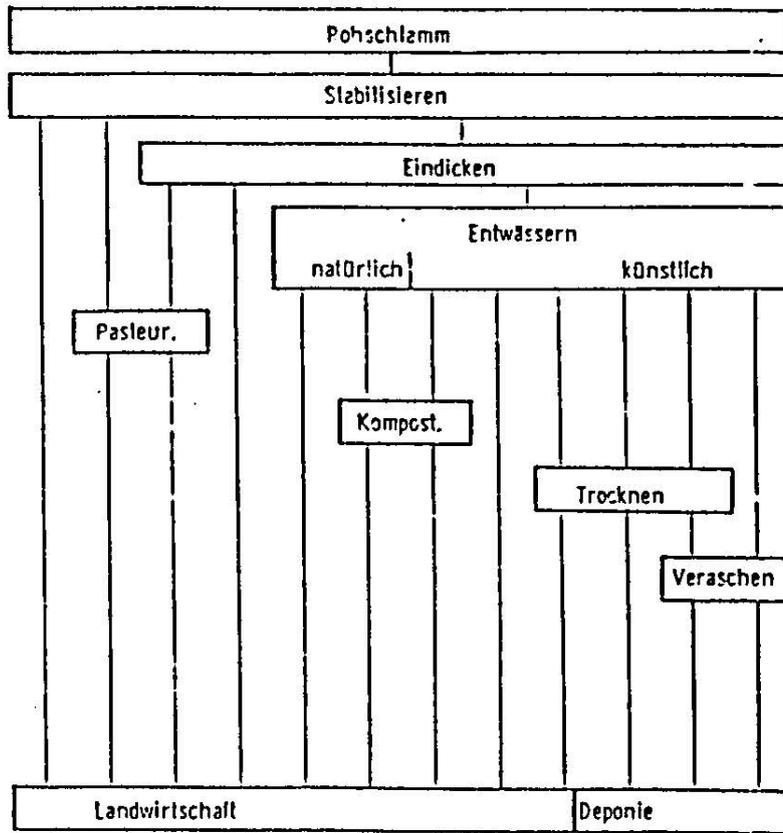
Dipl.Ing. Ewald MAYR
Amt der öö Landesregierung
Kärntnerstraße 12
4020 LINZ

KLÄRANLAGEN - AUSBAUGRÖSSE KOSTEN KANAL + KLÄRANLAGEN



KLÄRANLAGEN





SCHWERMETALL - GRENZWERTE									
	mg/kg TS								
	A	BRD	CH	EG		DK	NL	F	SF
				p	v				
CALCIUM	10	20	30	20	40	30	10	15	30
KUPFER	500	1200	1000	1000	1500	700	600	1500	3000
NICKEL	100	200	200	300	400	-	100	-	500
BLEI	500	1200	1000	750	1000	1200	500	300	1200
ZINK	2000	3000	3000	2500	3000	6000	2000	3000	5000
CHROM	500	1200	1000	750	-	500	500	200	1000
QUECKSILBER	10	75	10	10	-	-	10	10	25

SCHWERMETALL-FRACHTEN							
	kg/t _{ts-n}						
	A	BRD	CH	EG		GB	ÖÖ
				e	v		v
CAESIUM	0,017	0,034	0,075	0,10	0,15	0,167	0,013
KUPFER	1,07	2,04	2,5	10	12	9,3	0,75
NICKEL	0,375	0,34	0,5	2	3	2,3	0,15
BLEI	1,07	2,04	2,5	10	15	33	0,71
ZINK	7,5	5,1	7,5	25	30	10,6	4,07
CHROM	1,07	2,04	2,5	10	-	33	0,26
CHROMIUM	0,037	0,042	0,025	0,10	-	0,07	0,01

SCHLAMMENTNAHME - PROTOKOLL

Kläranlage:

Probenummer:

Art der Probe : Entnommen aus :

- | | | | |
|-------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
| EINZELPROBE | <input type="checkbox"/> | TRICKERBEET (E) | <input type="checkbox"/> |
| MISCHPROBE | <input type="checkbox"/> | SCHLAMMTEICH | <input type="checkbox"/> |
| SAMMELPROBE | <input type="checkbox"/> | SILO | <input type="checkbox"/> |
| | | FAULTURM | <input type="checkbox"/> |
| | | EINSCHIEBGRUNDEN | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |

Entnommen am : von :



K L X R S C H L A M M A N A L Y S E

.....

Fortlaufende Nr.

Entnahmedatum

Analysen-Nr.

Analysendatum

Ant der o.ö. Landesregierung
 Bau2-VI-
 Kläranlagenüberwachung

Linz, am

E I G N U N G S B E S C H E I N I G U N G

.....

Der Klärschlamm der Kläranlage

ist zur landwirtschaftlichen Verwertung geeignet, sofern eine maximale Ausbringungsmenge von m³/ha. Jahr auf Acker
 m³/ha. Jahr auf Wiese

nicht überschritten wird.

In einem Kubikmeter (m³) ist enthalten:

- | | |
|--|-------------------------|
| kg Trockensubstanz | g Magnesium (Mg) |
| kg org. Substanz | g Kupfer (Cu) |
| kg Stickstoff (N) | g Zink (Zn) |
| kg Phosphor(P ₂ O ₅) | g Blei (Pb) |
| kg Kalk (CaO) | g Chrom (Cr) |
| kg Kali (K ₂ O) | g Nickel (Ni) |
| | g Quecksilber (Hg) |
| | g Cadmium (Cd) |

Datum der Probenahme:

Analyse durch: BVA Linz

Datum der Analyse:

Dieser Eignungsbefund bezieht sich ausschließlich auf die oben angeführte Probe.

Linz, am

Direktor:
 i.A.

- kgS = kg Schlamm
 - m³S = m³ Schlamm

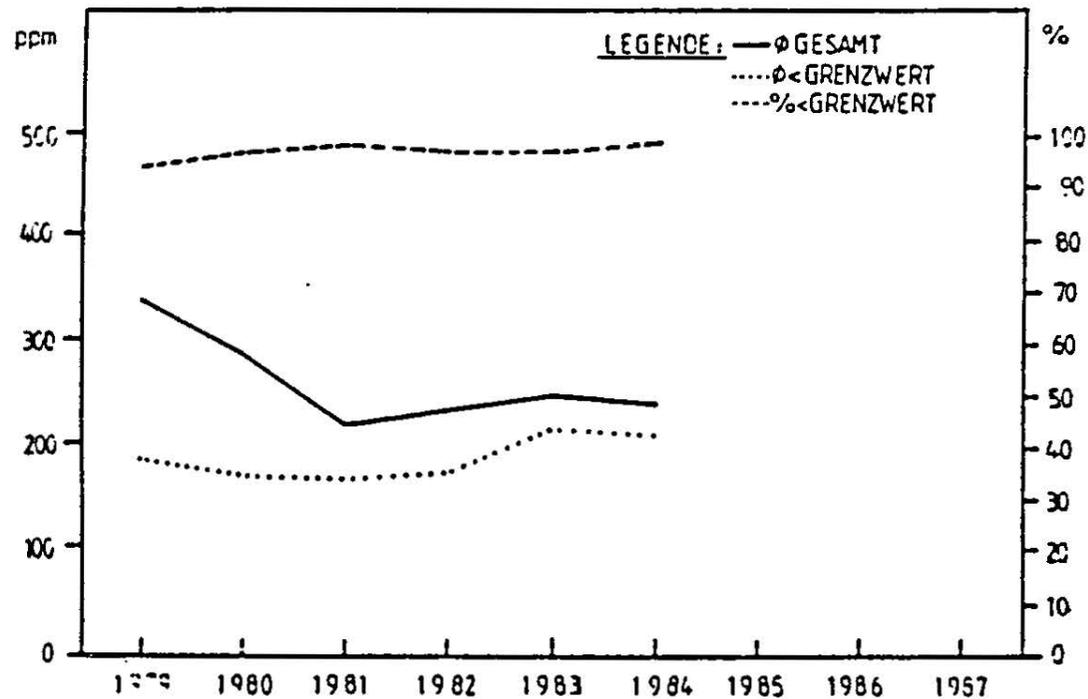
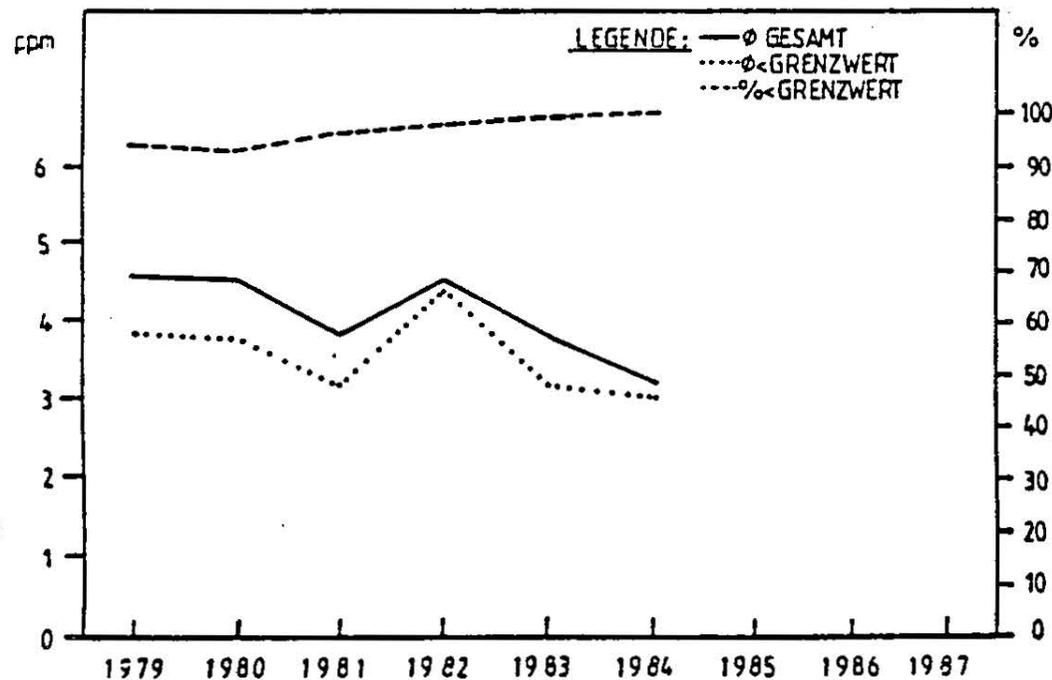
FÜR die o.ö. Landesregierung:
 Im Auftrage
 M a y r e n.

J - 10

CADMIUM GESAMT						
JAHR	GESAMT			< 10ppm		
	ANZAHL	Ø	VON — BIS	ANZAHL	%	Ø
1979	34	4,5	0,3 — 16,3	32	94,1	3,7
1980	59	4,3	1,1 — 19,0	55	93,2	3,5
1981	71	3,7	0,9 — 21,6	68	95,8	3,1
1982	98	4,3	1,0 — 15,0	96	97,9	4,1
1983	133	3,5	0,3 — 37,0	131	98,4	3,1
1984	129	3,1	0,3 — 31,0	128	99,2	2,9
1985						
1986						
1987						

KUPFER GESAMT						
JAHR	GESAMT			< 500ppm		
	ANZAHL	Ø	VON — BIS	ANZAHL	%	Ø
1979	30	327	42 — 4.160	28	93,3	181
1980	60	298	26 — 4.310	58	96,7	168
1981	71	211	20 — 2.220	69	97,2	166
1982	94	217	20 — 2.990	91	96,8	170
1983	131	243	25 — 2.720	127	96,9	211
1984	129	236	28 — 3.480	127	98,4	202
1985						
1986						
1987						

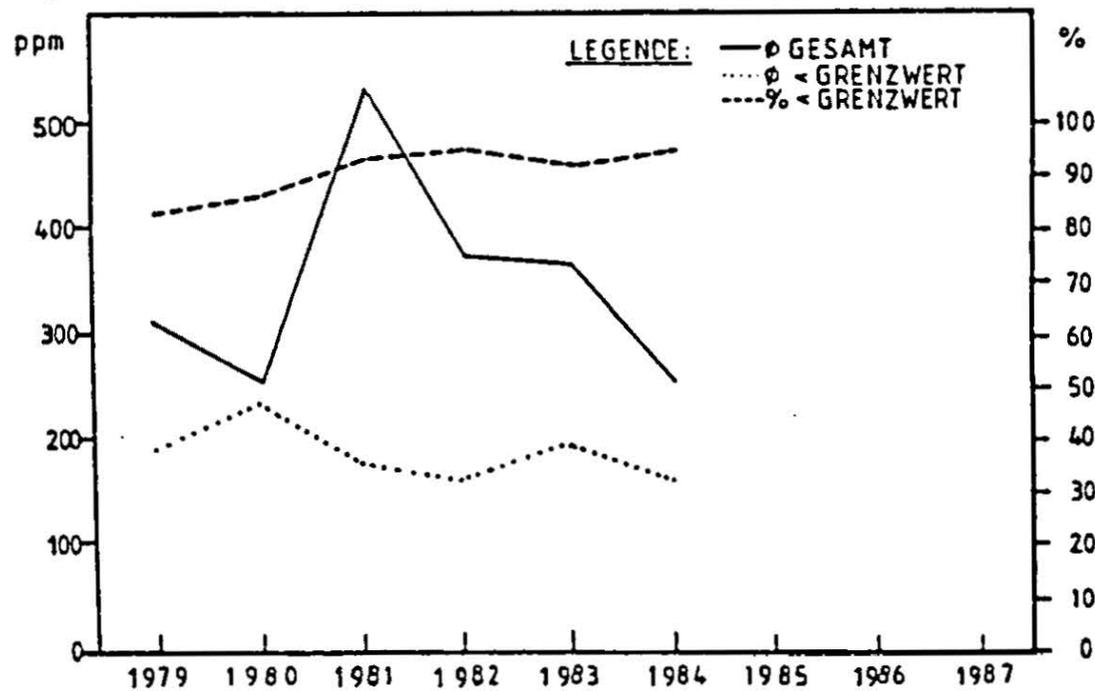
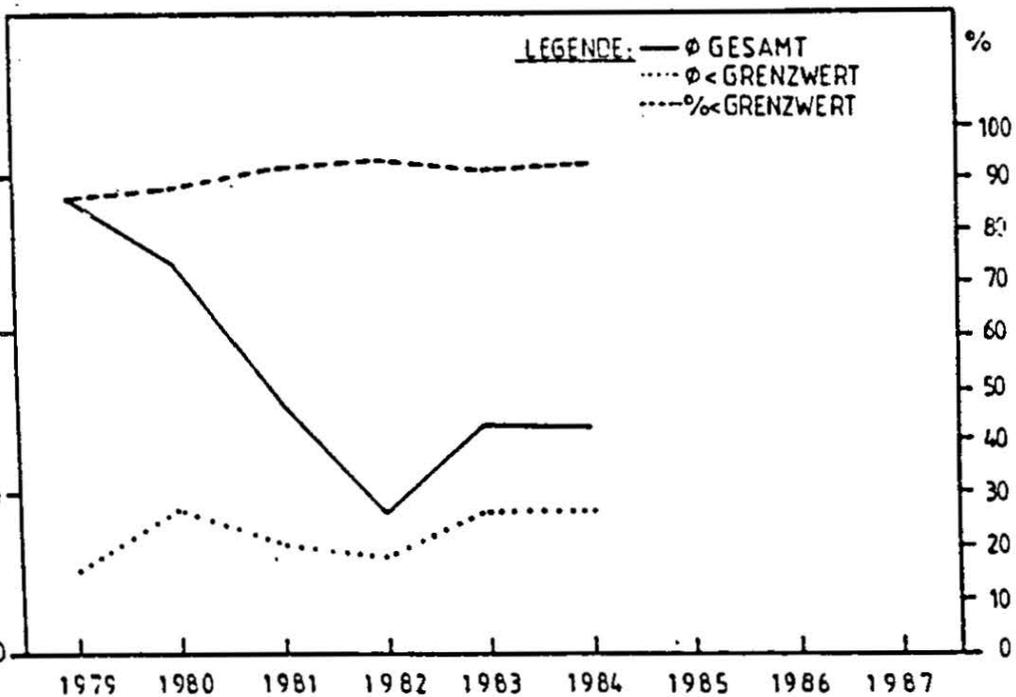
J · 11



NICKEL						
GESAMT			< 100ppm			
JAHR	ANZAHL	φ	VON — BIS	ANZAHL	%	φ
1979	29	139	10 — 1.580	25	86,2	27
1980	60	120	5,6 — 1.230	53	88,3	39
1981	71	69	10 — 890	67	94,4	35
1982	97	48	8 — 890	93	95,9	32
1983	133	64	12 — 1.500	123	92,4	39
1984	129	64	9,9 — 1.840	122	94,6	46
1985						
1986						
1987						

BLEI						
GESAMT			< 500ppm			
JAHR	ANZAHL	φ	VON — BIS	ANZAHL	%	φ
1979	33	309	14 — 1.720	27	81,8	198
1980	60	270	23 — 910	52	86,7	202
1981	70	520	15 — 18.690	64	91,4	176
1982	94	387	5 — 16.980	87	92,6	168
1983	131	385	11 — 10.060	119	90,8	197
1984	133	253	27 — 5.420	123	92,5	171
1985						
1986						
1987						

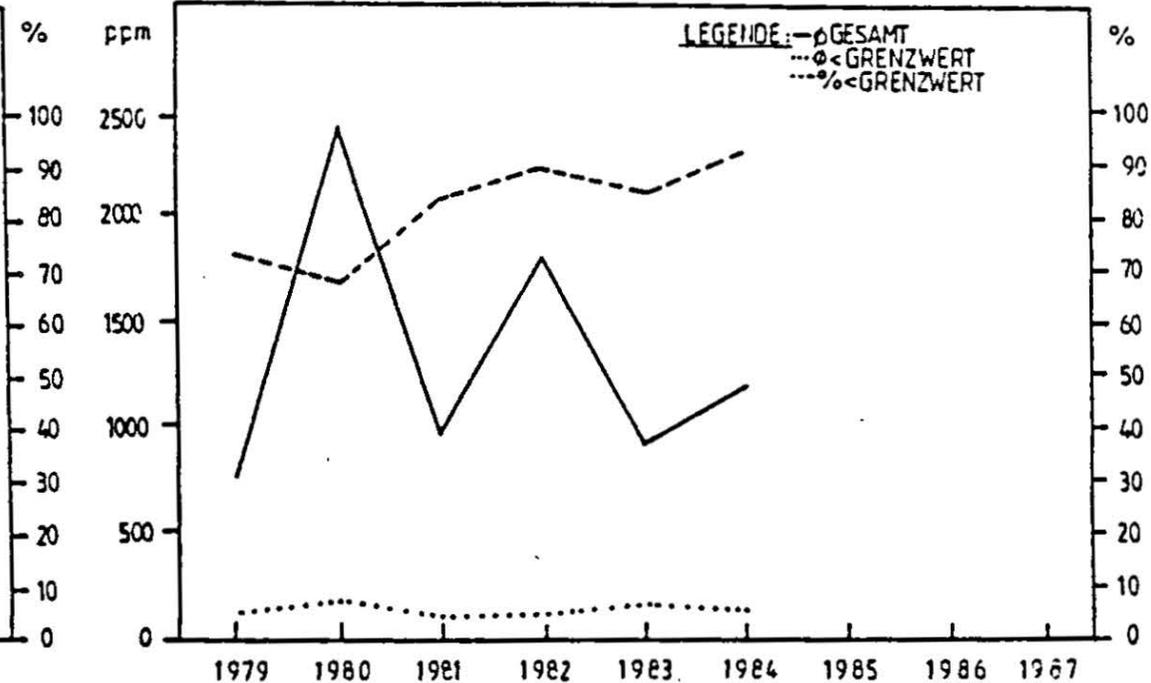
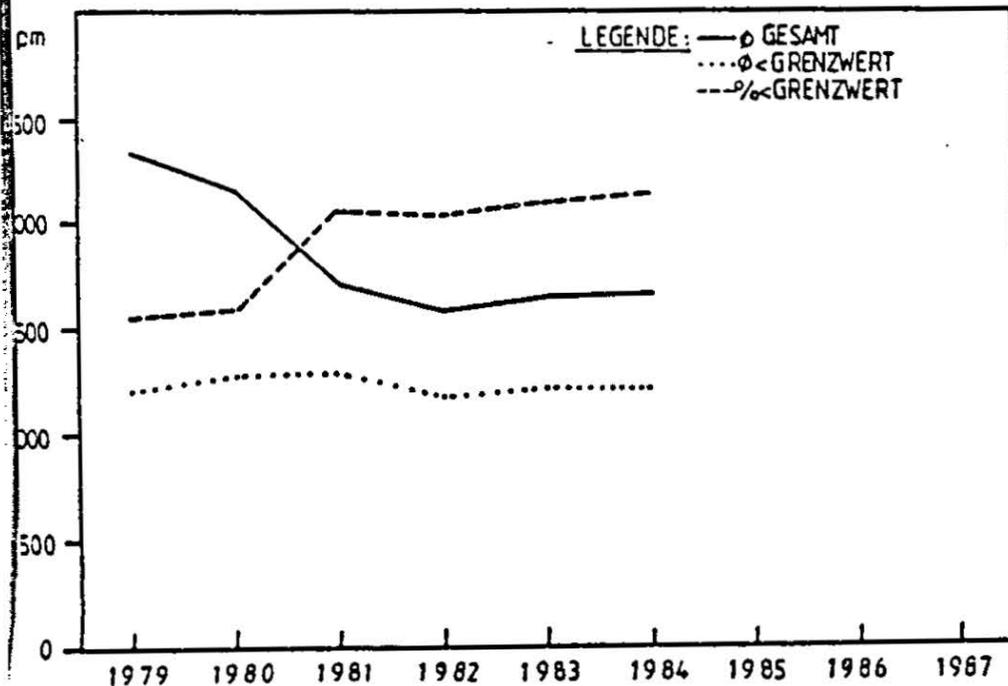
J - 12



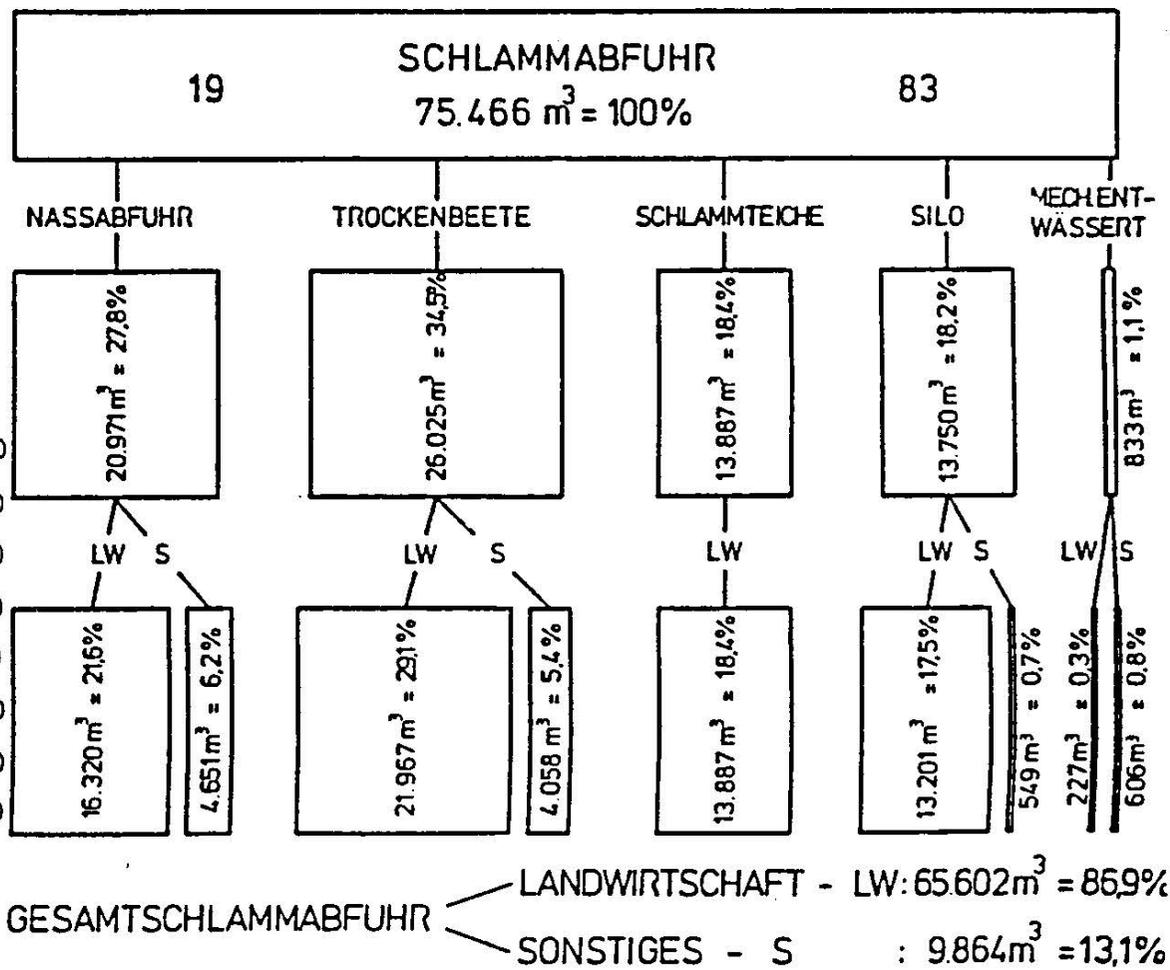
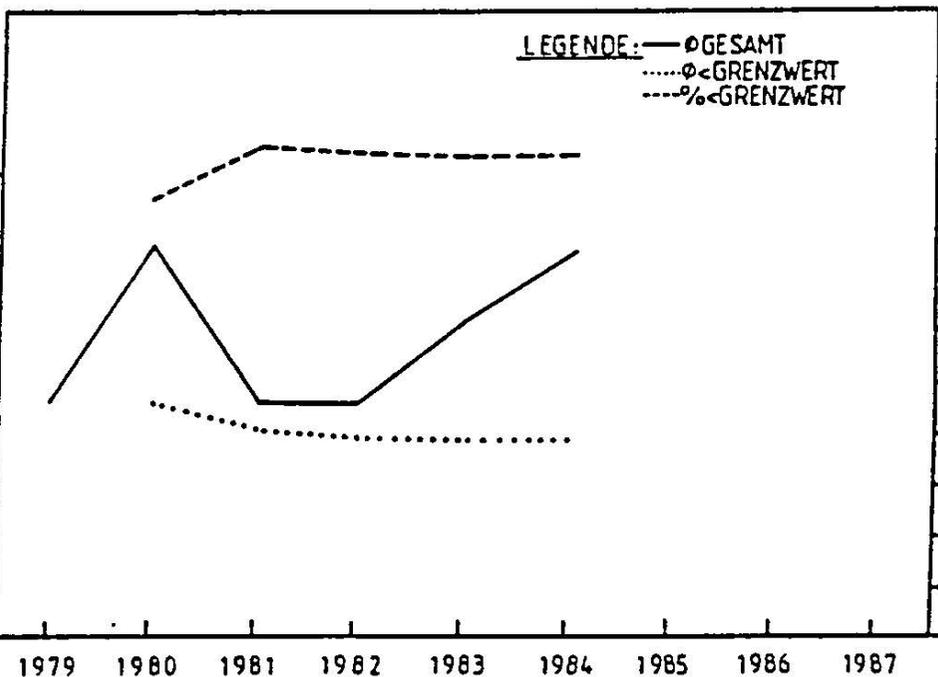
ZINK GESAMT < 2.000ppm						
JAHR	ANZAHL	Ø	VON — BIS	ANZAHL	%	Ø
1979	34	2.381	40 — 12.890	21	61,8	1.252
1980	60	2.156	148 — 7.860	38	63,3	1.348
1981	71	1.733	270 — 10.390	58	81,7	1.350
1982	96	1.520	160 — 5.620	78	81,3	1.228
1983	133	1.537	99 — 5.430	112	84,2	1.267
1984	132	1.539	90 — 6.270	112	84,8	1.267
1985						
1986						
1987						

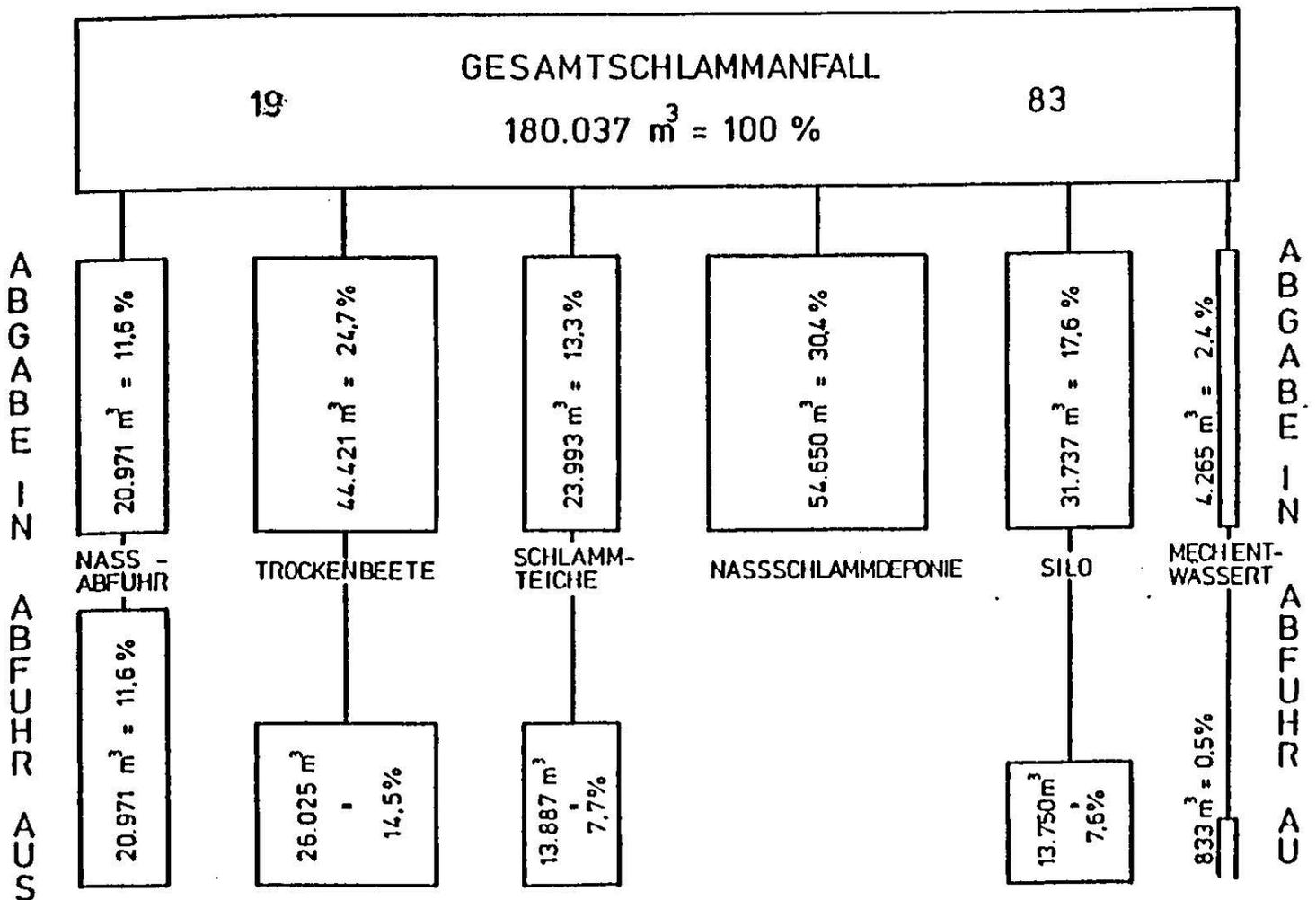
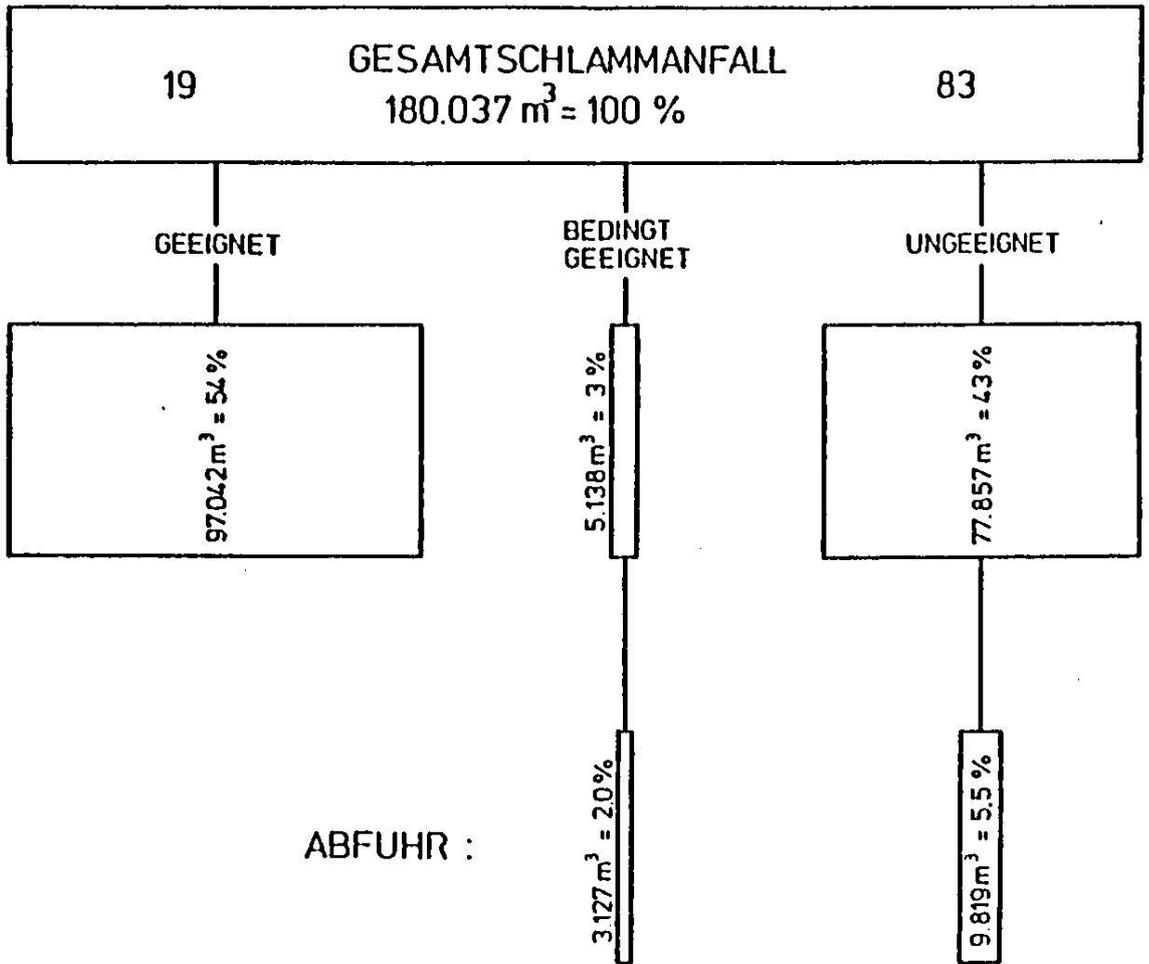
CHROM GESAMT < 500ppm						
JAHR	ANZAHL	Ø	VON — BIS	ANZAHL	%	Ø
1979	30	742	16 — 5.510	22	73,3	65
1980	60	2.440	8 — 59.520	41	68,3	100
1981	72	975	13 — 24.510	60	83,3	60
1982	92	1.568	18 — 54.180	82	89,1	64
1983	135	997	13 — 24.380	114	84,4	76
1984	129	1.204	8 — 97.600	118	91,5	67
1985						
1986						
1987						

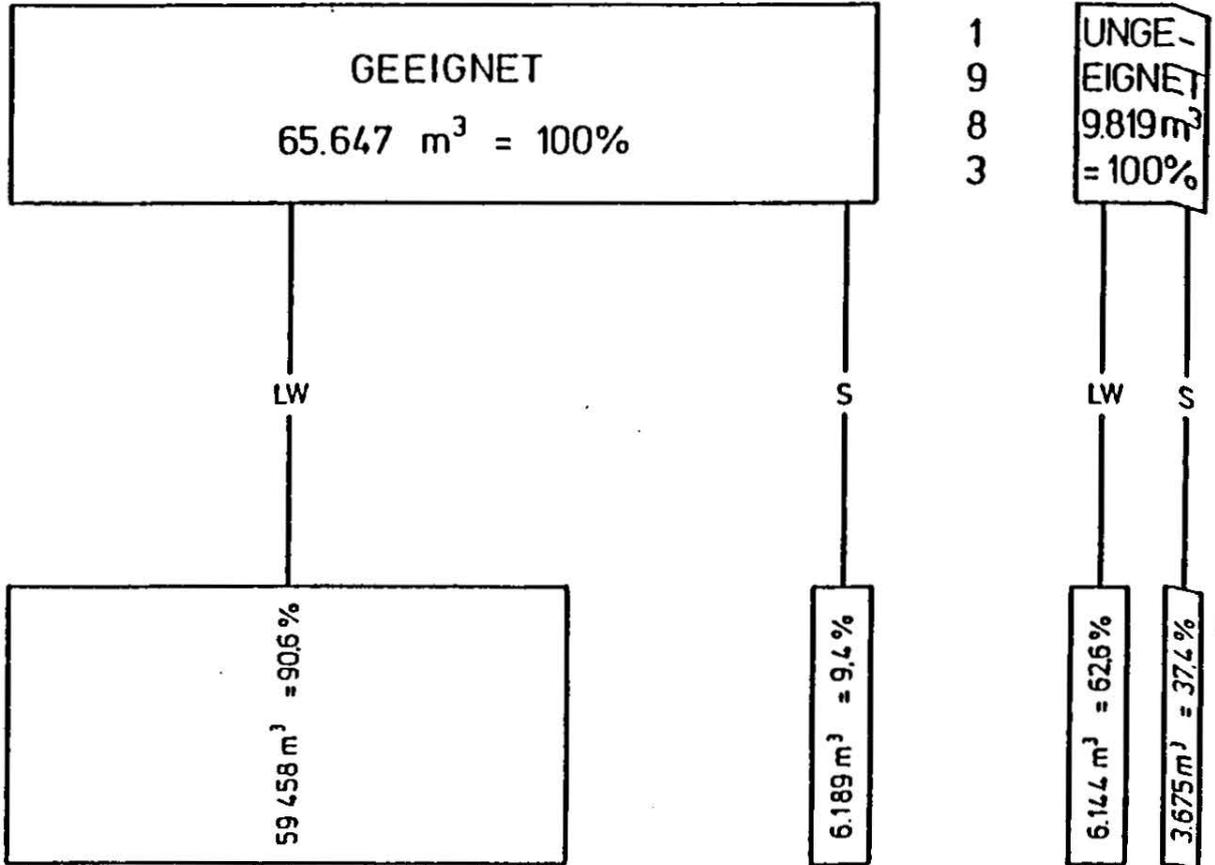
J - 13



QUECKSILBER						
JAHR	GESAMT			< 10ppm		
	ANZAHL	φ	VON — BIS	ANZAHL	%	φ
1979	19	3	0,19 — 7,30	—	—	—
1980	49	5	0,20 — 30,90	42	85,7	3,0
1981	84	3	0,04 — 28,50	79	94,0	2,6
1982	94	3	0,20 — 19,00	88	93,6	2,4
1983	131	4	0,13 — 126,00	121	92,3	2,4
1984	130	5	0,01 — 153,00	121	93,1	2,4
1985						
1986						
1987						







ANPASSUNG DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN SCHLAMMVER-
WERTUNG AN DEN BEDARF (ZWISCHENSPEICHERUNG)
UND ZWECKMÄSSIGE AUSBRINGUNG DES KLÄRSCHLAMMES
AM BEISPIEL DES NIRSVERBANDES

G. KUGEL, H. WENZEL, E. ZINGLER

1. EINLEITUNG

1.1 Vorbemerkungen

In den bisherigen Referaten und im Regelblatt 17 des ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES (ÖWWV, 1984) sind die Problematik und die allgemeinen Grundlagen der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung eingehend behandelt worden. Deshalb soll sich dieser Bericht - nach kurzer Wiedergabe der rechtlichen Situation in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) - im wesentlichen beschränken auf

- das Modell der Klärschlammverwertung des Niersverbandes
- damit zusammenhängende Organisationsfragen (Ausbringung, Überwachung, externe Kontrollen)
- die Anpassung des Unternehmensplanes an die rechtliche Entwicklung und konkurrierende Nutzungen
- die technischen Betriebseinrichtungen (Eindick- und Entwässerungsverfahren).

Da wir davon überzeugt sind, daß mittelfristig generell auch eine Entseuchung für alle Klärschlämme vorgeschrieben wird, soll auch auf die im Niersgebiet bereits vorhandenen Pasteurisierungsanlagen kurz eingegangen werden.

1.2 Rechtliche Vorschriften für die landwirtschaftliche Verwertung

Seit dem 1. April 1983 ist in der BRD die Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 1982) rechtskräftig geworden. Die wesentlichen Auflagen sind:

- a. Der Gehalt an Schwermetallen darf vorgegebene Grenzwerte nicht übersteigen (s. Tabelle 1, Spalte A).
- b. Landwirtschaftliche Böden dürfen nicht übermäßig vorbelastet sein; auch hier sind Grenzwerte für die Schwermetallkonzentrationen vorgegeben (s. Tabelle 1, Spalte C).
- c. Es ist verboten, Rohschlamm auf land- und forstwirtschaftliche Flächen sowie auf gärtnerisch genutzte Böden zu bringen.
- d. Für seuchenhygienisch bedenkliche Schlämme bestehen bei der Verwertung zeitliche Einschränkungen, ähnliches gilt auch in der Schweiz.
- e. Die Klärschlammaufbringungsmengen sind begrenzt auf 5 t TS/ha in 3 Jahren.

Die letztgenannte Auflage ist restriktiver als die Empfehlungen des ÖWWV (5 t TS/ha in 1 Jahr), dafür sind die zulässigen Schwermetallkonzentrationen in der BRD höher (s. Tabelle 1, Spalte B). Bei einer langjährigen Betrachtung ergeben sich jedoch nahezu gleiche Frachten pro Hektar.

Nr.	NE-METALL	SCHLAMM		BODEN
		A	B	C
		ppm	ppm	ppm
1	BLEI (Pb)	1.200	500	100
2	CADMIUM (Cd)	20	10	3
3	CHROM (Cr)	1.200	500	100
4	KUPFER (Cu)	1.200	500	100
5	NICKEL (Ni)	200	100	50
6	QUECKSILBER (Hg)	25	10	2
7	ZINK (Zn)	3.000	2.000	300

Tabelle 1: Grenzwerte für Schwermetalle
 A = Schlamm BRD, B = Schlamm Österr., C = Boden
 (bezogen auf die Trockensubstanz)

Die Einhaltung der Bedingungen unter a. bis e. wurde von den Aufsichtsbehörden des Niersverbandes schon einige Zeit vor Inkrafttreten verlangt. Deshalb war der Niersverband frühzeitig gezwungen, sich mit der Gesamtproblematik zu befassen. Das ist notwendig, wenn man die geordnete landwirtschaftliche Klärschlammverwertung als vernünftiges, aber auch ein preiswertes Konzept in jedem Falle weiterbetreiben will.

1.3 Regionale Struktur des Niersverbandes

Der Niersverband ist seit 1927 durch Preußisches Sondergesetz zur Lösung der Vorflut- und der Gewässerreinhaltungsprobleme innerhalb des gesamten Einzugsgebietes der Niers, einem Nebenfluß der Maas, gegründet worden. Die heutige Rechtsgrundlage für Satzung und Veranlagungsregeln (Beitragsaufkommen) ist die Wasserverbandsverordnung, die Bundesrecht ist. Die Einzugsgebietsgröße beträgt rund 1.350 km² (Abb. 1). Hier wesentlich ist, daß der Niersverband bei der Ausübung seiner Aufgaben nicht an Gemeinde- oder Kreisgrenzen gebunden ist. Innerhalb des Einzugsgebietes ist also ein Arbeiten ohne Beschränkungen durch die Grenzen von Gebietskörperschaften möglich.

Das Einzugsgebiet der Niers weist markante wasserwirtschaftliche Strukturschwächen auf, obgleich die Jahresniederschlagsmengen mit 700 mm und die Bevölkerungsdichte mit 500 Einwohnern pro km² dem Durchschnitt des Landes Nordrhein-Westfalen (NW) entsprechen. Bei einer Einwohnerzahl von rd. 660.000 sind im Niersgebiet die Abwässer von rd. 1.300.000 Einwohnergleichwerten (Bezug: 60 g BSB₅/EGW · d) in den Klärwerken zu behandeln. Der überwiegende Anteil der gewerblichen Abwässer kommt aus der Textilindustrie. Mehr als 92 % der Abwässer einschließlich der Regenwasseranteile aus Mischwasserkanalisationen werden biologisch bzw. chemisch-biologisch behandelt (Abb. 2). Die erwähnte wasserwirtschaftliche Strukturschwäche ergibt sich daraus,

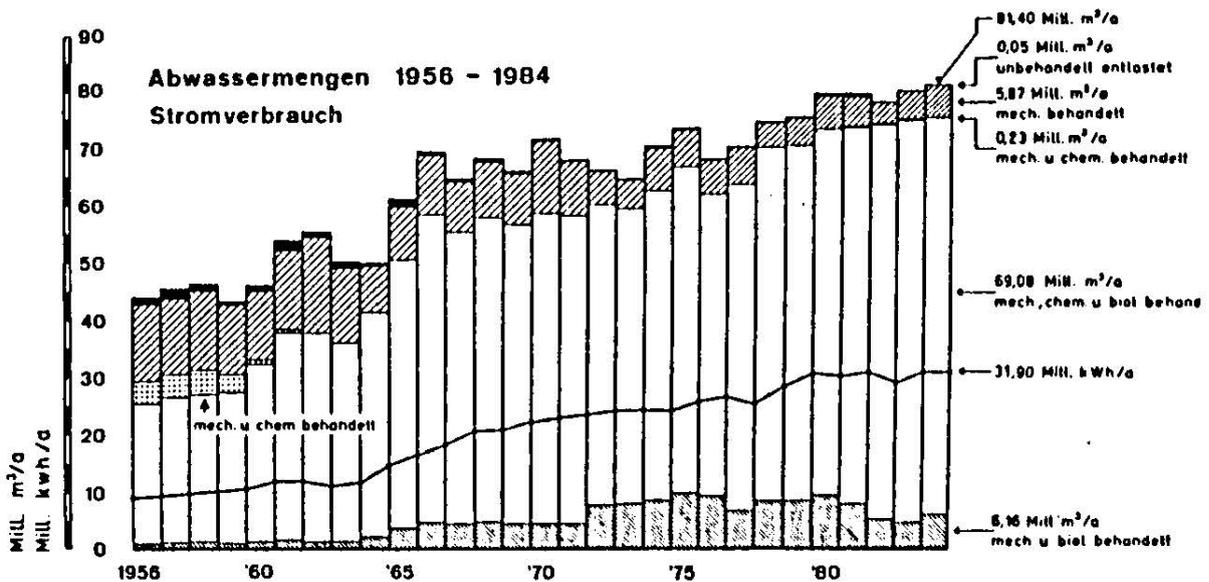


Abb. 2: Ganglinie der Jahresabwassermengen

in Mönchengladbach-Neuwerk ist der Faulschlamm seit 1961 zusätzlich thermisch getrocknet und unter Zugabe von Torf und Kali als Düngemittel überwiegend an den Garten- und Landschaftsbau sowie an den Weinbau verkauft worden. Die Trocknungsanlage reichte bei stetig steigendem Schlammanfall nicht mehr aus und war darüber hinaus sehr reparaturanfällig und auch kostenintensiv. Deshalb wurden bereits 1971 rd. 85 % des gesamten Schlammanfalls auf dem GWK I der Flüssigschlammverwertung zugeführt. Seit 1972 wird im Niersgebiet ausschließlich die landwirtschaftliche Flüssigschlammverwertung durchgeführt.

Im Jahre 1984 sind insgesamt 353.000 m³ Schlamm transportiert worden (Abb. 3). Da nach der Klärschlammverordnung u.a. nur ausreichend stabilisierter Schlamm an die Landwirtschaft abgegeben werden darf, mußten rd. 53.000 m³ eingedickter Rohschlamm mit Hilfe von Quertransporten zur Behandlung in andere Klärwerke transportiert werden. Die verwertete Trockensubstanz betrug 1984 insgesamt rd. 18.000 t/a. Auf die übrigen Zahlenwerte in Abbildung 3 ist später noch näher einzugehen.

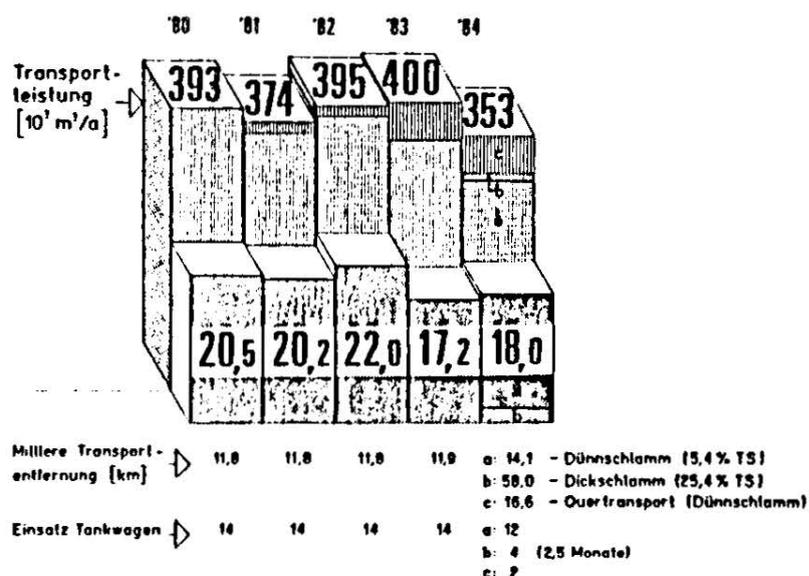


Abb. 3: Klärschlammtransporte im Niersgebiet

Knapp 85 % des gesamten Klärschlammes fallen auf 6 Verbandsanlagen mit Anschlußwerten von über 50.000 EGW an. Eine grobe Übersicht gibt die Tabelle 2:

Anschlußwert EGW ₆₀	Anzahl der Klärwerke	anteiliger Schlammanfall %
750.000	1	59
50.000-100.000	5	25
20.000- 50.000	3	6
< 20.000	18	10

Tabelle 2: Verteilung des Schlammanfalls auf die Klärwerke

Unter Berücksichtigung der Hauptanfallorte der Klärschlämme ist das Niersgebiet - unabhängig von kommunalen Grenzen in zunächst 6 Verwertungsgebiete unterteilt worden (KUGEL, 1982), den Stand des Jahres 1982 zeigt die Abbildung 4.

2.2 Technische Organisation der Schlammverwertung

Die Nachfrage der Landwirtschaft in vegetationsfreien Zeiten übersteigt das Dargebot an Klärschlämmen. Aus diesem Grunde werden zwischen den Landwirten und dem Niersverband keine Verträge abgeschlossen. Eingehende Lieferwünsche werden durch eine zentrale Einsatzsteuerung des verbandseigenen Personals und der technischen Einrichtungen erfüllt, andererseits wird so eine optimale und damit kostengünstige Auslastung des Gesamtsystems erreicht.

Verwertungsgebiete Im Jahre 1982

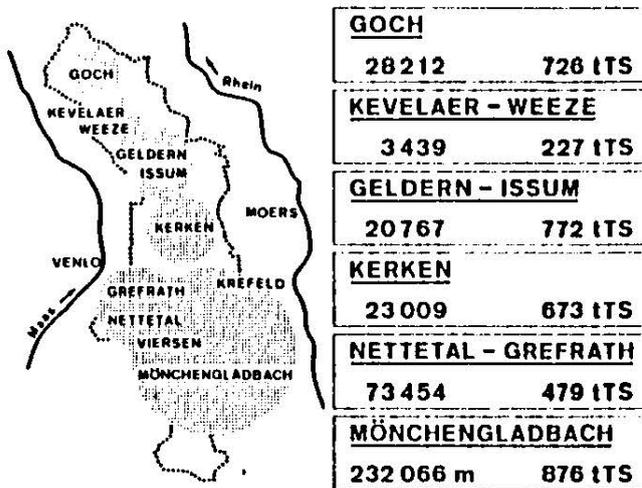


Abb. 4: Klärschlammverwertungsgebiete (alt)

Für den Transport werden Sattelzüge mit Tankaufliegern eingesetzt, die Nutzlast beträgt 19 t. Da nur Straßen und befestigte Wirtschaftswege befahren werden, besitzen die Fahrzeuge eine normale Antriebsachse, sie sind für den öffentlichen Verkehr zugelassen. Die Be-

füllung erfolgt durch Zapfstellen mit einem Tauchrohr schaumfrei, die Pumpen der Abfüllstation gewährleisten eine Beladezeit von unter 10 Minuten.

Die Entleerung der Tankinhalte wird in der Regel mit Druckluft durchgeführt. Deshalb ist an den Nebenantrieb der Zugmaschine ein Rotationsverdichter für 3 bar Überdruck angeschlossen. Künftig werden einige der insgesamt 14 Tankzüge mit Verdrängerpumpen (Drehkolbenpumpen) ausgerüstet, um auch höher eingedickte Schlämme ausbringen zu können. Die Verteilung der flüssigen Schlämme erfolgt über Schnellkupplungsrohre mit Kardanhebel ($l = 6 \text{ m}$, $d = 89 \text{ mm}$) und einen angeschlossenen Güllewerfer. Mit Hilfe der Gülle-

werfer ist eine dosierte und randscharfe Beschickung der Flächen bei jedem Wetter möglich. Die Entlade- und Verregungszeiten betragen in Abhängigkeit von der Länge der Verteilungsleitungen 12-30 Minuten, wobei durchschnittlich 300 m, in Sonderfällen auch 600 m Leitung ausgelegt werden. Aufgabe des Landwirtes ist lediglich der Antransport und das Auslegen der Verteilerrohre, alle übrigen Leistungen erfolgen durch den Niersverband und für den Landwirt kostenfrei.

Den Einfluß der Transportentfernung auf die Kosten und die Leistung zeigt die Abbildung 5. Da die Treibstoffkosten nur einen relativ geringen Anteil ausmachen, steigen die Gesamtkosten mit der Entfernung linear. Die Transport- und Verteilungsleistung nimmt degressiv ab, weil lediglich die Transportzeiten zunehmen (WENZEL, 1977).

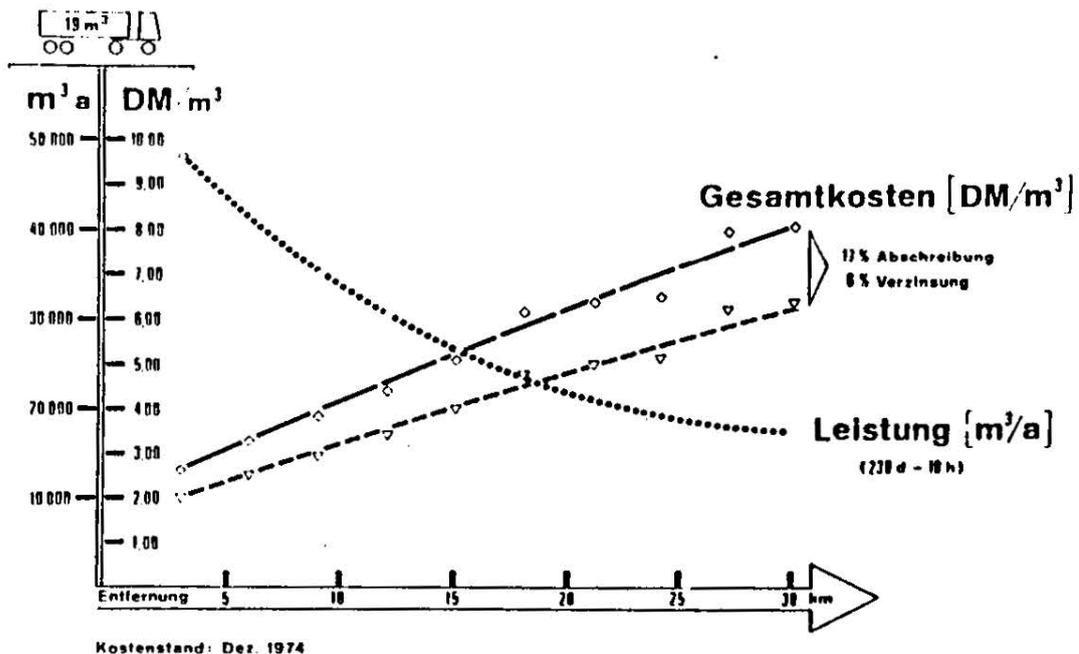


Abb. 5: Einfluß der Transportentfernung auf die Abfuhrleistung und die Kosten

Bei größeren Transportentfernungen werden zur günstigeren Auslastung von Personal und Gerät 2 bis 3 Tankzüge pro Einsatzort verwendet. Die Abhängigkeiten für die Verteilungs-

mengen, die erreichbaren täglichen Fahrten und die Jahres-transportleistungen gibt Abbildung 6 wieder.

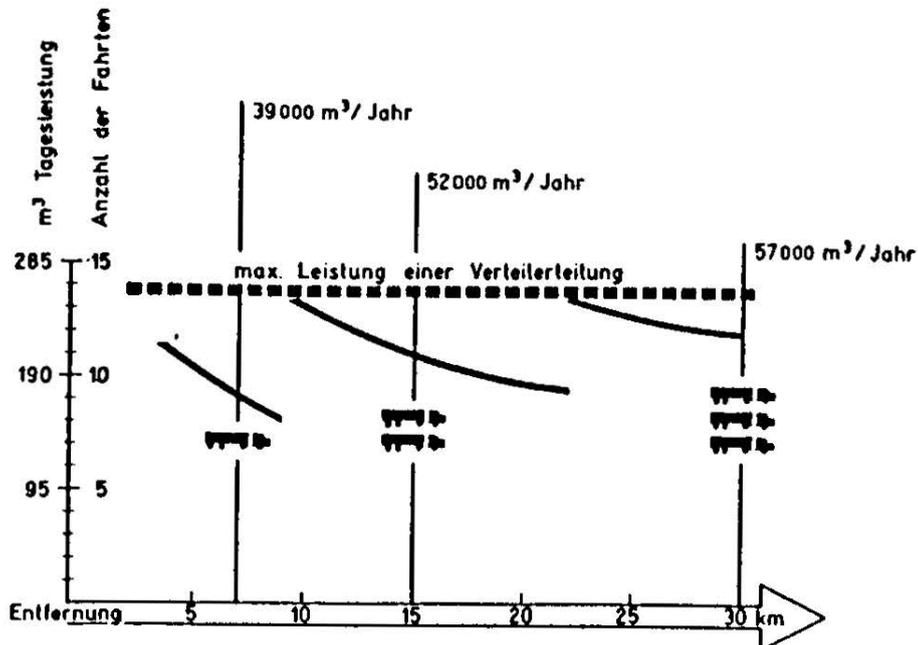


Abb. 6: Anpassung der Transportmengen an die Entfernung

2.3 Notwendigkeiten für die Anpassung an den Bedarf

Eine regelmäßige ganzjährige Klärschlammverwertung setzt neben einer leistungsfähigen Organisation eine flexible Anpassung des Angebotes an die Nachfrage und eine hohe Zuverlässigkeit voraus. Das gilt im besonderen Maße für die Flüssigschlammverwertung mit ihrer Abhängigkeit von Ruhezeiten, Fruchtfolge und Witterung (KUGEL, 1982). Der Landwirt ist an einem zuverlässigen (= schadlosen) Produkt interessiert, das er bei optimaler Nutzung des Angebotes an Hauptnährstoffen im Klärschlamm für die weitgehende Deckung des Pflanzenbedarfes einsetzen will. Wegen unterschiedlicher Anbaukulturen und ihrem natürlichen Rhythmus ergeben sich zeitliche Restriktionen, die bei der Flüssigschlammverwertung besondere Überlegungen bezüglich einer Zwischenspeicherung erfordern. In die Überlegungen einzu beziehen sind konkurrierende Nutzungen wie die Trinkwasserförderung, Natur- und Landschaftsschutz, Erholung, aber

auch die Gülleverwertung.

Die konsequente Beachtung der Klärschlammverordnung mit den bereits erwähnten Restriktionen setzt weitere Überlegungen voraus. Ein hohes Maß an eigenverantwortlicher Selbstkontrolle ist ebenso unerlässlich wie die Beschränkung von solchen Indirekteinleitungen in das Kanalnetz, die zur Anreicherung von Schwermetallen im Klärschlamm führen können. Aus diesem Grunde sind beim Niersverband sehr frühzeitig Anpassungsmaßnahmen durchgeführt worden, welche die Sicherung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung durch Bedarfsermittlung, Überwachung und durch die Vorhaltung flexibler technischer Einrichtungen gewährleisten sollen.

3. BEDARFSERMITTLUNG UND ÜBERWACHUNG

3.1 Unternehmensplan "Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung"

Die Beschränkung der Klärschlammabgabe auf 5 t TS/ha in 3 Jahren ist einer Verdreifachung des früheren Flächenbedarfes und einem Anstieg der Transportweiten um 70 % gleichzusetzen. Mit Blick auf die gegebene hohe Siedlungsdichte und auf konkurrierende Nutzungen hat der Niersverband umfangreiche Erhebungen bei den Gemeinden, bei anderen Trägern öffentlicher Belange und bei der Landwirtschaftskammer durchgeführt. Durch diese Erhebungen ist eine detaillierte Bedarfsanalyse möglich. Das bisherige Zwischenergebnis ist in Abbildung 7 graphisch dargestellt.

Aus der Auswertung der statistischen Unterlagen ergibt sich, daß rd. 33,5 % der vorhandenen Flächen gar nicht für die Klärschlammverwertung in Frage kommen.

Von der verbleibenden landwirtschaftlich genutzten Fläche kommen vorrangig die Ackerflächen mit einem Anteil von 52,4 % an der Gesamtfläche für die Flüssigschlammverwertung in Betracht, die Anbauverhältnisse für die wesentlichen

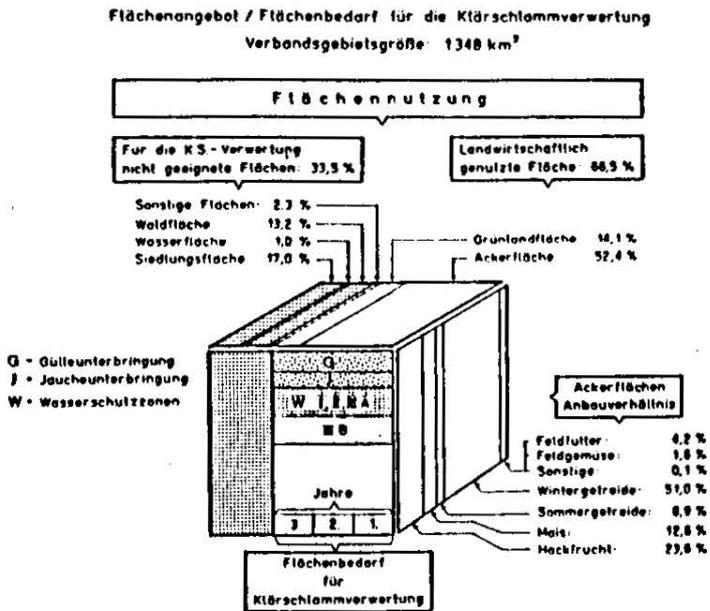


Abb. 7: Flächenangebot im Niersgebiet

Wasserschutzzonen I und II völlig, als Schutzzone IIIa in der Regel aus. In den Wasserschutzzonen IIIb könnte nach unserer Auffassung eine Klärschlammverwertung möglich bleiben, wobei diese nicht in der vegetationslosen Zeit erfolgen soll. Schließt man jedoch auch die Schutzzonen IIIb aus, so werden von den ohne Beschränkung verbleibenden restlichen landwirtschaftlichen Nutzflächen rd. 25 % für die Flüssigschlammverwertung zur Verfügung stehen. Das sind unter Berücksichtigung des 3jährigen Turnus rd. 110 km². Im Zusammenhang mit der detaillierten Flächennutzungsanalyse sind auch die Verwertungsgebiete neu zugeordnet worden (Abb. 8). Der gerade Verlauf der Grenzlinien innerhalb des Niersgebietes ist darin begründet, daß die Aufbringungsflächen, d.h. der Verbleib des Schlammes seit 1980 parzellenscharf auf Blättern der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1 : 5000 dokumentiert wird. Die Flächengrößen sind dem unterschiedlichen Bedarf in Abhängigkeit vom Klärschlammfall angepaßt. Hier ist einzufügen, daß gleichzeitig mit der kostenmäßigen Dokumentation detaillierte Liefernachweise erstellt werden, die sowohl dem Landwirt als

Pflanzenkulturen sind auf der rechten Fläche dargestellt.

Entscheidend ist die Frontfläche. Von der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche sind rd. 20 % für die Gülle, und Jaucheunterbringung belegt, weitere rd. 18 % scheiden als

Verwertungsgebiete

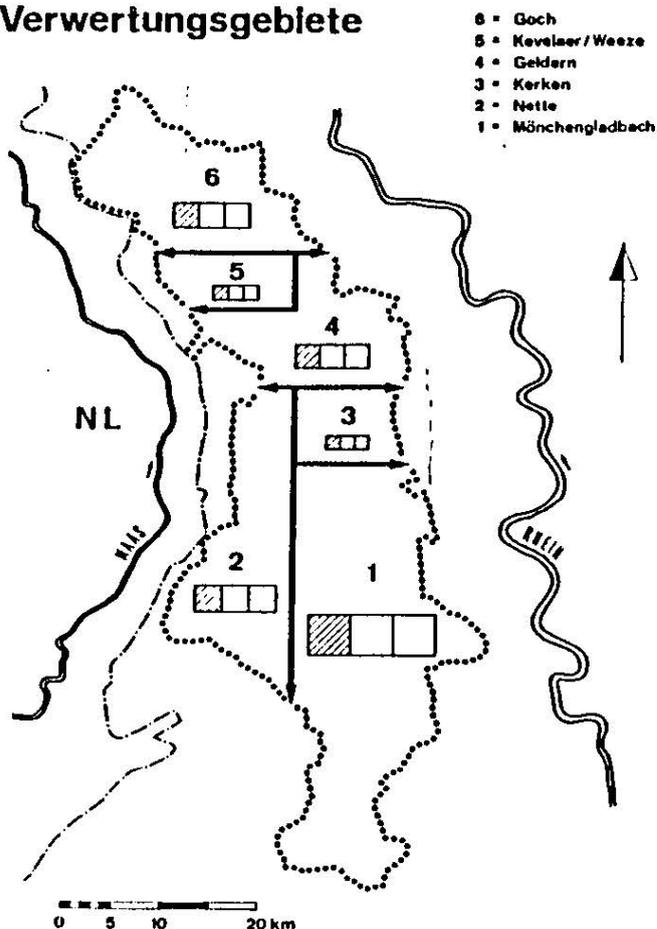


Abb. 8: Neuordnung der Verwertungsgebiete

auch dem Niersverband als Lieferanten erkennen lassen, welche Düngestoffe und sonstigen Inhaltsstoffe der gelieferte Schlamm am jeweiligen Auslieferungsort enthalten hat. Zusätzlich zu der vorgenannten Dokumentation werden die Kontrollblätter über die NE-Metalle fortgeschrieben, die den jeweils zuständigen Dienststellen, wie Wasser- und Abfallbehörden und der Landwirtschaftskammer zur Kenntnis gegeben werden (WENZEL, 1981).

3.2 Überwachung und Eigenkontrollen

Grundvoraussetzung für konkretes Planen und Betreiben einer Klärschlammverwertung ist die Prüfung des Schlammes auf seine Eignung für die landwirtschaftliche Unterbringung. Diese Analysen von Spurenelementen und vor allem von Störstoffen werden ständig dort durchgeführt, wo mit relevanten Mengen zu rechnen ist.

Wenn auch die Inhaltsstoffe von Klärschlamm in einer Kläranlage unvermeidbar schwanken, so sind abrupte Änderungen relativ selten, weil in den Schlammbehandlungsanlagen mit hoher Verweilzeit bzw. hohem Schlammalter ein großes Puffervermögen gegeben ist.

Wie andere leistungsfähige Wasserverbände verfügt auch der

Niersverband über ein sehr leistungsfähiges Laboratorium mit erfahrenerm Personal. Die Voraussetzungen für die notwendigen Untersuchungen sind somit gegeben, allerdings ist der apparative Aufwand keinesfalls zu unterschätzen. Auch erfordert der Nachweis der NE-Metalle im ppm-Bereich durch Atomabsorptionsspektographie ein sehr sorgfältiges Arbeiten.

Die Analysedaten werden in unterschiedlicher Weise aufgearbeitet und in Kontrollkarten bzw. Kontrollblätter übertragen, um den Verlauf und eventuelle Trends frühzeitig erkennen zu können. Beispiele für Cadmium und Kupfer zeigen die Darstellungen in Abbildung 9.

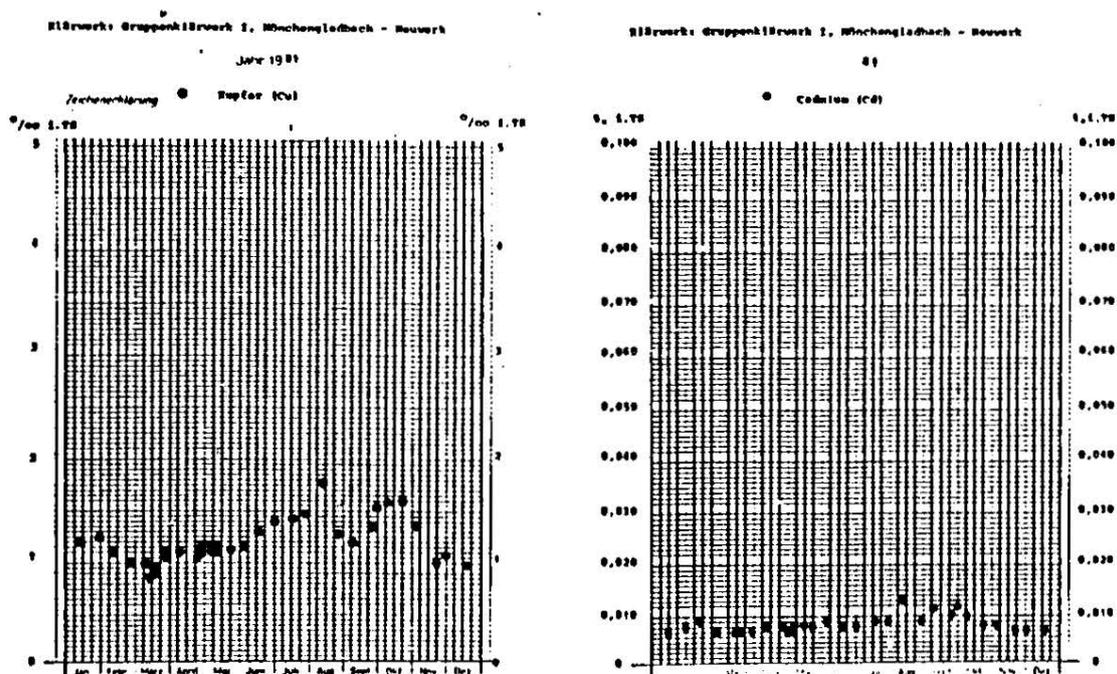


Abb. 9: Überwachungskartei für NE-Konzentrationen

Darüber hinaus hat der Niersverband für die übersichtliche Bewertung zu verwertender Klärschlämme eine besondere Klassifikation eingeführt (KUGEL, 1980). Dabei werden als Vergleichsstandard Klärschlämme aus kommunalen Kläranlagen herangezogen, die durch gewerbliche Abwässer praktisch kaum kontaminiert sind. Obwohl auch hier Schwankungen bei den auf die Trockensubstanz bezogenen Schwermetallgehalten

gegeben sind, kann der Median einer größeren Stichprobe als plausible Größe für weitere Auswertungen benutzt werden. Der im Jahre 1980 aufgestellte Vergleichsstandard ist in Tabelle 3 wiedergegeben. Es sind die NE-Gehalte in der Trockensubstanz, die mit Königswasser aufgeschlossen und mit Hilfe der Atomabsorption analysiert wurden.

NE:	Zn g/kg	Cu g/kg	PB g/kg	Cr g/kg	Ni g/kg	Cd g/kg
Median	1,58	0,25	0,21	0,16	0,05	0,004
Obere Vertrauensgrenze	(1,79)	(0,27)		(0,19)		
(95 %-Niveau) des Median	1,8	0,3	0,25	0,2	0,06	0,005
Grenzen der Spannweite Mind. Max.	0,81 2,58	0,13 0,68	0,07 0,54	0,03 0,85	0,01 0,17	0,001 0,009
Anzahl der Einzelwerte	62	53	58	53	53	52
Anzahl der Klärwerke	24	21	23	25	23	23

Tabelle 3: Vergleichsstandard auf der Basis nicht kontaminierter Schlämme

Aus den Werten des Vergleichsstandards wurde 1980 eine Klasseneinteilung entwickelt, die jedoch in den oberen Klassen eine zu große Spreizung hatte und damit zu Unschärfen führte. Mit dem Inkrafttreten der Klärschlammverordnung am 1. April 1983 wurde daher beim Niersverband eine Klasseneinteilung mit den Werten der Tabelle 4 einge-

führt.

Klasse	Blei ppm	Cadmium ppm	Chrom ppm	Kupfer ppm	Nickel ppm	Queck- silber ppm	Zink ppm
1	300	5	300	300	50	6	1.500
2	600	10	600	600	100	12	2.100
3	900	15	900	900	150	19	2.550
4	1.200	20	1.200	1.200	200	25	3.000

5	1.500	25	1.500	1.500	250	30	3.750
---	-------	----	-------	-------	-----	----	-------

Tabelle 4: Klärschlammklassifikation

Entsprechend dieser Einteilung werden die Klärschlämme aller 27 Kläranlagen im Niersgebiet bewertet. Besondere Untersuchungen und Maßnahmen setzen ein, sobald ein Parameter, beispielsweise der Chrom- oder der Kupfergehalt, die Klasse 3 überschreitet.

Bisher in 2 konkreten Fällen sind Schlämme von der landwirtschaftlichen Verwertung ausgeschlossen worden. Diese Schlämme mußten von Fremdunternehmern mit mobilen Einrichtungen entwässert und zu Abfall- bzw. Sonderdeponien transportiert werden. Die Kosten für derartige Maßnahmen tragen aufgrund von entsprechenden Festlegungen in der Satzung die jeweiligen Verursacher, die in beiden Fällen ermittelt werden konnten.

Aus der Notwendigkeit heraus, der Landwirtschaft ein schadloses Produkt zu liefern, sind durch Änderung der Satzung und der Veranlagungsregeln auch die Einleitungsbedingungen für Indirekteinleiter wesentlich verschärft worden. Sie enthalten Grenzwerte, die teilweise noch unter denen des ATV-Arbeitsblattes A 115 liegen.

Unabhängig von den Eigenkontrollen hat der Niersverband darüber hinaus eine Reihe von agrikulturchemischen Forschungsvorhaben, zum Teil mit Unterstützung des Landes NW,

gefördert. Auf die Veröffentlichungen von Professor Kick und seinen Mitarbeitern von der Universität Bonn sei als Beispiel für die umfangreiche Fachliteratur auf diesem Gebiet hingewiesen (SCHAEFER, 1967; NOSBERS, 1968; WARNUSZ, 1973; KICK UND POLETSCHNY, 1978).

Alle bisherigen Ergebnisse besagen, daß eine langfristige landwirtschaftliche Nutzung weiterhin möglich ist (>> 100 Jahre).

4. SCHLAMMBEHANDLUNG UND ZWISCHENLAGERUNG

4.1 Schlammvorbehandlung im Niersgebiet

Nach den Auflagen der Klärschlammverordnung dürfen nur noch stabilisierte Schlämme auf landwirtschaftlichen Nutzflächen untergebracht werden. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Klärschlämme

- entweder durch aerobe, anaerobe oder aerob-thermophile Verfahren "ausgefäult"
- oder entseucht, z.B. durch Pasteurisierung oder Kalkbehandlung

werden.

Eine konventionelle Stabilisierung konnte mit den vorhandenen Einrichtungen von vornherein für knapp 80 % des gesamten Schlammanfalles im Niersgebiet sichergestellt werden.

Die Stabilisierung der Schlämme aus einigen kleineren Kläranlagen (rd. 23.000 m³/a) und einer größeren Kläranlage wurde durch Quertransporte über rd. 15 km zu Faulräumen mit ausreichenden Leistungsreserven sichergestellt, siehe auch Abbildung 3. Dazu sind einige Erläuterungen notwendig.

Zwei größere Klärwerke mit Anschlußwerten von je rd. 100.000 EGW₆₀ sind ohne anaerobe Schlammstabilisierungsanlagen erstellt worden, weil in der Planungsphase (ca. 1965) Voruntersuchungen ergeben hatten, daß eine Schlammfäulung

wegen der Abwasserinhaltsstoffe stark gehemmt verlaufen würde. Beide Klärwerke erhielten jedoch Schlammpasteurierungsanlagen.

Die Rohschlämme wurden bei Bedarf (Kopfdüngung bei Mais, Grünlandnutzung) pasteurisiert, im übrigen unbehandelt auf Äcker transportiert und sofort untergepflügt (Vermeidung von Geruchsimmissionen). Da für die Pasteurierungsanlagen teure Fremdenergie eingesetzt werden mußte, wurden sie nur saisonal betrieben. Schon 1982 zeichnete sich ein Verbot der landwirtschaftlichen Verwertung von Rohschlämmen ab. Der Niersverband führte deshalb vergleichende Kostenrechnungen durch. In die Überlegungen einbezogen wurden ein Quertransport zu anderen Klärwerken, ein ganzjähriger Pasteurisierungsbetrieb mit teurer Fremdenergie (ca. 6 l Heizöl pro m³ Schlamm) oder die kurzfristige Installation von Einrichtungen für eine Schlammstabilisierung mit wirtschaftlich vertretbaren Betriebskosten. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Schlammengen und der Transportweiten fielen die Ergebnisse unterschiedlich aus. Auf den Umfang der Quertransporte mit spezifischen Kosten von 5,86 DM/m³ ist zuvor bereits hingewiesen worden (jährlich 53.000 m³). Lediglich für eines der beiden größeren Klärwerke (Schlammanfall rd. 25.000 m³/a) ergab der Kostenvergleich, daß die Installation einer aerob-thermophilen Schlammstabilisierungsanlage günstiger ist. Zwei der ohnehin vorhandenen Schlammstapelbehälter aus Stahl wurden dafür maschinell ausgerüstet, abgedeckt und mit einer Wärmedämmung versehen. Ein Fließschema der 2stufigen Anlage enthält die Abbildung 10. Unter Hinweis auf das noch folgende Referat von BERNINGER mag hier die Feststellung genügen, daß die seit 1982 im großtechnischen Versuch laufende aerob-thermophile Schlammstabilisierungsanlage betriebssicher und bezüglich Stabilisierung und Entseuchung zufriedenstellend arbeitet (Jahresberichte des Niersverbandes 1983/84).

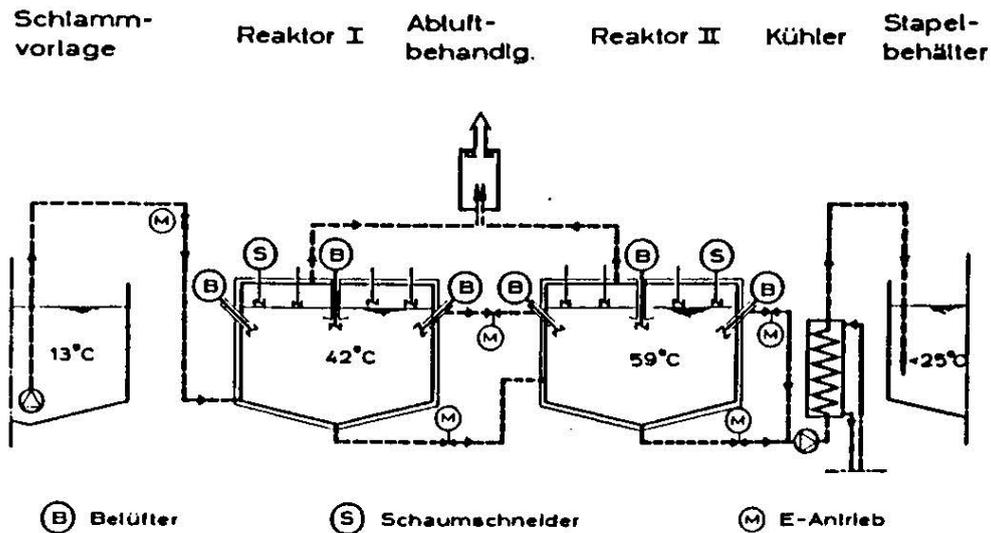


Abb. 10: Fließschema der aerob-thermophilen Schlammbehandlung im Klärwerk Nette

Zum Abschluß dieses Kapitels ist kurz auf die Schlammpasteurisierung einzugehen. Der Niersverband hat in diesem Bereich seit rd. 18 Jahren die verschiedenen Verfahrenstechniken entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik betrieben (KUGEL, 1973; BRAUN UND ZINGLER, 1975; ZINGLER, 1981). Aufgrund der bisherigen Erfahrungen sind wir der Auffassung, daß sich Pasteurisierungsanlagen erst bei größeren Klärwerken (ab 50.000 EGW₆₀) rentieren; andernfalls schlagen die für eine hohe Zuverlässigkeit notwendigen Reservemaschinen, Installationen und Ersatzteile zu stark bei den spezifischen Jahreskosten zu Buche. Nach den teilweise mißlichen Ergebnissen mit der Nachpasteurisierung hat der Niersverband in Klärwerken mit anaerober Schlammstabilisierung alle Pasteurisierungsanlagen auf Vorpasteurisierung umgestellt. Seitdem sind die Endprodukte seuchenhygienisch einwandfrei. In 2 neueren Klärwerken werden die Pasteurisierungsanlagen unter Zwischenschaltung von Wärmerückgewinnungsanlagen als Simultanpasteurisierung (Pasteurisierung und Faulraum = 1 Verfahrensstufe) betrieben, siehe Abbildung 11. Der Energieverbrauch konnte dadurch auf weniger als 50 %

gegenüber älteren Anlagen im Niersgebiet gesenkt werden.

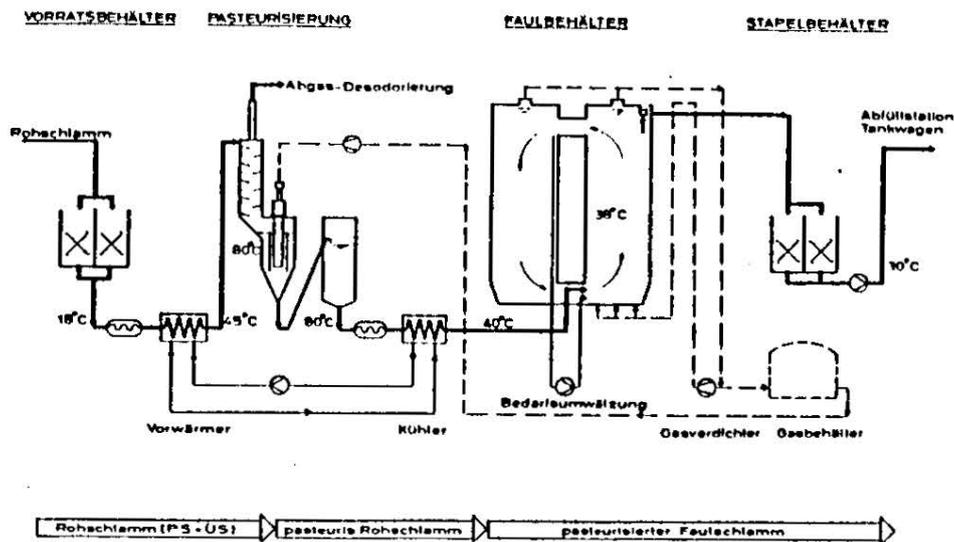


Abb. 11: Fließschema der Schlammbehandlung im Gruppenklärwerk Geldern/Issum

4.2 Schlammnachbehandlung (Zwischenspeicherung)

Die allgemeine Problematik der Schlamm-Zwischenspeicherung und einige Lösungsvorschläge, die vor allem für kleinere Kläranlagen gültig sind, werden in einem Arbeitsbericht der ATV (1984) und in einem Merkblatt des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (1983) wiedergegeben. Dort sind auch brauchbare Hinweise für preiswerte Konstruktionen (Fahrsilos) und für die notwendigen betrieblichen Einrichtungen zu finden.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich daher auf die Lösung der Probleme, die im größten Klärwerk des Niersverbandes in Mönchengladbach-Neuwerk (GKW I) mit rd. 260.000 m³/a realisiert worden ist. Folgende Gesichtspunkte waren dabei zu berücksichtigen:

- a. Schlammzwischenspeicherung über ca. 3 Monate
- b. mögliche Schadstoffanreicherung, speziell von Chrom, durch Lederarbeiter und Färbereien
- c. Beschränkung des zusätzlichen Personal- und Fahrzeugbedarfes mit Blick auf die Restriktionen in den

Feststoff-Frachten (5 t TS/ha · 3 a) und durch die Verkürzung der jährlichen Ausbringungszeiten
 d. zeitweiser oder völliger Ausbringungsstop infolge emotionaler Schlammdebatte (Medien, Politik).

Zur Lösung dieser Fragen sind eine Reihe von Alternativen entwickelt und hinsichtlich Investitions- und Betriebskostenaufwand, verfahrenstechnische Flexibilität und Zuverlässigkeit untersucht worden (BRAUN UND ZINGLER, 1983). Zur Ausführung gelangte eine Schlammverdick- und Schlamm-entwässerungsanlage, die als Fließschema in Abbildung 12 dargestellt ist. Kernstücke der Anlage sind Zentrifugen, Schlammmischanlagen (Pflugscharmischer) und ein Schlamm-zwischenlager mit einem Nutzvolumen von 12.000 m³.

Folgende Betriebsweisen sind möglich:

4.2.1 Entwässerungsbetrieb

In den Vegetationsphasen wird der ausgefaulte Naßschlamm unter Zugabe von Polymeren in den Zentrifugen auf einen Trockensubstanzgehalt von i.M. 32 %-Gewicht entwässert und mit Hilfe von Betonpumpen und Druckleitungen in die Zwischenspeicher gefördert (Dickschlamm-Speicherung).

4.2.2 Eindickbetrieb

Außerhalb der Sperrzeiten wird ein Teilstrom des Naßschlammes entwässert (wie unter 4.2.1) und anschließend zu einem Pflugscharmischer gefördert. Durch Zugabe von ca. 6 m³ Naßschlamm mit 5,5 % TS auf 1 m³ Dickschlamm mit 32 % TS wird eine Naßschlammmenge von 7 m³ mit rd. 9,5 % TS erreicht. Die resultierende Schlammkonsistenz (Fließverhalten) kann mit den vorhandenen Einrichtungen (druckluftherzeugende Rotationsverdichter am Tankzug, Verteilerleitungen) den Vorschriften entsprechend auf Ackerflächen einwandfrei verteilt werden.

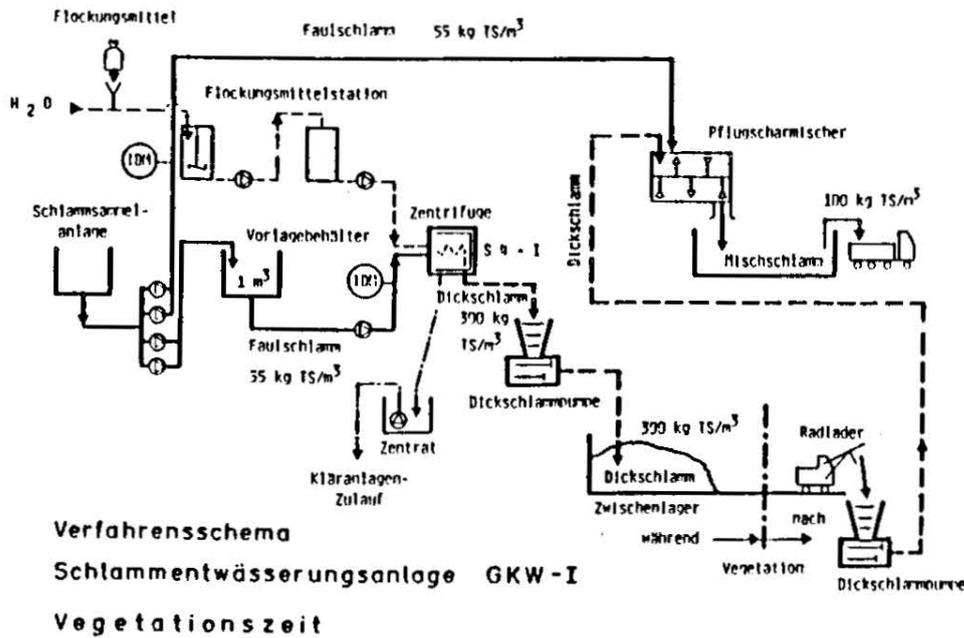


Abb. 12: Fließschema der Schlammeindick- und Entwässerungsanlage

4.2.3 Leerung des Zwischenspeichers

Außerhalb der Sperrzeiten wird der thixotrope Dickschlamm mit einem (angemieteten) Radlader in ein Aufgabefäß gegeben. Mittels Förderschnecke und Dickstoffpumpe wird der Dickschlamm ebenfalls in den Pflugschärfmischern rückverdünnt (TS ca. 10 %) und anschließend landwirtschaftlich verwertet.

Im Jahre 1984 hat sich durch einen Großversuch eine weitere Alternative als brauchbar und kostengünstig herausgestellt. Ein niederländisches, auf die Gülleverwertung spezialisiertes Abfuhrunternehmen ermöglichte durch den Einsatz von Spezialpumpen (Drehkolbenpumpen) bei geringfügiger Naßschlammzugabe das Betanken mit Dickschlamm (TS ca. 29 %). Dadurch konnten große Feststoffmengen pro Transportgang über größere Entfernungen transportiert und einwandfrei entsprechend den Erfordernissen verteilt werden (2.200 t TS, 58 km Transportentfernung).

4.2.4 Überbrückung längerfristiger Sperrzeiten

Längerfristige Sperrzeiten können sich ergeben, wenn NE-Konzentrationen die zulässigen Grenzwerte überschreiten oder wenn äußere Einflüsse eine landwirtschaftliche Verwertung zeitweise oder gänzlich unmöglich machen. Ein derartiger "Notzustand" war im Jahre 1983 über 5 Monate wegen zu hoher Chromgehalte auf dem GWK I gegeben. Zur Herstellung eines deponiefähigen Endproduktes aus dem thixotropen Dickschlamm wurde ein Kalksilo mit Dosiereinrichtung angemietet. Bei Zugabe von 350 kg Ca O pro t Trockensubstanz wurde ein krümeliges Material erzeugt, das in Unternehmerleistung mit Containerfahrzeugen zu einer kommunalen Mülldeponie transportiert und dort mit den üblichen Geräten eingebaut werden konnte. Dieser Notbetrieb verursacht etwa die doppelten spezifischen Kosten des Normalbetriebes.

Die Schlammeindick- und Schlammentwässerungsanlage ist für einen Durchsatz von 2.000 m³/d Naßschlamm ausgelegt. Sie wäre damit in der Lage, den gesamten Schlammanfall aus allen Kläranlagen des Niersverbandes zu entwässern.

Die wesentlichen Betriebsdaten und die spezifischen Verbräuche enthält die Tabelle 5. Die Tabelle 6 zeigt die spezifischen Jahreskosten bezogen auf einen Naßschlammanfall von 260.000 m³/a. Bei der Bewertung der Zahlen ist zu berücksichtigen, daß im Jahresdurchschnitt etwa 50 % des Naßschlammes entwässert, anschließend entweder zwischengelagert und/oder rückverdünnt werden.

Für einen Vergleich mit den Kosten einer zusätzlichen Kalknachbehandlung mit anschließender Deponie ist bei sonst gleichen Basisdaten die Tabelle 7 von Interesse. Es ist ersichtlich, daß der "Notzustand" nahezu doppelte spezifische Kosten verursacht, wobei Abschreibungen für die vorhandenen Tankzüge und die Lohnfortzahlungen noch nicht einmal berücksichtigt wurden.

1. BELASTUNG DER ABWASSERBEHANDLUNG		
EINWOHNERGLEICHWERTE	EGW ₆₀	750.000
ABWASSERANFALL	m ³ /d	140.000
GEWERBL. ANTEIL (TEXTILIND.)	%	> 50
2. FAULSCHLAMM		
GESAMTMENGE	m ³ /a	260.000
FESTSTOFFKONZENTRATION	%	4,9 - 5,6
ORGANISCHER ANTEIL	%	40 - 45
FESTSTOFFFRACHT	t/a	13.650
3. ENTWÄSSERTER SCHLAMM		
GESAMTMENGE	m ³ /a	42.700
FESTSTOFFKONZENTRATION	%	30 - 34
FESTSTOFFFRACHT	t/a	13.500
4. ZENTRAT		
GESAMTMENGE EINSCHL. WASSER DER FLOCKUNGSMITTEL-LÖSUNG	m ³ /a	223.100
FESTSTOFFKONZENTRATION	%	0,06 - 0,08
BSB ₅ -KONZENTRATION	g/m ³	2.000 - 2.500
BSB ₅ -FRACHT	t/a	500
5. BETRIEBSMITTEL		
A. FLOCKUNGSMITTEL		
(ALLIED COLLOIDS - ZETAG 92)	kg/m ³	0,110
	kg/t	2,00
	DM/m ³	1,21
	DM/t	22,00
B. STROMBEDARF		
(0,15 DM/kWh)	kWh/m ³	2,20
	kWh/t	40,00

Tabelle 5: Betriebsdaten der Schlammentwässerung im GWK I

Kosten 1982/83		ausgefaulter Naßschlamm	Trocken- substanz
		DM/m ³	DM/t
1	Löhne	3,27	62,27
2	Polymere	0,58	11,00
3	Strom	0,16	3,00
4	Radlader-Miete	0,05	0,99
5	Treibstoff Tankzug	1,32	25,13
6	Unterhaltungskosten	0,22	4,10
7	Abschreibung Bauwerke	0,11	2,20
8	Abschreibung Maschinen	1,58	30,22
9	spez. Gesamtkosten	7,29	138,91

Tabelle 6: Durchschnittliche jährliche spezifische Kosten der Eindickung einschl. landwirtschaftliche Verwertung

5. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Das regional entwickelte System des Niersverbandes einer Klärschlammunterbringung durch Recycling hat sich innerhalb der letzten rd. 20 Jahre als sehr leistungsfähig und flexibel gezeigt, wobei der Verband in sorgfältiger Eigenverantwortung Klärschlammtransport und -unterbringung in eigener Hand behalten hat. Die Anforderungen an ein Recycling werden weiter steigen, doch bleibt zu fordern, daß nur rationale und wissenschaftlich abgesicherte Randbedingungen gesetzt werden. Die einzige Alternative zu einem Recycling, eine Deponie der Reststoffe, ist zum einen zeitlich stark begrenzt und stößt zum anderen bei einer Ausweitung von Deponiestandorten auf immer stärkere massive Ablehnung in der Öffentlichkeit.

Kosten von April bis Sept. '83		ausge- faulter Naßschlamm	Trocken- substanz
		DM/m ³	DM/t
1	Löhne	0,92	17,58
2	Polymere	1,16	22,00
3	Strom	0,32	6,00
4	Kalk (Ca O)	3,78	<u>71,99</u>
5	Mieten	0,23	4,40
6	Transport durch Unternehmer	1,45	27,62
7	Deponiegebühren	4,71	<u>89,74</u>
8	Unterhaltung	0,20	3,75
9	Abschreibung Bauwerke	0,11	2,20
10	Abschreibung Maschinen	<u>0,75</u>	<u>14,29</u>
11	spez. Gesamtkosten	13,63	259,57

Tabelle 7: Spezifische Kosten der Entwässerung mit Kalknachbehandlung, Abtransport und Deponiegebühren

KUGEL, Günter, Dr.-Ing.

WENZEL, Heinz, Dipl.-Ing.

ZINGLER, Eberhard, Dr.-Ing.

Niersverband

Freiheitsstraße 173

D-4060 Viersen 1

Literaturhinweise

- ATV/VKS 3.2 : Schlammspeicherung - Arbeitsbericht
Korrespondenz Abwasser 11/1984
- BLW : "Planung und Betrieb von Schlammstapel-
räumen"
Bayerisches Landesamt für Wasserwirt-
schaft
Merkblatt Nr. II, 8-7 vom 3.10.1983
- BRAUN, H.J.
ZINGLER, E. : Die Erhitzung von Klärschlämmen mit
dem Tauchbrenner
Österr. Abw. Rundschau, Heft 2/1975
- BRAUN, H.J.
ZINGLER, E. : Sludge Thickening and Dewatering in the
Gruppenklärwerk I of the Niersverband
IAWPR-Workshop Vienna 1983
- BRD : Klärschlammverordnung - AbfKlärV vom
25. Juni 1982
Bundesgesetzblatt 1982
- KICK, H.
POLETSCHNY, H.: Ein Kurzbericht über langjährige Feld-
versuche mit Müllkomposten und Klär-
schlämmen, Schwermetalle in der Ernte-
masse
Landwirtschaftliche Forschung,
Sonderheft 3. J. D
Sauerländer Verlag, Frankfurt, 1978
- KUGEL, G. : Geordnete Klärschlammabeseitigung im
Niersgebiet aus neuer Sicht
Kommunalwirtschaft 9/1972
- KUGEL, G. : Pasteurisierung von flüssigem Klärschlamm
- technisch wirtschaftliche Aspekte
Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fisch-
und Flußbiologie
Band 24, Oldenbourg-Verlag, 1973
- KUGEL, G. : Landwirtschaftliche Klärschlammunter-
bringung aus praktischer Sicht unter
Berücksichtigung von Schwermetallen
Korrespondenz Abwasser 2/80
- KUGEL, G. : Regionale Klärschlammabeseitigung im
Niersgebiet
Forum Städte-Hygiene 33/1982
- KUGEL, G. : Verwendung von Schlämmen in der Land-
wirtschaft - Neuere Aspekte und Trends
Wissenschaft und Umwelt 4/1982

- NOSBERS, R. : Die Aufnahme von Blei, Chrom, Nickel und Zink durch landwirtschaftliche Nutzpflanzen
Dissertation, Universität Bonn, 1968
- ÖWWV : Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen - Empfehlungen für Betreiber von Abwasseranlagen (ÖWWV - Regelblatt 17)
- SCHAEFER, K. : Feld- und Gefäßversuche zur landwirtschaftlichen Verwertung von schwermetallhaltigen flüssigen Faulschlämmen
Dissertation, Universität Bonn, 1967
- WARNUSZ, J. : Feldversuche zur Nachweisung von blei-, chrom-, kupfer- und zinkhaltigen Abwasserschlämmen bei Grünland und Getreide sowie Gefäßversuche zur Aufnahme von Cadmium und Zinn
Dissertation, Universität Bonn, 1973
- WENZEL, H. : Geordnete landwirtschaftliche Klärschlammverwertung im Niersgebiet
Berichte des ATV, Heft 30, 1977
- WENZEL, H. : Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung bei einem Großverband, Perspektiven 1981
Korrespondenz Abwasser 4/81
- ZINGLER, E. : Klärschlammpasteurisierung
Inst. für Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 29, 1981

ERFAHRUNGEN MIT DER SCHLÄMMVERWERTUNG AM BEISPIEL VON MASCHINENRINGEN IN BAYERN

A. Grimm

Verbreitung, Zweck und Funktion von Maschinenringen

In der Bundesrepublik Deutschland gab es Ende 1983 255 Maschinenringe bzw. Maschinen- und Betriebshilfsringe (MR) . Ihnen gehörten 146.892 Mitglieder an; 170 Ringe werden von hauptberuflich tätigen Geschäftsführern geleitet. 85 Ringe haben noch eine nebenberufliche bzw. ehrenamtliche Führung.

Der Maschinenring ist eine deutsche bzw. genauer gesagt eine bayerische 'Erfindung'. In Bayern gibt es bereits seit 10 Jahren ein flächendeckendes Netz von ausschließlich hauptberuflich organisierten MR; insgesamt sind es 90.

In der Regel deckt sich das Einzugsgebiet eines Ringes mit dem des Landkreises. Die durchschnittliche Mitgliederzahl eines bayerischen MR liegt bei etwa 950. Für den Begriff Maschinenring gibt es bislang keine korrekte Übersetzung in andere Sprachen. Daher wird auch international die deutsche Bezeichnung 'Maschinenring' verwendet. Was ist nun ein Maschinenring? Ein Maschinenring ist ein freiwilliger Zusammenschluß von landwirtschaftlichen Unternehmen, meist auf Landkreisebene und in der Rechtsform des eingetragenen Vereins. Der Zweck dieses Zusammenschlusses ist es, durch den zwischenbetrieblichen Einsatz von Arbeitskräften und Maschinen eine rationelle und kostengünstige Arbeitserledigung verbunden mit einer Aushilfe bei Krankheit, Unfall, Kur und Urlaub auch in mittleren und kleinen landwirtschaftlichen Betrieben zu erreichen. Diese Hilfe wird überwiegend mit den in den Mitgliedsbetrieben vorhandenen, nicht voll ausgelasteten Maschinen und Arbeitskräften geleistet. Das heißt, der Maschinenring besitzt keine eigenen Maschinen und Arbeitskräfte. Er bzw. der Manager des Ringes vermittelt lediglich diese zwischenbetriebliche Aushilfe. Beim Manager rufen die Landwirte an, wenn sie eine Maschine bzw. einen Betriebsshelfer brauchen. Der Geschäftsführer erfaßt in regelmäßigen Abständen das Angebot an Maschinen und Arbeitskräften bei den Mitgliedern und kann aufgrund dieser Kenntnisse das Gewünschte vermitteln.

Für das reibungslose Funktionieren dieser freiwilligen Zusammenarbeit sind

vor allem drei Voraussetzungen notwendig:

- . Ein gutes Management: das heißt eine Vermittlungsstelle, die möglichst rund um die Uhr besetzt ist, mit einem Manager, der über ein entsprechendes Organisationstalent verfügt. Mehr als die Hälfte unserer bayerischen Ringe sind mittlerweile keine 'Ein-Mann-Betriebe' mehr, sondern sind mit einem Geschäftsführer plus einer als Halb- oder Ganztagskraft tätigen Mitarbeiterin besetzt. Die meisten Ringe sind bei uns mit 2 Telefonanschlüssen ausgestattet, viele haben auch Funkgeräte, Telefonanrufbeantworter und mehr und mehr wird auch der Personalcomputer als Arbeits- und Organisationshilfsmittel verwendet.
- . Klare Verrechnungssätze, die eine leistungsgerechte Bezahlung für die erbrachten zwischenbetrieblichen Arbeiten ermöglichen. Diese Verrechnungssätze liegen allen Mitgliedern in schriftlicher Form vor. Für ihre Festsetzung ist die Mitgliederversammlung zuständig.
- . Eine schnelle und unproblematische Abrechnung für die geleisteten Arbeiten.

Sie erfolgt bargeldlos im Lastschriftverfahren.

Neben der Kostensenkung besteht der wesentliche Effekt des MR darin, daß Maschinen und Arbeitskräfte in den landwirtschaftlichen Betrieben besser ausgelastet werden können und daß damit viele kleine Betriebe die Möglichkeit haben, sich einen Zuerwerb zu verschaffen.

Maschinenringe gibt es mittlerweile nicht nur in der Bundesrepublik, sondern natürlich auch in Österreich und darüberhinaus in anderen europäischen Ländern.

In Österreich gab es Ende 1983 212 MR. Die Hälfte davon wird hauptberuflich gemanagt. Die Zahl der Ringmitglieder Ende 1983: ca. 37.000. Heute dürften es schon mehr als 40.000 sein. Denn die Zuwachsraten der MR sind nach wie vor sehr erfreulich. Der jährliche Mitgliederzuwachs bei uns in Bayern lag in den letzten Jahren ziemlich konstant bei fast 6 Prozent bzw. - in absoluten Zahlen - 4.000 Neumitgliedern.

Der Umfang der zwischenbetrieblichen Zusammenarbeit erhöht sich von Jahr zu Jahr um knapp 10 Prozent.

Mitwirkung von Maschinenringen bei der Ausbringung von Klärschlamm

Die Maschinenringe sind aufgrund ihrer Organisationsstruktur bestens geeignet, in Zusammenarbeit mit den Kläranlagenbetreibern eine kontinuierliche, kostengünstige und umweltfreundliche Schlammverwertung in der Landwirtschaft zu vermitteln:

- . Sie verfügen über eine große Zahl geeigneter Arbeitskräfte, Schlepper und Transportgeräte für den Transport und die Verteilung von Schlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.
- . Im Maschinenring sind genügend Landwirte zusammengeschlossen, die als Abnehmer von Schlamm in Frage kommen.
- . Die Maschinenringe haben zur Vermittlung dieser Arbeit den erforderlichen organisatorischen Apparat und die notwendige Sachkenntnis. Dazu kommt der enge Kontakt, den die Geschäftsführer der Maschinenringe mit den Landwirten, aber auch mit der Beratung, dem Bauernverband und anderen wichtigen Stellen haben.

In den letzten Jahren haben sich daher immer mehr Maschinenringe mit Erfolg bei der Schlammverwertung betätigt. Leider gibt es jedoch keine Erhebungen über den tatsächlichen Umfang dieser Mitwirkung. Ein Anhaltspunkt dazu: Von den 90 Maschinenringen in Bayern befassen sich etwa 20 Ringe mit der Ausbringung von Klärschlamm. Mir ist bekannt, daß seit kurzem auch MR in anderen Bundesländern, vor allem in Niedersachsen sich mit der Schlammverwertung befassen.

Daß wir uns in Bayern nun schon über 10 Jahre lang auf diesem Gebiet betätigen, liegt an zweierlei: Erstens werden bei uns die MR seit 1970 konsequent nur noch hauptberuflich gemanagt, zweitens besteht zwischen der Landesgruppe der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV) und dem Dachverband der bayerischen Maschinenringe schon lange eine gute Zusammenarbeit. Bei der Fortbildung der Klärwärter konnten wir die Möglichkeiten des MR bei der Schlammverwertung vortragen. Umgekehrt haben Fachleute der ATV auch bei der Fortbildung unserer MR-Geschäftsführer mitgewirkt.

Andererseits gab es jedoch auch gewisse Schwierigkeiten, wenn es an die Realisierung der Zusammenarbeit zwischen MR und Klärwerksbetreiber ging. Die Ursache dafür lag in folgendem: Im Gegensatz zu anderen Dienstleistungsunternehmen also z.B. Transportunternehmen kann der MR aus rechtlichen Gründen kein konkretes Angebot abgeben und mit den Betreibern von

Kläranlagen keine vertragliche Verpflichtung eingehen. Das heißt, der Maschinenring kann sich vertraglich nicht verpflichten, zu bestimmten Zeiten bestimmte Mengen an Klärschlamm abzugeben und für eine ordnungsgemäße Ausbringung zu sorgen. Der Maschinenring könnte allenfalls eine entsprechende vertragliche Vereinbarung zwischen dem Betreiber der Kläranlage und einzelnen Landwirten vermitteln. Dies hängt mit der schon angedeuteten Rechtsstruktur des MR zusammen: Der MR als Rechtsperson in Form des eingetragenen Vereins verfügt nicht über eigene Maschinen und Arbeitskräfte. Er vermittelt lediglich freie Maschinen- und Arbeitskraftkapazitäten von Mitgliedern an Mitglieder. Die Mitglieder sind jedoch nicht zur Durchführung von derartigen Arbeitsleistungen verpflichtet. Insofern kann auch der MR sich nicht vertraglich verpflichten, bestimmte Arbeitsleistungen durchzuführen.

Aber die nun mehr als 25-jährige MR-Praxis hat gezeigt, daß das Angebot an Maschinen und Arbeitskräften in den MR so groß ist, daß auch sehr kurzfristige und termingebundene Vermittlungswünsche in der Regel ohne weiteres erfüllt werden können.

Beim Transport und der Ausbringung von Klärschlamm handelt es sich dazu noch um eine Arbeit, die lange genug voraus geplant werden kann und zudem nicht so termingebunden ist wie z.B. die Heuernte. Man kann daher feststellen: Die bisher gemachten Erfahrungen zeigen, daß es einer vertraglichen Vereinbarung nicht bedarf. Die Maschinenringe sind aufgrund ihrer großen Mitgliederzahl und ihrer Erfahrungen bei der Vermittlung von Arbeitseinsätzen in der Lage, die laufende Ausbringung von Klärschlamm zuverlässig zu organisieren.

Beispiel des Maschinenringes Pfaffenhofen

Pionierarbeit bei der Ausbringung von Klärschlamm hat der Maschinenring Pfaffenhofen geleistet. Dieses Beispiel will ich als erstes herausgreifen, da zwischenzeitlich viele Ringe nach dem Beispiel von Pfaffenhofen verfahren.

Die Stadt Pfaffenhofen hat zunächst die verschiedensten Möglichkeiten untersucht und teilweise auch praktiziert, um den Klärschlamm los zu werden. Sie hat u.a. Trockenbeete gebaut, um einen möglichst stichfesten

Klärschlamm zu erhalten. Sie hat sich in Inseraten an Landwirte gewandt und den Schlamm kostenlos angeboten. Das Echo darauf war recht gering. Auch die Einschaltung eines Fuhrunternehmers hat sich nicht bewährt, da dieser mit seinen großen Tankzügen bei ungünstigen Witterungsbedingungen nicht auf die Felder fahren konnte. Das gleiche gilt für den Zusatz von Flockungsmitteln und den Einsatz von Schlammpressen. Auch die Verbrennung in einer zentralen Anlage war im Gespräch. Erst nachdem alle diese Versuche weitgehend negativ verliefen, kam es zu einer Zusammenarbeit mit dem Maschinenring Pfaffenhofen. Er hat auf der Grundlage der im Maschinenring üblichen Verrechnungssätze und einer durchschnittlichen Entfernung von 6-8 km vom Klärwerk zum abnehmenden Landwirt zunächst Ausbringungskosten von 2,-- DM je cbm Naßschlamm errechnet. Problematisch bei den Verhandlungen mit der Stadt war weniger die Höhe der Kosten, sondern vor allem der Wunsch nach einem festen Angebot und einer vertraglichen Vereinbarung.

Seit 1974 läuft nun die Abfuhr des Klärschlammes ausschließlich über den Maschinenring reibungslos, zur vollsten Zufriedenheit aller Beteiligten. Pro Jahr wurden jeweils etwa 10.000 cbm Schlamm ausgebracht. Die mengenmäßige Unterbringung des Schlammes auf landwirtschaftlichen Flächen bereitet keine Schwierigkeiten. Schwierig ist es jedoch, den Schlamm kontinuierlich abzunehmen. Denn nicht immer stehen geeignete und befahrbare Flächen zur Verfügung. Da die Stadt Pfaffenhofen aber, wie schon erwähnt vor der Zusammenarbeit mit dem MR Trockenbeete angelegt hat, besteht die Möglichkeit in solchen Zeiten den Schlamm zwischenzulagern.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen wird es dahin kommen, daß künftig die Landwirte Klärschlamm nicht mehr während der Vegetationsruhe ausbringen wollen bzw. dürfen. Das bedeutet, daß seitens der Klärwerke in Zukunft u.U. Zwischenlager für fast ein halbes Jahr erforderlich werden. Aber auch während der Vegetationsperiode gibt es Zeiten, in denen die Felder nicht oder nur schwierig, mit mehr oder weniger starken Druckschäden am Boden befahren werden können. Um dem zu begegnen hat auf Anlaß des MR Pfaffenhofen ein Landwirt eine Beregnungsanlage angeschafft. Diese wird von ihm zusammen mit einem 16 m³ Punpfaß eingesetzt. So kann auch bei schlechtem Wetter Klärschlamm ausgebracht werden. Zudem wird damit auch eine sehr gute gleichmäßige Verteilung erreicht.

Obersicht 1

Kenndaten zur Schlammasbringung im MR Pfaffenhofen im Jahre 1983

	Menge/m ³	Beteiligte Betriebe	Kostenerstatt. DM
Naßschlamm ohne Pumpe ins's Schleuderfaß	4.157	34	16.934,--
Schlamm aus Trockenbeet mit Vakuumfaß	3.420	18	25.650,--
Schlamm aus Trockenbeet mit 16 m ³ Vakuumfaß und Verregner	4.026	13	35.968,--
Insgesamt	11.603	65	78.552,--

Die guten Erfahrungen in Pfaffenhofen seit 1974 haben dazu geführt, daß mittlerweile weitere Klärwerke bzw. Maschinenringe ihren Klärschlamm kostengünstig ohne zusätzliche Investitionen und ohne großen Verwaltungsaufwand nutzbringend verwerten.

Die Ausbringungskosten im Maschinenring

Die Sätze, die das Klärwerk den Landwirten für den Abtransport erstattet, sind mittlerweile jedoch von ursprünglich einheitlich 2,50 DM/m³ angehen und nach Entfernung gestaffelt worden:

- 4 km 3,-- +/m³
 - 8 km 4,-- +/m³
 - 12 km 5,-- +/m³
 - > 12 km 6,-- +/m³
- +) 1,-- DM Abzug, falls Befüllung durch Gefälleausnutzung

Für den Abtransport mit Vakuumfaß aus dem Trockenbeet und die Ausbringung mit Verregner bezahlt die Stadt folgende Sätze:

- 4 km 7,50 DM
- 8 km 8,50 DM
- 12 km 9,50 DM
- > 12 km 10,50 DM

Obersicht 2 zeigt die Transport- und Ausbringungskosten in Abhängigkeit von der Entfernung auf der Grundlage der neuesten Verrechnungssätze der Maschinenringe in Bayern. Daraus geht hervor, daß die Erstattungsbeiträge

ge der Stadt Pfaffenhofen etwas unter den tatsächlichen Kosten liegen.

Obersicht 2

Kosten des Transportes und der Ausbringung von Klärschlamm mit Schleuderfaß

1. Grundkosten	Verfahren 1		Verfahren 2	
	Größe	DM/Einheit	Größe	DM/Einheit
Schlepper	50 PS	13,90/h bzw. 0,23/min.	75 PS	19,--/h bzw. 0,32/min.
Arbeitskraft	1	11,00/h bzw. 0,18/min.	1	11,00/h bzw. 0,18/min.
Schlepper und AK insgesamt		0,41/min.		0,50/min.
Schleuderfaß	4000 l	1,--/m ³	6000 l	1,--/m ³

2. Zeitbedarf (für 4000 l Faß)⁺

(Min.)	Wegstrecke km						
	1	2	4	6	8	10	12
Befüllen	4	4	4	4	4	4	4
Entleeren	4	4	4	4	4	4	4
Transport	5	10	20	30	40	50	60
Insgesamt	14	18	28	38	48	58	68

+) Bei einem 6000 l Faß für Befüllen und Entleeren 4 Minuten mehr

3. Gesamtkosten

(DM)							
3.1. Schleuderfaß 4m ³	4,--	4,--	4,--	4,--	4,--	4,--	4,--
Schlepper und AK (Min. x 0,41 DM)	5,74	7,38	11,48	15,58	19,68	23,78	27,88
Insgesamt	9,74	11,38	15,48	19,58	23,68	27,78	31,88
DM/m ³	2,43	2,85	3,87	4,90	5,92	6,95	7,97
3.2. Schleuderfaß 6m ³	6,--	6,--	6,--	6,--	6,--	6,--	6,--
Schlepper und AK (Min. x 0,50 DM)	9,--	11,--	16,--	19,--	24,--	29,--	34,--
Insgesamt	15,--	17,--	22,--	25,--	30,--	35,--	40,--
DM/m ³	2,50	2,83	3,67	4,17	5,--	5,83	6,67

Aus diesem Grund müssen auch die Landwirte, die den Schlamm nicht selbst abholen und ausbringen, sondern über den MR transportieren lassen meist noch etwas dazu zahlen.

Maschinenring Erlangen

Durch das Beispiel des Maschinenringes Pfaffenhofen wurde u.a. auch der Maschinenring Erlangen angeregt, den Klärschlamm der Großstadt Erlangen (ca. 8500 m³/Jahr) auszubringen. Er erledigt dies, ebenfalls zu 100 Prozent seit nunmehr 6 Jahren mit bestem Erfolg. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um Naßschlamm, sondern um entwässerten Schlamm (Siebbandpresse) mit durchschnittlich ca. 35 Prozent Trockenmasse.

Für die Durchführung wurden folgende Grundsätze festgelegt:

- . Das Klärwerk muß etwa alle zwei Monate den Klärschlamm hinsichtlich der Zusammensetzung und Inhaltsstoffe sowie Rückstände auf eigene Kosten untersuchen lassen.
- . Die Einteilung der Abholer ist ausschließlich Sache des Maschinenringes.
- . Die Transportkosten werden monatlich über den Maschinenring abgerechnet. Nur dadurch ist eine genaue Kontrolle möglich.
- . Die Abholer werden vom Maschinenring jede Woche neu eingeteilt.
- . Die Abholung erfolgt mit Kippern, die Ausbringung mit Stalldungstreuern. Von Fall zu Fall werden Zwischenlager bei den Landwirten angelegt.
- . Es werden nur Maschinenring-Mitglieder bedient.
- . Die Landwirte können den Schlamm selbst abholen, oder die Dienstleistung des Maschinenringes in Anspruch nehmen.
- . Der Maschinenring erhebt aus dieser Aktion einen leistungsbezogenen Beitrag (10 % der Ausbringungskosten).
- . Für die Transportkostenerstattung wurden 4 Entfernungen geschaffen:
 1. Zone bis 4 km: 4,--/m³
 2. Zone bis 10 km: 6,--/m³

3. Zone bis 15 km: $8,50/m^3$

4. Zone über 15 km: $10,50/m^3$

- Aufgrund der neuen Klärschlammverordnung von 1983 müssen auf den Flächen, auf die Klärschlamm ausgebracht werden soll, zuvor Bodenproben durchgeführt werden, zur Ermittlung der Belastung mit Schwermetallen. Erst wenn dabei keine unzulässigen Belastungen festgestellt werden, kann Klärschlamm ausgebracht werden.

Diese Untersuchungen muß das Klärwerk vornehmen (und auch bezahlen). Wenn der Landwirt dazu DM 10,-- je Probe beisteuert, erhält er eine komplette Bodenuntersuchung.

In der Regel bringen die Landwirte auf dieselben Flächen Klärschlamm im Abstand von 3 oder 6 Jahren aus, und zwar jeweils maximal 15,-- bzw. 30,-- m^3 des genannten abgepreßten Schlammes.

Auch die Buchführung über die auf die einzelnen Felder ausgebrachten Mengen sowie die Kontrolle darüber ist Sache des Klärwerksbetreibers und nicht die des MR. Der MR leistet dabei nur Hilfestellung, z.B. indem er die entsprechenden Formulare an die Mitglieder versendet und wiederum entgegennimmt.

Zusammenfassend ist zu sagen:

Der Maschinenring ist organisatorisch in der Lage, den gesamten Klärschlamm auch einer Großstadt wie Erlangen abzunehmen. Selbst während der Arbeitsspitzen Heu- und Getreideernte und im Herbst wurde dort der Schlamm wöchentlich abgeholt. Dieser Schlamm kann allerdings am Feldrand zwischengelagert und erst später verteilt werden.

Auf eine Deponie kann in Erlangen verzichtet werden, sie würde nur Probleme bei der Einteilung mit sich bringen.

Im Moment müssen die Abholer sogar Wartezeiten von 6-8 Wochen einhalten. Die Stadt weiß diese Dienstleistung des Maschinenringes zu schätzen. Sie hat nur einen Gesprächspartner und keine Probleme bezüglich der Umweltbelastung. Sie ist bereit, die Transportkostenvergütung jeweils in Anlehnung an die allgemeine Preisentwicklung der Maschinenringsätze zu erhöhen. Der Kontakt mit den städtischen Stellen ist gut, es wurde sogar schon ein 'Klärschlammfest' abgehalten.

Insgesamt können wir heute sagen, daß es richtig war, sich von Seiten der Maschinenringe um den Klärschlamm zu kümmern. Die Landwirtschaft sorgt auf einfache Art und Weise für die Lösung eines Umweltproblems, lastet ihre ohnehin vorhandenen Transportfahrzeuge besser aus und erhält fast zum Nulltarif einen nicht zu verachtenden Dünger.

Maschinenring Donauwörth

Als drittes Beispiel soll noch der MR Donauwörth aufgeführt werden und zwar deswegen, weil hier der vorher genannte Gesichtspunkt einer vertraglich abgesicherten Zusammenarbeit eine besondere Rolle gespielt hat.

Trotz unserer Bedenken hat dieser MR nämlich zunächst mit dem Klärschlamm-betreiber (Stadt Donauwörth) einen Vertrag geschlossen. Darin hat er sich verpflichtet, für eine kontinuierliche Abnahme des anfallenden Klärschlammes einschließlich Transport und ordnungsgemäßer Verteilung zu sorgen.

Mittlerweile hat der MR jedoch eingesehen, daß er sich dabei etwas übernommen hat. Er hat sich in der Zwischenzeit rechtlich dadurch abgesichert, daß er von den beteiligten Landwirten entsprechende Erklärungen eingeholt hat (siehe Anhang).

Bei der Zusammenarbeit mit zwei weiteren Klärwerken wurde, nachdem die Erfahrungen mit der Stadt Donauwörth so positiv waren erst gar keine Verträge mehr gefordert. Die angesprochenen Erklärungen werden jedoch auch von den hier beteiligten Landwirten seitens des MR verlangt.

Beim MR Donauwörth werden, da die Entfernungen der Abnehmer überwiegend innerhalb von 4-5 km liegen einheitliche Vergütungssätze für Transport und Ausbringung erstattet, nämlich derzeit 5,-- DM/m³.

Die jährlich ausgebrachte Schlammmenge aller drei Klärwerke liegt bei etwa 20.000 m³.

Anton Grimm, Dr.

Kuratorium Bayer.Maschinen und Betriebshilfsringe e.V.
Kaiser Ludwig-Platz 5/III
D-8000 MÜNCHEN 2

Maschinenring Donauwörth
Hauptstr. 78
8854 Asbach-Bäumenheim

Bäumenheim, den 15.12.1983

Sehr geehrte Herren!

Auf Grund der neuen Klärschlammverordnung vom 25.6.1982 und derer Inkrafttreten am 1.4.1983 ergibt sich bei der Klärschlammverwertung eine neue Situation, die vom Klärwerksbetreiber, als auch vom Klärschlammabnehmer einige grundsätzliche Dinge fordert.

Wir wollen diese Punkte heute schriftlich mitteilen, damit Sie umfassend aufgeklärt, die für Sie als abnehmende Hand notwendigen Maßnahmen ergreifen oder besser gesagt unterschriftlich Ihre Zustimmung dazu erteilen.

Die Aufgaben des Klärwerks sind:

- a) Untersuchung des Klärschlammes auf seine Nährstoffgehalte als auf Schwermetallbestandteile und zwar alle 6 Monate - Bekanntgabe der Ergebnisse
- b) Veranlassung von Bodenuntersuchungen auf Kosten der Kläranlage; Bodenuntersuchungen sind notwendig auf allen Flächen, die mit Klärschlamm abgedüngt werden.
- c) Ausstellung von Lieferscheinen für bezogene Schlammengen. Er dient als Beleg für die Abfuhrmenge und deren Nährstoffgehalt und wird als Unterlage für die Schlagkartei und Transportkostenabrechnung notwendig.
- d) Aufbewahrung der Lieferscheine über 5 Jahre
- e) Führung einer Schlagkartei - Kartei über jeden einzelnen Betrieb mit Angabe von Abholmengen und Aufbringung auf die vom Landwirt bezeichneten Flurstücke.
- f) Einholung einer Genehmigung beim zuständigen Landratsamt über die Verwertbarkeit in der Landwirtschaft.

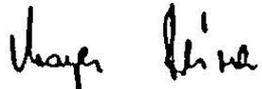
Die Aufgaben des Landwirts sind:

- a) Der Landwirt erklärt sich unterschriftlich bereit, Klärschlamm von der Kläranlage abzunehmen und gibt dazu seine abzudüngenden Feldschläge mit Flurnummer und Größe bekannt.
- b) Er erklärt sich bereit, die notwendigen Bodenproben auf seinen Feldern ziehen zu lassen.

- c) Der abnehmende Landwirt hat persönlich Sorge zu tragen, daß Wasserversorgungsschutzgebiets-Bestimmungen eingehalten werden, durch den Klärschlamm keine Gewässerverunreinigung geschehen kann und bei der Ausbringung, Geruchsbelästigungen so gering wie möglich gehalten werden.
- d) Den Durchschlag des notwendigen Lieferscheines bekommt der Maschinenring zur Abrechnung und wird diesem stellvertretend für jeden Landwirt aufbewahren.

Wir bitten um Kenntnisnahme der aufgeführten Punkte und bitten gleichzeitig die beiliegende Erklärung zu unterzeichnen.

Mit freundlichen Grüßen!



Geschäftsführer

E r k l ä r u n g

Ich erkläre hiermit unterschriftlich, daß ich von Ihrem Schreiben vom ..15.12.1983 Kenntnis genommen habe.

1. Ich bin bereit die sich aus der neuen Klärschlammverordnung ergebenden Neuerungen zu respektieren und zur Beschaffung von Unterlagen der Stadt behilflich zu sein.
2. Ich bin bereit meine angegebenen Felder durch Bodenproben untersuchen zu lassen.
3. Hierfür stelle ich folgende Flächen zur Verfügung

Gemarkung	Flur Nr.	mit	ha
-----------	----------	-----	----

4. Ich erkläre mich bereit die unter Punkt 6 angesprochene Sorgfaltspflicht zu tragen, aber auch die Vorschläge zur Mengenausbringung je Hektar LF genauestens zu beachten.

Ort, Datum

Unterschrift

• KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG IM LÄNDLICHEN RAUM
AM BEISPIEL DES BURGENLANDES

W. Stalzer

1. SITUATION

Das Burgenland ist seit jeher landwirtschaftlich geprägt. Bei einer Gesamtfläche von 3.965 km² entfallen 58 % bzw. 2.290 km² auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Die topographischen und klimatischen Verhältnisse begünstigen den Getreideanbau, der auf 46 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche betrieben wird, es folgt der Maisanbau mit 9 % und der Weinbau mit 8,8 % (Tabelle 1).

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Nutzfläche (1980)

Gesamte landwirtschaftl. Nutzfläche	229.112 ha
Weizen	40.300 ha
Roggen	11.000 ha
Gerste	43.900 ha
Hafer	8.900 ha
Körnermais	20.800 ha
Kartoffel	1.900 ha
Zuckerrübe	6.200 ha
Futterrübe	1.100 ha
Wein	20.077 ha

Die Besiedlungsdichte ist mit 68 Einwohnern pro km² bzw. knapp 270.000 Einwohnern relativ nieder, bei 328 Ortschaften entfallen im Schnitt 823 Einwohner auf einem Ortsteil bzw. 1.957 Einwohner auf eine Gemeinde (gesamt 138 Gemeinden im Burgenland). Lediglich die Landeshauptstadt erreicht knapp 10.000 Einwohner, die Bezirksvororte (Städte) weisen Einwohnerzahlen zwischen 2.500 und 6.000 auf.

Industriell überwiegt die auf die landwirtschaftliche Produktion aufbauende Nahrungs- und Genußmittelindustrie (Hauptvertreter Konserven- und Sauergemüseindustrie, Zuckerindustrie, Süßwarenindustrie, Molkereien, Getränkemittelindustrie). Nennenswert aus wasserwirtschaftlicher Sicht sind darüberhinaus einige Textilbetriebe an entsprechend ausgewählten Standorten sowie Betriebe der Elektroindustrie und der Eisen- und Metallwarenindustrie. An Hand der in Tabelle 2 wiedergegebenen Produktionswerte für das Jahr 1981 kann die Größenordnung und der Stellenwert ersehen werden.

Tabelle 2: Produktionswerte der Burgenländischen Industrie 1981

Industrie - Gesamt	8070 Mio.S
Nahrungs- und Genußmittelind.	1910 Mio.S
Bekleidungsindustrie	1434 Mio.S
Textilindustrie	837 Mio.S
Lederverarbeitende Industrie	792 Mio.S
Holzverarbeitende Industrie	750 Mio.S
Elektroindustrie	520 Mio.S
Eisen- und Metallwarenindustrie	404 Mio.S

Industriebeschäftigte (Durchschnitt 1982) 11 133.

Im Fremdenverkehr wurden zuletzt (1983) knapp über 2,000.000 Übernachtungen registriert, davon entfielen nahezu 75 % auf dem Raum Neusiedler See.

Bedingt durch wassergütwirtschaftliche Problemstellungen (Reinhaltung des Neusiedler Sees - schwache Vorflutverhältnisse) weist das Burgenland nach Wien mit rund 190.000 an biologische Abwasserreinigungsanlagen angeschlossenen Einwohnern bzw. knapp 70 % den höchsten Entsorgungsgrad auf. Bewerkstelligt wird dies über insgesamt 66 vollbiologische

Abwasserreinigungsanlagen, davon entfallen 12 auf Verbandsanlagen. Im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees erfolgt auf allen Anlagen eine simultane Phosphatfällung mittels Ferrosulfat, hievon sind 22 Ortsanlagen und 2 Verbandsanlagen betroffen.

Die Gesamtkapazität aller Anlagen liegt gegenwärtig bei knapp 810.000 EGW. Bei einer durchschnittlichen Auslastung von annähernd 50 % fallen jährlich etwa 4.500 t Trockensubstanz bzw. rund 80.000 bis 90.000 m³ Klärschlamm an.

2. KLÄRSCHLAMMBEHANDLUNG - INHALTSSTOFFE

Bei einer durchschnittlichen Bemessungsgröße der 44 Ortskläranlagen von 5.900 EGW wurde für diese praktisch ausschließlich die aerobe Schlammstabilisierung gewählt. Die Bemessungskriterien selbst variieren entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik zum Bewilligungszeitpunkt sowie entsprechend der Verfahrenswahl (gleichzeitige - getrennte Stabilisierung) in gewissen Grenzen. Im wesentlichen werden bis auf wenige Ausnahmen entsprechende Stabilisierungsgrade erreicht (vergleiche Tabelle 4).

Wegen des hohen Industrieanteiles bzw. des derzeit bestehenden Teilausbaues erfolgt auf 10 der 12 Verbandsanlagen gleichfalls eine gleichzeitige aerobe Schlammstabilisierung. Lediglich bei 2 Verbandsanlagen wird der Schlamm anaerob in beheizten Faulbehältern stabilisiert.

Ausgenommen bei den Kleinstanlagen wird der stabilisierte Klärschlamm in Eindickern entwässert. Eine künstliche Schlammentwässerung wird ständig nur bei einer Anlage betrieben, bei 3 weiteren Anlagen (Verbandsanlagen) kann bei Ausbringungsengpässen der Schlamm gleichfalls künstlich entwässert werden.

Um einen repräsentativen Überblick zu gestatten, wurden an Hand der zuletzt vorliegenden Schlammuntersuchungsbefunde (1984) der größeren Anlagen ein gewogener Mittelwert errechnet. Die in Tabelle 3 wiedergegebenen Werte entsprechen dem Frachtenmittelwert eines Klärschlammes, der nahezu 2/3 des Gesamtanfalles umfaßt.

Tabelle 3: Frachtenmittelwerte von 11 Klärschlämmen (repräsentativ für 2/3 des Bgld.Klärschlammmanfalles)

Klärschlammmanfall	2.860 t/a	Grenzwert lt. ÜWWV-Regelblatt
Gesamt Stickstoff % der TS	5,4	
Gesamt P (P_2O_5) % der TS	4,7	
Blei (Pb) mg/kg TS	120	500
Cadmium (Cd) mg/kg TS	1,8	10
Chrom (Cr) mg/kg TS	144	500
Kupfer (Cu) mg/kg TS	141	500
Nickel (Ni) mg/kg TS	88	100
Quecksilber (Hg) mg/kg TS	1,4 X)	10
Zink (Zn) mg/kg TS	996	2.000

X) Werte nur von 4 Anlagen untersucht.

Dieses gewogene Mittel läßt erkennen, daß die im ÜWWV-Regelblatt 17 festgelegten Grenzwerte für die Problemmetalle im ländlichen Raum weit unterschritten werden. Im Regelfall liegen die Konzentrationen im Bereich zwischen 10 und 30 % des zulässigen Grenzwertes. Durch die Einbeziehung der in Punkt 4 näher erläuterten Problemschlämme in dem Gesamtmittelwert kommt es lediglich bei Nickel zu einer Annäherung an den Grenzwert. Ohne Berücksichtigung der industriell beeinflussten Schlämme schwankt der Nickelgehalt zwischen 30 und 60 mg/kg TS.

An Hand einer Vergleichsuntersuchung von 18 Klärschlämmen aus dem Einzugsgebiet des Neusiedler Sees (nur Ortskläranlagen mit Simultanfällung) wird ersichtlich, daß der Landesmittelwert der Problemmetalle noch niedriger ausfällt. Lediglich in Einzelfällen wird der Kupfer- bzw. Zinkanteil durch diffuse Belastungen etwas erhöht (Tabelle 4). Zu berücksichtigen wäre hierbei noch, daß gegebenenfalls der Problemmetallgehalt durch Verunreinigungen des Fällmittels (Ferrosulfat) leicht erhöht sein kann.

Der Nährstoffgehalt beträgt im gewogenen Mittel 5,4 % Gesamtstickstoff und 4,7 % Gesamt-Phosphor (P_2O_5) bezogen auf die Trockensubstanz. Bei letzterem ergeben sich jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Anlagen mit und ohne Simultanfällung. Durch die Einbindung des gefällten Phosphates in den Klärschlamm liegt der P_2O_5 -Gehalt bei Klärschlämmen aus Anlagen mit Phosphatfällung zwischen 5 und 7 % der Trockensubstanz, aus Anlagen ohne Fällung zwischen 3 und 4,5 %.

3. KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG

Überschlägig gerechnet werden im Burgenland annähernd 85 % des anfallenden Klärschlammes verwertet und etwa 15 % deponiert. Die Verwertung umfaßt die Ausbringung auf landwirtschaftliche Nutzflächen, die Rekultivierung von Ödflächen, die Beimengung bei der Hausmüllkompostierung und die Einbringung in die Erdschlammteiche einer Zuckerfabrik, deren abgetrockneter Inhalt periodisch geräumt und als Erde wieder aufgebracht wird.

Auf landwirtschaftliche Nutzflächen werden größenordnungsmäßig 60 bis 65 % bzw. rund 3.000 t Trockensubstanz pro Jahr aufgebracht. Etwa 40 % dieser Menge wird auf Mais, 20 % im Weinbau und der Rest auf Zuckerrüben und Getreidefluren angewendet.

Tabelle 4: Vergleichsuntersuchung von 18 Klärschlämmen aus
Ortskläranlagen mit Simultanfällung (1980)

Ortsnr.	Glühverlust %	Ges.N % d.TS	Ges.P ₂ O ₅ % d.TS	Blei mg/kg TS	Cadmium mg/kg TS	Chrom mg/kg TS	Kupfer mg/kg TS	Nickel mg/kg TS	Zink mg/kg TS
1	47	8,3	4,8	39	1,1	40	567	95	864
2	32	10,8	7,0	47	2,2	26	110	31	440
3	23	3,2	4,4	267	1,4	65	145	93	2.336
4	28	5,6	5,5	107	0,7	51	231	58	676
5	47	6,5	3,6	10	0,5	14	59	17	297
6	32	11,3	6,9	62	1,5	21	323	53	677
7	48	5,1	4,3	64	0,5	33	89	37	443
8	37	4,0	4,5	62	0,9	34	302	43	1.105
9	35	2,6	10,8	103	1,4	175	113	79	1.134
10	49	4,2	7,5	49	0,3	15	67	12	407
11	38	5,6	8,1	59	0,9	47	214	49	660
12	48	9,1	11,1	77	1,9	22	636	65	934
13	50	6,4	7,7	69	1,2	27	81	16	698
14	41	7,1	5,4	185	2,0	40	162	73	1.623
15 x)	69	11,4	3,1	18	0,8	20	176	21	1.069
16	48	6,3	6,9	59	0,4	32	165	58	422
17	41	10,3	9,1	91	1,7	23	138	55	1.034
18	35	6,5	9,2	52	1,1	22	278	33	667

x) ohne Simultanfällung

Der Schlamm wird größtenteils flüssig mit einem Feststoffgehalt zwischen 4 und 8 % mittels Güllefässern transportiert und verteilt. In Verwendung stehen 3 m³, 4,5 m³, 6 m³, 8 m³ und 10 bzw. 13 m³-Einheiten. Bei Ortskläranlagen sind im Regelfall die kleineren Einheiten im Einsatz. Dementsprechend liegen die bevorzugten Anwendungsflächen in relativ geringen Entfernungen zum Klärwerk. In den meisten Fällen beträgt der Anwendungsradius maximal etwa 5 km, nur in Einzelfällen werden mittels größerer Güllefässer auch Distanzen bis zu 10 km bewältigt. Die tägliche Ausbringungsmenge erreicht bei kurzen Distanzen 120 bis 150 m³ und sinkt bei Entfernungen über 5 km bis zu 60 m³ ab. Transport und Ausbringung erfolgt im überwiegenden Maße durch den Landwirt selbst. Nur vereinzelt kommt eine Lohnausbringung durch ansässige Landwirte vor. Letztere Regelung trifft vor allem bei Nebenerwerbsbetrieben zu. Das Güllefaß selbst wird in der Mehrzahl vom Kläranlagenbetreiber zur Verfügung gestellt.

Die Aufbringung und Verteilung auf die landwirtschaftlichen Fluren erfolgt nahezu ausschließlich über die Auslaufdüse, Weitwurfdüsen haben sich wegen der ungenauen Flächenabgrenzung nicht bewährt.

Die Beschlammungsmengen schwanken je nach Bodenkennwerten, Kulturgattung und Düngebedarf in nachstehenden Grenzen:

Mais	bis	100 m ³ /ha.a
Getreide	60 bis	80 m ³ /ha.a
Zuckerrübe	60 bis	80 m ³ /ha.a
Weinbau	bis	100 m ³ /ha.a
Grünland	40 bis	60 m ³ /ha.a

Zufolge der vielfach vorliegenden hohen Phosphorversorgungsgrade im Boden stellt der Phosphorgehalt des Schlammes bei Berücksichtigung des Nährstoffbedarfes den frachtenbestimmenden Faktor dar. Soll keine Phosphorüberdünnung erfolgen,

muß Kali und oft Stickstoff als Mineraldünger zusätzlich gegeben werden. Die jährliche Schlammgabe wird vor allem bei Mais und im Weinbau auch auf zwei und mehr Gaben pro Jahr verteilt.

Als Ausbringungsperioden mit regelmäßigem Schlammabsatz sind das Frühjahr bis April-Mai, der Sommer nach Ernte ab Mitte Juli und der Herbst zu nennen. Ein Spitzenbedarf ist relativ regelmäßig im September und Oktober gegeben. Verringerte bzw. keine Absatzmöglichkeiten sind im Winter und zur Zeit der Hochvegetation gegeben. Neben den pflanzenbaulichen Aspekten des Ausbringungszeitraumes ergeben sich vor allem witterungsmäßig bedingte Behinderungen. Bei Frost-Tauwetterwechselperioden und nach Niederschlägen ist eine Ausbringung mittels Güllefässern kaum bzw. nur sehr erschwert möglich.

4. BESONDERE ORGANISATIONSFORMEN

Die schwerpunktmäßige Zusammenziehung der Abwasserreinigung bei Abwasserverbänden kann unter Umständen zu einem lokalen Überangebot an Klärschlamm führen. Die Verbände sind in derartigen Fällen daher auf besondere Organisationsformen angewiesen. Praktiziert wird eine derartige Sonderform bei einem Verband, der neben zwei Verbandskläranlagen die Betreuung von 5 Ortskläranlagen übernommen hat. Bei 3 der zu bewirtschaftenden 7 Anlagen kann der anfallende Klärschlamm in der näheren Klärwerksumgebung landwirtschaftlich verwertet werden. Bei den verbleibenden Anlagen ergeben sich zufolge der landwirtschaftlichen Strukturierung mit mehr als 75 % Nebenerwerbsbetrieben und dementsprechend kleinen Betriebsgrößen (im Mittel 8 ha pro Betrieb) Probleme bei der Klärschlammverwertung. Es sind dies die Streulage von Kleinparzellen und der Zeitaufwand, der vom Nebenerwerbslandwirt nicht abgedeckt werden kann. Vom

Abwasserverband wird daher der Überschussschlamm aus den kleinen Ortsanlagen zur Nachstabilisierung in die Verbandsanlage (beheizter Faulbehälter) transportiert. Da der Verband auch die Sonderbauwerke der Ortsnetze zu warten hat, erfolgt dieser Schlammtransport mit dem Kanalspülwagen auf der Rückfahrt in die Zentrale. Eigene Transportausfahrten sind bei den kleinen Anlagen mit den relativ geringen Überschussschlammanfall nicht erforderlich. Der ausgefaulte Schlamm vom Hauptklärwerk wird zu 2/3 in die Hauptanwendungsgebiete (Transportdistanz 15 km) mittels Tankzug (Transportinhalt 25 m³) transportiert. Im Anwendungsgebiet erfolgt eine Zwischenspeicherung (50 m³ bzw. 3.000 m³ Speichervolumen) aus der der Schlamm von den Landwirten mittels Güllefässern abgeholt wird. Der Anwendungsradius in diesen Gebieten beträgt etwa 3 bis 4 km. Der Schlammtransport in die Anwendungsgebiete wird vom Verband getragen.

Auch bei anderen Verbänden zeichnen sich ähnliche Problemstellungen ab. Um auch hier das lokale Schlammüberangebot zu reduzieren soll gleichfalls eine Trennung zwischen Schlammtransport und Schlammausbringung erfolgen. Gleichzeitig sollen durch eine Änderung des Ausbringungssystems - Umstellung auf Schnellkupplungsrohre mit Güllewerfern bzw. Schlammregner - die witterungsbedingten Ausbringungseingpässe verringert werden. Auch in diesen Fällen ist an eine Übernahme der Transportkosten durch den Verband gedacht.

5. ÜBERWACHUNG - PROBLEMFÄLLE

Schwergewicht bei der Klärschlammverwertung wurde bisher auf die Überwachung der Schlamminhaltsstoffe gelegt. Bei beabsichtigter landwirtschaftlicher Anwendung ist der Klärschlamm in entsprechend dem ÖWWV-Regelblatt 17 festgelegten Abständen untersuchen zu lassen und das Ergebnis

der Fachdienststelle des Amtes der Landesregierung vorzulegen. Im Wege einer Beratung durch die Fachdienststelle sollen allfällige Problemstellungen aufgezeigt und nach Möglichkeit behoben werden. Werden daher entsprechende Überschreitungen bei den Schwermetallen festgestellt, so erfolgt amtswegig die Suche nach den Verursachern. Durch Unterbindung der dann zumeist unzulässig hohen Einleitungen und Veranlassung von entsprechend effizienten innerbetrieblichen Vorreinigungsanlagen wird eine Problemlösung angestrebt.

Als Beispiel darf zunächst auf eine Verbandsanlage mit etwa 30 % Industrieanteil verwiesen werden. Im Einzugsgebiet dieses Verbandes (A) befindet sich ein Textilausrüstungsbetrieb, eine chemische Fabrik, eine Druckerei sowie ein eisen- und metallverarbeitender Betrieb. Um auch für die relativ schwerer abbaubaren Textilabwässer eine möglichst weitgehende Reinigung zu gewährleisten wurde als Verfahren eine Langzeitbelebungsanlage gewählt. Das damit verbundene hohe Schlammalter begünstigt zwangsläufig eine Akkumulierung allfälliger Schwermetalle. In der ersten Schlammuntersuchung nach Betriebsaufnahme im Juni 1981 (vergleiche Tabelle 5) wurden erhöhte Werte für Kupfer, Zink und Chrom festgestellt. Durch nachfolgende Überprüfungen der angeschlossenen Betriebe und wasserrechtliche Vorschreibung von Einleitungsgrenzwerten konnten die Schwermetallwerte jedenfalls wesentlich reduziert werden. In der zuletzt vorliegenden Untersuchung vom Feber 1984 mußte jedoch ein neuerlicher Anstieg bei Nickel und Chrom festgestellt werden. Da zwischenzeitlich weitere Ortsnetze mit Industriebetrieben an den Verband angeschlossen wurden, müssen die Verursacher zunächst erneut aufgespürt werden. Im Regelfall ist zufolge der Übersichtlichkeit der im ländlichen Raum liegenden Verbände mit einer relativ raschen Aufspürung und nachfolgender Abhilfe zu rechnen. Von wesentlicher Bedeutung hierbei ist die aktive Mithilfe der Verbandsführung und des Verbandsper-

Tabelle 5: Verbandsanlage A - Veränderung der Schwermetallkontaminierung
im Klärschlamm.

		Juni 1981	November 1981	Mai 1982	Oktober 1982	Feber 1984
Cu	mg/kg	2.317	618	427	314	274
Mn	mg/kg	732	203	169	297	232
Fe	mg/kg	26.829	16.260	13.710	12.810	7.988
Zn	mg/kg	4.878	1.228	1.210	1.052	1.134
Co	mg/kg	195	60	71	48	24
Mo	mg/kg	4,9	0,8	4,0	3,9	6,1
Pb	mg/kg	293	113	62,9	110	138
Cd	mg/kg	4,9	2,2	1,0	2,0	2,3
Cr	mg/kg	1.951	724	1.032	686	1.159
Ni	mg/kg	171	-	44	48	665

sonales.

Auch bei dem zweiten Problemfall handelt es sich um eine Verbandsanlage. Im Einzugsgebiet dieser Anlage B befindet sich eine Verzinkerei sowie eine Gerberei. Beide Betriebe verfügten bereits über innerbetriebliche Vorreinigungsanlagen, deren Wartung, Betreuung und Überwachung vor Fertigstellung der biologischen Abwasserreinigungsanlage nicht entscheidend verfolgt wurden. Nach Inbetriebnahme der Verbandsanlage und Einleitung der Betriebsabwässer wurden in der Folge wesentliche Schwermetallkontaminationen bei Zink und Chrom festgestellt (Tabelle 6). Trotz Kenntnis der Verursacher konnte zunächst keine ausreichende Reduktion durchgesetzt werden. Mit Hilfe des Klärwerkspersonales konnte eine Stoßbelastung, die zu Störungen des Reinigungsprozesses führte, analytisch im Rahmen einer Beweissicherung auf Einleitungen der Industriebetriebe zurückgeführt werden. Die Sanierungskosten beim Klärwerk (komplette Schlammräumung und Neueinarbeitung) wurden den Verursachern auferlegt. Ebenso erfolgte in einem Falle eine strafrechtliche Verfolgung wegen widerrechtlicher Ableitung von Konzentraten in den Vorfluter. Erst in der Folge dieser schwerwiegenden Ereignisse konnte die Einhaltung der Einleitungskriterien erreicht werden. Die Erfolge wurden in den Klärschlammbeurteilungen ab 1983 dokumentiert. Entscheidend für die Verbesserung war vor allem das hohe Verantwortungsbewußtsein und die Aktivität des Klärmeisters.

6.ERFAHRUNGEN - ANREGUNGEN

Bei einer angestrebten landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung sollte bereits in der Planungsphase auf die landwirtschaftliche Strukturierung wie Grundstücksgröße, Transportentfernung und Betriebsart (Vollerwerbsbetrieb, Nebenerwerbsbetrieb) Rücksicht genommen werden.

Tabelle 6: Verbandsanlage B - Veränderung der Schlammbeschaffenheit

		Mai 80	Okt.80	April 82	Sept.82	Dez.82	Juni 83	Dez.83	Mai 84	Dez.84
TS	%	7,5	2,1	3	5,4	6,6	4,8	5,1	5,1	6,4
GV	%	42,3	43	54	50,4	45	57	56	57	46
Ges.N	% d.TS	4,7	5,5	3,9	3,9	7,0	3,8	5,1	11,0	3,8
NH ₄ -N	% d.TS	1,5	0,3	0,3	1,1	0,6	0,4	0,5	0,4	0,3
Ges.P ₂ O ₅	% d.TS	3,1	2,7	14,7	2,6	2,4	3,0	3,6	6,6	2,8
K ₂ O	% d.TS	0,7	0,6	2,3	0,4	0,6	0,9	1,0	1,4	1,1
CaO	% d.TS	2,9	-	18,7	3,3	3,2	3,1	2,9	6,2	2,3
MgO	% d.TS	2,0	-	7,7	1,9	1,5	1,7	2,0	3,5	2,3
Cu	mg/kg TS	115	376	137	200	215	145	164	185	111
Zn	mg/kg TS	13.630	19.484	4.733	4.907	3.030	1.446	1.742	2.534	1.869
Pb	mg/kg TS	71	235	238	181	353	279	237	197	152
Cd	mg/kg TS	1;3	4,2	2,3	3,7	3,8	4,8	3,9	2,1	1,9
Cr	mg/kg TS	1.022	1.174	3.333	2.611	1.530	1.066	616	511	201
Ni	mg/kg TS	47	164	44	58	76	54	66	75	60

Dem Landwirt muß ein qualitativ einwandfreies und homogenes Produkt angeboten werden, sollen Rückschläge vermieden werden.

Ausbringungsengpässe müssen durch Speicherkapazitäten auf der Anlage abgedeckt werden. Selbst unter optimalen strukturellen und klimatischen Voraussetzungen sollte der Schlammanfall von zumindest 3 Monaten gespeichert werden können. Bei Ausbringung durch den Landwirt selbst ist gegebenenfalls zusätzlich Speichervolumen zu berücksichtigen, da der Landwirt im Regelfall nur bei Ausfall der normalen landwirtschaftlichen Tätigkeiten zum Schlammtransport bereit ist.

Bei lokalen Schlammüberangebot hat sich ein Transportsystem in die entfernter liegenden Anwendungsgebiete bewährt. Ein systematischer Übergang zur Übernahme des Transportes und der Ausbringung könnte auch bei größeren Anlagen neue Anwendungsgebiete und eine teilweise Unabhängigkeit vom Zeitangebot des Landwirtes bringen.

Bei der Übernahme des Transportes und der Ausbringung durch den Landwirt sollte sichergestellt sein, daß der Landwirt nicht Verluste zu tragen hat. In Abhängigkeit des nutzbringenden Düngegehaltes und der Entfernung der Anwendungsfläche sind gegebenenfalls Ausgleichszubußen festzulegen.

An Hand der aufgezeigten Problemfälle wurde die unbedingt erforderliche Qualitätsüberwachung nachgewiesen. Durch gezielte Ursachenbekämpfung kann bei Schwermetallkontaminationen eine Reduktion erreicht werden. Problemlösungen sind jedoch nur dort zu erwarten, wo eine aktive Mitarbeit des Kläranlagenpersonales gewährleistet ist.

Wolfgang Stalzer, OBR., Doz., Dipl.-Ing., Dr.
Amt der Burgenländischen Landesregierung
7041 WULKAPRODERSDORF

AUSBRINGUNG UND EINBRINGUNG VON FLÜSSIGEN UND PASTÖSEN KLÄRSCHLÄMMEN

R. Krause

1. EINLEITUNG

Jede der denkbaren Alternativen zur Verwertung oder Beseitigung von Klärschlamm erfordert erhebliche und mindestens mittelfristige Investitionen in Anlagen, Transport- und Lagersysteme, in technisches Gerät, Infrastruktur und Organisation. Selten besteht die Möglichkeit, sich kurzfristig für die eine oder andere Art der Verwertung oder Beseitigung zu entscheiden, es sei denn, zwei oder mehrere Alternativen sind durch entsprechende Vorkehrungen und Investitionen von vornherein vorgesehen. Ein in Zukunft sicher noch stärker beachtetes **V e r w e r t u n g s g e b o t** (Recycling) einerseits sowie eine notwendige **K o s t e n - r e d u z i e r u n g** bei der Entsorgung der kommunalen Kläranlagen andererseits zwingen dazu, die alternativen Verwertungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung des technischen Fortschrittes stets neu zu überdenken und gegeneinander abzuwägen.

Wenngleich räumlich konzentriert und weitgehend geschlossene Prozesse wie die Klärschlammverbrennung einfacher zu managen sein mögen, ist eine vernünftige Verwertung von Klärschlamm im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion unter Berücksichtigung von Boden- und Wasserschutz im allgemeinen ökonomisch wie ökologisch die günstigste Form der Entsorgung, d.h. aus der Sicht der Allgemeinheit wünschenswert. In der Bundesrepublik Deutschland werden zur Zeit etwa 40 % des Anfalles von Klärschlamm mit steigender Tendenz in der Landwirtschaft verwertet. Auch in den USA ist der Prozentsatz mit etwa 3 Mio Tonnen Trockensubstanz jährlich ähnlich hoch.

2. VORAUSSETZUNGEN

Für eine langfristige Verwertung derartig hoher oder sogar noch steigender Mengen Klärschlammes in der Landwirtschaft müssen eine Reihe von Voraussetzungen und Rahmenbedingungen beachtet werden.

2.1 Gesetzliche Bedingungen

Zahlreiche gesetzliche Regeln, Verordnungen und Bestimmungen schränken die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft ein. Eine jüngst in Deutschland vorgestellte "Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung" wird die Verbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft nicht erleichtern. Zudem ist neben den Mengenbegrenzungen möglicherweise eines Tages auch mit Sperrzeiten für die Landanwendung zu rechnen, wie sie für Flüssigmist in einigen deutschen Bundesländern bereits gelten. Verschiedene Landwirtschaftsverbände fordern Haftungsverträge zwischen dem Landwirt und dem Kläranlagenbetreiber, um ein unbekanntes Risiko nicht alleine tragen zu müssen.

All diese Regelungen sollen nur den Mißbrauch, sollen Schäden bei der Landanwendung von Klärschlamm vermeiden. Sie sollen und dürfen eine sachgemäße Verwertung nicht behindern. Dennoch wird eine Kontrolle über den Verbleib von Klärschlamm erforderlich bleiben, einmal, um eine unsachgemäße Beseitigung zu verhindern und zum anderen, um gerade dann, wenn bezahlter Klärschlamm dem Landwirt angedient wird, eine Überdüngung bestimmter Flächen zu vermeiden.

2.2 Der Stoff

Der potentielle Beitrag der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden etwa 40 Mio Tonnen Klärschlamm zur Nährstoffversorgung unserer Böden bleibt für alle drei Grundnährstoffe deutlich unter 10 %. Ich nehme an, das ist auch in Österreich ähnlich. Auch die enthaltene organische

Substanz kann leicht durch andere Reststoffe ersetzt werden. (40 Mio t Klärschlamm stehen allein 200 Mio t tierische Exkremeute gegenüber.) Dennoch kann Klärschlamm im Rahmen der standort- und fruchtartspezifischen Produktionsverfahren als Produktionsmittel zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit eingesetzt werden. Wichtig ist, daß dieser Stoff Schadstoffe nur unterhalb der Toleranzgrenze enthält, in seinen Eigenschaften und Wirkungen bekannt und gleichbleibend ist, in der Zusammensetzung der Nähr- und Inhaltsstoffe dem Bedarf entspricht und für die Handhabung geeignete physikalische Eigenschaften (Konsistenz) aufweist.

Für die Mengenbegrenzung der Klärschlammanwendung sind die möglicherweise enthaltenen Schadstoffe entscheidend. Keiner der enthaltenen Grundnährstoffe erreicht bei der zulässigen Höchstgabe den ackerbaulich gewünschten Betrag. Zusatz- und Ausgleichsdüngung mit Mineraldünger sind deshalb in einem oder mehreren weiteren Arbeitsgängen erforderlich. Das Zumischen von Nährelementen zur Aufwertung von Klärschlamm und zum Nährstoffausgleich wird daher vielerorts diskutiert. Vor- und Nachteile hängen vom Anwendungszeitpunkt und von dem Produktionssystem ab. Zielvorstellung sollte sein, die Zahl der Arbeitsgänge und der Spuren auf dem Feld zu vermindern. Phosphor und Kalium können im Grunde zu jeder Jahreszeit ausgebracht werden. Bei Phosphor sollte daran gedacht werden, daß er gleichzeitig oder in einem späteren Arbeitsgang in den Wurzelraum gelangt. Stickstoff sollte - sofern nicht Nitrifikationshemmer wirkungsvoll eingesetzt werden können - zu einem Zeitpunkt verabreicht werden, der den Bedarf seitens der Pflanze und das Angebot in einer pflanzenverfügbaren Form in Einklang bringt. Wir sind z.Zt. dabei, geeignete Techniken zum Zumischen von Nährelementen beim Befüllen des Tankwagens zu entwickeln.

2.3 Die Flächen

Es müssen genügend geeignete, nicht bereits durch Exkremente aus intensiver Tierhaltung ausreichend oder gar überversorgte Flächen zur Verfügung stehen. Durch die besondere Topographie Österreichs dürften diese Flächen zumindest regional knapp sein, da Hanglagen nur bedingt geeignet sind. Ich komme später auf diesen Punkt zurück.

2.4 Der Abnehmer

Solange die Klärschlammanwendung für den Abnehmer noch immer mit gewissen Risiken und Unwägbarkeiten verbunden ist, wird man kaum mit Impulsen zum verstärkten Einsatz in der Landwirtschaft rechnen können. Die Aquisition geeigneter Flächen und Abnehmer bleibt daher das Problem der Kommunen. Erst, wenn es aufgrund einer geeigneten standort- und fruchtartspezifischen Rezeptur für die Anwendung von ökologisch und produktionstechnisch unbedenklichen Schlämmen gleichbleibender Qualität mit Hilfe geeigneter, kostensparender Verfahren möglich sein wird, mit diesen Schlämmen genauso problemlos, exakt und bequem, jedoch billiger als mit Mineraldünger zu düngen, wird der Landwirt von sich aus zum Abnehmer. Klärschlamm wird Produktionsmittel, das seinen Preis neben anderen Produktionsmitteln hat. Bis dahin sind sicher besondere (finanzielle) Anreize erforderlich.

2.5 Die Organisation

Die zur Beschlämmung zur Verfügung stehenden Tage sind angesichts einer dichten Fruchtfolge knapp. Zur Einhaltung agrotechnisch günstiger Termine ist daher eine hohe Schlagkraft beim Ausbringen und Einarbeiten erforderlich. Dabei ist es letztlich gleichgültig, ob die Maschinen vom Kläranlagenbetreiber, vom Lohnunternehmer, vom Maschinenring oder vom Landwirt selbst gestellt werden. Trotz einer stärkeren Abhängigkeit beim überbetrieblichen Maschineneinsatz müssen zwei wesentliche Vorteile erwähnt werden:

- eine größere Auslastung der Maschinen führt zu einer schnelleren und besseren Amortisation;
- ein größerer Maschinenpark unterschiedlicher Kapazität und Ausrüstung gestattet die Auswahl des jeweils am besten geeigneten Systems.

Man sollte dabei bedenken, daß im Prinzip für Stoppeldüngung (gut befahrbarer Boden, evtl. Kombination von Beschlämmung und Stoppelbearbeitung), Frühjahrsgabe (nahezu wassergesättigter Boden), Kopfdüngung bei Reihen- und Flächenkulturen und Grünlanddüngung selbst für den gleichen Standort unterschiedliche Gerätesysteme eingesetzt werden sollten.

Einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Schlagkraft bei der Beschlämmung kann die Entkoppelung von Transport zum Feldrand und Verteilen auf dem Feld bringen (Zwischenspeicher am Feldrand), da die Transportzeiten im allgemeinen mehr als 85 % der Gesamtarbeitszeit ausmachen.

Große US-amerikanische Entsorgungsunternehmen bedienen sich bei der Planung der Anwendungszeiten und Gaben weitgehend des Computers, wobei Kennwerte des Schlammes, des Standortes, des Bodens und der Kultur verarbeitet werden.

Durch eine sorgfältige Abstimmung von Ausbringrate, Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Parzellenlänge und Faßgröße sind unnötige Fahrten und Spuren auf dem Feld zu vermeiden (Abb. 1).

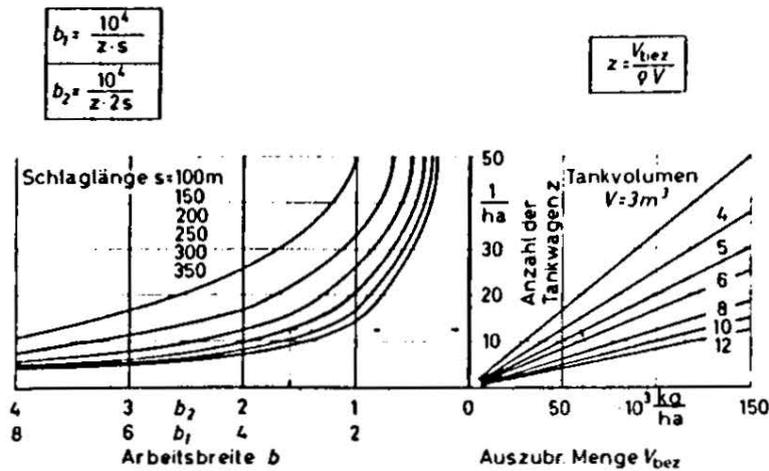


Abb. 1: Auswahl und Auslegung des Tankwagens

3. DIE TECHNIK DER SCHLAMMAUSBRINGUNG

Im Gegensatz zu den USA, wo man vielfach mit Spezialfahrzeugen und -geräten arbeitet, sind wir in Mitteleuropa im allgemeinen auf landwirtschaftliche Technologien bei der Ausbringung von Klärschlamm angewiesen. Diese können im Hinblick auf Klärschlamm nur einen Kompromiß darstellen, wobei pumpfähiger Klärschlamm mit 4 oder 5 % Trockensubstanzgehalt in seinen rheologischen Eigenschaften dem Schweineflüssigmist ähnelt, pastöser Klärschlamm aus Siebandpressen dagegen in der Landwirtschaft kein Pendant findet.

3.1 Techniken zur Landanwendung pumpfähiger Schlämme

Für die Ausbringung pumpfähiger Klärschlämme bieten sich mobile Tankwagen sowie Beregnungsanlagen, zum Einarbeiten verschiedene Geräte zur Bodenbearbeitung sowie Injektorzinken an.

Je nach den Einsatzbedingungen, nach den räumlichen und zeitlichen Gegebenheiten, nach der Organisationsform sowie

nach Lieferungs- und Zahlungsbedingungen bietet sich eine Vielzahl verfahrenstechnischer Alternativen an (Abb. 2).

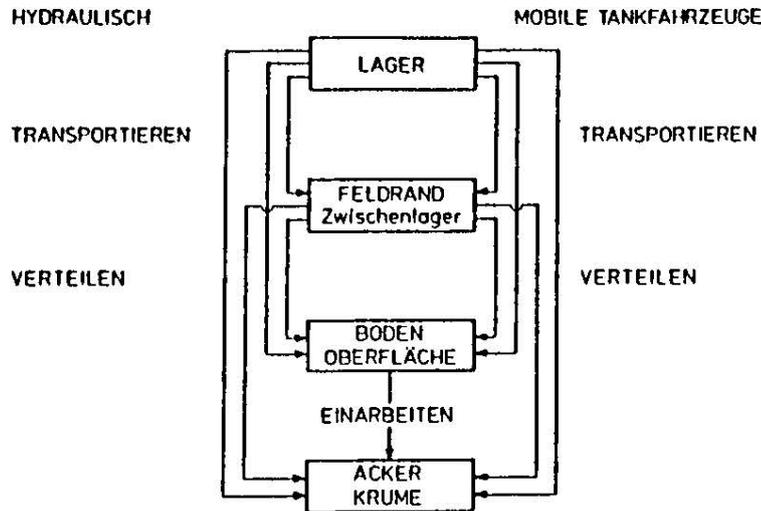


Abb. 2: Verfahrensalternativen zum Ausbringen von Klärschlamm

Sie reichen von einem mehrfach absetzigen, zeitlich auseinandergezogenen Verfahren mit verschiedenen Transportmitteln und getrennter Einarbeitung bis zu einem durchgängigen Transport von der Kläranlage bis auf das Feld mit anschließend direkter Einarbeitung in einem quasi geschlossenen System.

3.1.1 Verregnen von Abwasser und Klärschlamm

Verschiedene Kommunen und Wasserverbände haben sich für das Verregnen von Abwasser und Klärschlamm mittels Schlammkanonen oder Beregnungsautomaten entschlossen (Düsen = 20 mm, Durchsatz 20 bis 150 m³/h, Druck 4 bis 7 bar, Wurfweite 30 bis 50 m, Rohrlänge bis 400 m, Antrieb über Turbine, Zapfwelle mit Untersetzungsgetriebe oder Aufbaumotor, 2,5 bis 3 ha je Aufstellung).

Die Grenze für den Einsatz des Turbinenantriebs liegt etwa bei 5 % Trockensubstanzgehalt. Mit Aufbaumotor oder Zapfwellenantrieb kann bis etwa 10 % Trockensubstanz verregnet

werden. Eine neuere Entwicklung arbeitet mit einer zapfwellengetriebenen Drehkolbenpumpe (konstanter Durchsatz auch bei schwankenden Druckbedingungen), die über einen Variator auch das Einziehen des Rohres besorgt.

Gerade auf beregnungsbedürftigen Standorten ist die Kombination mit der Frischwasserverregnung eine sinnvolle Ergänzung. Der Einsatz von Regnern und Schlammkanonen bringt zudem den Vorteil, weitgehend unabhängig von der Topographie sowie von der Befahrbarkeit des Bodens zu sein. Verdichtungsschäden, wie bei schweren Tankwagen, treten kaum auf. Demgegenüber stehen jedoch eine Reihe potentieller, teilweise gravierender Nachteile:

- Geruchsemissionen,
- hygienische Bedenken,
- ungleichmäßige Verteilung,
- Oberflächenablauf in Hanglagen,
- große, regelmäßige Flächen und Schutzhecken erforderlich oder Sicherheitsabstand zu Straßen und elektrischen Leitungen,
- geringe Flexibilität,
- aufwendige Technik,
- hoher Energiebedarf.

Damit bleibt der Einsatzbedarf von Beregnungsanlagen für die Klärschlamm- und Abwasserverregnung begrenzt.

Zwei Verfahren, bei denen ebenfalls eine hydraulische Verteilung über die Fläche erfolgt, seien noch erwähnt:

DAS SCHLAUCHVERFAHREN (Abb. 3):

Bei diesem Verfahren wird ein mit einem Bodenbearbeitungsgerät (z.B. Pflug, Grubber, Scheibenegge) ausgerüsteter Schlepper über einen nachgezogenen Schlauch vom Feldrand aus versorgt, wobei der Klärschlamm direkt in den Boden eingearbeitet wird. Geruchsemissionen, hygienische Probleme und Oberflächenablauf sind auf ein Minimum reduziert,

das Befahren wenig tragfähiger Böden mit Tankwagen wird vermieden. Dies Verfahren eignet sich besonders auch für Hanglagen. Das Arbeiten mit dem nachgezogenen Schlauch ist jedoch umständlich und erfordert zusätzliche Aufmerksamkeit des Fahrers.

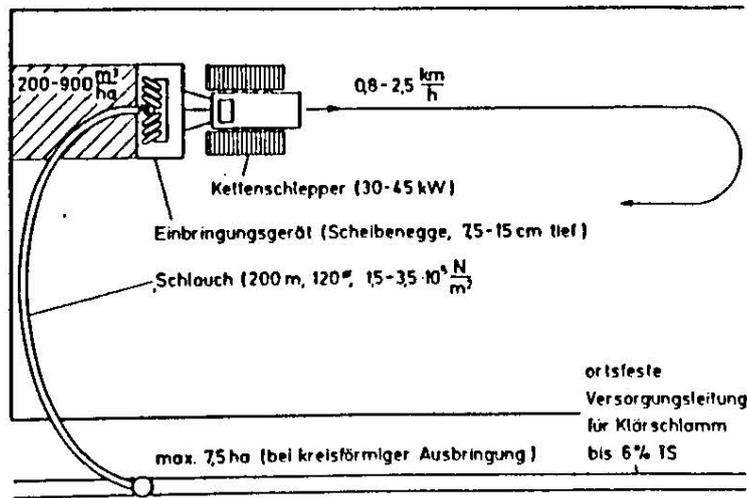


Abb. 3: Schlauchverfahren

DAS KOMBINIERTE VERFAHREN (Abb. 4):

Ähnlich wie das Schlauchverfahren kann das kombinierte Verfahren bewertet werden, bei dem das Rohr einer am Feldrand stehenden und im allgemeinen aus einem größeren Tankwagen versorgten Beregnungsmaschine (die Trommel kann auch direkt auf den Tankwagen montiert sein) von einem Schlepper gezogen wird, wobei der Klärschlamm entweder über einen in der Dreipunkthydraulik aufgebauten Verteilbalken oberflächlich ausgebracht oder den Werkzeugen eines Bodenbearbeitungsgerätes direkt zugeführt und in den Boden eingebracht wird. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt auch hier darin, daß der Tankwagen die Fläche nicht befahren muß. Auf der anderen Seite sind mindestens drei Schlepper und drei Fahrer erforderlich (auf dem Feld, am Feldrand und zum Transport). Zudem ist eine gleichmäßige Beschlämmung der Fläche schwierig, da der Zugwiderstand des Rohres und damit der

Schlupf des Schleppers mit der ausgezogenen Länge wächst. Auch der Arbeitsaufwand ist relativ hoch, da nach jeder Spur abgekoppelt und das ganze System versetzt werden muß.

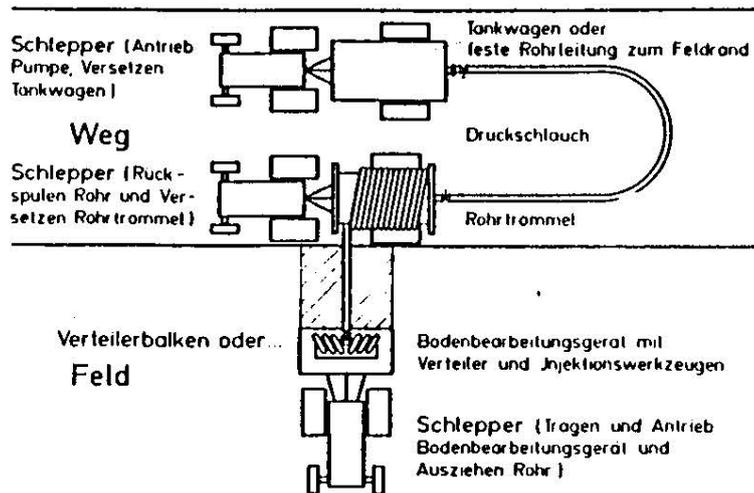


Abb. 4: Kombiniertes Verfahren

3.1.2 Verteilen mittels Tankwagen

Der Standardtankwagen als Schleuder-, Druck- oder Pumpenfaß mit Prallteller zum Verteilen ist hinreichend bekannt, so daß ich mich auf besondere Probleme und neuere Entwicklungen beschränken kann:

DOSIEREN UND VERTEILEN:

Wenn mit Klärschlamm gezielt gedüngt werden soll, d.h. wenn die Inhaltsstoffe genutzt und damit gleichzeitig Umweltbelastungen vermieden werden sollen, dann ist eine exakte Dosierung und Verteilung, wie bei Mineraldünger (nicht mehr als 10 % Abweichung vom Sollwert in nebeneinander liegenden, 50 cm breiten Streifen ist zugelassen) erforderlich. Zum Dosieren - heute nur über Fahrgeschwindigkeit oder festeingestellte Schieberstellung - wurde von unserem Institut ein System zur geschwindigkeitsabhängigen Durchflußregelung vorgeschlagen (Abb. 5). Dieses System gestattet es dem Fahrer, gerade in schwierigen Fahrsituationen (Hang, Schlupf), sich nur auf das Manövrieren zu konzentrieren, ohne das Risiko

von Überdüngung und Hangablauf. Gerade bei überbetrieblichem Maschineneinsatz und Durchführung der Arbeit durch Betriebsfremde gibt dies dem Landwirt Sicherheit für die ordnungsgemäße Erledigung der Arbeit. Wir selbst arbeiten mit einem Prototyp und gemeinsam mit der Industrie an der Durchentwicklung einzelner Elemente, so daß in absehbarer Zeit mit der Verfügbarkeit auf dem Markt gerechnet werden kann.

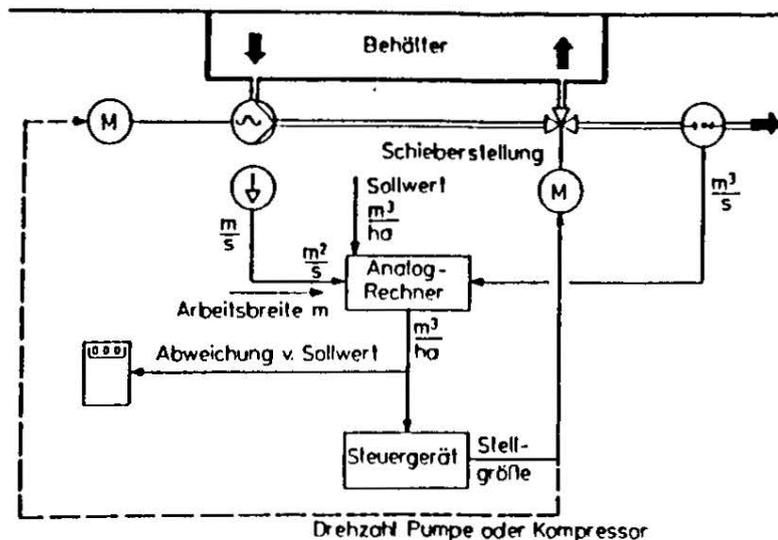


Abb. 5: Geschwindigkeitsabhängige Durchflußregelung

Die Querverteilung mit dem Prallteller entspricht nicht mehr den Anforderungen des Umweltschutzes und der exakten Verteilung. Verschiedene Verbesserungen werden heute auf dem Markt angeboten:

- Verteilgestänge mit einzelnen Düsen oder Pralltellern. Damit ist eine weniger abdriftgefährdete, bodennahe, gleichmäßige Verteilung möglich. Allerdings steigt die Verstopfungsgefahr mit der Zahl der Abgänge. Wir haben ein Verteilgestänge mit angetriebenen Pralltellern entwickelt, das mit nur drei Abgängen für 12 m Arbeitsbreite auskommt und unabhängig vom Durchsatz gerade bei niedrigen Gaben die volle Arbeitsbreite und eine gleichmäßige Verteilung garantiert. Der Antrieb der

Prallteller erfolgt wahlweise über Hydro- oder Elektromotoren.

- Tankwagen mit Pendeldüsen mit mechanischem oder hydraulischem Antrieb arbeiten im Prinzip wie Einzel-Sektor-Regner, jedoch mit erheblich höherer Niederschlagsintensität. Die Verteilqualität ist nach ersten Untersuchungen besser als am konventionellen Prallteller. Auch hier gelten jedoch die Nachteile der Geruchsemission und der ungleichmäßigen Verteilung bei Wind.

Besonders wichtig bei der Verteilung ist natürlich eine gleichbleibende Arbeitsbreite (dieses ist beim Schleuderfaß nicht immer der Fall), sowie eine flache Flanke des Verteildiagrammes, damit die Fehler beim Anschlußfahren klein bleiben können.

Daß ein Ausbringen mit dem Tankwagen vom Feldrand aus mit Hilfe von Weitstrahldüsen (bis 50 m Wurfweite) nur eine Notlösung sein kann, dürfte aus dem Vorhergehenden deutlich werden, wenngleich der Vorteil, mit großvolumigen Tankfahrzeugen ohne Bodenverdichtung arbeiten zu können, gerne angeführt wird.

3.1.3 Verteilen und Einarbeiten in einem Arbeitsgang

Alle Gesetze und Verordnungen fordern zur Verminderung der Geruchsemissionen, des Oberflächenablaufes sowie aus hygienischen und ästhetischen Gesichtspunkten ein unverzügliches Einarbeiten von Klärschlamm. Hinzu kommen nicht unerhebliche Stickstoffverluste durch gasförmiges Entweichen. Unangenehm und teilweise unzumutbar ist auch die Verschmutzung von Schlepper und Gerät beim späteren Einarbeiten. Alle die genannten Nachteile können mit dem direkten Einbringen vermieden werden. Direktes Einarbeiten ist eine saubere Tech-

nologie, auf die der alte Slogan aus der Bodenbearbeitung: "Einmal darüber, alles vorbei" bestens zutrifft.

Nachdem wir in Europa in dieser Technologie Vorreiter waren (bereits in den dreißiger und vierziger Jahren wurden größere Stückzahlen von Zinkeninjektoren verkauft), schreiten die USA heute mit großartigen technischen Lösungen voran. Das direkte Einarbeiten von Klärschlamm ist dort zum Standardverfahren geworden. Auch die britische Water Authority hält direktes Einarbeiten für unbedingt erforderlich.

Grundsätzlich bieten sich zwei Verfahrensalternativen:

DER ZINKENINJEKTOR (Abb. 6):

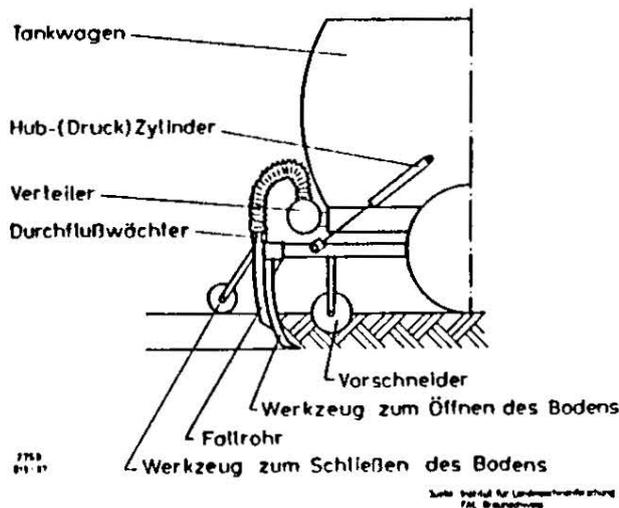


Abb. 6: Zinkeninjektor

Drei bis fünf Zinken sind direkt hinter dem Tankwagen angebracht, denen der Klärschlamm über einen Verteiler zugeführt wird. Der Klärschlamm wird hinter den Zinken direkt in den Boden gedrückt. Verschiedene Zustreichwerkzeuge sorgen für eine vollständige Bodenbedeckung. Hauptnachteil dieses Verfahrens ist der hohe Zugkraft- und Leistungsbedarf (ab 75 kW). Ackerbaulich von Nachteil erweist sich auch, daß der Klärschlamm und damit die Nährstoffe in

schmalen Bändern mit größerem Abstand (ca. 50 cm) ausgebracht wird. Zudem hat der Fahrer keine Kontrolle über die Funktion von Verteiler und Werkzeugen. Dennoch wird dieses Verfahren in verschiedenen Ländern, insbesondere auch zur Ausbringung während der Vegetationszeit in Reihenkulturen eingesetzt. Wir haben einen einfachen Stromwächter entwickelt, der dem Fahrer bei Ausfall eines Rohres ein Signal übermittelt (Abb. 7).

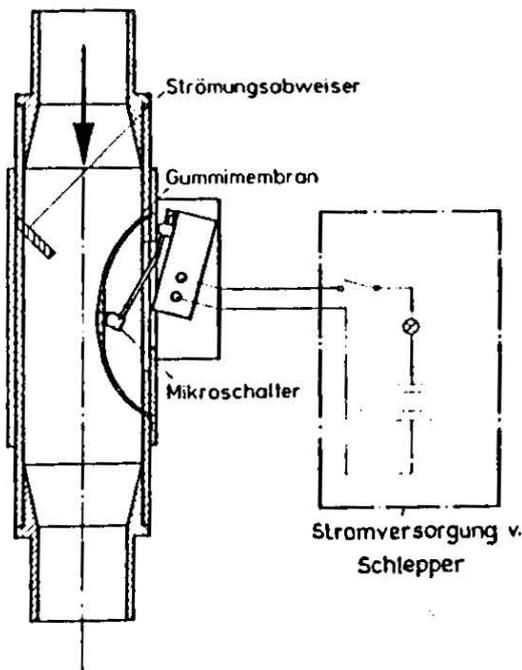


Abb. 7: Strömungswächter

DAS PARALLELVORFAHREN (Abb. 8):

Umgekehrt wie bei verschiedenen Ernteverfahren, bei denen das geborgene Erntegut unmittelbar an ein nebenher fahrendes Transportfahrzeug übergeben wird, erfolgt hier die Klärschlammübergabe von einem Tankfahrzeug an ein nebenher fahrendes Bodenbearbeitungsgerät, von dem er direkt in den Boden gebracht wird. Die Schlagkraft dieses Verfahrens kann durch den Einsatz mehrerer Tankwagen (je nach Transportentfernung) recht hoch sein. Sie wird durch die Arbeitsbreite und Arbeitsgeschwindigkeit des Bodenbearbeitungsgerätes be-

grenzt. Durch die Kombination von Klärschlammausbringung mit ohnehin erforderlicher Bodenbearbeitung werden Zeit, Energie und unnötige Spuren auf dem Acker gespart.

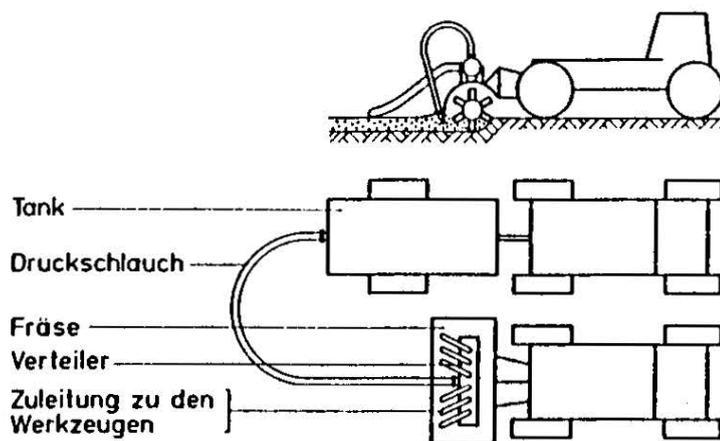


Abb. 8: Parallelverfahren

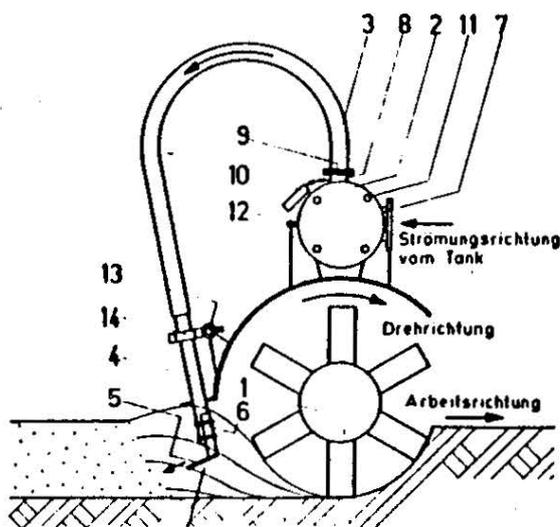


Abb. 9: Fräse zum direkten Einarbeiten von Klärschlamm

Der Einsatz einer Fräse (Abb. 9) brachte durch das intensive Mischen von Klärschlamm und Boden ein Minimum an Umweltbelastung, insbesondere bezüglich Nährstoffauswaschung und Oberflächenablauf sowie eine deutliche Verbesserung der Bodenstruktur. Das An- und Abkuppeln von Tankwagen und Bodenbearbeitungsgerät kann mit Hilfe eines in unserem Institut entwickelten, fernbedienten hydraulischen Fangsystems

vom Zugfahrzeug aus erfolgen (Abb. 10). Dies erscheint bei etwa 5 Minuten Entleerungszeit des Tankfahrzeuges besonders wichtig. Für kleine, unregelmäßige Flurstücke und starke Hangneigung ist dieses Verfahren allerdings weniger geeignet.

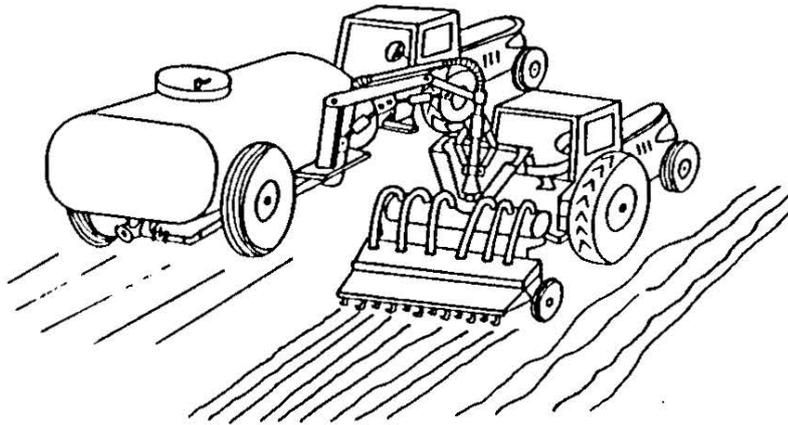


Abb. 10: Parallelverfahren mit fernbedienter hydraulischer Koppelung

3.1.4 Ausbringen am Hang

Wegen der besonderen Topographie Österreichs dürfte der Frage der Hangausbringung besondere Bedeutung zukommen. Zu beachten ist hier zum einen die erhöhte Gefahr des Oberflächenablaufes sowie die Kipp- und Manöversicherheit der eingesetzten Fahrzeuge.

Beim Ausbringen von Klärschlamm mit Tankwagen erreicht die Niederschlagsintensität mit punktuell etwa 50.000 mm/h etwa ein Tausendfaches eines Starkregners. Es kommt dabei zu einem zumindest kurzzeitigen Überstauen der beaufschlagten Fläche. Hangablauf kann dabei nur vermieden werden, wenn die Infiltrationsrate größer ist als die hangabwärts gerichtete Fließgeschwindigkeit parallel zur Oberfläche (Abb. 11). Hierzu ist es erforderlich, daß:

- der Wassergehalt des Bodens deutlich unter der Sättigungsgrenze (d.h. ausreichendes Wasserspeichervermögen) liegt;
- ein offenporiges Kapillarsystem vorliegt;
- der Boden wenig verschlammungsempfindlich ist.

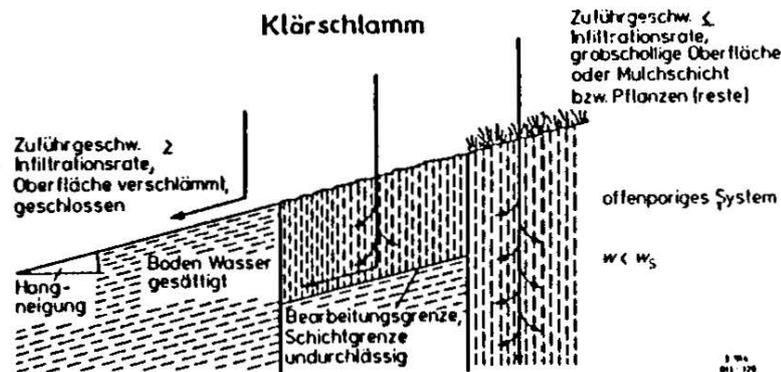


Abb. 11: Wasseraufnahmevermögen des Bodens

Einheitswerte für das Wasseraufnahmevermögen des Bodens sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Sie liegen in einer Größenordnung von etwa $100 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{h}$. Bereits bei 10 % Hangneigung wird das Wasseraufnahmevermögen jedoch nochmals um 30 % reduziert (Tab. 2). Die Fließgeschwindigkeit hängt stark von der Rauigkeit der Oberfläche im Mikro- und Makrobereich, vom Bewuchs und auch von der Viskosität des Schlammes ab. Bei langen Hängen muß die kumulative Wirkung des Ablaufes beachtet werden, d.h. die Gaben steigen durch Zulauf von den höher gelegenen Bereichen hangabwärts.

Boden	Wasseraufnahmevermögen		
Sand	20 mm/h	=	200 $\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{h}$
lehmiger Sand	15 "	=	150 "
sandiger Lehm	12 "	=	120 "
Lehm	10 "	=	100 "
Ton	8 "	=	80 "

Tabelle 1: Wasseraufnahmevermögen des Bodens

Hangneigung	Verminderung der Wasseraufnahme
2,5 %	0 %
5 - 8 %	20 %
9 - 12 %	40 %
13 - 20 %	60 %

Tabelle 2: Veränderung des Wasseraufnahmevermögens eines Bodens mit der Hangneigung

Bei Arbeiten in Falllinie ist die Gefahr des Ablaufes in den Spuren besonders groß. So konnten wir bei ca. 10 % Hangneigung und 30 m Parzellenlänge trotz eines sehr trockenen Bodens und nur 30 m³/ha oberflächlich ausgebrachten Schlammes bereits wenige Stunden nach dem Ausbringen ein Drittel der gesamten Gabe (20 m³/ha) am Fuße des Hanges auffangen. Bereits Spurlockerer führen hier zu einer erheblichen Verminderung des Ablaufes. Entwässerter, schüttfähiger Klärschlamm ist zum Ausbringen am Hang wesentlich besser geeignet als flüssiger Schlamm, es sei denn, es kann direkt eingebracht werden.

Von besonderem Interesse ist auch die Hangtauglichkeit der Geräte: Selbstfahrer, wie sie in den USA bereits üblich sind, bieten mehr Sicherheit als ein Zug aus Schlepper und Tankwagen. Die Doppel- oder Tandemachse gestattet einen tieferen Schwerpunkt als eine Einzelachse, obwohl die Zwänge bei enger Kurvenfahrt meist größeren Strukturschaden verursachen. Neuere Untersuchungen von HUNTER zeigen die Problematik der Bestimmung der Stabilitätsgrenze. Untersuchungen mit festem Schwerpunkt bei 100 % gefülltem oder leerem Tankreichen nicht aus. Erst, wenn man die Verlagerung des Schwerpunktes mit der räumlichen Neigung des Tankwagens auch bei Teilfüllung berücksichtigt, kommt man zu realistischen Werten. Die Abb. 12 zeigt, daß sich die Stabilitätsgrenze während des Entleerens ständig ändert und teilweise

sogar verschlechtert. Ein anderes Beispiel zeigt, daß der aufwärts fahrende Zug nahezu über den gesamten Entleerungsvorgang eher in unkontrolliertes Gleiten gerät als der abwärts fahrende Zug (Abb. 13). Berücksichtigt man zudem das Schwappen der Flüssigkeit trotz eingebauter Trennwände bei Teilfüllung des Fahrzeuges, so kann man das Risiko auch am Hang in Kontrolle halten.

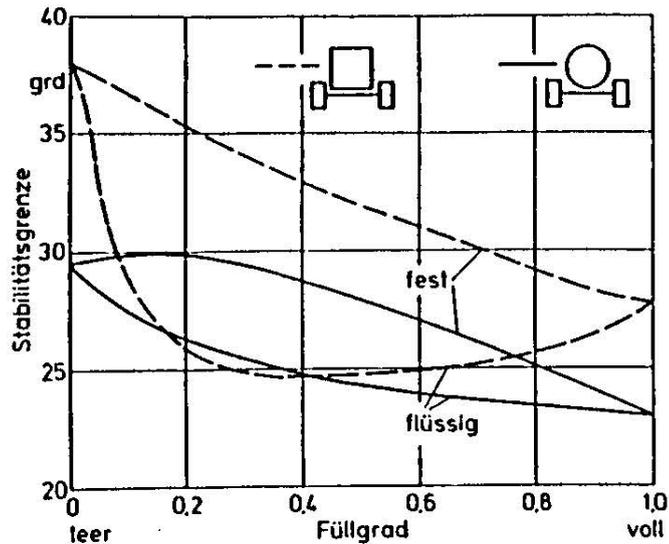


Abb. 12: Stabilitätsgrenze von Tankwagen nach HUNTER

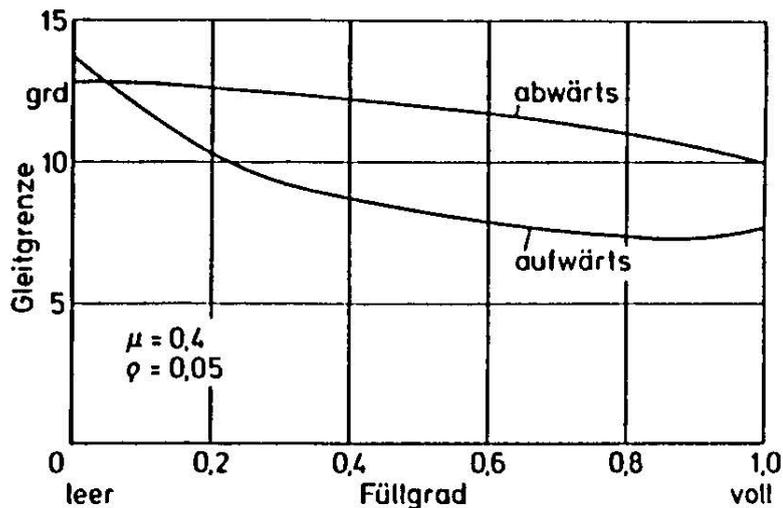


Abb. 13: Gleitgrenze von Tankwagen nach HUNTER

3.2 Techniken zur Landanwendung nicht pumpfähiger Schlämme

Die hohe Wasserbelastung bei geringer Nährstoffkonzentration macht Lagerung, Transport und Deponie von Klärschlamm besonders kostenintensiv. Nahezu die Hälfte der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden Klärschlämme wird daher vorwiegend mechanisch entwässert, wobei je nach dem Verfahren etwa die folgenden Werte erreicht werden:

Dekanterzentrifuge	20 bis 28 % TS	zähflüssig, pastös, nicht pumpbar
Siebbandpresse	22 bis 30 % TS	pastös, stichfest
Kammerfilterpresse	40 bis 55 % TS	unter Hinzufügen von Kalk krümelig bis bröckelig, streufähig

Gesetzliche Einschränkungen der für die Landanwendung zulässigen Höchstgrenzen führen automatisch zu einer Vergrößerung der Transportentfernungen. Evtl. noch zu erwartende Sperrfristen für die Ausbringung im Winter erfordern steigende Lagerzeiträume. Damit wird die Frage der Entwässerung auch für die Landanwendung noch weiter an Bedeutung gewinnen.

Für das Ausbringen entwässerten Klärschlammes stehen zunächst Standard- und modifizierte Stallungstreuer zur Verfügung. Eigene Versuche zeigen, daß das Ausbringen funktionell zunächst keine besonderen Schwierigkeiten bereitet. Lediglich bei Kratzboden mit wenigen und flachen Leisten kommt es bei pastösem Material und hoher Ladung infolge der Adhäsion an den Flanken zu sichtbaren Störungen oder ganzlichem Ausbleiben des Austrags.

Für pastöses Material zwischen 15 und 35 % Trockensubstanzgehalt erweisen sich die Dosierung und Verteilung jedoch

keineswegs als zufriedenstellend. Dies gilt insbesondere für die in der Bundesrepublik Deutschland neuerdings festgelegten niedrigen Mengen von 5 t Trockensubstanz pro Hektar in drei Jahren oder ca. 1,7 t TS/ha·a. Problematisch sind sowohl die exakt dosierte Zufuhr des Materials zum Streuwerk während des gesamten Entleerungsvorganges wie die gleichmäßige Verteilung über die effektive Arbeitsbreite. Rollboden oder Schubwand, möglichst mit geschwindigkeitsproportionalem Vorschub sowie angetriebene Streuscheiben, deren Drehzahl der Gabe und Konsistenz des Schlammes angepaßt werden kann oder entsprechende Streuwerke, d.h. insgesamt ein hoher technischer Aufwand ist erforderlich, um den ackerbaulichen Anforderungen beim Einsatz pastösen Klärschlammes zur Düngung gerecht zu werden. Geeignete Streufahrzeuge für diesen Konsistenzbereich stehen meines Wissens nicht zur Verfügung.

Erst auf mehr als 40 % Trockensubstanzgehalt entwässerter Klärschlamm, wie er in Kammerfilterpressen gewonnen wird, ist bröckelig und streufähig und kann einfacher mit konventionellen Streuwagen ausgebracht werden; granulierter Klärschlamm kann sogar exakt mit Mineraldüngerstreuern (Schleuderrad-Düngestreuer) verteilt werden. Insgesamt muß jedoch beim Einsatz pastöser und stichfester Klärschlämme auf die schwer kontrollierbare Düngewirkung organisch gebundenen Stickstoffes hingewiesen werden. Erst bei langfristiger Anwendung kann mit einer gewissen Stabilisierung gerechnet werden. Lange unkontrollierbare Nachwirkungen sind ebenfalls zu beachten.

Aus der Sicht der Landanwendung wäre es wünschenswert, wenn sich möglichst bald besser definierte Konsistenzgrenzen entwässerten Klärschlammes für die Anwendung von Klärschlamm im Rahmen der Pflanzenproduktion herauskristallisieren würden, um eine gezielte Entwicklung für die Dosierung und Vertei-

lung erforderlicher Geräte und Elemente einleiten zu können. Zumindest sollten seitens der Kläranlagenbetreiber eindeutig definierte rheologische Eigenschaften wie pumpbar und streufähig angestrebt werden, um den in der Landwirtschaft in größeren Stückzahlen vorhandenen und eingesetzten Gerätepark nutzen zu können.

Dr.-Ing. Rüdiger Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
Bundesallee 50, 3300 Braunschweig

4. LITERATURHINWEISE

- HUNTER, A.G.M.: Some stability and Control Problems with Trailed Farm Tankers on Slopes.
Journ. of Terramech. 21 (No. 3) 1984,
S. 273-84.
- STRASSER, H.R.: Verregnen von Wasser, Gülle und Klärschlamm.
FAT-Blätter für Landtechnik Nr. 255,
Sept. 84.
- JÄGER, B. u. J. EMBERGER:
Organisation der Klärschlammverwertung.
ATV, St. Augustin 1982.
- KUGEL, G. u. H. WENZEL:
Geordnete Klärschlammunterbringung in der
Landwirtschaft aus der Sicht eines Wasser-
verbandes.
Müll + Abfall 2/80 S. 65/66.
- ANDREWS, D.A.: Sewage Sludge Injection into Agricultural
Land.
Paper, presented to IWPC, East Anglian
Branch, 4.II.81.
- KRAUSE, R.; SÖCHTIG, H. u. F. TIMMERMANN:
Die Beeinflussung der physikalisch-techno-
logischen Bodeneigenschaften durch hohe
Klärschlammgaben.
Zeitschrift für Kulturtechnik 23 (1982)
S. 163-177.
- KRAUSE, R.: Geräte zum Einbringen von pumpfähigem
Klärschlamm in den Boden und
Ausbringen pastöser Schlämme.
Europ. Abwassersymposium (EAS), Basel,
24. - 26. Sept. 1980.

TECHNIK DER KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG IN UNGARN

G. Mucsy, I. Szlávik

1. EINFÜHRUNG

Zweck dieses Berichtes ist es, einen Überblick über Forschungsergebnisse und über diejenigen Methoden zu geben, welche zur Zeit auf dem Gebiet der Klärschlammverwertung in Ungarn angewendet werden.

Durch die wachsende Zahl und Kapazität der Abwasserreinigungsanlagen wuchs das Problem der Schlammbehandlung so gewaltig an, daß das Landesamt für Wasserwirtschaft (OVH) im Jahre 1975 ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufstellte, um die Lösung der Schlammfrage zu sichern. Das Programm endete mit Erfolg im Jahre 1980. Eine Zusammenfassung der erzielten Resultate und Erkenntnisse erfolgte beim 15. ÖWWV-Seminar (1980) in Raach und wurde im Band 34 der "Wiener Mitteilungen" veröffentlicht.

Das Programm war anfangs hauptsächlich auf die Schlammbehandlungsmethoden ausgerichtet und erst ab dem Jahr 1977 gewann die Unterbringung und Verwertung der Abwasserschlämme im Programm eine bevorzugte Rolle. Um das Gewicht des Problems wahrnehmen zu können, muß darauf hingewiesen werden, daß zur Zeit in Ungarn täglich mit etwa 300 t Schlamm Trockensubstanz zu rechnen ist, welche bei der Behandlung der Siedlungsabwässer entsteht.

Die endgültige Unterbringung des Schlammes in Deponien betrachten wir als eine potenzielle Gefährdung der Umwelt, außerdem als sehr platzbedürftig und vermeiden es nach Möglichkeit, obzwar die Gasausbeute eine bescheidenere Nützung möglich machen würde. Die Verbrennung (Wärmeausbeute) des Schlammes gedenken wir in Ungarn nicht allgemein einzuführen. Andere Möglichkeiten der Schlammverwertung, wie z.B. Medizinherstellung, Futtermittel-Herstellung, haben z.Z. keine Bedeutung bei der dringenden Lösung, dieses mit großen Volumina verbundenen Problems. Da in Ungarn wegen seiner geographischen Lage und Bodenbeschaffenheit die landwirtschaftliche Tätigkeit eine außerordentlich wichtige Rolle spielt, messen wir der Verwertung der Abwasserschlämme in der Land- und Forstwirtschaft größte Bedeutung zu. So wurden in Ungarn in erster Linie solche Anstrengungen gemacht, welche das Unterbringen und Verwerten des Abwasser-

schlammes in der Landwirtschaft fördern. In unseren weiteren Ausführungen beschäftigen wir uns darum ganz kurz mit den Fragen der Schlammbehandlung im weiteren, aber ausführlicher mit den Forschungsergebnissen und angewandten Methoden der landwirtschaftlichen Schlammverwertung.

2. ERGEBNISSE DER ENTWICKLUNGSARBEIT AUF DEM GEBIET DER SCHLAMM-BEHANDLUNG

Das Ergebnis der erwähnten Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist es, daß uns jetzt alle diejenigen technologischen Kenntnisse und Einrichtungen zur Verfügung stehen, welche zur gewünschten Aufbereitung des Schlammes nötig sind. Einzig die Besorgung der Polyelektrolyte bedeutet vorläufig ein größeres Problem. Bei der Behandlung des Schlammes soll man gemäß der bei den Versuchen gewonnenen Erfahrungen im Interesse der erfolgreichen Unterbringung und Verwertung der Schlämme auf folgende Kriterien achten:

- die Qualität des Schlammes soll homogen sein
- nach Möglichkeit sollen die Volumina der zu transportierenden Schlämme so klein wie möglich sein
- die Schlämme sollten stabilisiert sein.

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeit ist die Neubearbeitung der Technischen Richtlinien der Schlammbehandlung abgeschlossen, die Ausgabe ist in Vorbereitung.

3. ANGEWANDTE SCHLAMMBEHANDLUNGSMETHODEN

Die Behandlung des Schlammes erfolgt auch in Ungarn gemäß den allgemein bekannten Technologien, wie z.B. Eindickung, aerobe Stabilisierung, Faulung, Entwässerung (auf Trockenbeeten), künstliche Trocknung (TCW), kompostieren mit städtischem Müll nach dem Dano-Bio Verfahren (MUT). Sogar Verbrennung wurde in einer Sala-Drehrohrofen-Anlage praktiziert, welche zwar gut funktionierte, mußte aber wegen der zu hoch gestiegenen Erdölpreise eingestellt werden. Es wird mehr und mehr angestrebt, die Schlammbehandlung immer enger an die Unterbringungs- und Verwertungsmöglichkeiten anzupassen. Heute sind wir in der Lage, den Schlamm so zu behandeln, d.h. vorzubereiten und dann zu liefern, wie und wann es von der Landwirtschaft gewünscht wird. Das ist die erste und wichtigste Voraussetzung der landwirtschaftlichen Verwertung.

4. ERGEBNISSE DER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEIT AUF DEM GEBIET DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN SCHLAMMVERWERTUNG

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der landwirtschaftlichen Schlammverwertung begann im Labor, wurde auf Mikro- und Kleinpflanzen fortgesetzt und wurde schließlich an Hand großtechnischer Erfahrungen ausgewertet. Die Forschungsarbeit wurde im Jahre 1980 nicht abgeschlossen und wird seitdem mit besonderer Hinsicht auf die long-term Effekte in etwas bescheidenerem Rahmen weiterhin fortgesetzt.

Bei den Versuchen haben wir solche Bodenarten verwendet, welche bei der landwirtschaftlichen Verwertung der Schlämme in erster Linie in Frage kommen und welche unsere Bodenarten gut repräsentieren. Als Indikatorpflanzen haben wir solche benützt, welche in der Landwirtschaft verbreitet gezüchtet werden, aber unmittelbar als menschliche Nahrung nicht zur Anwendung kommen. Aus diesem Grunde wurden die Versuche auch mit Baumgewächsen durchgeführt, weil in diesem Falle alle Stoffe, welche für den Menschen schädlich sind, aus der Nahrungskette ausgeschlossen werden können.

4.1 Verwendete Abwasserschlämme

Aus der Sicht der landwirtschaftlichen Verwertung kann man die Abwasserschlämme grundsätzlich nach den folgenden drei Gesichtspunkten qualifizieren:

- Dungwert (pflanzlicher Mikro-, Meso- und Makronährstoffwert)
- Verunreinigung (in erster Linie Schwermetalle)
- Infektions-Fähigkeit (hygienische Aspekte).

Die bei den Versuchen verwendeten Schlämme wurden nach den genannten Aspekten untersucht und stammten aus verschiedenen Siedlungsformen mit verschiedener Vorbehandlung: flüssiger Schlamm roh-, aerob- oder anaerob-stabilisiert, entwässerter Rohschlamm. Die Vorbehandlung hat unter anderem Einfluß auf die Trockensubstanz und organische Substanz des Schlammes. Der aerob stabilisierte Schlamm aus Oxidationsgräben hatte einen Trockensubstanzgehalt von 1% oder weniger, bei den ausgefaulten Schlämmen betrug dieser Wert 6 - 15%, im Durchschnitt 10%. Der TS Gehalt, der mit Hilfe von Siebbandpressen oder Vakuumfiltern entwässerten Schlämme betrug zwischen 25 - 30%, sodaß diese Schlämme auf Deponien gestapelt und mittels Düngerstreuer ausgestreut werden konnten.

Bezüglich des Dungwertes der Schlämme ist es charakteristisch, daß der Anteil der organischen Substanz mehr als 50% der Trockensubstanz beträgt. Bei aerob stabilisierten Schlämmen erreicht die organische Substanz 70 - 80%. Bezüglich der Ergänzung der Bodenfruchtbarkeit ist der Stickstoffgehalt und der Phosphorgehalt der Schlämme bedeutend. Der gemeinsame Gehalt dieser beiden Stoffe macht 3 - 5% der TS aus. Um für die Pflanzen ein günstiges Nährstoffangebot zu sichern, ist in erster Linie Kalium-Kunstdünger als Ergänzung notwendig. Die untersuchten Schlämme sind wegen ihres bedeutenden Gehalts an organischem Material und Pflanzennährstoff zum Düngen und zur Bodenverbesserung geeignet. Die charakteristischen Werte eines aerob stabilisierten Schlamms aus einer mittelgroßen Siedlung sind in Tabelle 1 dargestellt.

Zur Festlegung des Nährstoffgleichgewichtes dürfen die Untersuchungsergebnisse nur solcher Proben verwendet werden, welche unmittelbar vor der Verwendung der Schlämme entnommen worden sind, weil sich während der Lagerung der Nährstoffgehalt ändert. Dazu zeigt Abbildung 1 ein Beispiel, wo in einem entwässerten Schlamm während einer Lagerungszeit von 6 Monaten ein beträchtlicher Nährstoffschwund - in erster Linie Stickstoff - festzustellen ist.

Die Schwermetall-Analysen haben gezeigt, daß die Konzentrationen der heimischen Schlämme im Vergleich mit Werten oder internationaler Fachliteratur im und unter deren mittleren Bereich liegen. Die Streuung der Werte lenkt aber die Aufmerksamkeit auf die Änderung der Schlammqualitäten und auf die Notwendigkeit der stetigen Kontrolle.

Man muß auch die Infektionsfähigkeit der Fäkalschlämme immer berücksichtigen, weil sie konzentriert diejenigen Krankheitserreger beinhalten, welche im Abwasser enthalten sind.

Die Klärschlämme enthalten aber auch andere Mikroorganismen, wie z.B. Bodenbakterien, welche zur Aufrechterhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit beitragen können. Am Lehrstuhl für Bodenkunde und Mikrobiologie der Agrar-Wissenschaftlichen Universität Debrecen, hat man im ausgefaulten Schlamm folgende Werte gefunden:

Gesamt-Bakterienzahl	10 ⁶ /g	713,14
Eiweißabbauende, aerobe Bakt.	10 ⁶ /g	14,26
Stickstoffbindende, aerob.Bakt.	10 ⁶ /g	2,88
Zellstoff abbauende, aerob.Bakt.	10 ³ /g	3,06
Nitrifizierende Bakterien	10 ³ /g	18,26

Komponente		Schlamm			Schlammwasser		
		Min.	Max.	Durchschn.	Min.	Max.	Durchschn.
1.		2.	3.	4.	5.	6.	7.
pH		6,8	7,2	7,12	7,2	7,6	7,3
CSB	mg/l	3750	13900	8559	97	342	187
BSB ₅	mg/l	2170	8210	4082	12	160	66
Leitfähigkeit	μS cm^{-1}	947	1206	1080	1035	1224	1122
Ges. T.S.	mg/l	6223	11951	8558			
Ges. Org. S	mg/l	4825	8850	6418			
Ca ⁺⁺	mg/l	145	276	213	55,0	88,9	66,8
Mg ⁺⁺	mg/l	28	108	56	256	35,4	30,2
Na ⁺⁺	mg/l	78	140	105	80,3	119,5	103,9
K ⁺	mg/l	31	87	55	21,5	34,4	28,1
Na%					35,3	46,3	41,3
Mg%					19,0	25,3	22,4
Ges. N	mg/l	59,4	173,6	93,9			
NH ₄ ⁺	mg/l				Sp.	Sp.	Sp.
NO ₂ ⁻	mg/l				0,04	0,73	0,17

Tabelle 1. 1. Teil

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
CO_3^{--}	mg/l					∅	0,4	-
HCO_3^-	mg/l					∅	∅	∅
Cl^-	mg/l					515,4	640,5	594,4
SO_4^{--}	mg/l					64,0	106,5	76,7
Ges. P	mg/l		200	370	294			
PO_4^{---}	mg/l					3,5	52,5	23,7

Untersuchungsergebnisse aus 9 Proben gewonnen monatlich in den Monaten
Februar-Oktober

Tabelle 1. QUALITÄT DES ANAEROB STABILISIERTEN SCHLAMMES
KISKUNHALAS, 1980

(Messungen des Lehrstuhls für Chemie und Bodenkunde der Hochschulfakultät der
Agrarwissenschaftlichen Universität Debrecen)

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß sich die nützlichen Bodenbakterien während der Deponierung vermehren, im Gegensatz zu den Krankheitserregern, welche ganz absterben oder deren Zahl sich bedeutend verringert.

4.2 Einfluß der Abwasserschlämme auf die Böden

Durch die landwirtschaftliche Verwertung der Schlämme erhalten die Böden große Mengen an nützlichen organischen Stoffen, Pflanzennährstoffen und abhängig von ihrer Kontamination auch beträchtliche Mengen an Schwermetallen. Die durchgeführten Bodenuntersuchungen haben die Akkumulation von nützlichen organischen Stoffen und Makronährstoffen bestätigt. Nach der dreijährigen Behandlung des Bodens mit einer Schlammrockensubstanz - Dosis von 130 - 180 t/ha.a - konnte man einen Humusgehalt-Anstieg von 2 - 3% feststellen. Das haben mehrere Feldversuche untermauert. Die Untersuchungen des Lehrstuhls für Bodenkunde der Gartenbau Universität deuten darauf hin, daß durch die Schlammbehandlung die oberste Schichte der Böden in erster Linie mit rohen organischen Stoffen angereichert wird. In diesem Zusammenhang hat man eine analytische Methode zur Bestimmung der Humusqualität ausgearbeitet, mit welcher man den sogenannten Stabilitäts-Koeffizienten (das Verhältnis zwischen den stabilisierten und rohen Humusstoffen im Boden) ausrechnen kann. So ist es möglich, die wirklichen Humusmengen in den verschiedenen Böden zu vergleichen. Je größer der Wert des Koeffizienten ist, desto günstiger gestaltet sich die Humusqualität. Als Wirkung der Schlammbehandlung vermindern sich die Stabilitäts-Koeffizienten in den oberen Bodenschichten als ein Zeichen dafür, daß hier rohe organische Stoffe eingearbeitet wurden. Kleinparzellenversuche haben gezeigt, daß mit der Zahl der Behandlungen und bei größeren Belastungen diese Wirkung stärker wird.

Die biologische Aktivität des Bodens, die biochemischen Prozesse sind imstande etwa 12 - 13 t/ha.a an roher organischer Masse aufzuarbeiten und in eine günstige Richtung umzuformen (Abbildung 2).

Von den Makronährstoffen ist es der Phosphor, dessen (mit dem Schlamm hinausgebrachte) Menge in der bearbeiteten oberen Bodenschicht nachweisbar ist, also er sammelt sich dort an. Die Menge des Nitrit- und Nitratstickstoffes wächst mit steigender Schlammbelastung auch in den tieferen Bodenschichten, so kann man - gemäß seiner Mobilität - bei größeren Belastungen mit einer Stickstoff Auswaschung rechnen. Diese Behauptung wird von den Diagrammen der Abbildung 3 bestätigt.

Eine einzige Behandlung verursacht unabhängig von der Dosis keine größere Belastung der Umwelt. Nach mehreren Behandlungen kann man schon eine beträchtliche Umweltbelastung beobachten. Eine Trockensubstanz-Dosis von 35 t/ha.a verursacht kein weiteres Ansteigen des auslaugbaren Stickstoffvorrates auch nach mehreren Behandlungen. Mit der Auslaugung der Schwermetalle aus dem Boden binnen kurzer Zeit, müssen wir nicht rechnen, weil sie sich in den oberen Schichten ansammeln. Bei mit Schwermetallen überhaupt nicht oder wenig kontaminierten Schlämmen, hauptsächlich mit kleineren Dosen durchgeführten halbtechnischen Versuchen und Betriebsexperimenten konnte keine Anreicherung der Schwermetalle im Boden festgestellt werden. Bei den Versuchen mit Schlämmen die aus der Kläranlage Südpest stammten und mit Schwermetallen stark belastet waren, konnte bei Kleinparzellen-Experimenten nach mehrmaliger Behandlung in den oberen Bodenschichten - fast bei allen untersuchten Schwermetallarten - ein signifikanter Unterschied zwischen einzelnen Belastungen beobachtet werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen deuten darauf hin, daß die Schlamm-Düngung eine Anreicherung der Schwermetalle im Boden verursachen kann. Demgemäß muß die Dosierung der Schlämme so erfolgen, daß die Akkumulation der Schwermetalle die noch tolerierbare Grenze nicht überschreitet. Resultate von an verschiedenen Bodenarten durchgeführten Versuchen zeigen eindeutig, daß die Schlammausbringung die verschiedenen mikrobiologischen Prozesse in eine günstige Richtung steuert. Bei großtechnischen Experimenten konnte auch festgestellt werden, daß die Wirkung des Schlammes und des Stalldüngers auf die Vermehrung der Bakterien gleich ist.

4.3 Einfluß der Abwasserschlämme auf die gezüchteten Pflanzen

Bei der Unterbringung der Abwasserschlämme in die Böden spielen unter den nutzbaren Kulturen die Baumgewächse eine sehr wichtige Rolle. Von besonderer Bedeutung sind hier die rasch wachsenden zu industriellen Zwecken verwendeten Waldkulturen. Am besten erträgt die Schlammdüngung die Euramerikanische Pappel clon 'I-214' (*Populus x euramericana* cv' I-214). An Hand des Höhen- und Breitenwachstums konnte bei einem ein- bzw. zweimaligen Austrag von 58 t/ha Schlamm Trockensubstanz ein zweistufiger Sprung in der Holzausbeute beobachtet werden.

Bei der Euramerikanische Pappel 'Robusta' (*Populus x euramericana* cv 'Robusta') wurde das beste Resultat bei ein- und zweimaliger Ausbringung von 29 t/ha Schlamm Trockensubstanz erzielt.

Die Setzlinge der Weißweide clon 'Bédai egyenes' (*Salix alba* cv 'Bédai egyenes'), der Weißpappel (*Populus alba*) und der Akazie (*Robinia pseudo-acaccia*) waren unempfindlich gegen die Schlammbehandlung, auf Kiefer (*Pinus Silvestris*) war die Wirkung negativ.

Die Erträge der Baumgewächse beweisen eindeutig, daß die Unterbringung des Schlammes mit beträchtlichem Nutzen verbunden sein kann. Die Euramerikanische Pappel clon 'I-214' und die Euramerikanische Pappel clon 'Robusta' machten bei den obigen Schlamm dosierungen im Vergleich einen Mehrertrag von 4000 Ft/ha bzw. 900 Ft/ha mit Kontrollflächen möglich.

Das Wachstum und die Entwicklung der Feldkulturen hat im allgemeinen die Dungwirkung der Siedlungs-Abwasserschlämme positiv bestätigt. Ausgenommen sind solche Pflanzen wie Bohnen, Erbsen, welche organische Düngung und im allgemeinen ein Nährstoff Mehrangebot nicht vertragen. Das Wachstum der Feldkulturen betrug am Ende der Vegetationsperiode auf den mit Schlamm behandelten Flächen um 20 - 150% mehr als auf den Kontrollflächen.

Die größere Menge der Pflanzennährstoffe der Schlämme bewirkt in erster Linie die vegetative Entwicklung der Pflanzen. Das zeigte sich bei Versuchen auf Treibsandboden mit aerob stabilisiertem Schlamm, mit Silomais als Indikatorpflanze, bei einer Belastung von 80 t/ha.a Trockensubstanzbelastung durch 3 Jahre hindurch. Man konnte hier eine Ertragsdifferenz von 300 % verbuchen (Abbildung 4). Neben dem Mehrertrag bei der grünen Masse ist auch bei verschiedenen Pflanzen eine günstige Wirkung bezüglich des Kornertrages festzustellen. Im Falle von Herbstweizen konnte auf humushaltigem Sandboden bei 87 t/ha Schlamm-trockensubstanzbehandlung (ausgefaulter Schlamm) 52 % Mehrertrag (Korn) erzielt werden. Unter ähnlichen Bedingungen wurden mit dem selben Schlamm bei verschiedenen Belastungen mit Mais um 40 - 49 % höhere Kornerträge als auf den Kontrollflächen erreicht.

Die Klärschlammausbringung verursacht in der Qualität der Feldkulturen keine schädliche Wirkung. Auf die Gestaltung derjenigen Komponenten, welche einen Einfluß auf die Verwendung als Futterpflanze haben, übt die Schlammbelastung des Bodens keinen Einfluß aus. Bei den Mikroelementen konnte ein Ansteigen des Zink-, Cadmium- und Kupfergehaltes nach systematisch angewandten großen Schlammbelastungen - mit Schwermetallen stark kontaminierten Schlämmen - festgestellt werden. Die Akkumulation ist in

den verschiedenen Pflanzen unterschiedlich: Weizen z.B. nimmt weniger Schwermetalle auf als Sudangras.

Die Düngerwirkung des Schlammes macht sich auf zwei Weisen bemerkbar. Im ersten Jahr haben wir mit der sofortigen Düngerwirkung zu tun, wobei der Schlamm ihre Wirkung während der ersten Vegetationsperiode unmittelbar nach dem Ausbringen ausübt. In diesem Falle kommen die Pflanzen bei 20 - 30 t/ha Schlammrockensubstanz-Belastungen zu den Nährstoffmengen, welche sie zu maximalen Erträgen brauchen. Die Langzeitwirkung der Abwasserschlämme macht sich auch bei einmaliger, mit größerer Dosis durchgeführter Behandlung so bemerkbar, daß in nacheinanderfolgenden Jahren gleichbleibende größere Ernteerträge erreichbar sind.

Mit abnehmenden jährlichen Schlamm Dosen sinken auch die Erträge, aber sie überbieten noch nach Jahren die Resultate der Null-Kontrollflächen.

Eine toxische Wirkung der Abwasserschlämme auf die Pflanzen konnte nicht festgestellt werden. In einem Versuch, wo während vier Jahren mehr als 600 t/ha Schlammrockensubstanz ausgebracht worden ist, gedeihen die landwirtschaftlichen Kulturen und sind gesund. Natürlich darf diese Belastung in der Praxis nicht maßgebend sein. Diese Erfahrungen sind aber beruhigend in der Hinsicht, daß, wenn wir mit kleineren Belastungen allmählich eine bestimmte Schlammbelastung erreichen, oder die gleiche durch eine einzige größere Schlammbelastung verwirklichen, mit einer schädlichen Wirkung nicht rechnen müssen.

4.4 Hygienische Beurteilung der landwirtschaftlichen Schlammverwertung

Die Unterbringung der Abwasserschlämme auf landwirtschaftlichen Flächen ist aus hygienischer Sicht mit folgenden Gefahren verbunden:

- Sie enthalten Krankheitserreger, welche für diejenigen die sich damit befassen, eine Infektionsgefahr bedeuten
- Sie enthalten toxische Substanzen, welche in die Nahrungskette gelangen können
- Die Krankheitserreger und toxische Substanzen können das Grundwasser kontaminieren.

Demgemäß entstehen zwei grundlegende Fragen:

- Inwiefern repräsentiert eine landwirtschaftliche Fläche mit Abwasserschlammverwertung eine größere potentielle Gefährdung der Gesundheit

und verlangt eine besondere hygienische Beurteilung, als eine Fläche mit herkömmlicher Düngung?

- Wie lange dauert die Wirkung des Schlammes?

An Hand der durchgeführten Untersuchungen konnten wir feststellen, daß die Ansteckungsfähigkeit der mit Abwasserschlamm behandelten Böden nach der Ausbringung in 4 - 9 Monaten allmählich auf das Niveau einer landwirtschaftlichen Fläche ohne Düngung absinkt. Bei jährlich einmaliger Ausbringung des Schlammes werden die Lebensgemeinschaft des Bodens und die verschiedenen Einflüsse so gut ausgenützt, daß der infektiöse Schlamm bzw. der kontaminierte Boden bis zur Zeit der Ernte ihre gesundheitsschädigende Wirkung verlieren. Dies kann aus human-hygienischer Sicht als günstig beurteilt werden.

Der Abwasserschlamm selbst kann hygienisch gesehen, selbst mit verschiedener Behandlung günstiger gestaltet werden (Pasteurisieren, Kompostieren, Kalkbehandlung usw.).

Mit entwässertem, rohem Schlamm durchgeführte Versuche zeigten, daß der Schlamm nach 4 - 6monatiger Lagerung bedeutend an Infektionsfähigkeit verliert. Nachher kann der Schlamm mit der herkömmlichen Technologie des organischen Düngers ausgestreut werden ohne dabei besondere Vorsichtsmaßnahmen treffen zu müssen.

Die großtechnischen Untersuchungen, bei denen festzustellen war, ob das Ausbringen von Klärschlamm eine bakterielle Verseuchung des Grundwassers verursacht, zeigten, daß auch bei fortgesetzter Schlammasbringung im 1,5 - 2,0 m tief liegenden Grundwasser keine auf Fäkalien zurückzuführende Kontamination erfolgt war.

Eine größere Gefahr stellt für das Grundwasser das Nitrat dar. Das große Ansteigen der Nitratkonzentration kann nur durch die Bestimmung der zulässigen Schlammbelastung vermieden werden, bei welcher man den Stickstoffgehalt des Schlammes in Betracht nimmt. Dazu muß man noch bemerken, daß die Hintergrundverschmutzung des Grundwassers wegen der Anwendung von Kunstdünger in der Landwirtschaft schon an mehreren Punkten unseres Landes die kritische Grenze überschritten hat.

In der hygienischen Beurteilung der landwirtschaftlichen Abwasserschlammverwertung tritt immer mehr der Schwermetallgehalt der Schlämme in den Vordergrund. Darum war es bei allen Versuchen eine wichtige Aufgabe, den

Weg der Schwermetalle zu verfolgen. Bei einigen Versuchen gingen die Untersuchungen bis zur Probefütterung mit denjenigen Pflanzen, welche von mit Abwasserschlämmen behandelten Flächen stammten und dehnten sich auch auf die Untersuchung der geschlachteten Tiere aus. Dabei konnte man allgemein keine Anhäufung von Schwermetallen in den Tieren und in den Produkten nachweisen.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß aus hygienischer Sicht eine einwandfreie Unterbringung der Schlämme in der Landwirtschaft, indem wir die Akkumulation der Schwermetalle, die Kontamination des Grundwassers vermeiden oder die gegebenen Grenzen nicht überschreiten und die Infektionsgefahr durch - zeitlich vorgeschriebene - notwendige Schutzmaßnahmen ausschalten oder unter einem annehmbaren Risikograd halten, durch geeignete Schlammbelastungen und ständiger Kontrolle möglich ist.

5. ANGEWANDTE METHODEN DER KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG IN DER LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT

Wie schon ausgeführt, wird der größte Teil des in Ungarn aus kommunalen Kläranlagen stammenden Abwasserschlammes in der Land- und Forstwirtschaft untergebracht und verwertet. Die dabei angewandten Methoden - unter denen auch ältere zu finden sind - sind untersucht, in der Praxis getestet worden und können nur unter Aufsicht betrieben werden. Im weiteren behandeln wir die in Ungarn zur Zeit allgemein verwendeten Schlamm-Unterbringungs- und Verwertungstechnologien.

5.1 Unterbringung von flüssigen Schlämmen in Pappelkulturen

Die Abwasserkläranlage der Stadt Kiskunhalas mit einer Kapazität von 10.000 m³/d arbeitet mit dem Totaloxidationsverfahren. Der aerob stabilisierte Schlamm wird von einer Schlammpumpe im Rezirkulationsgebäude durch eine 4 km lange Druckleitung zur Verwertungsanlage befördert. Die Anlage hat eine sandige Waldfläche von 10 ha, ist mit 0,6 m tiefen Gräben zur Oberflächenbewässerung versehen. Die Baumart ist Euramerikanische Pappel clon 'I-214'.

Die Verteilung des flüssigen Schlammes geschieht mit Hilfe von unterirdischen Druckleitungen, Hydranten und letzten Endes mit fliegenden Leitungen, welche in die Gräben münden. Die Übersiedlung der einzelnen fliegenden Leitungen erfolgt intermittierend nach dem Auffüllen der Gräben der einzelnen Flächeneinheiten. Das Schlammverwertungssystem kann

auf einmal 600 m³ Schlamm aufnehmen. Wenn es notwendig erscheint, ist es zur Ergänzung des Wasserbedarfes auch möglich, von der Kläranlage gereinigtes Abwasser zu beziehen.

Die beschriebene Anlage ist seit 1979 in Betrieb und verwertet die gesamte, in der Kläranlage entstehende Schlammmenge.

5.2 Unterbringung von flüssigen Schlämmen auf Ackerland und in Baumkulturen

Diese Technologie wurde am Lehrstuhl für Wasserwirtschaft und Melioration der Agrarwissenschaftlichen Universität Gödöllö auf Bestellung der Hauptstädtischen Kanalisationswerke ausgearbeitet.

In den Jahren 1977 - 1980 wurde insgesamt achtmal mit dieser Methode Schlamm auf den sandigen Versuchsacker der Agrarwissenschaftlichen Universität Gödöllö ausgetragen. Auch im Versuchs-Obstgarten hat sich dieses Verfahren bewährt. In Alsónémedi wird seit 1979 nach diesem Prinzip auf Sandboden gearbeitet, wo der anaerob stabilisierte Gemischtschlamm der mechanisch-biologischen Südpester Kläranlage - welche eine Kapazität von 72.000 m³/d hat - untergebracht und verwertet wird.

Der Transport des Schlammes auf das Feld erfolgt mit Tankwagen, welche den Schlamm unmittelbar in die schon vorher ausgebildeten s.g. Furchenmulden leeren. Die Furchenmulden sind mit Pflug ausgebildete, etwa 30 - 40 cm tiefe und ca. 1,5 m breite flache Erdbecken, deren Länge - von der Bodenneigung, vom Arbeitsgang abhängig - nach dem maschinellen Ausziehen der Mulden durch Erddämme begrenzt ist.

Die Technologie wird in drei Schritten durchgeführt:

- Ausbildung der Furchenmulden mittels Pflügen
- Schlammfüllung der Furchenmulden unmittelbar von Tankwagen
- Zudecken der Furchenmulden nach Versickerung des Schlammes, Herstellung der ursprünglichen Bodenoberfläche.

Die Ausbildung der Furchenmulden wird im Sommer anstatt Unterpflügen, im Winter als Tiefpflügen durchgeführt und kann somit diese sonst notwendigen agrotechnischen Prozesse ersetzen. Das Zudecken der Furchenmulden entspricht der Bodenvorbereitung vor Beginn der Aussaat. Die Arbeit kann mit gebräuchlichen agrotechnischen Geräten durchgeführt werden.

In der Praxis muß man mit vorübergehender Speicherung des Schlammes rechnen.

Die Technologie ist nicht platzgebunden, man kann jedes Jahr eine andere Fläche aussuchen. Nur etwaige ungünstige Geländeformationen können die Anwendung dieser Technologie begrenzen, weil in diesem Falle die gleichmäßige Verteilung des Schlammes nicht gewährleistet werden kann.

Man kann mit dieser Technologie sowohl im Sommer als auch im Winter eine maximale Schlammmenge von 3000 m³/ha ausbringen, wenn dies die Qualität des Schlammes bzw. die festgelegte Dosis erlauben.

5.3 Unterbringung von flüssigen Schlämmen mittels Injektierung unter die Oberfläche

Die unmittelbare Injektierung des flüssigen Schlammes in den Boden kann auch eine Lösung bei der Unterbringung und Verwertung der Schlämme in landwirtschaftlichen Gebieten darstellen.

Die eine Möglichkeit besteht darin, daß man den Schlamm in die obere Bodenschicht 15 - 20 cm tief in die s.g. aktive Wurzelzone injiziert. Der Abbau der organischen Stoffe des Schlammes geht wegen den aeroben Bedingungen verhältnismäßig rasch vor sich. Die andere Möglichkeit besteht darin, den Schlamm in eine Tiefe von 50 - 60 cm einzubringen. Dieses Verfahren ist in erster Linie in Sandböden mit extremem Wasserhaushalt zu empfehlen, weil der in der tieferen Schicht zurückbleibende Schlammteppich - wassersperrende Schicht - den Wassergehalt der oberen Schichten erhöht.

Die Injektoren können an durch Traktoren geschleppte Tankfahrzeuge, an auch zum Transportieren benützte Tanklastkraftfahrzeuge, an Traktoren oder an geschleppte fahrbare Rahmen anmontiert werden. Diese Geräte werden bereits in Ungarn hergestellt. Im Ausland gibt es schon auch für den Transport geeignete Zielfahrzeuge. Der eingedickte, teilweise stabilisierte Primärschlamm der Kläranlage Debrecen - welche eine Kapazität von 80.000 m³/d hat - wird mit so einem 13 m³ Schlamm fassenden Zielfahrzeug injiziert.

Die Versorgung dieser Zielmaschinen kann mit Tankwagen erfolgen, sie können mit flexiblen Rohren an die Hydranten unterirdisch verlegter Leitungen angeschlossen werden, oder von - im Schwerpunkt der zu bearbeitenden Fläche liegenden - provisorischen Erdspeicherbecken aus mittels Pumpen und beweglichen Kunststoffrohren gespeist werden. Das Verfahren kann sowohl auf Ackerfeldern wie in Wäldern und in anderen Kulturen ange-

wandt werden. Aber in allen Fällen muß die Notwendigkeit der Zwischenspeicherung betont werden.

5.4 Landwirtschaftliche Unterbringung entwässerter Schlämme

Nach den bisherigen heimischen Erfahrungen kann die Unterbringung der entwässerten Schlämme am günstigsten in die ackerbaulichen Technologien bzw. agrotechnischen Prozesse der Landwirtschaft eingegliedert werden, indem man auf diese Weise die Ansprüche, Gegebenheiten und Möglichkeiten des landwirtschaftlichen Betriebes als Empfänger am meisten berücksichtigt. Da die Konsistenz des entsprechend entwässerten Schlammes der des herkömmlichen organischen Düngers sehr ähnlich ist, stimmt die Ausbringungsmethode mit der des organischen Schlammes überein. Im weiteren werden zwei Methoden zum Verwerten von flüssigem Schlamm erläutert, zwischen denen ein Unterschied in den verwendeten Geräten, in ihren Typen und in der Verschiedenheit der zur Flockung benützter Konditionierungsmittel besteht.

5.4.1 Die Tatabánya-Környe Technologie

Auf der mechanisch-biologischen Kläranlage der Stadt Tatabánya, welche eine Kapazität von 22.000 m³/d hat, wird der gemischte Schlamm eingedickt, dann ohne Stabilisierung mit Zugabe von Polyelektrolyten konditioniert und schließlich mit einer Filterpresse entwässert.

Den so entwässerten frischen Schlamm transportiert man mittels geschlossener und selbstentleerbarer Container zur Zwischenlagerung in Deponien. Hier wird der Schlamm gesammelt und bleibt durchschnittlich ein halbes Jahr bis zur Ausstreuung. Die Deponien sind im Schwerpunkt der zu behandelnden Fläche ausgebildet, so daß die kurzen Ausbringungsdistanzen eine gute Ausnutzung der Streufahrzeuge ermöglichen. Das Laden der Fahrzeuge kann mit jedem Bagger oder mit einem Löffel versehenen Ladegerät durchgeführt werden. Das Ausstreuen selbst ist mit dem gewöhnlichen Miststreuer durchführbar.

Die Einarbeitung des Schlammes in den Boden kann mit einer gewöhnlichen oder mit einer Scheibenegge in guter Qualität erfolgen.

Die erläuterte Technologie wurde in Környe erstmals als Versuch im Jahre 1978 erprobt. Die großtechnische Anwendung begann 1983.

5.4.2 Die Szombathely Technologie

Die Stadt Szombathely hat eine mechanisch-biologische Kläranlage mit einer Kapazität von 30.000 m³/d. Der gemischte Primär- und Sekundärschlamm wird nach dem Eindicken und dem Homogenisieren mit Kalkhydrat und Eisenchlorid konditioniert und auf Vakuumfiltern entwässert. Der entwässerte Schlamm wird dann in Containern in die zeitweiligen Deponien transportiert, welche in der Umgebung der Unterbringung liegen. Die Deponierungszeit beträgt durchschnittlich 3 - 6 Monate. Die Methode des Ausstreuens und der Einarbeitung in den Boden ist die gleiche, welche im Punkt 5.4.1 erwähnt worden ist.

Der große Vorteil dieser Lösung ist, daß wegen der Kalkung keine Geruchsbelästigung eintritt und die Infektionsgefahr bedeutend herabgesetzt wird. Der Schlamm der Kläranlage Szombathely wird seit 1978 in drei landwirtschaftliche Genossenschaften verwertet.

5.5 Andere Methoden

Im weiteren planen wir die Erprobung von bei uns bis jetzt noch nicht angewendeten Verfahren, wie das Ausspritzen von flüssigem Schlamm unmittelbar aus dem Tankwagen, das Ausspritzen mittels Schlammkanonen und die Anwendung etwaiger anderer Methoden.

6. REGELUNG UND KONTROLLE

Die umfassende Regelung der landwirtschaftlichen Abwasserschlammentwertung ist durch die gemeinsame Verlautbarung über die Veröffentlichung der Regelung der Abwasserunterbringung 9003/1983 (MEM. E.11) des Landwirtschafts- und des Gesundheitsministeriums und des Landesamtes für Wasserwirtschaft (OVH) gewährleistet. Außerdem steht u.a. noch die Technische Richtlinie MI-10-420-83 "Unterbringung und Verwertung der Abwasserschlämme in der Landwirtschaft" zur Verfügung.

Die Kontrolle bei der Durchführung der Verwertung ist außer jener von der landwirtschaftlichen Einheit, wo die Verwertung erfolgt, eigentlich eine vierfache: seitens des Schlammerzeugers, der zuständigen Wasserwirtschaftsdirektion, der Gesundheitsbehörde und der Pflanzenschutz- und Agrochemischen Station.

7. ORGANISATORISCHE ASPEKTE

Um die organisatorische Seite der landwirtschaftlichen Schlammverwertung beurteilen zu können, müssen wir feststellen, daß die Produktion des Abwasserschlammes mit einer notwendigen Dienstleistung zusammenhängt. Die Pflicht zur Nutzung oder umweltfreundlichen Unterbringung des Schlammes lastet auf den Betreiber der Kläranlagen. Keine Pflicht aber zwingt die Landwirtschaft dazu, den Schlamm, wenn er auch noch so nützlich ist, von den Kläranlagen zu übernehmen. Dieser Zwang zur Unterbringung des Schlammes wird natürlich gemäß den Gesetzen des Marktes seitens der Landwirtschaft voll ausgenützt. Das hat zur folgenden Situation geführt: die Kläranlagen transportieren und laden den Schlamm in der vereinbarten Qualität, Konsistenz, Menge und Zeit dort ab, wo der landwirtschaftliche Betrieb es haben will. Die Transportkosten belasten immer die Kläranlagen. Die Verteilung der Investitionskosten des eventuellen Schlammspeichers und Streuung und Einarbeitung des Schlammes sind jeweils Gegenstand einer Vereinbarung; das heißt, daß der Schlammproduzent einen Teil dieser Kosten auch decken muß. Die Kosten der Untersuchungen, welche mit der landwirtschaftlichen Verwertung im Zusammenhang sind, werden auch seitens der Kläranlagen beglichen. Außerdem besteht immer die Gefahr, daß die landwirtschaftliche Einheit etwaige auftretende Schäden der Schlammqualität zumutet und eine Entschädigung verlangt.

Bei der Planung der landwirtschaftlichen Verwertung müssen wir also mit den genannten finanziellen Belastungen rechnen.

8. DIE GESTALTUNG DER ZUKUNFT

Die bisherigen Untersuchungen haben bewiesen, daß die Unterbringung und Verwertung der Abwasserschlämme in der Land- und Forstwirtschaft ohne Gefährdung der Gesundheit, umweltfreundlich durchgeführt werden kann. Gestützt auf diese Feststellung, soweit wir es heute abschätzen können, wird die landwirtschaftliche Unterbringung und Verwertung der Abwasserschlämme in der Zukunft an Wichtigkeit zunehmen. Es sei dazu noch bemerkt, daß die bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen darauf deuten, daß die Verwertung des Schlammes in der Forstwirtschaft mit beachtlichen Vorteilen verbunden sein kann. Demgemäß ist auch auf diesem Gebiet eine Erweiterung der Möglichkeiten der Verwertung zu erwarten. Deshalb müssen die Anstrengungen zum Fernhalten von Schadstoffen vom Abwasserschlamm fortgesetzt werden.

Wenn die Fortschritte der Biotechnik in der Zukunft eine nützlichere Verwertung des Schlammes möglich machen würden, wird man wahrscheinlich die Unterbringung des behandelten Schlammes wegen seiner großen Masse doch in der Landwirtschaft suchen müssen. Um die starke Abhängigkeit von der Landwirtschaft zu lockern und die Kosten zu senken, sind auch solche Vorstellungen entstanden, wonach die landwirtschaftliche Unterbringung und Verwertung des Schlammes auf eigenen Flächen der Wasserbranche in eigener Bewirtschaftung durchgeführt werden könnte.

Dipl.-Ing. György MUCSY

István SZLAVIK

Forschungszentrale für Wasserwirtschaft

H-1095 Budapest; Kvassay J. ut 1

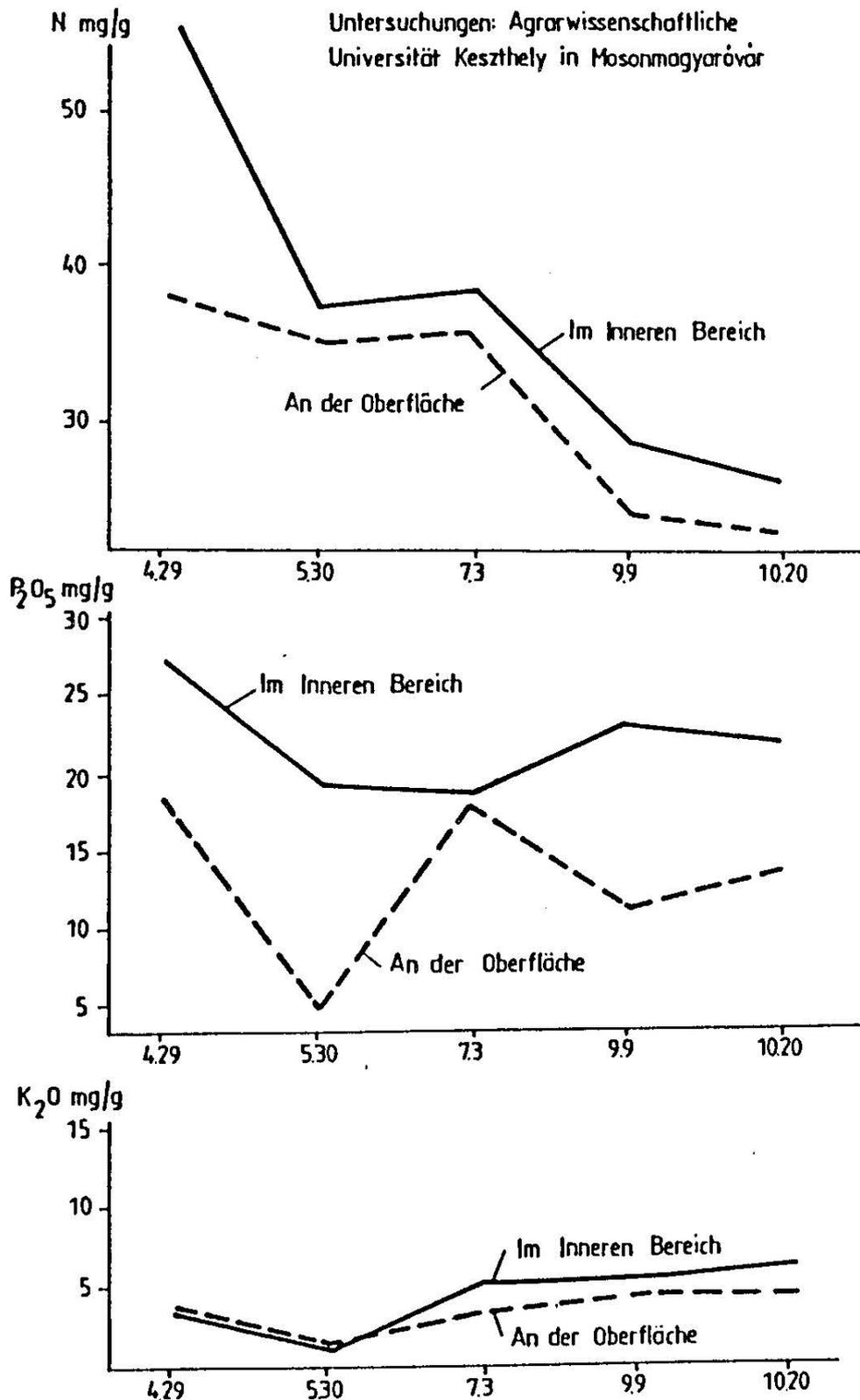


Abbildung 1. Gestaltung der Pflanzen - Nährstoffe während der Lagerung

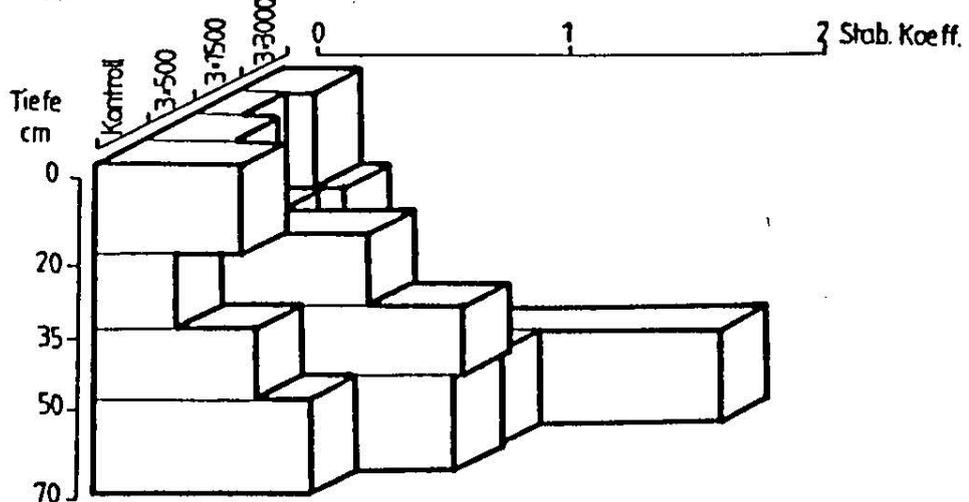
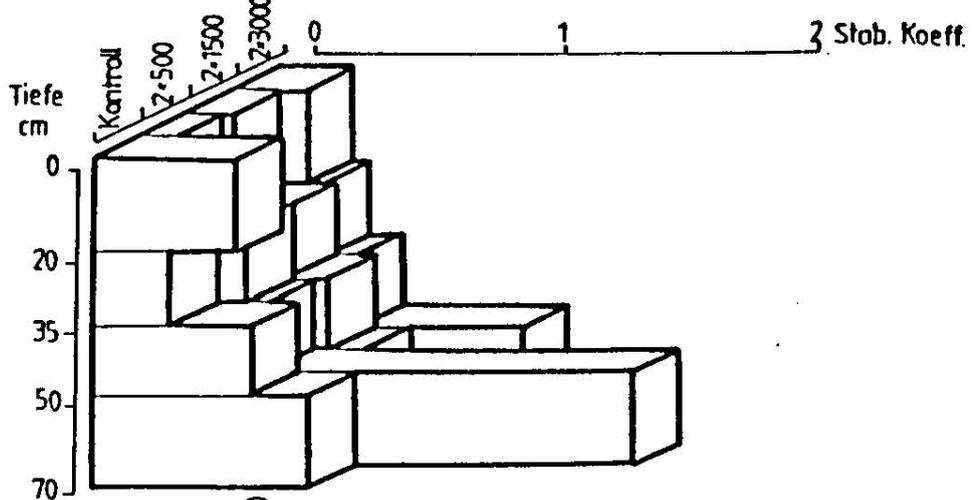
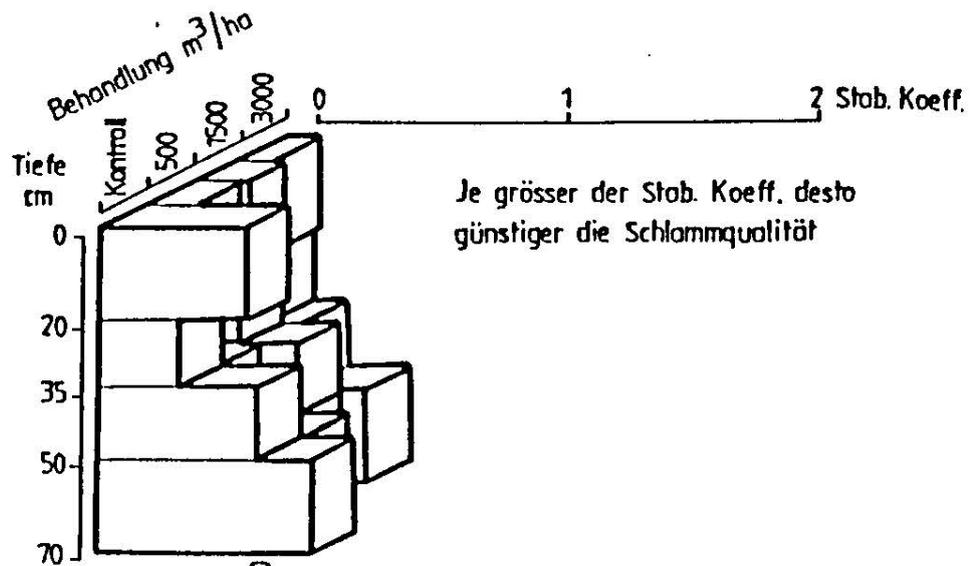


Abbildung.2. Gestaltung des Humus - Stabilisierungs Koeffizienten /Gödöllö 1980/

Untersuchungen des Lehrstuhls für Bodenkunde der Universität für Gartenbau

Untersuchungen des Lehrstuhls für Bodenkunde der
Universität für Gartenbau

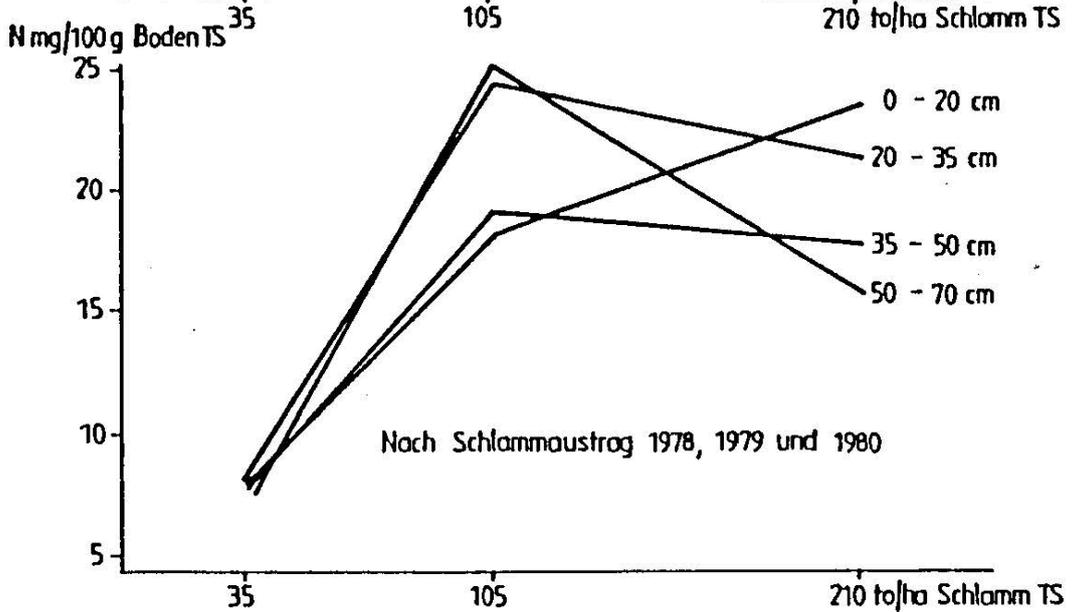
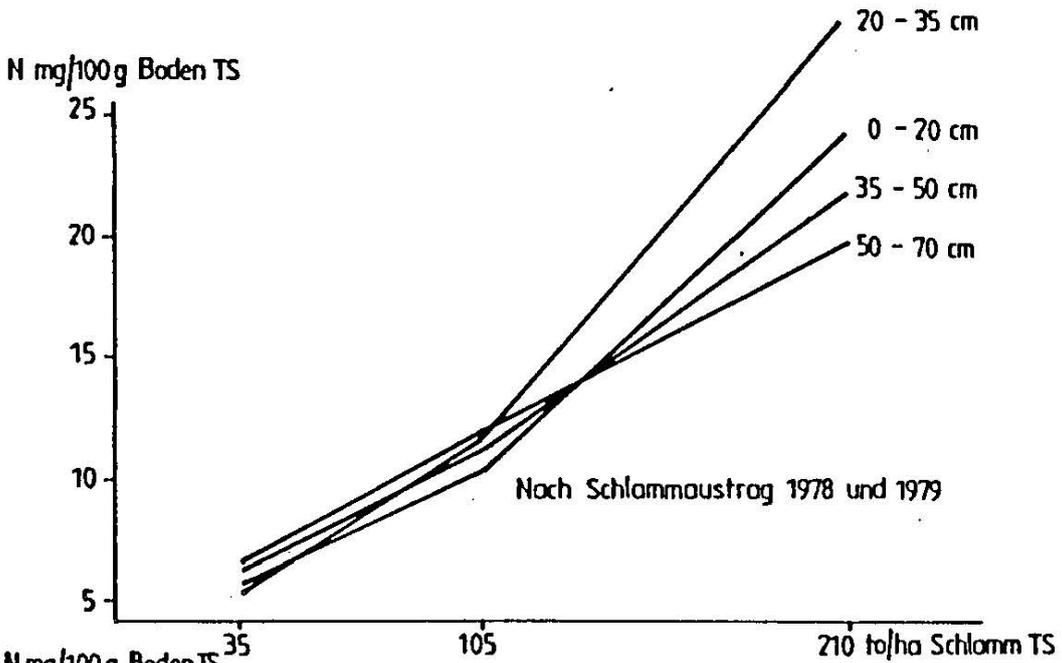
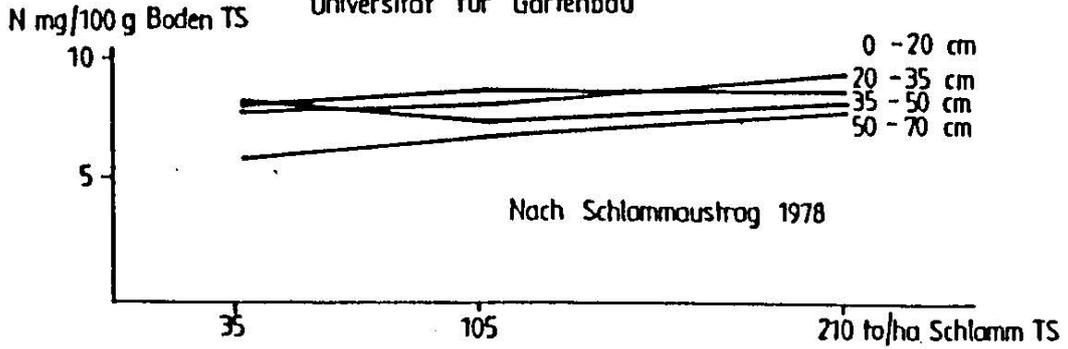


Abbildung 3. Gestaltung des leicht löslichen Stickstoffgehaltes im
Boden

(Auf Grund der Untersuchungen:
Wasserwerk DBKM - VITUKI)

Behandlungen	Ausgebrachte Schlamm TS to/ha			
	1978 Frühl.	1978 Herbst	1980 Frühl.	Ges.
1	φ	φ	φ	φ
2	10	10	10	30
3	20	20	20	60
4	40	40	40	120
5	80	80	80	240

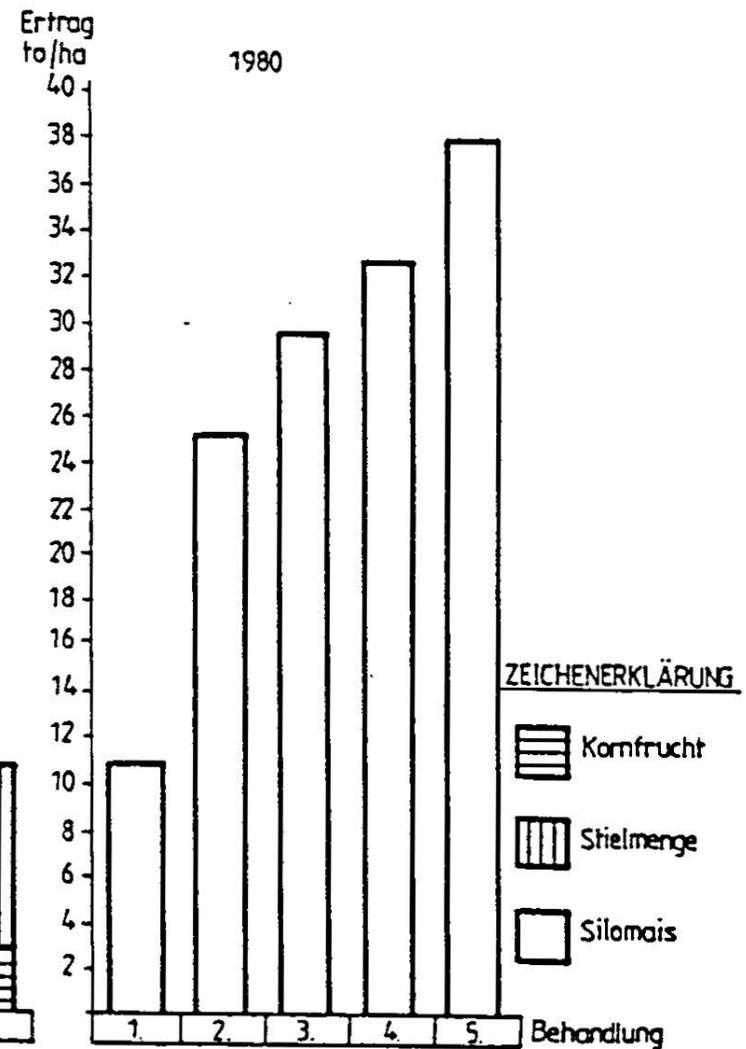
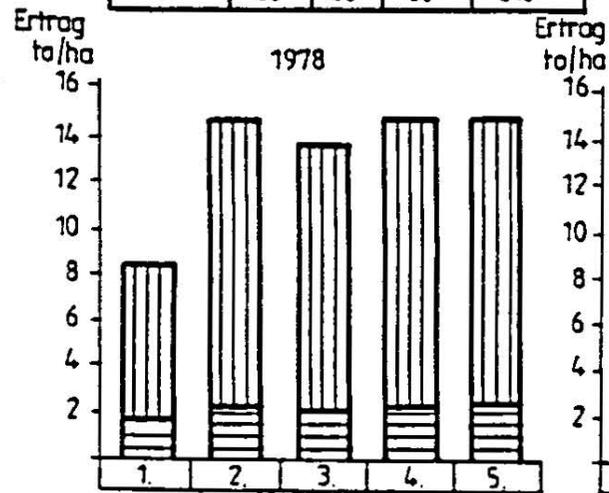


Abbildung 4. Die Wirkung von aerob stabilisirten Schlamm auf die Mais-Ernte auf Kleinparzellen

NEUERE ENTWICKLUNGEN BEI DER SCHLAMMBEHANDLUNG.
AEROB THERMOPHILE TEILSTABILISIERUNG MIT ANSCHLIESSENDE FAULUNG

I. Berninger

1. AUSGANGSLAGE

In der zweiten Hälfte der 70er Jahre beherrschten Enterobacteriaceen und Ungewissheit die schweizerische Klärschlammbehandlung. Untersuchungen des Veterinärbakteriologischen Institutes der Universität Zürich hatten bedeutende Rekontaminationen im Abgabschlamm von nachpasteurisiertem Schlamm aufgezeigt; bereits bewilligte und im Bau befindliche Schlammpasteurierungsanlagen waren daraufhin eingestellt worden; auf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Altenrhein wurde anfangs nach Verbesserungsmöglichkeiten bestehender Nachpasteurierungsanlagen gesucht und später erfolgreiche Vorpasteurierungsversuche gefahren; und die Arbeit an der heute wirksamen Klärschlammverordnung war in vollem Gange.

In diese turbulente Zeit fallen auch die Veröffentlichungen der Firma Union Carbide über den Einsatz von reinem Sauerstoff zur Klärschlammbehandlung; aber nicht als Flüssigrotte oder aerobe Stabilisation, sondern in Kombination mit einer nachgeschalteten Faulstufe, dem sog. "Dual-Digestion" Verfahren. Die Veröffentlichungen versprachen eine einwandfreie Hygienisierung, gute Schlammstabilisierung, interessante Energiebilanz, sehr stabiles, auf Störungen unabhängiges Verfahren, keine nennenswerten Abluftemissionen und gegenüber dem normalen Faulschlamm eine erhöhte Methangasausbeute, kürzere Faulzeiten, stärkere Schlammverdickung und besseres Fließverhalten trotz höherem Feststoffgehalt.

Genannte Vorteile bewogen das Bundesamt für Umweltschutz, diese Verfahrenskombination in einer grösseren Pilotanlage im praktischen Langzeitbetrieb parallel zur herkömmlichen zweistufigen Faulung gründlich auszutesten und optimieren zu lassen.

Aufgrund der ausgiebigen Erfahrung mit Nach- und Vorpasteurisierungsversuchen fanden sich im Abwasserverband Altenrhein die Bereitschaft und ideale Verhaeltnisse, um auch dieses neue Schlammbehandlungsverfahren - die aerob thermophile Teilfermentation mit anschliessender Faulung - zu studieren.

2. VERSUCHSANLAGE

Abbildung 1 zeigt die komplette Pilotanlage im Stand von 1983/84.

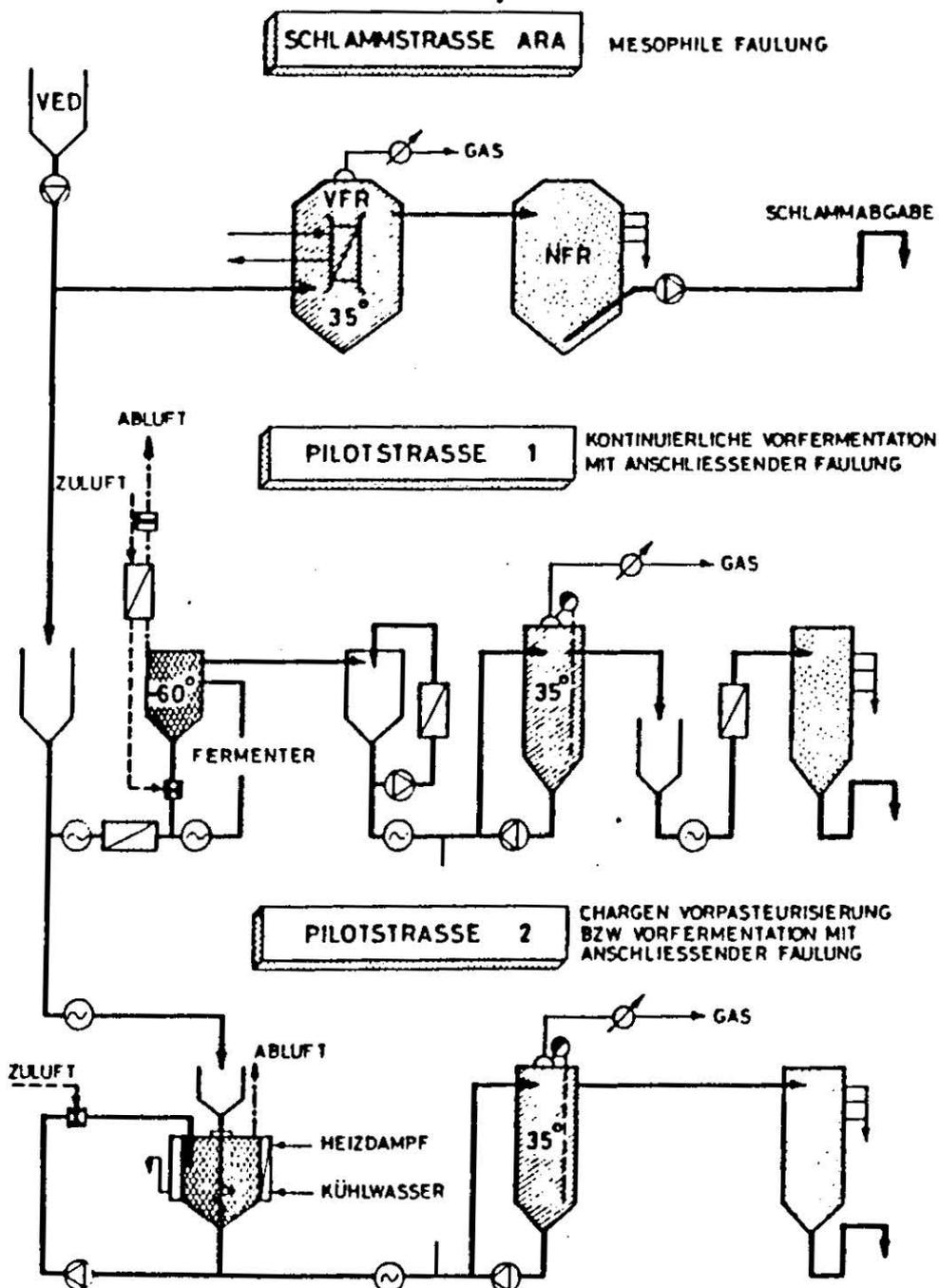


Abb. 1 PILOTANLAGE IN DER ARA ALTENRHEIN

Zwei Pilotstrassen, die Durchlauf-Fermentation sowie die Chargenfermentation, resp. thermische Vorpasteurisierung, koennen gleichzeitig parallel zur normalen Faulstrasse der ARA gefahren werden, wodurch erst ein echter Verfahrensvergleich gewaehrleistet wird. Dank einer vielseitigen Ausruestung kann ein weites Spektrum verschiedenster Betriebsbedingungen abgedeckt werden. In Abweichung vom Dual-Digestion Verfahren wurde hier die Aerobphase mit Luft, anstelle von Reinsauerstoff betrieben. Mittlerweile wurde die Pilotanlage durch eine dritte Strasse ergaenzt, die zwei weitere Faulverfahren zu testen erlaubt: die anaerob thermophile Faulung, sowie die Vorversaeuerung in einem Festbettreaktor vor der anaeroben Faulung.

3. AUSGANGSSCHLAMM

Der Abwasseranfall der ARA Altenrhein entspricht 100'000 EGW, wobei der kommunale und gewerblich-industrielle Anteil etwa 60 und 40 % ausmacht. Mit einer in der Schweiz haeufig anzutreffenden dreistufigen Abwasserbehandlung (mechanische, biologische und Phosphatfaellstufe) duerfte der vorliegende Schlamm mit demjenigen vieler anderen Klaeranlagen vergleichbar sein.

4. VERSUCHSERGEBNISSE

4.1 Hygienisierung

Aus versuchstechnischen Gruenden entsprach vorliegende aerob/anaerobe Pilotanlage nicht den optimalen Anforderungen einer Hygienisierungsstrasse. So konnten im Aerob-Fermenter infolge Fehlens eines Einwirkbehalters, trotz mittleren Aufenthaltszeiten von 10 bis 20 h, Kurzschlusse nach bereits 30 Min. entstehen. Zudem waren bis zur Schlammabgabe Rekontaminationen an verschiedenen offenen Zwischenbehaeltern moeglich.

Waehrend der 15-monatigen Versuchszeit und bei 2 Analysenserien pro Woche wurden - mit einer Ausnahme - im Abgabeschlamm keine Enterobacteriaceenwerte ueber 1 g pos gefunden. Dies bei einer Fermentertemperatur ueber 59°C und trotz nachgewiesener vereinzelter Rekon-

taminationen nach dem Fermenter. Erwähnte Ausnahme wurde durch eine zu weitgehende Entleerung des Nachfaulraums mit teilweise Durchbruch von Faulwasser verursacht. Letzteres ist im Gegensatz zum Faulschlamm nicht enterobacteriaceen-frei.

Versuche bei Fermentertemperaturen um 54-56°C und mittleren Aufenthaltszeiten von 14 bis 20 h zeigten noch eine ausreichende Hygienisierung bezüglich Enterobacteriaceen. In Hinblick auf eine sichere Abtötung von Wurmeiern wird vom Bundesamt für Umweltschutz allerdings eine minimale Temperatur von 60°C gefordert.

Berücksichtigt man die ungünstigen Betriebsbedingungen der Pilotanlage, so sprechen die Hygienisierungsergebnisse deutlich für die Kombination "aerob-thermophile Teilfermentation mit anschließender Faulung". Voraussetzung ist, wie bei allen Hygienisierungsanlagen, dass durch fachgerechte Verfahrenslegung interne Nachvermehrungsherde vermieden werden und eine Möglichkeit zur thermischen Desinfektion bis zum Faulraum besteht.

4.2 Faulgasmenge und -qualität

4.2.1 Gasproduktion in Funktion des Vorabbaus organischer Substanz

Die biologische Selbsterwärmung im Fermenter ist eine natürliche exotherme Reaktion. Sie entsteht durch Verbrennung oder Oxydation von organischen Schlamminhaltsstoffen durch Kleinlebewesen beim sogenannten Bau- und Betriebsstoffwechsel. Bei diesem komplizierten Vorgang oxidiert u.a. Kohlenstoff zu Kohlendioxid (CO₂), welches größtenteils mit der Fermenterabluft verloren geht. Es resultiert folglich ein Kohlenstoffdefizit, welches zur Folge hat, dass in der nachfolgenden, anaeroben Faulstufe die Kläergasproduktion mit dem brennbaren Hauptanteil Methan (CH₄) zurückgehen muss - es sei denn, dass in der Vorfermentationsstufe der organische Schlammanteil derart umgesetzt und aufgeknackt wird, dass die Methanbakterien Zugang zu normalerweise schwer oder nicht abbaubaren Substraten haben. Dies würde auch bedeuten, dass mit einer Vorfermentationsstufe der Schlamm einen höheren Stabilisierungsgrad erreicht.

Dass letzteres leider nicht bestaetigt werden kann, geht aus Abb. 2 hervor. Die Klaergasproduktion faellt naemlich mit zunehmendem organischen Vorabbau resp. Selbsterwaermungsgrad ab.

4.2.2 Gasproduktion in Funktion der Faulzeit.

Die Verkuerzung der Faulzeit auf ca. 9 Tage verursachte weder in der Faulung mit als auch ohne aerobe Vorfermentation betriebliche Probleme. Die organische Saeure stieg zwar voruebergehend stark an, stabilisierte sich aber danach leicht erhoehrt bei 350 - 400 mg/l. Bezueglich der Gasproduktion hingegen erwies sich die Faulzeit als ein wesentlicher Faktor, indem mit jeder Faulzeitverkuerzung eine entsprechend starke Gaseinbusse verbunden war (Abb. 2).

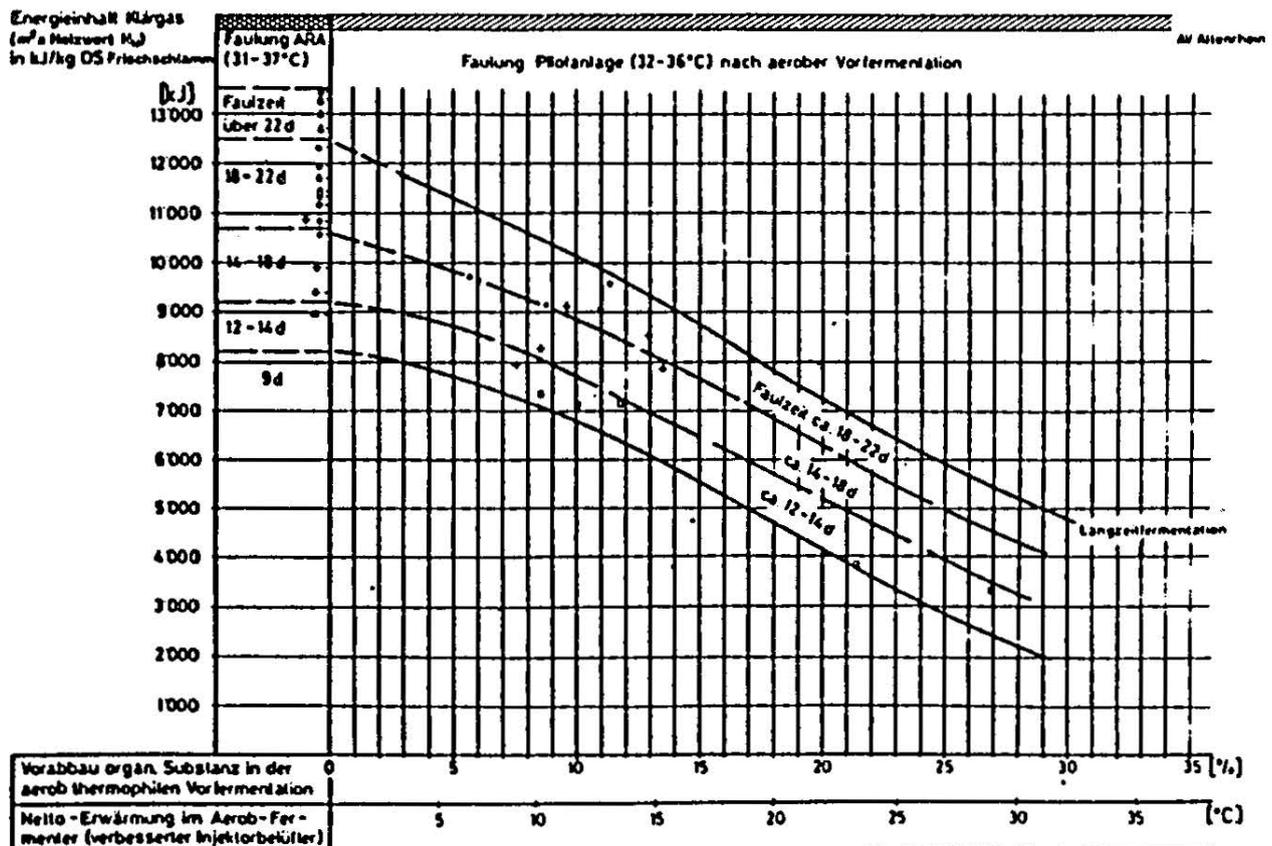


Abb. 2 ENERGIEINHALT DER KLÄRGASPRODUKTION BEI ANAEROBER FAULUNG OHNE UND MIT AEROB THERMOPHILER VORFERMENTATION (WERTE AUS 17 VERSUCHSPERIODEN)

4.2.3 Heizwert des Klaergases

Nebst der Gasmenge ist die Gasqualitaet resp. der Heizwert H_U des Klaergases fuer den Energieinhalt von Bedeutung. In ueber 90 % der Klaergasanalysen mit aerober Vorfermentation ergaben diese etwas hoehere Werte (2 - 5 %), ohne dass eine Abhaengigkeit mit spezifischen Betriebsparametern wie org. Vorabbau, Faulzeit, Faulraumtemperatur etc., festgestellt werden konnte. Einzig bei der Langzeitfermentation (ca. 6 d) enthielt das Gas aus der anschliessenden Faulung einen um 10 % hoeheren Heizwert.

4.3 Faulraumtemperatur

Unterschiedliche Faulraumtemperaturen zwischen 31 und 37°C wirkten sich nicht messbar auf die Gasausbeute aus.

4.4 Chargenfermentation

Die nagende Frage, ob die Beobachtungen an der Durchlaufermentationsanlage auch fuer einen Fermenter der im Chargenbetrieb gefahren wird zutrifft, fuehrte zur Erweiterung der Pilotstrasse 2 mit einem entsprechenden Behaelter.

Die gleichzeitig durchgefuehrten Versuche zeigten, dass die Chargen- und Durchlauf-Fermentation im Vergleich zur normalen Faulung (ohne Vorfermentation) bei gleichem Abbau organischer Substanz aehnliche Klaergaseinbussen ergeben.

4.5 Thermische Langzeit-Vorpasteurisierung

Zur Abklaerung, ob die unterschiedliche Eindickung und Gasausbeute von vorfermentiertem Faulschlamm im Vergleich zum normalen Faulschlamm auf eine thermische oder biologische Konditionierung zurueckzufuehren ist, wurde im Chargenfermenter die Sauerstoffzufuhr gedrosselt und die Vorwaermung so weit erhoehrt, dass eine rein thermische Langzeit-Vorpasteurisierung resultierte. Wiederum wurde die Anlage parallel zur ARA und zur Vorfermentationsstrasse gefahren, bei gleicher Aufenthaltszeit und Einwirktemperatur. Aus Abb. 3.

ist ersichtlich, dass die Gasproduktion in der Faulung nach der thermischen Langzeit-Vorpasteurisierung nur leicht und nach der Vorfermentation deutlich unter der normalen Faulung der ARA lag.

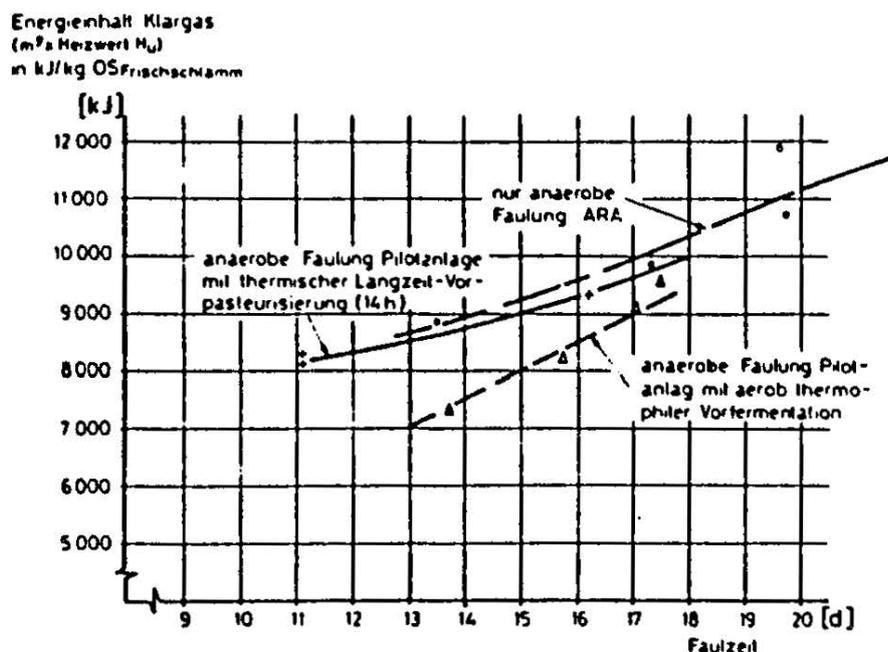


Abb 3 ENERGIEINHALT DER KLÄRGASPRODUKTION BEI FAULUNG MIT THERMISCHER LANGZEIT-VORPASTEURISATION (14h) IM VERGLEICH MIT UND OHNE AEROB THERMOPHILER VORFERMENTATION (WERTE AUS 3 VERSUCHSPERIODEN)

AM Altenrhein

4.6 Energiebilanz. Vergleich der aeroben Vorfermentation mit der thermischen Vorpasteurisierung.

Ein sehr wichtiges Kriterium fuer die Zweckmaessigkeit eines Schlammhygienisierungs- und Faulungsverfahrens ist dessen Energiebilanz.

Im Hinblick auf den Ausbau der ARA Altenrhein wurden verschiedene Berechnungen durchgefuehrt mit dem Ziel, zu untersuchen, wie sich die Energiebilanzen der aeroben Vorfermentation mit direkter exothermer Selbsterwaermung und damit verbundener Gaseinbusse zur thermischen Vorpasteurisierung mit einem vermehrten Einsatz von Klaergas oder Ersatzbrennstoff verhalten.

Den beiden im Vergleich stehenden Verfahren liegt ein System mit abgeschlossenem Gasmotor mit Kraft-Waerme-Koppelung zugrunde.

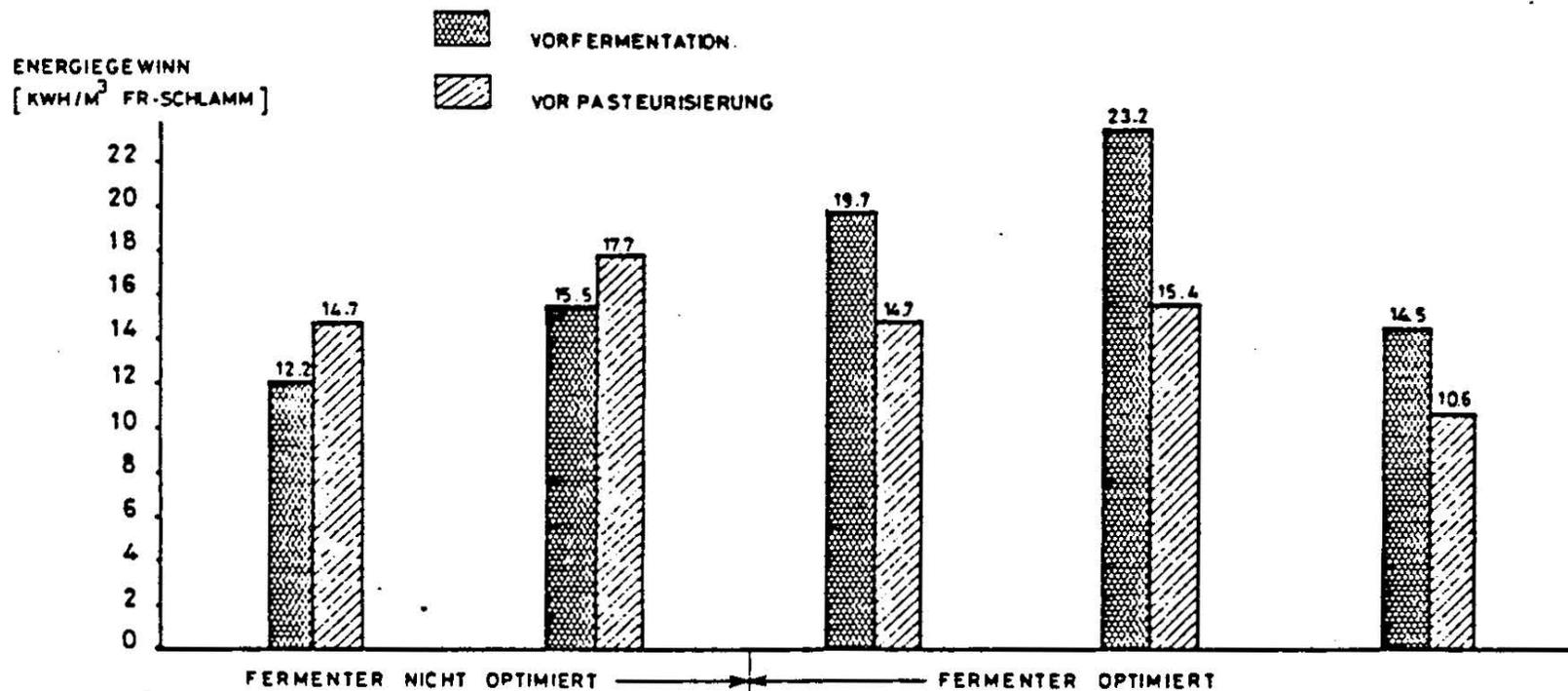
Im weiteren wird die Energiebilanz von der Bau- und Betriebsweise der Systeme beeinflusst, so z.B. Behaelterisolation, Belueftungssystem, Abluftmenge und -temperatur, Schlammumwaelzung sowie Groesse und Wirkungsgrad von Waermetauschern, Gasmotor und Heizkessel u.a.m. Zu beachten ist insbesondere, dass die erforderliche Hygienisierungstemperatur bei der thermischen Vorpasteurisierung auf 70°C festgelegt wurde, waehrend bei der aeroben Vorfermentation infolge der laengeren Aufenthaltszeit ca. 60°C ausreichen.

Die in Abb.4 dargestellten Energiebilanzen unterscheiden sich hauptsaechlich durch das Ausmass der biologischen Selbsterwaermung, d.h. auch der Fermenterausfuehrung. Weitere Unterschiede bestehen in der saisonal bedingten Frischschlammtemperatur und in den Faulzeiten, wobei letztere hier auf ca. 20 Tage standardisiert wurden.

Das den Berechnungen zugrunde gelegte Vorpasteurisierungssystem enthaelt eine wirkungsvolle, kontinuierlich betriebene Waermerueckgewinnung. Der in Rechnung gestellte Gasertrag wurde von der parallel betriebenen normalen Faulung entnommen, was sich aufgrund frueherer Langzeit-Parallelversuche rechtfertigen laesst.

Die Bilanzen zeigen - unter erwaehnten Annahmen - wie sich der Energiegewinn mit zunehmender biologischer Selbsterwaermung und bei verbesserter Fermenterausfuehrung bezueglich Isolation und Belueftungssystem zu Gunsten des Vorfermentationsverfahrens wendet. Eine zu hohe Selbsterwaermung bringt hingegen wieder energetische Nachteile, da der Waermeinhalte des Heissschlammes und des Gasmotors nicht voll ausgenutzt werden kann, womit diese Anlageteile zusaetzlich z.B. mit Betriebswasser gekuehlt werden muessten. Die hiermit verbundene Gas einbusse kann ein Ausmass erreichen, bei dem der Gasmotor nicht mehr kostennutzbringend eingesetzt wird.

Fuer eine gute Energienutzung ist es daher wichtig, dass das gesamte Hygienisierungs-, Faulungs- und Kraeftnutzungs-System betriebs- und energiemassig optimal auf alle Randbedingungen, wie auch auf den



VERSUCHSPERIODE	C		L		T		P		R		
NETTO ERWÄRM'G	8.0		7.0		10.7		19.8		34.9		°C
FAULGASPRODUKT.	11.8	14.3	12.1	14.8	10.7	13.8	7.4	12.9	4.6	12.9	M ³ GAS/M ³ FRS
ENERGIE :											
- ERTRAG	52.1	62.5	55.2	65.1	53.8	62.0	43.6	59.6	44.4	58.1	KWH/M ³ FRS
- AUFWAND	31.9	47.8	39.7	47.4	34.1	47.3	20.4	44.2	29.9	47.5	
- GEWINN	12.2	14.7	15.5	17.7	19.7	14.7	23.2	15.4	14.5	10.6	

Abb 4 ENERGIEBILANZ : VERGLEICH VON VORFERMENTATION UND VORPASTEURISIERUNG IN EINEM FAULSYSTEM MIT KRAFT-WÄRME-KOPPELUNG

Sommer- und Winterbetrieb, ausgerichtet wird. Bei einer derart abgestimmten Gesamtanlage kann die Faulung mit aerober Vorfermentation eine bessere Energiebilanz erbringen als mit einer thermischen Vorpasteurisierung.

4.7 Faulschlamm-Eindickung

Ein weiterer postulierter Vorzug des vorfermentierten Faulschlammes war dessen bessere Eindickfaehigkeit im Nachfaulraum bzw. Stapelbehälter. Schon die ersten Pilotversuche zeigten eine wesentliche, beinahe doppelte Steigerung des Feststoffgehaltes im vorfermentierten Faulschlamm gegenueber dem nicht-fermentierten Schlamm der ARA. Diese Diskrepanz erklarte sich bald mit der sehr unterschiedlichen Betriebsweise der beiden Faulstrassen, insbesondere mit dem stark schwankenden und uebermaessigen Schlammabzug aus dem Faulraum der Kllaeranlage. Der abgefuehrte Duennschlamm senkte natuerlich den Wert des Feststoffgehaltes in der mengenproportionalen Probenahme.

Zur Vermeidung betrieblicher Unregelmassigkeiten wurden daraufhin der vorfermentierte und der normale Faulschlamm in 3 - 4 m hohe Standsaeulenpaare abgefuehlt (Abb. 5) und deren Langzeiteindickung ueber Wochen verfolgt.

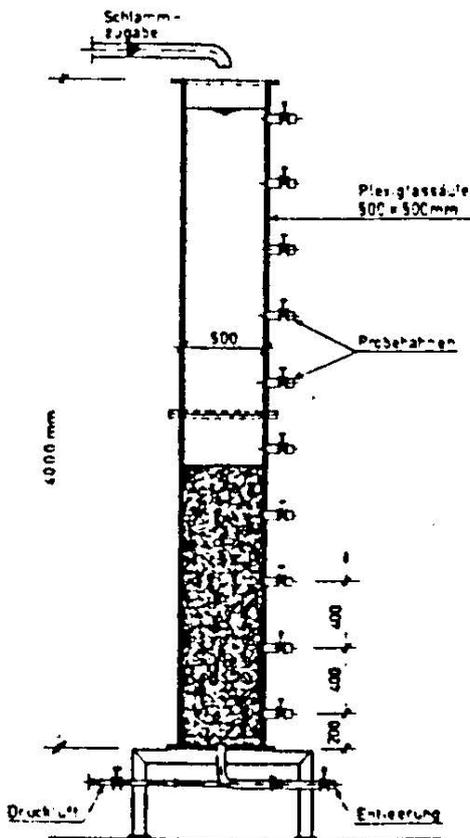


Abb 5 FAULSCHLAMMENDRUNG, VERSUCHS-ANORDNUNG DER STANDSAULE

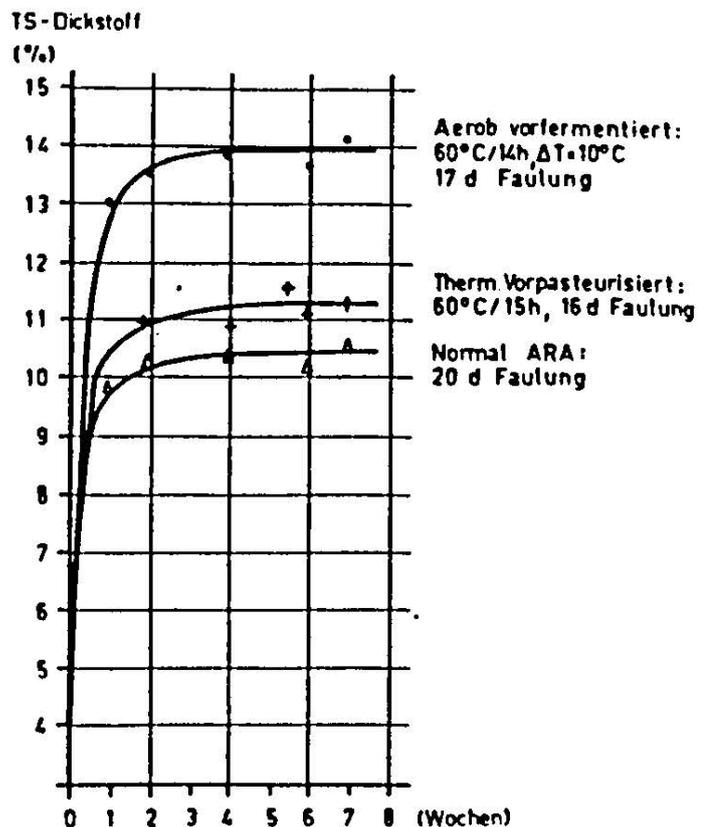


Abb 6 VERGLEICH DER EINDICKUNG VON NORMALEM, VORFERMENTIERTEM UND THERMISCH VORPASTEURISIERTEM FAULSCHLAMM.

Abb. 6 zeigt den Eindickungsverlauf des gleichen Ausgangsschlammes nach drei unterschiedlichen Stabilisierungsverfahren. Der aerob-thermophil vorbehandelte Faulschlamm erreicht den höchsten und der thermisch vorpasteurisierte einen etwas besseren Feststoffgehalt als der normale ARA-Schlamm.

Ein Versuch mit der Langzeitfermentation, bei entsprechend hohem organischen Vorabbau, erbrachte keinen Unterschied zu vergleichsweise kurzen Fermentationszeiten (Abb. 7).

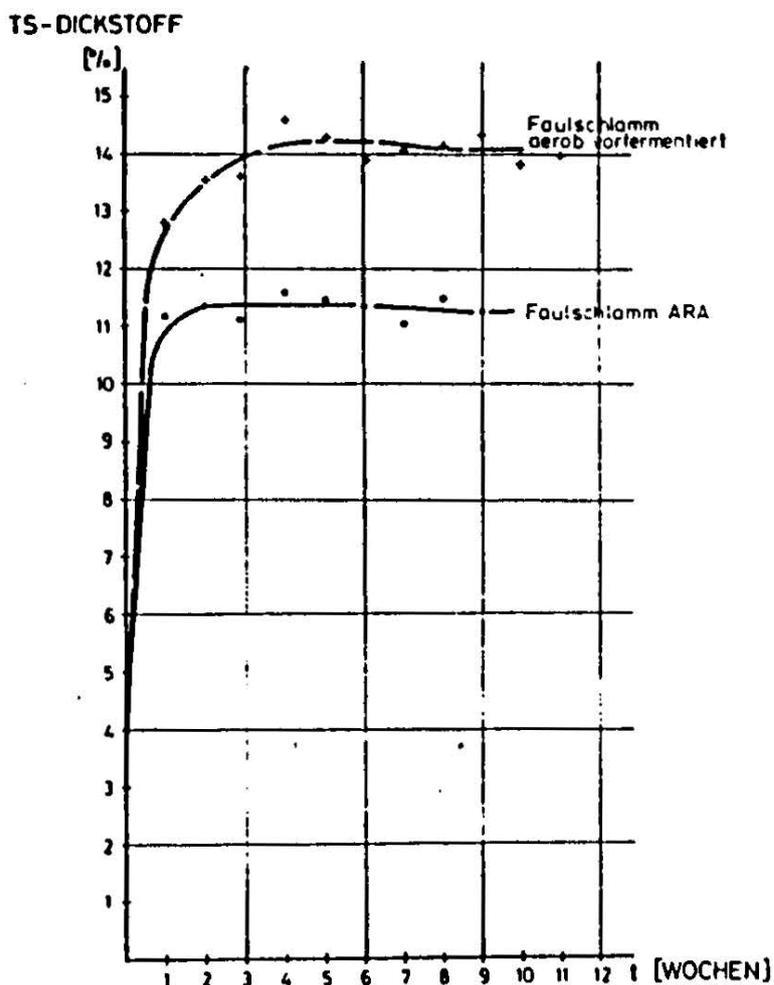
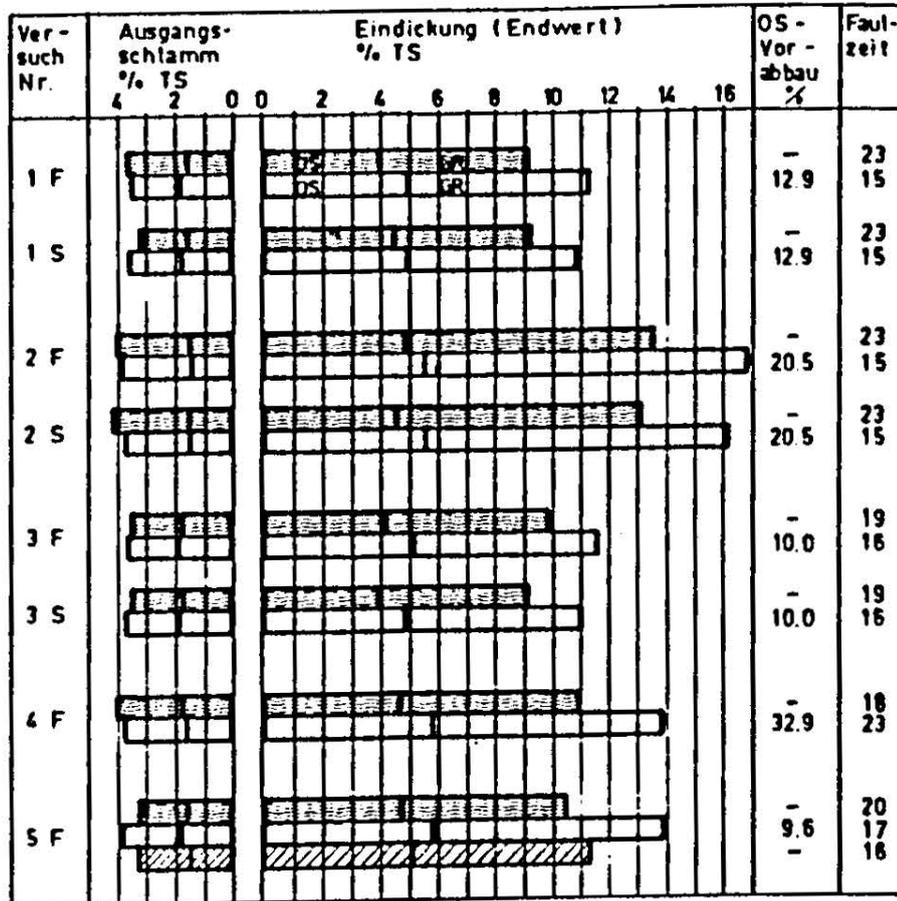


Abb 7 EINDICKVERSUCHE - FAULSCHLAMM
VERSUCH NR 4 F, 30 NOV 1983
VERGLEICH VON NORMALEM MIT VORFERMENTIERTEM
FAULSCHLAMM
NETTO-ERWARMUNG 35°C, LANGZEITFERMENTATION

Die Uebersicht der Standsaeuleversuche (Abb. 8) zeigt, dass der aerob vorbehandelte Faulschlamm im Mittel allemal 2 - 3,5 TS-% besser eindickt hat, bzw. im Mittel aller Versuche einen 24 % hoeheren Endfeststoffgehalt als der normale Faulschlamm erreichte.



-  normaler Faulschlamm
-  aerob vorfermentierter Faulschlamm
-  therm. vorpasteurisierter (15h) Faulschlamm

Abb 8 VERGLEICHVERSUCHE KLÄRSCHLAMMEINDICKUNG IN STANDSÄULEN - ÜBERSICHT

Ueberraschend war zu diesem Zeitpunkt weniger die gute Eindickeeigen-
schaft des vorfermentierten Schlammes, welche die Beobachtungen am
Nachfaulraum der Pilotanlage bestaetigten, als vielmehr die hohen
Feststoffwerte von ueber 10 TS-% fuer den normalen Faulschlamm. Dies
zeigt deutlich, dass die bisherige, weit verbreitete Schlammbewirt-
schaftung weit entfernt vom Optimum liegt und ein grosses Potential
fuer eine bessere Eindickung bestehen muss.

Die Eindickungsversuche wurden durch regelmaessige Analysen des Faulwassers in den Standsaeulen und Nachfaulraeumen ergaenzt. Diese ergaben fuer vorfermentierte Schlaemme etwa 10 % hoehere BSB5-Werte, obwohl der Feststoffgehalt gegenueber dem normalen Faulwasser etwa 10 % geringer war. Das vorfermentierte Faulwasser enthielt im Mittel 500 mg BSB5 und ca 2.8 g TS pro Liter.

4.8 Faulschlamm-Entwaesserung

Die aerob-thermophilen Pilotversuche auf der ARA-Altenrhein wurden ueber ca. 1½ Jahre von einer umfassenden Klaerschlammentwaesserungsstudie im Auftrag vom Amt fuer Wasser- und Energiewirtschaft des Kantons St. Gallen begleitet. Unter anderem wurden hier auch aerob vorfermentierter und normaler Faulschlamm auf drei verschiedenen Dekantern, zwei Siebbandpressen und einer Kammerfilterpresse mechanisch entwaessert.

Diese Versuche wurden durch die Tatsache erschwert, dass der Aufgabeschlamm aus der aerob-thermophilen Pilotanlage im Gegensatz zum normalen Faulschlamm oftmals von Beginn an einen hoeheren Feststoffgehalt aufwies und bei den grosstechnischen Dekantationsversuchen zur betrieblichen Optimierung nicht immer in genuegender Menge zur Verfuegung stand.

4.8.1 Entwaesserung mit dem Dekanter

Abb.9 zeigt den Verlauf einer typischen Entwaesserungskurve bei steigender Flockungshilfsmittel-Dosierung (FHM), sowie zahlreiche Einzelversuche waehrend einer Periode annaeherd gleicher Aufgabefeststoffgehalte fuer beide Schlammmarten. Dekantationsversuche mit vorfermentiertem Schlamm sind durch Punkte, solche mit normalem Schlamm durch Kreuze dargestellt. Die Streuung ist auf unterschiedliche Betriebsparameter zurueckzufuehren, wie Schleuderziffer, Differenzdrehzahl, Wehrdurchmesser und FHM-Art und -Menge.

Die Sternzeichen (*F) sind die Ergebnisse einer ueber laengere Zeit betriebenen Schlammvorentwaesserung fuer eine Schlammtrocknungsanlage bei ca. 7 TS-% in der Aufgabe und bei geringer FHM-Dosierung.

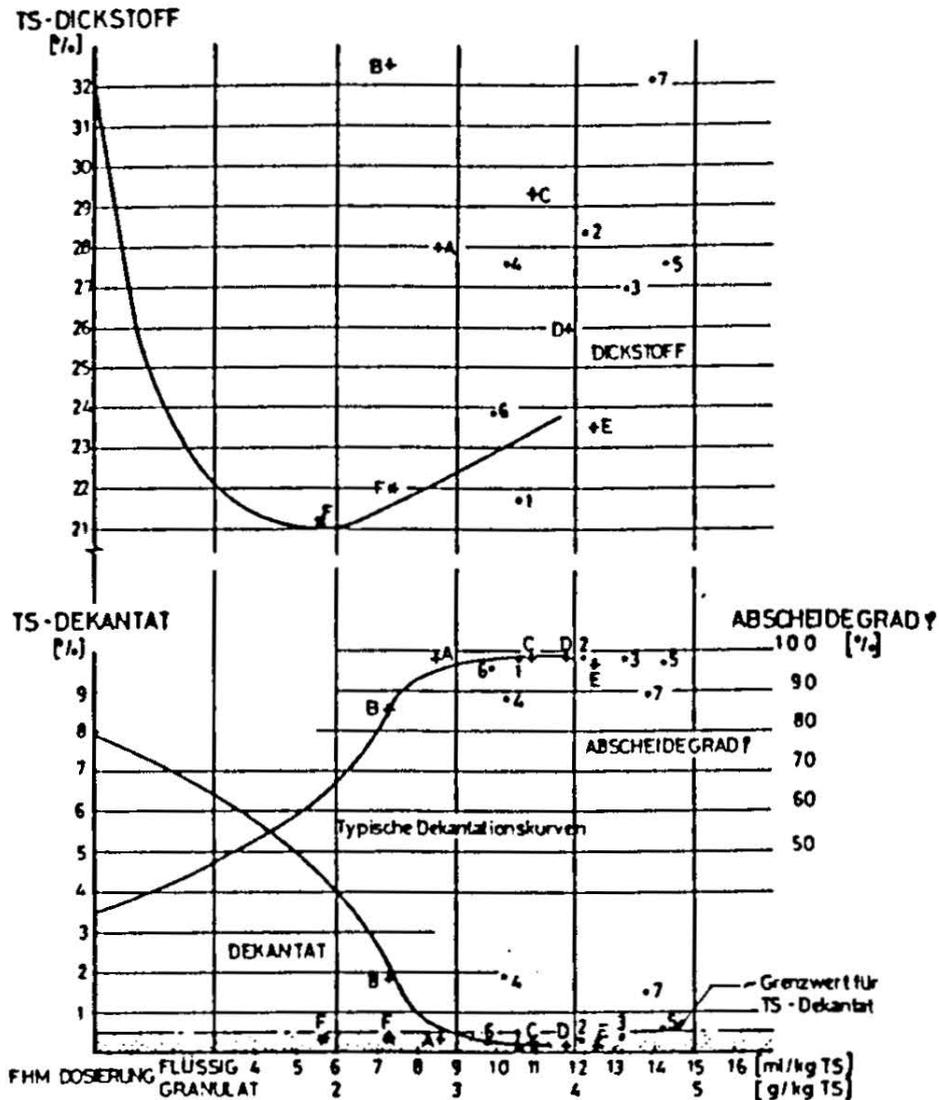


Abb. 9 DEKANTATIONSVERSUCHE - ZUSAMMENSTELLUNG
 VERGLEICH VON NORMALEM UND VORFERMENTIERTEM
 FAULSCHLAMM

Gesamthft wurden rund 70 Faulschlamm-Dekantationsversuche gefahren. Die Ergebnisse zeigen, dass bei vergleichbarem Feststoffgehalt in der Aufgabe kein nennenswerter Unterschied zwischen normalem und vorfermentiertem Faulschlamm bezueglich Dickstoff und Abscheidegrad erkennbar ist.

Weitere Dekantationsversuche mit dem Ziel Flockungsmittel einzusparen betrafen die thermische Konditionierung sowie die zweistufige Dekantation. Waehrend das erste Verfahren bei einer Schlammaufheizung auf 50 - 60°C keine Schlussfolgerungen zulies, ist von der zweistufigen Dekantation, bei der nur im zweiten Dekantationsvorgang Flockungsmittel dosiert werden, abzuraten.

4.8.2 Entwaesserung mit Siebbandpressen

Die zwei getesteten Siebbandpressen waren industrieller Groessenordnung, aber von sehr unterschiedlicher Bauart. Erstere war mit 4 Entwaesserungsrollen einfach, die zweite inklusive Hochdruckstufe mit 15 Rollen aufwendig ausgestattet. Es wurde vorwiegend normaler und aerob vorfermentierter Faulschlamm der ARA-Altenrhein entwaessert und verglichen.

Die Versuchsergebnisse mit den Siebbandpressen zeigten, bei vergleichbarem normalen und vorfermentierten Aufgabeschlamm, keine signifikanten Unterschiede bezueglich Feststoffgehalt im Schlammkuchen, Flockungshilfsmittelbedarf und Abscheidegrad (Abb. 10).

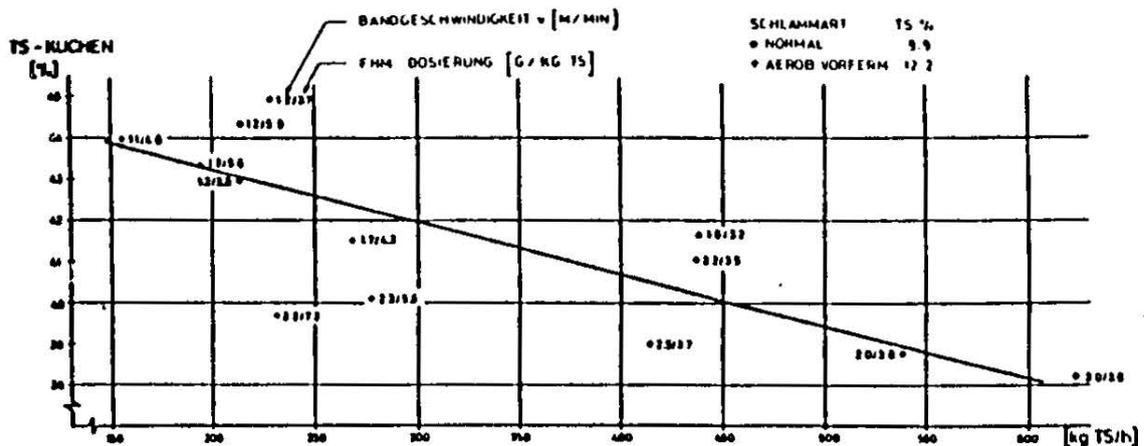


Abb. 10 ENTWÄSSERUNGSVERSUCHE - SIEBBANDPRESSE
EINFLUSS DER SCHLAMMBELASTUNG UND BANDGESCHWINDIGKEIT
AUF DEN TROCKENSTOFFGEHALT IM SCHLAMMKUCHEN

4.8.3 Entwaesserung mit der Kammerfilterpresse

Die zeitlichen Umstaende erlaubten gesamthaft lediglich 6 vollstaendige Versuche mit normalem und vorfermentiertem Faulschlamm. Unabhaengig vom Feststoffgehalt im Aufgabeschlamm erreichte dieser im Kuchen Werte zwischen 45 und 50 TS-%.

4.8.4 Deponieversuche

Als letzte Massnahme der Entwaesserungsstudie wurde das Verhalten der Entwaesserungsprodukte bezueglich der Sickerwassermenge und -zusammensetzung auf einer Deponie simuliert, wobei folgende Versuche ueber 15 Monate begleitet wurden:

Deponie- behaelter	Deponieversuche Entwaesserungs- verfahren	Faulschlammart	Bemerkung
1	Siebbandpresse	normal	
2	Siebbandpresse	vorfermentiert	
3	Kammerfilterpr.	vorfermentiert	
4	Siebbandpresse	vorfermentiert	+ 300 kg CaO/t TS
5	Dekanter	normal	

Die umfangreichen Sickerwasseruntersuchungen zeigten, dass der Schlamm mit Branntkalkzugabe trotz relativ geringer Sickerwassermenge die grossten Frachten, insbesondere an organischer Substanz aufweist. Keine Unterschiede konnten bezueglich der Schlammvorbehandlungsart festgestellt werden.

4.9 Schlammfliessfaehigkeits-Verhalten

Infolge des guten statischen Eindickverhaltens des aerob-thermophil behandelten Schlammes war zu befuerchten, dass bei der Foerderung Pumpschwierigkeiten auftreten koennten. Hiezu wurde das Fliessverhalten mittels einer "Schlammkanone" festgestellt (Abb. 11), an der die Kolbenabsenkzeit und die Wurfweite gemessen wurden.

Versuche mit Verduennungsreihen von 12 bis 5 % TS, fuer normalen und vorfermentierten Schlamm, zeigen praktisch die gleiche Absenkzeit und Wurfweite wie fuer Wasser (Abb. 12). In Abb. 13 wurde 11.0 und 13.5 TS-%-iger Faulschlamm unterschiedlichen Druucken ausgesetzt und ebenfalls mit der Wasserkurve verglichen. Die Ergebnisse ueberraschen insofern, als 12%-iger Faulschlamm im drucklosen Zustand von pastoeser Konsistenz ist. Austrags und Umladeversuche mit einem Druckfass bestaetigen das gute Fliessverhalten. Die gemachten Beobachtungen lassen auf ein thixotropes Verhalten von Klaerschlamm schliessen.

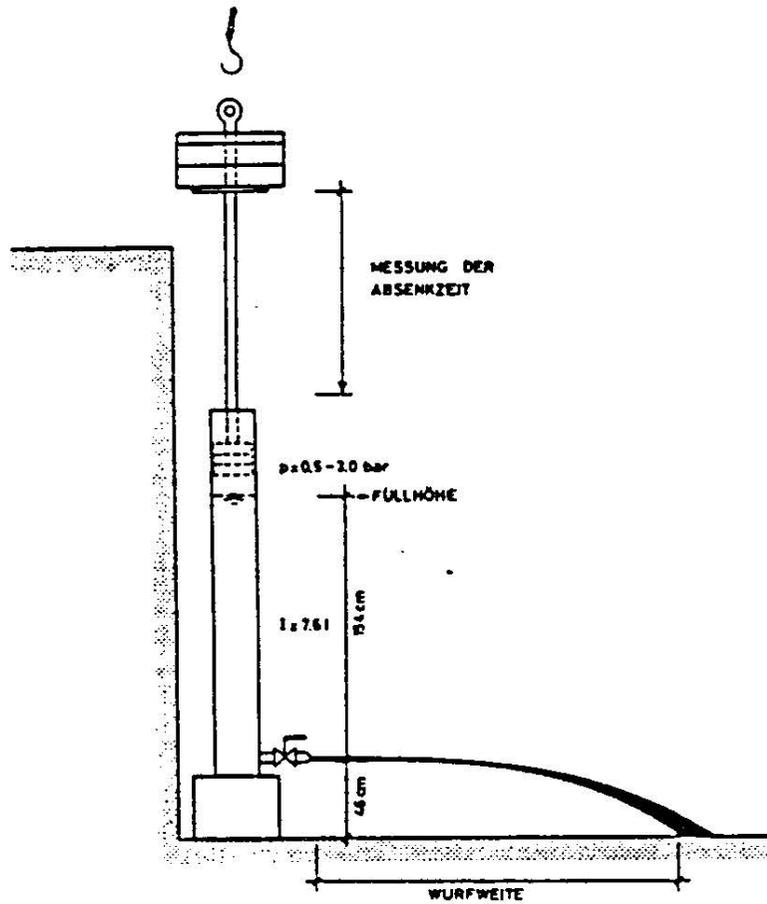


Abb: 11 SCHLAMMFLEISSVERHALTEN
VERSUCHSEINRICHTUNG

- ◊ VORFERMENTIERT / THERMISCH GEFALT UNTER 1.53 bar DRUCK
- × VORFERMENTIERT / THERMISCH GEFALT UNTER 1.00 bar DRUCK
- △ NORMALER FAULSCHLAMM ART UNTER 1.53 bar DRUCK

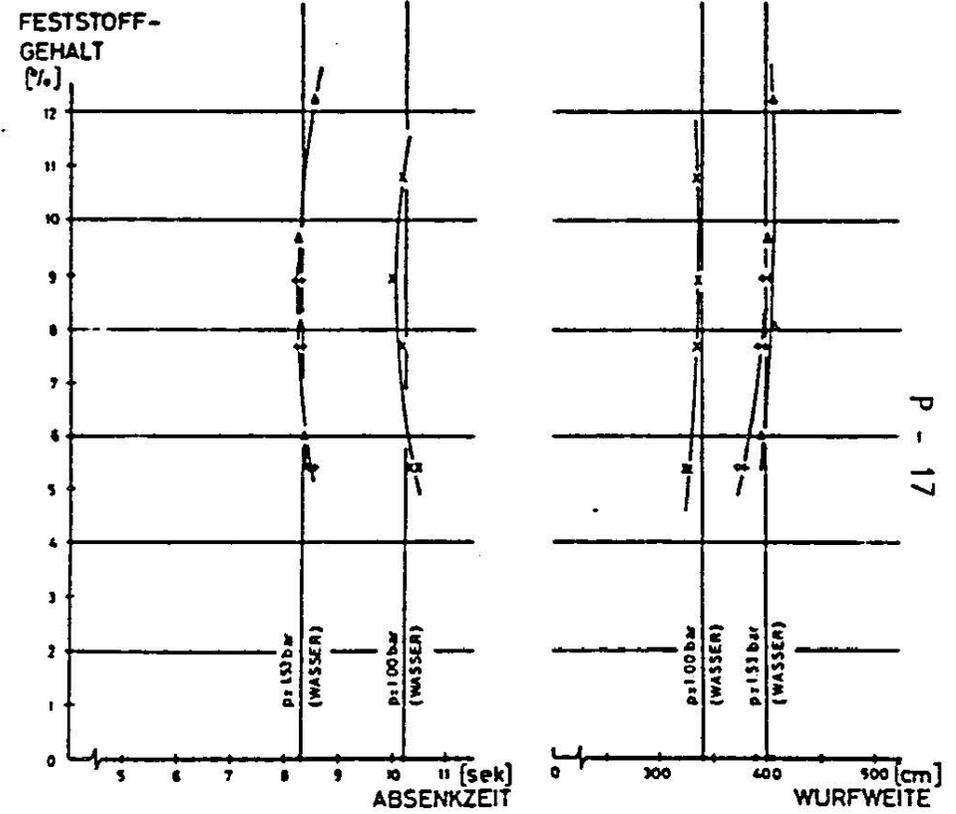


Abb: 12 SCHLAMMFLEISSVERHALTEN
ABSENKZEIT UND WURFWEITE VERSCHIEDER FAULSCHLÄMME
IN ABHÄNGIGKEIT VOM FESTSTOFFGEHALT

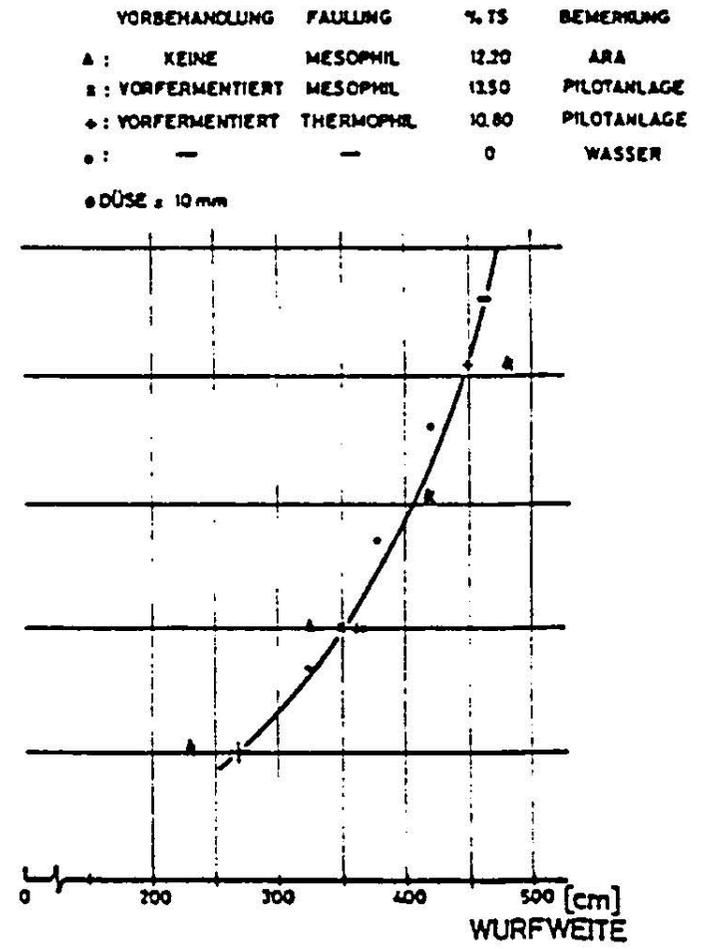
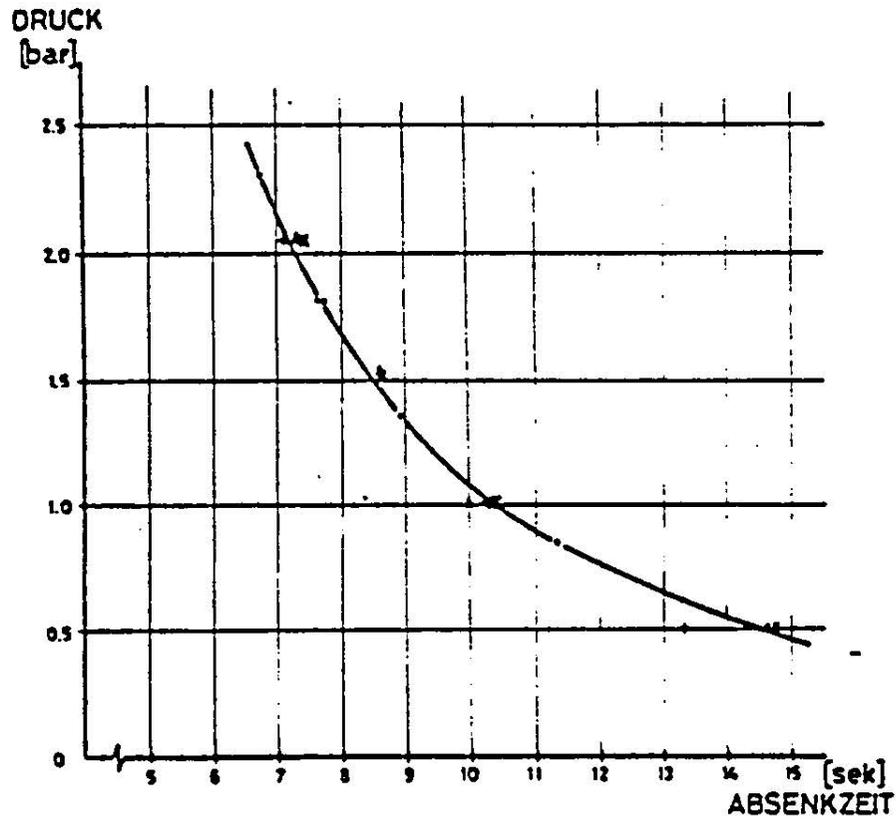


Abb: 13 SCHLAMMFLIESSVERHALTEN
 ABSENKZEIT UND WURFWEITE VERSCHIEDENER FAULSCHLÄMME IM VERGLEICH ZU WASSER

W. Albrecht

5. RUECKBLICK

Die grossen Erwartungen, welche dem "Dual-System" - der Kombination aerob-thermophiler Vorfermentation mit anaerob-mesophiler Faulung - eingangs zugeschrieben wurden, konnten nicht alle bestaetigt werden. Es erwies sich aber, dass dieses Verfahren wirksam hygienisiert, stabilisiert und eine verbesserte Nacheindickung ermoeeglicht. Letzteres ergibt eine etwas guenstigere Ausgangslage fuer die mechanische Entwaesserung. Durch konsequente Ausnutzung von Abwaerme und Ueber-schussgas zeigt sich dieses Verfahren als eine energiesparende und sehr flexible Loesung, welche sowohl mit hoher als auch geringer Selbsterwaermung und, bei entsprechender Auslegung, auch nur thermisch gefahren werden kann. Nicht bestaetigt hat sich die erhoffte Faulzeitverkuerzung und Vorfermentation ohne Gaseinbusse. Noch nachzuweisen bleibt die postulierte geringere Anfaelligkeit der Faulung auf Stoerfaktoren.

VERDANKUNG

Für die einmalige Gelegenheit während 2 Jahren an der Entwicklung neuer Faulungsverfahren mitgearbeitet zu haben, bedanke ich mich ganz besonders bei Herrn Urs Keller, dem dynamischen Betriebsleiter der Abwasserreinigungsanlage Altenrhein.

Ingo Berninger, Dipl. Ing.
Motor Columbus
Ingenieurunternehmung
Parkstrasse 27
CH-5400 Baden / Schweiz

LITERATURVERZEICHNIS

- Breer C.; Hess, E. und Keller U.
Soll Klärschlamm vor oder nach dem Ausfaulen pasteurisiert werden ?
Gas Wasser Abwasser, 7, (1979)
- Keller U.
Versuchsbericht ueber die Klärschlamm-Hygienisierung in der ARA-Altentrhein
Wasser Energie Luft, 1/2 (1980)
- Bundesamt fuer Umweltschutz, Schweiz
Hinweise zum Bau oder Umbau von Klärschlamm-Hygienisierungsanlagen (1979)
- Clements R.
Klärschlamm-Vorpasteurisierung mit Waermerueckgewinnung
Gas Wasser Abwasser, 60, 5, (1980)
- Friedl R.
Betriebserfahrungen mit einer Vorpasteurisierung
Wasser Energie Luft, 1/2 (1980)
- Goerlich L.
Die mittelthermische Behandlung von Rohklärschlamm
Gas Wasser Abwasser, 12 (1978)
- Mihalyfy E.
Ueberblick ueber die in Anwendung oder Entwicklung begriffenen Verfahren zur
Hygienisierung von Klärschlamm
Muerrenener Tagung, BUS, Sept. (1979)
- Castillo M.D.; Miller M.A.; Young K.W.
A novel approach to the treatment of wastewater sludge.
WPCF 52nd Annual Conference, Houston, Texas, Oct. 8., 1979
- Mc Gauhey M.; Hulse H.
Energy Production for a new Sludge digestion process at Hagerstown, Maryland
Paper presented at the 7th AIPCE, Philadelphia, June 7, 1979
- Match L.C.
Der Einsatz von reinem Sauerstoff zur Schlammbehandlung
12. Essener Tagung. 28. - 30. Maerz 1979
- Fuchs
Die exotherme, aerob-thermophile Schlammstabilisation
Umwelt 3 (1980)
- Loll U.
Stabilisierung hochkonzentrierter organischer Abwaesser und Abwasserschlaemme
durch aerob-thermophile Abbauprozesse
Dissertation, Darmstadt (1974)
- Nebiker H.
Veredelung von Klärschlamm und Guelle durch mikrobiell gesteuerte aerobe Fluessigrotte
Chemische Rundschau, 47 (1976)
- Obrist W.
Gleichzeitig Klärschlammstabilisierung und -hygienisierung im aerob-thermophilen
Verfahren mit dem Rotationsbegaser
ROTABEGA ; EAWAG 30-1000 Juni-September (1978)
- Poepel F.
Selbsterwaermung bei der aeroben Reinigung hochkonzentrierter Substrate mit
Hilfe von Urwaelzbelueftern
Landtechnische Forschung, 18 (1970)
- Keller U., Berninger I.
Aerob-thermophile Schlammfermentation mit anschliessender Faulung -
Vergleichende Pilotversuche in der ARA Altentrhein (Gesamtbericht), 1984
- Berninger I., Keller U.
Schlammstudie: Eindickung - Entwaesserung
Amt fuer Wasser- und Energiewirtschaft des Kanton St. Gallen, 1984

ERFAHRUNGEN MIT DER MASCHINELLEN SCHLAMMENTWÄSSERUNG BEI DEN STUTTGARTER KLÄRWERKEN

W. Vater

1. HAUPTKLÄRWERK MÜHLHAUSEN

Als 1916 das Klärwerk Mühlhausen in Betrieb genommen wurde, dachte wohl niemand daran, daß man eines Tages den dort anfallenden Klärschlamm maschinell entwässern oder gar verbrennen würde. Wie seiner Zeit allgemein üblich, wurde der Schlamm in zweistöckigen Becken ausgefault und anschließend im Land- und Gartenbau verwendet; anfänglich flüssig, später stichfest nach vorangegangener Entwässerung auf Schlamm-trockenbeeten.

Der anfänglich reißende Absatz der Schlammes ging im Laufe der Jahre immer mehr zurück, während andererseits Abwasser- und Schlammengen anstiegen. Um seiner Herr zu werden, legte man in einem Seitental unterhalb des Klärwerks 3 Schlammteiche an. Doch als diese voll waren, mußte man wohl oder übel sich an anderen Möglichkeiten der Schlambeseitigung umsehen.

L a b o r - u n d P i l o t v e r s u c h e mit verschiedenen Filtrations- und Zentrifugiereinrichtungen ergaben, daß damals nur Vakuumfilter technisch ausgereift waren.

Man beschaffte deshalb Ende der fünfziger Jahre ein 29 m² großes S a u g z e l l e n f i l t e r samt den zugehörigen Zusatzeinrichtungen und stellte es in einem alten Schuppen des Klärwerks auf (Bild 1).

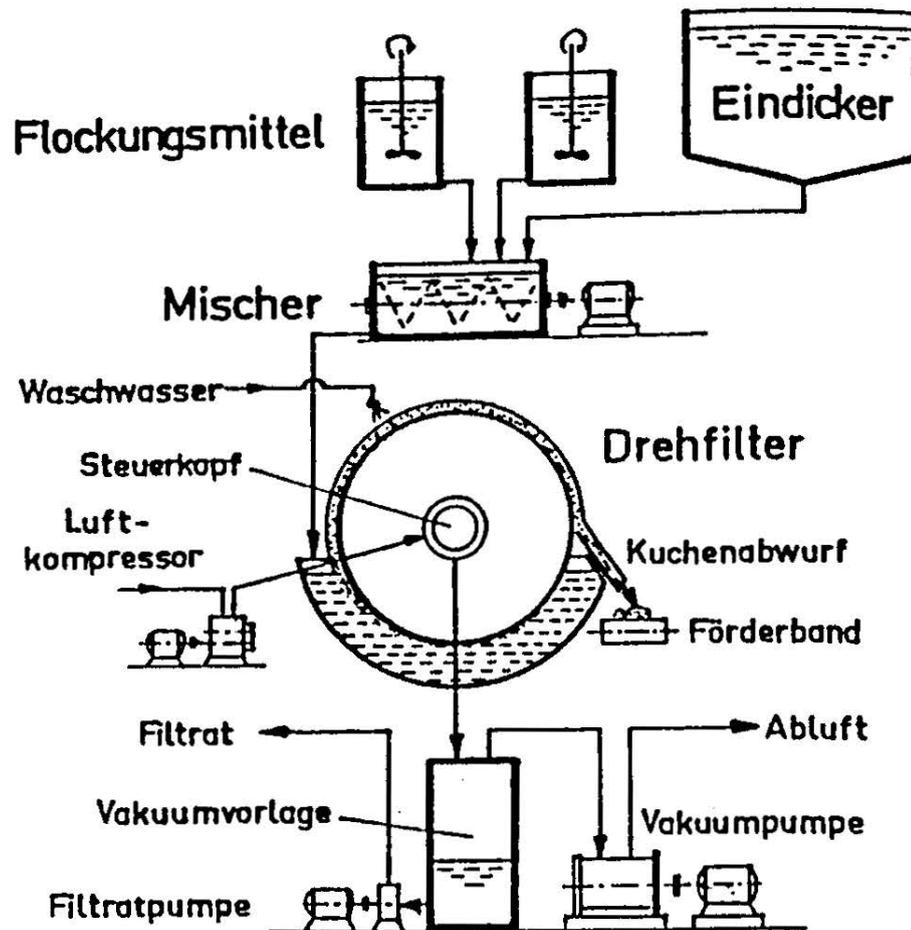


Bild 1: Vakuumfiltration - Schema

Schlammkonditionierung mit Chemikalien

Anfänglich war vorgesehen, die Schlammkonditionierung mit Eisensulfat und Kalk durchzuführen. Laborversuche unter Verwendung von Büchnertrichter und Handfilterplatte hatten ergeben, daß bei Zugabe von ca. 6 % $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (Kosten 0,05 DM/kg) und ca. 15 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Kosten 0,08 DM/kg) Filterleistungen von 200 bis 250 $\text{l/m}^2 \times \text{h}$ zu erwarten waren. Das entsprach bei eingedicktem Stuttgarter Schlamm von ca. 10 % Trockensubstanz einem Kostenaufwand von $0,30 + 1,20 = 1,50 \text{ DM/m}^3$.

Als man diese Filterhilfsmittel dann beim Betrieb des großen Vakuumfilters einsetzte, zeigte sich leider, daß die in den Laborversuchen erzielten guten Leistungen nur zu Beginn der Filtration erreicht wurden. Bereits nach zweistündigem Betrieb ging die Filterleistung durch Verstopfen des Filtertuchs merklich zurück und nach 3 bis 4 Stunden war der Filterkuchen so schmierig, daß er überhaupt nicht mehr richtig von der Trommel abgenommen werden konnte. Ein geordneter Betrieb wurde erst wieder möglich, nachdem das Filtertuch abgewaschen, mit verdünnter Salzsäure behandelt und nachgespült worden war. Hierzu mußte zuerst auch der Filtertrog entleert und hinterher wieder neu mit Schlamm gefüllt werden. Das führte jedesmal zu einer Unterbrechung der Filtration von mindestens einer Stunde.

Man entschloß sich deshalb, auf die Verwendung von Eisenchlorid in Verbindung mit Kalk überzugehen. Hiermit traten die vorher bei Eisensulfat festgestellten Schwierigkeiten nicht mehr auf. Die *F i l - t e r l e i s t u n g* blieb ziemlich konstant bei $240 \text{ l/m}^2 \times \text{h}$. An Filterhilfsmittel waren erforderlich bezogen auf die Schlammtrockensubstanz:

ca. 3 % Fe Cl_3 - sublimiert	(Kosten 0,55 DM/kg) und
ca. 12 % Ca(OH)_2	(Kosten 0,08 DM/kg).

Das entsprach 1957 bei 10 % TS im Schlamm einen Kostenaufwand von $1,65 + 0,96 = 2,61 \text{ DM/m}^3$.

Mit dieser Konditionierungsweise war das Filter dann bis zum BAu der Schlammverbrennungsanlage, nämlich 5 Jahre lang, im 3-Schichtbetrieb (5-Tage/Woche) gelaufen. Ein Leistungsrückgang stellte sich erst ein, als nach etwa 2 Betriebsjahren Inkrustierungen in den Filtratleitungen auftraten. Um dem vorzubeugen, wurden dann bei später installierten Vakuumfiltern Filtratrohre aus Kunststoff verwendet. Nachdem das Vakuumfilter einige Zeit in Betrieb gewesen war, bot sich die Gelegenheit flüssigen Faulschlamm auch mit dem *S c h i f f a b z u - t r a n s p o r t i e r e n*. Hierzu wurde beim Klärwerk eine

Das war etwa die Hälfte der seinerzeit angefallenen Schlammmenge. Diese Anlage ging 1962 in Betrieb. Sie umfaßte für Speicherung und Entwässerung des Schlammes 2 Schwirkrafteindicker mit einer Verweilzeit von 2 Tagen, 5 Dekantierzentrifugen für eine Durchsatzleistung von je $5 \text{ m}^3/\text{h}$ und 3 Vakuumfilter mit insgesamt 100 m^2 Filterfläche. Die Verbrennung des Zentrifugenaustrags und des Filterkuchens der Vakuumfilter erfolgte in einem Drehetagenofen von 6 m Durchmesser und 9 Stockwerken.

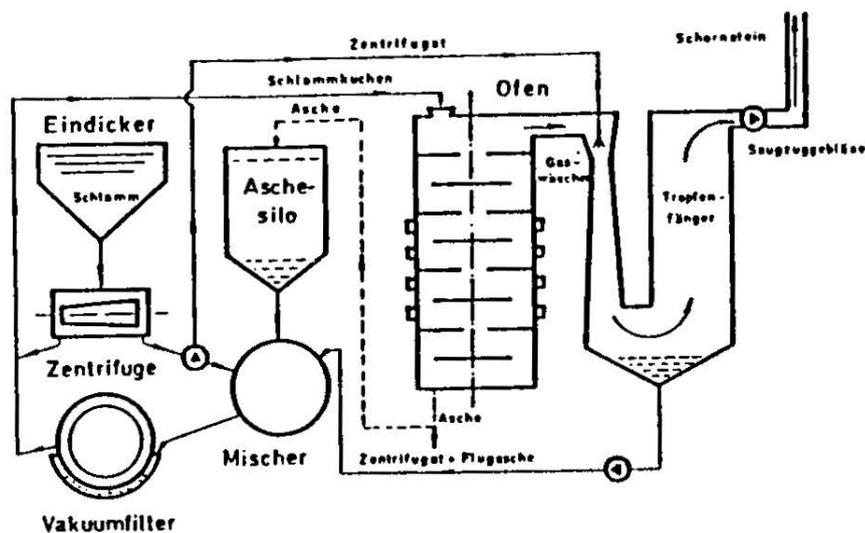


Bild 2: Lurgi-Schlamm-Asche-Verfahren
ursprüngliche Betriebsweise 1962

Zentrifugen und Vakuumfilter waren bei dieser ursprünglichen Betriebsweise hintereinander angeordnet. Denn da man zu jener Zeit noch keine Konditionierungsmittel für die Schlammzentrifugierung kannte, enthielt der Zentrifugenüberlauf noch viel Feststoffanteile. Das Zentrifugat wurde deshalb nach erfolgter Vermischung mit Schlammasche auf den Vakuumfiltern weiterbehandelt (Bild 2).

Eine Verwendung der Asche als *P r e c o a t - S c h i c h t* bei der Filtration, die anfänglich geplant war, ließ man wieder fallen. Nicht nur die Filterleistung war dabei schlechter, auch ging für das

Schiffsanlände am Neckarufer gebaut und für das Beladen des Schiffes mit den erforderlichen Schlammzuleitungen versehen. Der Transport erfolgte zu 25 km neckarabwärts gelegenen stillgelegten Kiesgruben. Die Befüllung wurde Mitte der 60iger Jahre abgeschlossen. Die Auffüllflächen sind inzwischen rekultiviert und zum Grünfutteranbau verwendet worden. Leider ging die Auffüllmöglichkeit in der alten Kiesgrube nur allzubald ihrem Ende entgegen, ohne daß man die Genehmigung zur Auffüllung weiterer Deponieflächen erhielt. Auch mit der Unterbringung des Filterkuchens der Vakuumfilter hatte man seine liebe Not, da er noch ziemlich weich war und unangenehm roch.

Nachdem das Endprodukt nicht unterzubringen war und schließlich deponiert werden mußte, suchte man nach einem Verfahren, das die geringstmögliche Restmenge ergab, ohne zu Gerüchen oder anderen Belästigungen zu führen. Man stellte Überlegungen an, den Schlamm eventuell zu trocknen oder zu veraschen. Wirtschaftlichkeitsberechnungen ergaben, daß die Verbrennung des Schlammes billiger war als seine Trocknung, da bei der Verbrennung die in der Schlamm-trockensubstanz enthaltene Wärmemenge genutzt werden konnte.

Mit der Entscheidung zur Planung einer Schlammverbrennungsanlage waren die Überlegungen für den Einsatz wirkungsvoller Schlamm-entwässerungseinrichtungen nicht zu Ende. Ist doch der weitgehende Entzug des Schlammwassers in Entwässerungs- und Trocknungseinrichtungen Voraussetzung für die nachfolgende Veraschung des Schlammes.

Einen wesentlichen Kostenpunkt stellt dabei der Einsatz von Entwässerungshilfsmitteln dar. Diesem Umstand wurde in den Vorplanungen besonderes Augenmerk gewidmet. Erfolgreiche Labor- und halbtechnische Versuche der Firma Lurgi, Frankfurt/Main über die Verwendbarkeit von Klärschlammasche als Filterhilfsmittel gaben letztlich den Ausschlag für den Bau einer Anlage für die Entwässerung und Verbrennung von 500 m^3 Faulschlamm pro Tag.

Aufbringen der Vorschicht, das alle 6 bis 8 Stunden nötig war, viel Zeit verloren.

Neben dem verhältnismäßig schlechten Abscheidegrad der Zentrifugen von 50 bis 60 %, trat auch ein starker Verschleiß der Schlammaustragschnecken ein. Dies wurde zwar nach erfolgter Hartmetallaufschweißung besser, doch suchte man trotzdem nach einer Möglichkeit, ganz ohne Zentrifugen auszukommen. Schließlich stellte man fest, daß es auch möglich war, den Schlamm nach Aschebeimischung direkt auf den Vakuumfiltern zu entwässern, nachdem man seine Grobstoffe in einem Passiergerät zurückgehalten und einige Leitungsumstellungen durchgeführt hatte. Der Filterkuchen konnte gegenüber der ursprünglichen Betriebsweise ohne Mehraufwand an Strom und Heizöl verascht werden (Bild 3).

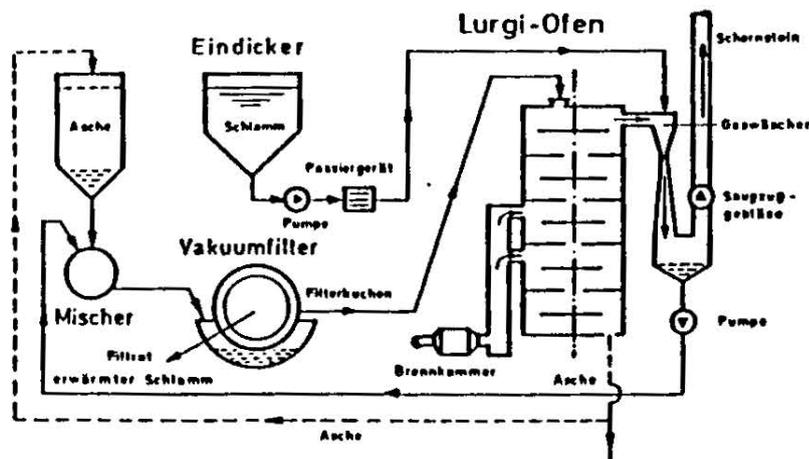


Bild 3: Lurgi-Schlamm-Asche-Verfahren (ohne Zentrifugen)
spätere Betriebsweise 1965

Da die erste Ausbaustufe nur etwa die Hälfte der tatsächlich anfallenden Schlammmenge verarbeiten konnte, war eine Erweiterung notwendig. Diese zweite Ausbaustufe, die 1967 in Betrieb

ging, konnte täglich weitere 500 m^3 Faulschlamm verarbeiten. Sie war ebenfalls mit zwei Schwerkrafteindickern, einem Drehetagenofen und einem Aschebunker ausgestattet.

Für die Entwässerung des Schlammes wurden im Gegensatz zur ersten Ausbaustufe jedoch **K a m m e r f i l t e r p r e s s e n** verwendet. Mit ihnen erreichte man einen merkbar höheren Entwässerungsgrad des Schlammes, als es mit Vakuumfiltern möglich war. Dies führte auch zu einem entsprechend geringeren Bedarf an Zusatzwärme bei der Veraschung des Filterkuchens.

Zur Schlammkonditionierung konnte wie in der ersten Ausbaustufe Schlammasche verwendet werden. Dabei benötigte man nur etwa $1/3$ der bei der Vakuumfiltration erforderlichen Aschemenge.

Da Filterpressen den entwässerten Schlamm intermittierend abwerfen, der Ofen jedoch kontinuierlich betrieben werden mußte, war es nötig, zwischen Filterpressen und Ofen einen Zwischenbunker anzuordnen (Bild 4). Dieser war gleichzeitig mit einer Einrichtung zur Kuchenzerkleinerung ausgestattet. Zerkleinerter Kuchen konnte auch wahlweise mit Förderbändern ins Freie transportiert und auf Lastkraftwagen verladen werden.

Damit beim Öffnen der Kammerfilterpressen der Filterkuchen sicher abfiel, wurde vor dem Beschicken der Presse mit konditioniertem Schlamm zunächst eine dünne Precoat-Schicht aus Schlammasche auf das Filtertuch aufgebracht. Diese erreichte man dadurch, daß man ein Asche-Wasser-Gemisch in die Presse drückt. Während der Wasseranteil der Mischung durch das Filtertuch abfließt, bleibt die Asche auf dem Tuch haften.

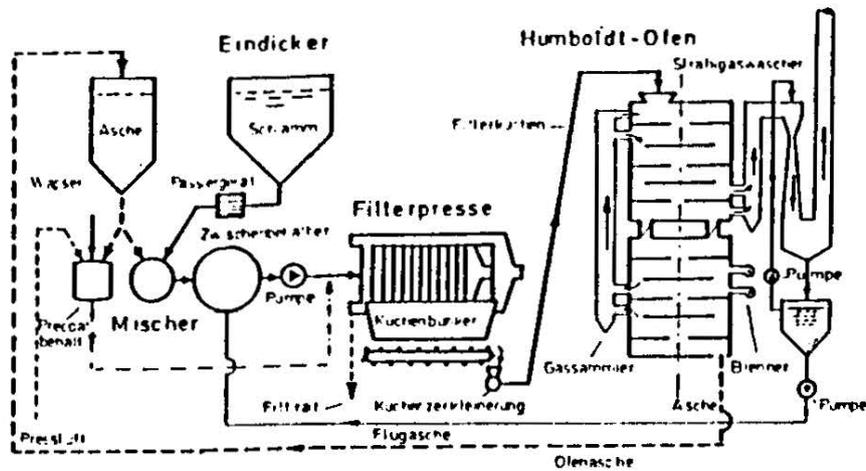


Bild 4: Passavant-Schlamm-Asche-Verfahren
Stand 1967

Um die Durchsatzleistung der zweiten Ausbaustufe zu steigern, wurde 1971 eine Dosierstation zur chemischen Schlammkonditionierung angegliedert. Als Konditionierungsmittel wurden eisenchloridhaltige Abfallsäure und Kalk verwendet. Für die Abfallsäure, die aus einem Stuttgarter Betrieb stammt, mußten nur die Beifuhrkosten von etwa 0,02 DM/l aufgewendet werden.

Zur Konditionierung von 1 m^3 Faulschlamm wurden im Mittel 10 l Abfallsäure und 12 kg Kalk (Calciumhydroxid) benötigt.

Mit den Vakuumfiltern der ersten Ausbaustufe erhielt man bei der Aschekonditionierung einen Schlammkuchen, für dessen Verbrennung verhältnismäßig viel Zusatzwärme benötigt wurde. Dies fiel bei den früheren sehr niedrigen Heizölpreisen nicht sehr ins Gewicht. Später war es dagegen günstiger, wenn man bei der Vakuumfiltration chemisch konditionierte. Die Einsparungen, die man dadurch an aufzuwendender Wärmeenergie erzielte, waren höher als die zur Konditionierung aufzuwendenden Chemikalienkosten.

Da Z e n t r i f u g e n in der Regel verfahrenstechnisch einfacher zu betreiben sind, als Drehfilter, wurde 1975 versuchsweise eine Dekantierzentrifuge neben den Vakuumfiltern aufgestellt. Sie hat sich so gut bewährt, daß sie dann käuflich erworben wurde. Sie leistet sogar mehr, als die vorhandenen 3 Vakuumfilter zusammen.

Es war deshalb nicht verwunderlich, daß man die inzwischen stark abgenutzten Vakuumfilter durch Zentrifugen ersetzte (Bild 5).

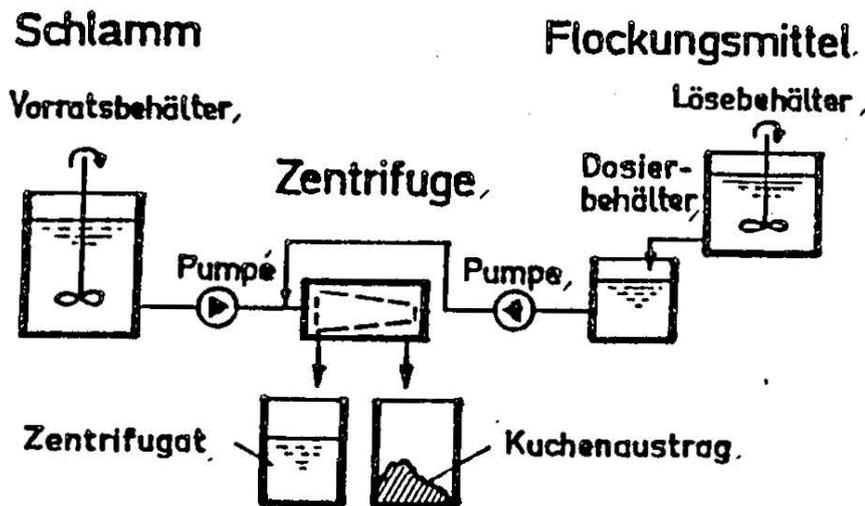


Bild 5: Schlammwässerung auf Zentrifugen

Heute verarbeiten 3 Zentrifugen rd. $1\,500\text{ m}^3$ Schlamm pro Tag, d.h. den gesamten im Hauptklärwerk anfallenden Klärschlamm, so daß auch die Kammerfilterpressen inzwischen stillgelegt werden konnten. Die Gleichstromzentrifugen vom Typ S4/1 sind außerdem mit einer Einrichtung ausgestattet, welche die Differenzdrehzahl zwischen Rotor und Schnecke automatisch auf dem günstigsten Entwässerungsgrad einstellt.

Die günstigste Flockmitteldosierung soll künftig auch automatisiert werden. Hierzu wird die Trübung des Zentrifugats kontinuierlich ge-

messen und bei ihrer Veränderung die Einstellung der Dosierpumpe nachgeregelt. Die erforderliche Einrichtung ist zunächst nur für eine Zentrifuge vorhanden. Wenn sie sich bewährt hat, sollen alle Zentrifugen damit ausgerüstet werden.

2. AUBENKLÄRWERKE

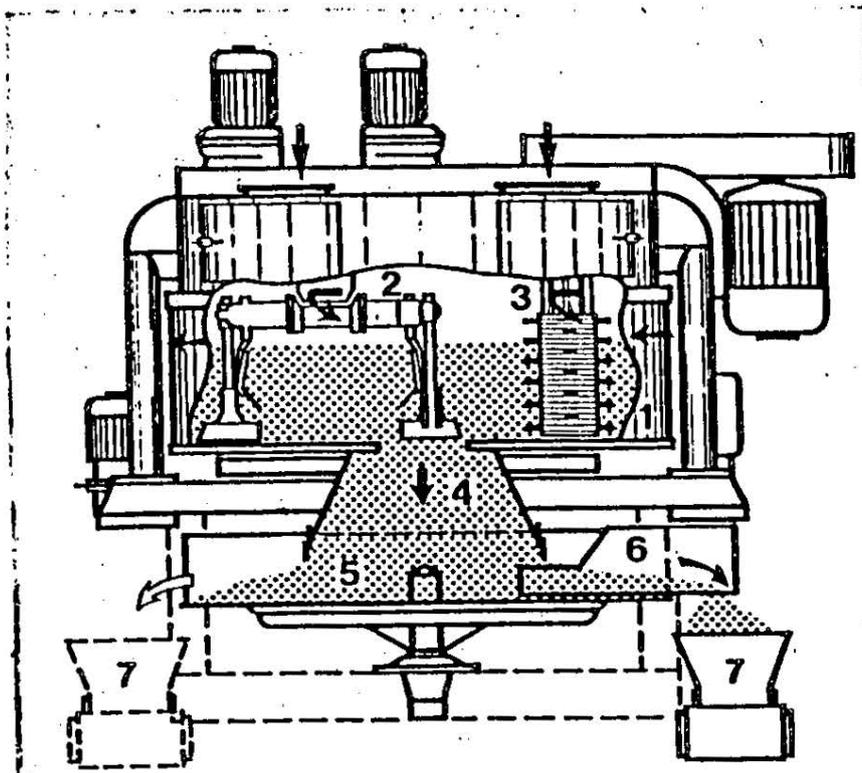
Einige Stadtteile von Stuttgart liegen außerhalb des Einzugsbereichs des Hauptklärwerks. Sie entwässern nach 4 weiteren kleineren Klärwerken. An 3 von ihnen (Stuttgart-Möhringen, Stuttgart-Plieningen, Gruppenklärwerk Ditzingen) sind je etwa 100 000 EWG angeschlossen, das kleinste mit etwa 4 000 angeschlossenen EGW (Stuttgart-Büsnau) dient als Lehr- und Forschungsklärwerk der Universität Stuttgart. Sie gingen 1953, 1959 und 1967 in Betrieb und waren außer dem letztgenannten zunächst nur mit Schlamm-trockenbeeten ausgestattet.

Die Hauptschlammengen wurden dann später jedoch flüssig auf die Felder gebracht und zwar auf Kosten der Klärwerke.

Im Winterhalbjahr klappte dies gut, während der Vegetationsperiode mehr schlecht als recht. Man entschloß sich deshalb im Klärwerk Stuttgart-Möhringen, wo der größte Engpaß herrschte als erstes Außenklärwerk, zunächst ein Saugzellfilter aufzustellen, zu dem später noch ein zweiter dazukam. Die Schlammkonditionierung war verhältnismäßig billig, da man eisenchloridhaltige abgestumpfte Abfallsäure von einem Stuttgarter Betrieb zum Transportpreis einsetzen konnte. Lediglich den Kalk mußte man normal bezahlen. Auch technisch funktionierte es gut.

Schwierig wurde es erst, als nach den Deponierichtlinien von Baden-Württemberg ein Schlammfeststoffgehalt von 35 % TS gefordert wurde. Das war mit Vakuumfiltern keinesfalls machbar.

Wir entschlossen uns deshalb, einen Zwangsmischer nachzuschalten, in welchem Schlammmasse aus dem Hauptklärwerk beigemischt werden konnte. Doch den richtigen Mischer hierfür mußte man erst einmal finden. Nicht jeder, den wir ausprobierten, hielt, was der Hersteller versprochen hatte. Schließlich mieteten wir einen, zu dem wir Vertrauen hatten einige Monate lang und kauften ihn dann später auch - woraus man schließen kann, daß er funktionierte (Bild 6).



- | | |
|--|--|
| 1 rotierender Mischsteller | Mischer und Austragteller um
180 ° verdreht dargestellt |
| 2 drehender Mischstern | |
| 3 Hochleistungswirbler | |
| 4 Auslauföffnung mit Trichter | |
| 5 Austragteller | |
| 6 Ausräumerzunge | |
| 7 Je nach Bedarf können ein oder zwei Abnahmestellen vorgesehen werden | |

Bild 6: Aschebeimischung zum entwässerten Schlamm
Schema des Mixers

Die gleichen Mischer haben wir später auch in den Klärwerken Plieningen und Ditzingen eingesetzt, wo der Faulschlamm zuvor auf Siebbandpressen entwässert wird.

Außer dem Einsatz des richtigen Durchlaufmischers mußte auch die gleichmäßige Zufuhr der Asche realisiert werden. Der ursprüngliche Holzhammer, mit dem anfänglich gegen den Siloboden geballert wurde, wenn die Asche nicht nachlaufen wollte, wurde durch wirkungsvollere Methoden ersetzt. In einem Fall geschieht dies durch einen Schwingungsboden (Brabender Boden), im anderen durch Druckluft (Druckluftkanone).

Inzwischen waren im Klärwerk Möhringen über 15 Jahre seit der Aufstellung der Vakuumfilter vergangen und größere Reparaturen an der Anlage standen ins Haus. Man entschloß sich, diese nicht durchzuführen und statt dessen 2 Kammerfilterpressen nach dem derzeitigen Stand der Technik zu installieren, d.h. Filterplatten aus Kunststoff, weitgehende Automatisierung und Schlammkonditionierungsmöglichkeiten sowohl für Chemikalien als auch für Schlammasche. Der Filterkuchen fällt direkt in Absetzmulden, die unter den Pressen hindurchgezogen werden.

3. EIN BLICK ÜBER DEN ZAUN

Um den Feststoffgehalt zu erhöhen, wird anderswo anstelle von Schlammasche auch manchmal Steinmehl oder E-Filterasche aus Kraftwerken verwendet.

Wenn man statt dessen Branntkalk benutzt, erreicht man durch die chemische Umsetzung gleichzeitig eine Erwärmung des Schlammes (Bild 6) und seine Hygienisierung. Aus Klärschlamm ist damit praktisch ein Kalkdünger geworden, den man entsprechend der jeweiligen Bodenstruktur zweckentsprechend einsetzen kann.

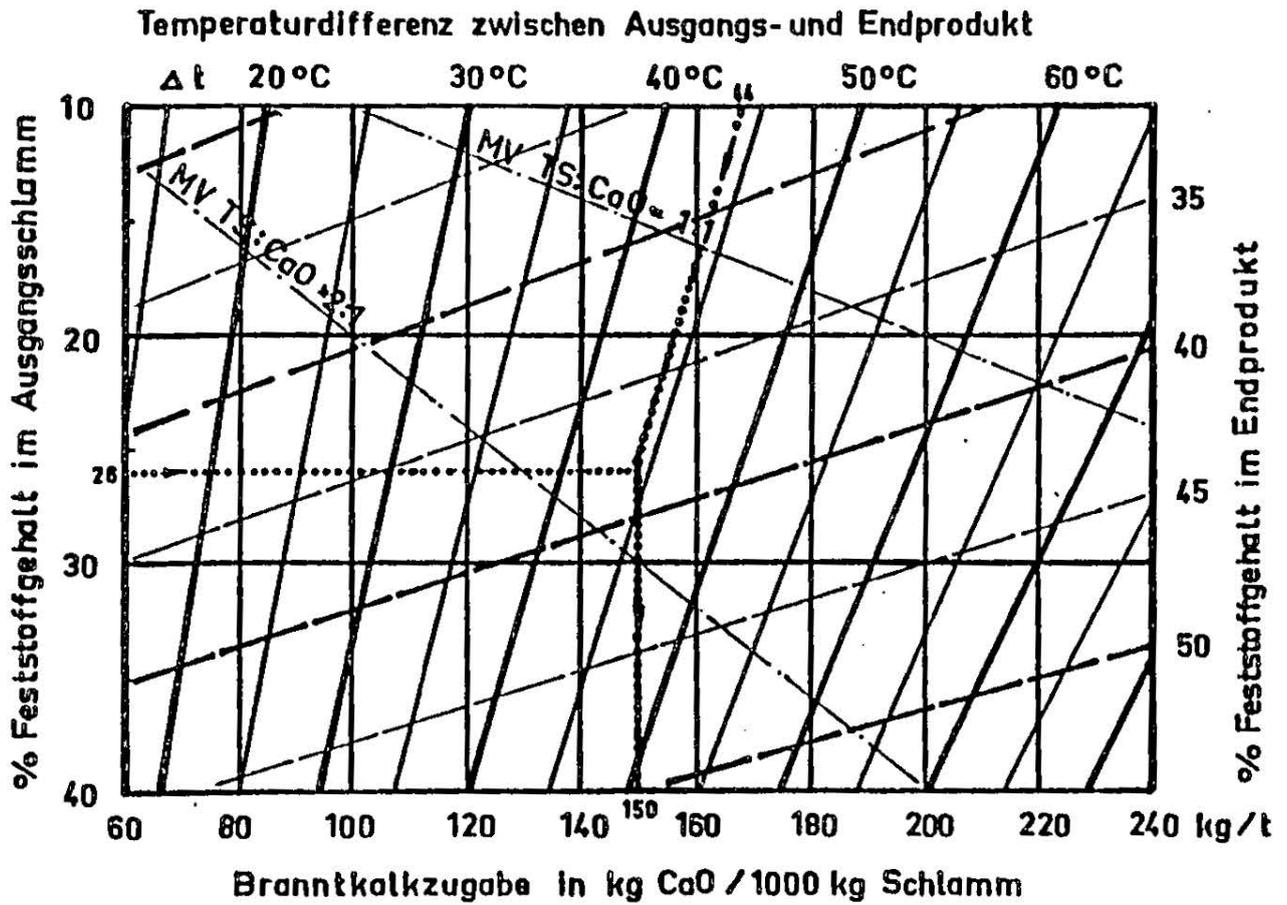


Bild 7: Branntkalkdosierung zum entwässerten Schlamm
- Nomogramm -

VATER Wolfgang, Ltd. Baudir. Dr.-Ing.
 Stadt Stuttgart, Tiefbauamt, Abt. Klärwerke
 Schloßstr. 64 A
 7000 Stuttgart 1

4. LITERATURVERZEICHNIS

- STADT STUTTGART,
TECHNISCHES REFERAT: 50 Jahre Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen.
Festschrift 1966
- VATER W.: Die Schlammveraschungsanlage im Hauptklärwerk
Stuttgart-Mühlhausen.
Brennstoff-Wärme-Kraft 1966 S. 240 ff
- VATER W.: Praktische Erfahrung mit der Konditionierung
von Schlämmen.
Gewässerschutz-Wasser-Abwasser Band 6, T.H.
Aachen 1971
- VATER W.: Klärschlammmentwässerung mit Filterhilfs-
schichten.
GWf 1972 S. 230 ff
- VATERW.: Schlammmentwässerung in Zentrifugen.
Müll- und Abfallbeseitigung von Kumpf-Maas-
Straub, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- VATER W.,
CIECKIEWICZ Z.: Beitrag zur Klärschlammzentrifugierung.
GWf 1974 S. 137 ff
- VATER W.: Entwässerung mit Kammerfilterpressen.
Berichte der ATV Nr. 30, 1976/77 S. 99 ff
- VATER W.: Theorie und Praxis der Schlammmentwässerung.
Lehrgang 7201/12.008 T.A. Esslingen 1984
- MACH R.: Kalk-Klärschlamm-Dünger, Konsequenzen für die
Klärschlammverwertung.
Korrespondenz Abwasser 11/1984

PROBLEMATIK DER KLÄRSCHLAMMDEPONIERUNG

P. Lechner

R. Pawlick

Die geordnete Ablagerung von Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen auf Deponien wird immer notwendiger. Können Klärschlämme aus kleinen Anlagen im ländlichen Gebiet, welche den Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten entsprechen, meist noch in der Landwirtschaft untergebracht werden, ist das bei den Klärschlämmen aus Großkläranlagen praktisch nicht mehr möglich. Die Beseitigung dieser Klärschlämme auf Geordneten Mülldeponien stößt allerdings meist auf den Widerstand der Betreiber. Neben den betrieblichen Schwierigkeiten, welche beim Einbau unzureichend entwässerter Schlämme entstehen, werden vor allem Argumente bezüglich einer Verminderung der Standfestigkeit der Deponie sowie einer nachteiligen Beeinflussung des Sickerwasser- und Gashaushaltes ins Treffen geführt. In den derzeit für Österreich gültigen "Deponie-Richtlinien" ¹⁾ wird die gemeinsame Ablagerung von Klärschlamm und Hausmüll nicht behandelt. Lediglich der Hinweis, daß alle nicht bis zur Stichfestigkeit entwässerten Schlämme von einer gemeinsamen Ablagerung mit Müll ausgenommen sind, ist enthalten. Da diese Richtlinien nicht mehr dem derzeitigen Wissensstand sowie den heutigen Erfordernissen entsprechen - so ist z.B. der Bereich der Sonderabfälle, dem auch der Klärschlamm zuzuordnen ist, ausgenommen -, ist eine Neubearbeitung der Deponie-Richtlinien einschließlich der geordneten Ablagerung von Sonderabfällen vorgesehen. Im Rahmen dieser Neubearbeitung wird auch das Problem der Klärschlammablagerung behandelt werden müssen. Im folgenden wird versucht, die Problematik der Klärschlammdeponierung anhand des derzeitigen Wissensstandes aufzuzeigen.

1) Richtlinien für geordnete Mülldeponien im Interesse des Gewässerschutzes des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft vom September 1977

Für die Ablagerung von Klärschlamm werden in der Literatur sowohl die Mono-Deponie, also die alleinige Ablagerung des Schlammes, als auch die Ablagerung gemeinsam mit Müll, vorgeschlagen.

Ablagerung in Form der Mono-Deponie

Die Ablagerung von flüssigem Schlamm ist die wohl einfachste Methode, welche auf den ersten Blick auch recht kostengünstig erscheint. Sie erfordert allerdings ziemlich große Flächen sowie eine sehr exakt einzuhaltende Ablagerungstechnik. KÜHLHOFF (1983) gibt als Bemessungsrichtwert $1 \text{ m}^3 \text{ Schlamm/m}^2 \cdot \text{a}$ an. Der Schlamm soll in Schichten von ca. 20-25 cm Höhe eingebracht werden. Vor dem Aufbringen der nächsten Schicht soll das im Schlamm enthaltene Wasser

- versickern und über Drainagen abgeleitet werden
- als Überstandswasser abgezogen werden
- verdunsten.

Die Versickerung funktioniert allerdings nur bei den zuunterst eingebrachten Schlammschichten, da diese dann für die späteren Lagen eine mehr oder weniger dichte Sperrschicht bilden. Der Großteil des Wassers muß daher in Form des Überstandswassers abgezogen werden, da der Verdunstungsanteil in unseren Breiten zu gering ist. Bei ordnungsgemäßer Betriebsführung kann der Schlamm auf einen Wassergehalt von 80-85 % entwässert werden.

Der Ablagerung des flüssigen Schlammes auf einer Mono-Deponie steht allerdings die ziemlich einheitliche und berechtigte Forderung nach einem Trockensubstanzgehalt der Schlämme von 30 bis 40 % bei der Ablagerung entgegen (GANDOLLA, 1984; LAGA-Merkblatt 1979; Österreichische Deponie-Richtlinien, 1977). Die Ablagerung von entwässertem Frischschlamm wird von der Behörde in der Regel auch nicht genehmigt. V.D.EMDE et al. (1982) untersuchten einen solchen Fall. Ca. 4000 m^3 Schlamm wurden in einer Höhe von 2 m abgelagert. Der Schlamm hatte ein Jahr nach der Ablagerung einen Trockensubstanzgehalt, der zwischen 21 % und 46 % schwankte. Die Schlammoberfläche war gut abgetrocknet, die trockene Schicht war 10 bis 15 cm stark. Daher war

die Tragfähigkeit der Schlammoberfläche begrenzt. An diese abgetrocknete oberflächliche Schicht schloß eine ca. 5 cm starke, infolge einer Sulfatreduktion schwarz gefärbte Schicht an. Diese Schicht war sehr dicht und verhinderte sowohl das Eindringen von Niederschlagswasser in die darunter liegenden Schlammschichten als auch das Austreten von Geruchsstoffen aus diesen. Beim Durchstechen dieser Schicht kam es dann auch zum Auftreten von penetranten Gerüchen. Solche sauren und basischen Geruchsstoffe entstehen bei der anaeroben Umsetzung der im Klärschlamm enthaltenen Fette, Kohlenhydrate und Eiweißverbindungen. Beim technischen Faulprozeß werden die dabei gebildeten niedermolekularen Verbindungen, wie zum Beispiel Butter-säure, Valeriansäure, Cadaverin, Skatol u.a. weiter abgebaut und zum Großteil in Methan und CO_2 umgewandelt. Im vorliegenden Fall war der anaerobe Stabilisierungsprozeß aber nicht zum Abschluß gekommen, sondern auf der Stufe der geruchsintensiven Zwischenprodukte stehen geblieben.

Auf Grund der örtlichen Situation war eine Beeinflussung des Grundwassers durch eventuell austretendes Sickerwasser nicht gegeben. Da die Ablagerung widerrechtlich erfolgt war, wurde der Schlamm ca. 2 Jahre nach seiner Ablagerung auf behördliche Anweisung entfernt. Der Schlamm wurde ins Ausland verbracht und dort abgelagert.

Hinsichtlich der geordneten Ablagerung von Abfällen zeichnen sich generell folgende Tendenzen ab:

- Die Ablagerung in Form einer Aufhaldung wird aus Gründen der Schaffung von freier Vorflut günstiger zu beurteilen sein als eine Grubenverfüllung
- Der Wassergehalt der abzulagernden Abfälle wird aus Gründen einer Minimierung des Sickerwasseranfalls möglichst gering gehalten werden müssen
- Die Abfälle werden derart vorbehandelt werden müssen, daß auch über lange Zeiträume keine Schadstoffe infolge von Reaktionen im Abfallkörper selbst oder durch Umwelteinflüsse freigesetzt werden können.

Allen diesen drei Forderungen kann die Ablagerung von Frischschlamm sowie die von ausgefaultem und nicht entwässertem Klärschlamm nicht entsprechen. Dazu kommt, daß das Bereitstellen von entsprechend großen Deponieflächen für die alleinige Ablagerung von Flüssigschlamm heute praktisch nicht mehr möglich ist.

Ablagerung gemeinsam mit Müll

Für die gemeinsame Ablagerung von Klärschlamm und Müll wird in der Literatur eine Reihe von Methoden angegeben.

Eine Einbauform, die hinsichtlich der Standsicherheit umfangreich untersucht wurde, ist der sogenannte Kassetteneinbau des Schlammes. Dabei wird der Schlamm punktuell auf der verdichteten Müllfläche abgeladen und mit einem Zusatzgerät, eventuell auch mit dem Kompaktor, zu höheren Kassetten aufgeschichtet (KÖHLHOFF, 1984). Der Schlamm muß allerdings so weit entwässert sein, daß die Kassetten auch bei größeren Abmessungen formbeständig sind. Der Müll wird zwischen den Schlammkassetten eingebaut und verdichtet.

VAN WICKEREN (1984) beschreibt ausführlich einen derartigen Einbau, da er sich seiner Meinung nach in der Praxis bewährt hat, und auch für die Unterbringung größerer Mengen Klärschlammes geeignet ist: Die Anlieferung von Müll und Klärschlamm erfolgt in 2 Betriebsebenen, wobei der Schlamm auf der unteren Ebene angeliefert und dort in Form von ca. 70-90 cm hohen formbeständigen Mieten aufgesetzt wird. Ausreichender Abstand vom Rand der Deponie sowie der einzelnen Mieten untereinander erbringt immer noch eine Nutzung von ca. 40 % der jeweiligen Betriebsfläche. Der Müll wird auf der oberen Betriebsfläche angeliefert und zwischen bzw. über den Klärschlamm-Mieten abgelagert. Bei einer einwohneräquivalenten Ablagerung von Klärschlamm und Müll ist für eine Mietenhöhe von 70-90 cm eine Müllschicht von 2 m notwendig. KEMMERLING und SCHARF (1982) empfehlen, beim Kassetteneinbau ein Müll-Klärschlamm-Verhältnis von 5:1 nicht zu unterschreiten.

HENKE (1979) untersuchte die Standsicherheit von Deponien bei dieser Ablagerungsform. Er konnte eine Abhängigkeit des Standsicherheitsfaktors von der Kassettenform feststellen. HENKES grundsätzliche Über-

legungen basieren auf einer gleichmäßigen Belegungsdichte des Deponequerschnitts mit Schlamm. Seine Berechnungen zeigten, daß der Standsicherheitsbeiwert von Bruchflächen, die nahe der Böschung liegen, geringer ist als von solchen in größerer Entfernung von der Böschungsoberfläche. Bei Berechnungen mit Querschnitten, welche an der Böschung eine Erdschüttung bzw. eine schlammfreie Zone hatten, konnte eine beträchtliche Steigerung des Standsicherheitsfaktors nachgewiesen werden. Die modellhaften Untersuchungen zeigten also deutlich, daß die Scherbeanspruchung in Böschungsnähe und im Sohlbereich am größten ist.

Nach einer ausreichenden Überdeckung der Klärschlamm-Mieten mit Müll können nach VAN WICKEREN diese ebenfalls befahren und verdichtet werden. VAN WICKEREN bezieht sich in seinen Ausführungen auf den von einem ATV/VKS-Fachausschuß erstellten Arbeitsbericht "Klärschlamm einbau in Deponien". In diesem Arbeitsbericht wird auch der sogenannte gemischte Einbau beschrieben:

Die Anlieferung und der Einbau erfolgen in einer Betriebsebene. Mit Hilfe des Kompaktors wird der Müll zerkleinert und mit dem Klärschlamm vermischt. Der Einbau des Müll-Klärschlamm-Gemisches erfolgt in dünnen Schichten, um eine optimale Verdichtung zu erreichen. Dieses Verfahren ist aber nur für ein weites Hausmüll-Klärschlamm-Verhältnis von ca. 20:1 geeignet. Kritisch zu vermerken wäre, daß es bei einer solchen Einbaumethodik insbesondere bei nasser Witterung wahrscheinlich zu Schwierigkeiten beim Befahren kommen wird.

Auf der Mülldeponie "Hollabrunn" der NÖ Umweltschutzanstalt wird derzeit ein versuchsförmiger Einbau des entwässerten Klärschlammes aus der Kläranlage Mödling durchgeführt. Der stabilisierte Klärschlamm ist auf einen Trockensubstanzgehalt von 30 % entwässert und wird an der derzeitigen Schüttkante der Deponie in den Wannbereich abgekippt (RINGHOFER, 1985). Da die Deponie sich in der Anfangsphase befindet und noch entsprechend viel Platz vorhanden ist, wird der Klärschlamm nicht sofort mit Müll überdeckt, sondern offen liegen gelassen. Dabei kommt es wahrscheinlich zu einer Nachentwässerung, was die anschließende Überdeckung mit ca. 80 cm Müll erleichtern wird.

Es muß auch vermutet werden, daß ein Müll-Klärschlamm-Gemisch sich durch dauerndes Befahren mit dem Einbaugerät entmischt und dann ähnlich wie beim schichtenförmigen Einbau des Klärschlammes Stau- und Gleithorizonte entstehen. VAN WICKEREN (1984) weist eindringlich auf diese beim schichtförmigen Einbau entstehenden geschlossenen Schlammschichten hin, an denen sich Sickerwasser und Gas staut und unkontrolliert austritt. Weiters ist die Standsicherheit einer Deponie durch die Bildung dieser Gleitschichten gefährdet. Die Annahme, durch stichfeste Konsistenz des Klärschlammes diese Gleitschichtenbildung verhindern zu können, wurde hinreichend widerlegt. Nach Untersuchungen von HENKE (1979) schwankte die Scherfestigkeit verschiedener Schlämme bei einem Wassergehalt von 65 % zwischen 0,0085 und 0,06 MN/m², also um fast eine Größenordnung. Wichtig ist, daß das Verformungsverhalten der Schlämme von dem der Böden, und zwar auch von solchen Böden, die einen hohen organischen Anteil aufweisen, deutlich abweicht. Normalerweise entwickelt ein Boden zu Beginn der Belastung seinen höchsten Porenwasserdruck. Dieser nimmt dann im Verlauf der Zeit ab. Bei den untersuchten Abwasserschlämmen stieg der Porenwasserdruck - auch bei höherer Belastung - nach einer bestimmten Zeit an, um erst dann wie üblich abzunehmen. HENKE vermutet als Ursache für dieses Verhalten einen sich erst später entwickelnden Gasdruck. Alleine die Tatsache des Auftretens von höheren als aus der Auflast bedingten Porenwasserspannungen stellt ein besonderes Risiko dar, weil durch diese Porenwasserspannungen die Reibungskräfte vermindert werden. Dieses Risiko tritt besonders bei einem Einbau des Schlammes in dünnen Schichten auf.

MÖLLER et al. (1984) weisen ebenfalls darauf hin, daß die alleinige Forderung nach einem Mindestfeststoffgehalt des Schlammes zu wenig ist, um die Standsicherheit einer Deponie zu rechtfertigen. Sie fordern die Einführung von neuen Kennwerten, wie die Stabilisierung, Konditionierung und Art der Entwässerung, um gewährleisten zu können, daß der Schlamm ohne Schwierigkeiten auf der Deponie eingebaut werden kann. Die Aussage, daß ein höherer Feststoffgehalt eines entwässerten Schlammes keine höhere Festigkeit bedingt, wurde auf Grund einer umfangreichen Untersuchung getroffen. Von 292 Schlämmen wurde

die Flügelscherfestigkeit überprüft. Bei einem Wassergehalt von mehr als 65 % erreichten 15 Proben eine Flügelscherfestigkeit $> 10 \text{ KN/m}^2$, während bei einem Wassergehalt von weniger als 65 % 37 Meßwerte eine Flügelscherfestigkeit unter 10 KN/m^2 aufwiesen. Eine Differenzierung der untersuchten Schlämme hinsichtlich der Art der Entwässerung wurde allerdings nicht getroffen.

Für die zweifelsfreie Abklärung der Deponierbarkeit von Klärschlämmen ist nach Meinung HENKES eine Konsistenzprüfung, wie zum Beispiel mit Hilfe der Flügelscherfestigkeit unbedingt notwendig.

HENKE empfiehlt bei einer gemeinsamen Ablagerung einen Standsicherheitsfaktor von 2,25, während er für die alleinige Ablagerung von Hausmüll einen Faktor von 2,0 als ausreichend betrachtet. Nach HENKE ergibt sich für eine gegebene Böschungsneigung und ein vorgegebenes Müll-Klärschlamm-Verhältnis aus dem Seitenverhältnis der Kassetten dieser Standsicherheitsfaktor. Trotzdem eine Reihe von Fragen in bezug auf das Verhalten von Klärschlämmen als prognostizierbar gelten können, weist HENKE darauf hin, daß ein gewisses Risiko bei der Ablagerung von Klärschlämmen bestehen bleibt. Insbesondere ist zu erwarten, daß beim Abbau von Klärschlamm die Scherfestigkeit mit der Zeit abnehmen wird.

REUSS et al. (1975) berichten Versuchsergebnisse über das schichtenweise Einbringen von Schlamm auf Mülldeponien:

Der dünnflüssige Schlamm drang auf dem frischen Müll derart in den Müllkörper ein, daß zum Beispiel bei einer Beschickung von 200 mm Schlamm mit einem Wassergehalt von ca. 95 % eine 0,4 m dicke Abdeckung mit Müll ausreichte, um die Oberfläche für eine Raupe befahrbar zu machen. Eine Beschickung von 400 mm Schlamm erforderte eine Überdeckung von 1 m Müll. In Abhängigkeit von der Verdichtung mit Hilfe einer Raupe traten unterschiedlich hohe Temperaturen auf. Die Temperaturen nahmen mit der Anzahl der Überfahrten durch die Raupe ab. Die organischen Sickerwasserfrachten waren bei der für heutige Betriebsverhältnisse schwachen Verdichtung entsprechend hoch. Durch die zusätzliche Beschickung mit entwässertem Rohschlamm verdreifachten sich die Belastungskennwerte gegenüber der Variante ohne Klärschlamm. Die Keimbelastung war nach der Schlammzufuhr ebenfalls stark erhöht.

COLLINS und SPILLMANN (1976) führten in einer Tongrube bei Roklum, BRD, Versuche mit Müll-Klärschlamm-Gemischen im Gewichtsverhältnis 1:1 durch. Ergebnis der Untersuchung war, daß eine Mischzeit von ca. 1 Stunde für das Müll-Klärschlamm-Gemisch ausreichte, die Mischung soweit zu verfestigen, daß sie von einer Raupe in einer Lage von 30 cm Dicke eingebaut werden konnte. Von Radfahrzeugen befahren werden konnte die Ablagerung allerdings erst nach 2 Monaten Lagerzeit. Angemerkt muß noch werden, daß der eingebaute Klärschlamm einen Wassergehalt von ca. 85 % aufwies.

COLLINS und SPILLMANN (1976) untersuchten das Einbringen von mit Ätzkalk versetztem Rohschlamm in dünnen Wechsellagen mit Müll. Der Klärschlamm und der Müll wurden mit Hilfe einer Raupe dünnlagig und abwechselnd eingebaut. Anschließend wurde versucht, mit Hilfe einer Schafffußwalze zu vermischen und zu verdichten. Die einzelnen Schichten wurden in sehr dünnen Lagen aufgebracht - der Klärschlamm in einer Schichtstärke von 3 bis 5 cm - und anschließend, wie beschrieben, verdichtet. Dabei wurde festgestellt, daß ab einer Gesamtschichtstärke von ca. 30 cm der Schlamm bei weiteren Überfahren mit der vorhandenen Raupe sowie beim Versuch, die Müll-Klärschlamm-Schichten mit der Schafffußwalze zu verdichten, der Vertikalbelastung auswich. Weitere Versuche zum Einbau des Schlammes in dünnen Wechsellagen mit Müll und anschließender Verdichtung mit Kompaktoren waren ebenfalls erfolglos.

Zur Verbesserung der Tragfähigkeit von Klärschlamm wird die Zugabe von Feinkalk zum entwässerten Schlamm vorgeschlagen (GERKE, 1984). Bei der Behandlung mit schnelllöschendem Feinkalk erreicht der Schlamm 50-60 °C, was einen zusätzlichen Hygienisierungseffekt bedeutet. GERKE wirft die Frage auf, ob nicht eine Kalk-Klärschlamm-Mono-Deponie entscheidende Vorteile gegenüber anderen Ablagerungsformen bringt. Problematisch erscheint allerdings noch die Mischung des Klärschlammes mit Feinkalk: Ammoniak wird dabei gasförmig freigesetzt, was zu Geruchsbeeinträchtigungen führen kann.

V. WREDE (1984) berichtet über die Möglichkeit, kommunale Klärschlämme mit Flugasche aus Müllverbrennungsanlagen unter Zugabe besonderer Spezialbindemittel mit hydraulischer Wirkung in eine nicht auslaufende feste Masse, den sogenannten "Schlammstein", umzuwandeln. Dieses Verfestigungsprodukt erreichte im Versuch eine Mindestdruckfestigkeit von $30-70 \text{ N/cm}^2$, und war nach 8 bis 14 Tagen begeh- bzw. befahrbar. Trotz der Zuschlagstoffe Flugasche und Spezialbindemittel kam es durch die hohe Verdichtung sowie die Schrumpfung beim Aushärten des Mischgutes zu keiner Volumsvergrößerung beim Deponiegut. V. WREDE schlägt auch vor, Klärschlamm in Form eines solchen Verfestigungsproduktes auf der Deponieoberfläche aufzubringen, um damit einen wasserdichten Abschluß der Deponie nach außen hin zu erreichen. Als weiterer Vorteil wird die Verringerung der Auslaugbarkeit von Schwermetallen aus dem Verfestigungsprodukt gegenüber dem reinen Klärschlamm angegeben. Überlegungen hinsichtlich des Langzeitverhaltens wurden allerdings nicht angestellt.

INGERLE (1980) hält kleine, dem derzeitigen Stand der Deponietechnik nicht entsprechende Deponien für eine Klärschlammablagerung grundsätzlich nicht geeignet. Er sieht die Problematik bei einer gemeinsamen Müll-Klärschlamm-Ablagerung ohne vorhergegangene Mischung - also entweder bei kassettenförmigem Einbau oder auch flächigem Einbau - vor allem in der Beherrschung der nur langsam abklingenden Setzungen sowie der Sickerwasser- und Deponiegasproblematik. Weiters weist INGERLE auf die Schwierigkeiten beim direkten Befahren der Deponie hin. Um diese Nachteile zu vermeiden bzw. zu verringern, sieht INGERLE in einer Mischung des Schlammes mit dem Müll vor der Ablagerung eine günstigere Lösung. Als Vorteile nennt er den rascheren Ablauf des biologisch-chemischen Abbauprozesses, eine bessere Beherrschung des Papierflugs und der Staubemissionen auf der Deponie sowie eine mögliche Nutzung der in den abgelagerten Abfallstoffen enthaltenen Energien. HENKE(1980) limitiert allerdings aus Gründen der Standfestigkeit die Klärschlammzugabe mit ca. 5 % Schlamm, bezogen auf das Gesamtvolumen. Er begründet das mit den "Schmiermitteleigenschaft" des Schlammes, welche zu einer Verminderung der an sich recht guten Scherfestigkeit des Mülls führt.

Hohe Klärschlammengen können bei der sogenannten "Rottedeponie" zugegeben werden. Bei dieser Deponieform, man spricht auch von einer un gelenkten Kompostierung, wird die organische Substanz aerob abgebaut. Der Betrieb der Rottedeponie ist aufwendiger als der einer Verdichtungsdeponie und benötigt auch mehr Platz. PIERAU und MOLLER (1976) geben eine Rottezeit für eine 2 m mächtige Abfallschicht von 4 - 6 Monaten an. Wie inzwischen aus der Müllkompostierung hinlänglich bekannt, kann unter diesen für die aerobe Rotte eher ungünstigen Verhältnissen die organische Substanz nur teilweise abgebaut werden. Hohe Temperaturen täuschen einen intensiven Rotteprozeß nur vor, tatsächlich kann auf Grund der fehlenden Konvektion kein Temperatur-austausch erfolgen (KEMMERLING/LECHNER, 1982).

In weiteren Versuchen unter Laborbedingungen konnten KEMMERLING und LECHNER (1982) nachweisen, daß die gemeinsame Verrottung von Müll und Klärschlamm insbesondere in der ersten Rottephase eine optimale Sauerstoffversorgung erfordert. Es wird bezweifelt, ob das unter den von PIERAU genannten Betriebsbedingungen der Fall sein kann.

Es muß auch erwähnt werden, daß Sickerwasser aus Rottedeponien nicht weniger belastet ist als jenes aus Verdichtungsdeponien. Die Belastung mit organischen Stoffen ist zwar geringer, es gehen jedoch dafür mehr anorganische Stoffe in Lösung.

Wasserhaushalt

Der Gesamtkomplex des Wasserhaushaltes von Müll- und Klärschlammablagerungen ist wesentlich schwieriger zu erfassen als der eines natürlich gewachsenen Bodenkörpers, da die grobe Müllstruktur eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Deponiekörpers verhindert und sich aus diesem Grund häufig bevorzugte Sickerbahnen ausbilden können. Infolge dieser Inhomogenität ist aber eine mathematische Beschreibung der Fließvorgänge weitgehend ausgeschlossen.

Die biologischen Umsetzungs- und Abbauprozesse im Müllkörper stehen in enger Wechselbeziehung mit dem Wasserhaushalt. Sowohl ein Zuviel als auch ein Zuwenig an Feuchtigkeit wirkt sich auf die biologischen Abbauprozesse negativ aus.

Entscheidend für den Wasserhaushalt ist nicht nur die Struktur der abgelagerten Stoffe, sondern auch die Oberfläche der Deponie. EHRIG (1978) stellte bei mehrere Jahre alten Deponien fest, daß die auftretenden Sickerwasserraten der Versickerung an der Deponieoberfläche entsprechen. Das bedeutet, daß Niederschlagswasser, welches nicht an der Deponieoberfläche verdunstet und in den Deponiekörper gelangt, wieder als Sickerwasser austritt. Speziell bei einer gemeinsamen Ablagerung von Müll und Klärschlamm wird die Bildung von Sickerwasser infolge der geringeren Verdichtungsfähigkeit gefördert. Durch die Verdichtung kann es, wie auf Seite 6 erwähnt, zu einer Entmischung des Müll-Klärschlamm-Gemisches kommen und sich damit ein schichtenweiser Aufbau von Müll- und Klärschlammlagen ausbilden. Diese Klärschlammlagen stellen einen Störfaktor im Wasserhaushalt des Deponiekörpers dar.

STEGMANN und EHRIG (1980) errechneten den Wasserverbrauch bei einer anaeroben Umsetzung. Sie ermittelten einen Wasserverbrauch von 2,8 bis 3,5 mm je Meter Deponiehöhe und Jahr. Dem stellen sie aber eine Eigenfeuchte von ca. 140 - 270 mm pro Meter Deponiehöhe sowie einen jährlichen Zufluß aus Niederschlägen nach Abzug der Verdunstung von ca. 60 - 200 mm gegenüber.

Die Qualität des anfallenden Sickerwassers hängt von der Art der abgelagerten Stoffe und den Inhaltstoffen des Klärschlammes und vom Abbaugrad der organischen Substanz ab. Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, daß eine biologische Reinigung der anfallenden Sickerwässer technisch möglich ist.

Eine weitere Möglichkeit der Beeinflussung des Sickerwasserhaushaltes ist das Rückpumpen von Sickerwasser. Dieses kann zu einer Erhöhung der Feuchte im Deponiekörper führen und damit die Lebensbedingungen für methanbildende Bakterien begünstigen. Umgekehrt kann aber auch eine zu hohe Feuchtigkeit im Deponiekörper ein Aufschaukeln des Sickerwasserkreislaufes herbeiführen und die biologischen Abbauprozesse negativ beeinflussen. Auch die Standsicherheit der Deponie kann durch eine zu hohe Eigenfeuchte verringert werden.

In Lysimeterversuchen wurde festgestellt, daß einmal im Müllkörper ablaufende anaerobe Abbauprozesse (Methangärung) auch für die Reinigung des aus darüberliegenden Abfallschichten stammenden Sickerwassers verantwortlich sind.

STEGMANN und EHRIG (1978) empfehlen deshalb bei einer gemeinsamen Ablagerung von Müll und Klärschlamm, den Müll für die erste und zweite Müllschicht (1,50 - 2,00 m) mittels eines Kompaktors gut zu zerkleinern und gemeinsam mit ausgefaultem und entwässertem Klärschlamm einzubauen. Der Klärschlamm sollte möglichst gut mit dem Müll vermischt werden. Sie geben einen Klärschlammanteil von max. 1/3 der Müllmenge an. Nach einer nur schwachen Verdichtung und einer Lagerzeit von etwa 6 Monaten erfolgt eine gute Verdichtung dieser untersten Schichte. Sie erwarten von dieser Maßnahme einen gewissen Impfeffekt und damit einen rascheren biologischen Abbau. Die weiteren Schichten sind dann in konventioneller Weise aufzubringen.

Gashaushalt

Der Abbau der organischen Substanz erfolgt unter anaeroben Bedingungen in zwei Stufen:

In der ersten Stufe, der sauren Gärung, erfolgt eine Aufspaltung von organischen Verbindungen, wie Fette, Zellulose, Proteine, durch eine Vielzahl von ubiquitären Fäulnisbewohnern in niedrigmolekulare organische Säuren.

In der zweiten Stufe, die wesentlich langsamer abläuft als die erste Stufe, setzt die Methangärung ein. Der langsamere Ablauf dieses Vorgangs basiert auf der niedrigen Wachstumsrate der Methanbakterien. Wichtig sind vor allem günstige Milieubedingungen für die Methanbakterien. Diese Milieubedingungen hängen von pH-Wert, Wassergehalt, den Konzentrationen an organischen Säuren und Metallverbindungen ab. Gerade bei der Entgasung ist besonderes Augenmerk darauf zu legen, daß durch die Klärschlammablagerungen keine Sperrschichten entstehen, die dem Deponiegas ein unkontrolliertes Entweichen im Böschung- bzw. Randbereich der Deponie ermöglichen. Ein Zusammenhang zwischen Gashaushalt und Wasserhaushalt in der Deponie besteht insofern, als einmal in der Deponie ablaufende

Prozesse der Methanproduktion eine Verminderung des BSB_5 des Sickerwassers der darüberliegenden Schichten bewirken.

Versuche zur Entgasung von Deponien haben gezeigt, daß eine Klärschlammbeimischung zwischen 5 und 10 % des Müllgewichts, bei gleichem Wassergehalt keine wesentlichen Unterschiede im Gas- und Wasserhaushalt bringt. Bei Klärschlammzugaben von 15 % und mehr kommt es zu einer merklichen Behinderung der Sickerwasserbewegung und damit zu einer Veränderung der Milieubedingungen für die methanbildenden Bakterien (KEMMERLING, SCHARF, 1984).

Eine merkliche Beschleunigung der Entgasungsvorgänge ist also nicht von der Klärschlammzugabe, sondern alleine von einer Erhöhung und Vergleichmäßigung der Eigenfeuchte des Mülls abhängig.

Zusammenfassung

Grundsätzlich sollte nur ausgefauter oder stabilisierter Schlamm deponiert werden. Die Ablagerung von unbehandeltem Frischschlamm kann auf Grund der unkontrolliert ablaufenden Abbauprozesse zu massiven Umweltbeeinträchtigungen führen. Die Ablagerung von ausgefautem Flüssigschlamm beansprucht aus Gründen der notwendigen Entwässerung derart große Flächen, daß diese Form der Beseitigung heute praktisch unwirtschaftlich geworden ist. Die Ablagerung von ausgefautem Klärschlamm in Form einer Mono-Deponie ist daher nur nach einer entsprechenden Entwässerung oder Verfestigung sinnvoll. Grundsätzlich ist der Zielsetzung nach einer größtmöglichen Volumsreduktion sowie einer weitgehenden Inertisierung ¹⁾ Rechnung zu tragen. Der Trockensubstanzgehalt des entwässerten Klärschlammes stellt kein alleiniges Kriterium zur Beurteilung der Standfestigkeit dar. Weitere Kenngrößen, wie zum Beispiel die Flügelscherfestigkeit, sollten eingeführt werden. Wird ein Müll-Klärschlamm-Gemisch auf der Deponie eingebaut, so sind aus Gründen der Standsicherheit nur geringe Klärschlammzugaben möglich.

Ebenfalls eine Gefährdung der Standsicherheit der Deponie stellt der sogenannte Dünnschichteinbau des Klärschlammes dar. Der Einbau des Klärschlammes in Form von Kassetten wurde umfangreich untersucht. Trotz erhöhten Betriebsaufwandes scheint diese Einbauform derzeit einen gangbaren Weg darzustellen.

Eine entscheidende Beeinflussung des Gas- und Sickerwasserhaushaltes einer Deponie bei einer zusätzlichen Ablagerung von Klärschlamm ist nicht zu erwarten. Es ist selbstverständlich, daß sowohl die Ablagerung des Klärschlammes in Form einer Mono-Deponie als auch die Ablagerung gemeinsam mit Müll die Einrichtung und den Betrieb einer Geordneten Deponie erfordert.

1) iners, lat.: untätig, träge

Peter Lechner, Dipl.-Ing.

Rainer Pawlick, Dipl.-Ing.

Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien

LITERATUR

- COLLINS, H.-J. und SPILLMANN, P.: Gemeinsame Ablagerung von rohem entwässertem Klärschlamm mit Müll im Gewichtsverhältnis 1 : 1.
Müll und Abfall 8, 18 - 24 (1976)
- EIDGENÜSSISCHES AMT FOR UMWELTSCHUTZ: Richtlinie über allgemeine Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle von Geordneten Deponien (1976)
- EMDE, W.v.der et al.: Gutachten betreffend die Ablagerung von entwässertem Schlamm auf einer Deponie am Flughafen Schwechat; Möglichkeiten zur Problemlösung.
Auftrag der MA 30 - Wien, Bericht (1982)
- GANDOLLA, M.: Klärschlammdeponierung.
Schriftenreihe Umweltschutz 33, Bundesamt für Umweltschutz, Bern (1984)
- GERKE, R.: Stabilisierung, Pasteurisierung, Hygienisierung von Klärschlamm.
Umwelt, Heft 3, 211 - 221 (1984)
- HENKE, K.F.: Standsicherheitsfragen bei der Ablagerung von Schlämmen in Mülldeponien.
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer 34 - K (1980)
- INGERLE, K.: Gemeinsame Ablagerung von Klärschlamm und Hausmüll.
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer 34 - I (1980)

KEMMERLING, W., SCHARF, W.: Gutachten über die gemeinsame Ablagerung von Klärschlamm und Müll.
Stadt Leoben, Bericht (1982)

KEMMERLING, W., SCHARF, W.: Deponiegas.
Beiträge Umweltschutz, Lebensmittelangelegenheiten, Veterinärverwaltung. Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, 1 (1984)

KEMMERLING, W., LECHNER, P.: Der Einfluß von Klärschlamm auf die Rotte und die Kompostqualität.
Auftrag der O.Ö. Landesregierung, Bau 2 /VII,
Bericht (1982)

KEMMERLING, W., LECHNER, P.: Einfluß der Zerkleinerung mit einer Prallmühle auf den Rotteverlauf und die Endproduktqualität.
Auftrag der O.Ö. Landesregierung, Bau 2/VII,
Bericht (1982)

KÖHLHOFF, D.: Deponierung des Klärschlammes.
Berichte zur Abwasser- und Abfalltechnik
ATV, 451 - 479 (1983)

KÖHLHOFF, D.: Untersuchungen über die Möglichkeiten der Ablagerung von Klärschlamm unter besonderer Berücksichtigung der Monodeponie und der Geordneten Deponie gemeinsam mit festen Siedlungsabfällen.
Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 38,
Aachen 1980

- MÖLLER, U. et al.: Neudefinition der Deponierfähigkeit von Klärschlämmen.
Korrespondenz Abwasser 11, 928 - 933 (1984)
- PIERAU, H., MÖLLER, G.: Die Bedeutung der Rotte-
deponie für eine hygienisch einwandfreie Beseitigung von Klärschlamm zusammen mit festen häuslichen Abfallstoffen.
Städtehygiene 4, 82 - 87 (1970)
- REUSS, K., SPILLMANN, P., VAHL, H.: Gemeinsame Ablagerung von Hausmüll und Klärschlamm in einer Rotte-
deponie.
Müll und Abfall 3, 65 - 77 (1975)
- RINGHOFER, J.: Persönliche Mitteilung über die Methode der Ablagerung von Klärschlamm aus der Kläranlage Mödling auf der Deponie Hollabrunn (1984)
- STEGMANN, R., EHRIG, H.J.: Entstehung von Gas und Sickerwasser in geordneten Deponien - Möglichkeiten der Beeinflussung biologischer Abbauprozesse.
Müll und Abfall 2, 41 - 51 (1980)
- VAN WICKEREN, H.: Gemeinsame Ablagerung von Klärschlämmen und Siedlungsabfällen auf Deponien.
Korrespondenz Abwasser 31, 1006 - 1007 (1984)
- V. WREDE, D.: Schlammstabilisierung, Hygienisierung und Verfestigung.
Umwelt, Heft 3, 239 - 240 (1984)

NEUERE ASPEKTE BEI DER KLÄRSCHLAMMVER-
BRENNUNG AM BEISPIEL DER STADT STUTTGART

W. Vater

1. EINLEITUNG

Das Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen erhielt im Januar 1982 einen dritten Schlammverbrennungsofen. Er unterscheidet sich von den beiden alten Öfen sowohl in seiner Betriebsweise, insbesondere im Hinblick auf die sehr weitgehende Nutzung der Abwärme.

So ist es nicht nur möglich, ihn selbstgänglich, d.h. ohne Zusatzbrennstoff zu betreiben, sondern es ist noch Wärme übrig, die für die Heizung von Betriebsgebäuden und Schlammfaulbehältern genutzt werden kann.

Die Verbrennungsleistung des neuen Ofens ist so groß wie diejenige der beiden alten Öfen zusammen. Diese konnten dadurch jetzt still gesetzt werden, nachdem sie fast 20 Jahre lang rund um die Uhr in Betrieb gewesen waren - das entspricht etwa 160 000 Betriebsstunden. Künftig werden sie nur noch benötigt, wenn die neue Anlage repariert werden muß oder wenn die Schlammmenge einmal unerwartet hoch ansteigen sollte.

2. ALTE ANLAGE

Die alte Schlammverbrennungsanlage war mit Drehetagenöfen ausgestattet und benötigte Zusatzbrennstoff für ihren Betrieb. Die Öfen nützten zwar die Wärme in ihrem Inneren gut aus, führten jedoch gelegentlich zu Geruchsentwicklungen. Die heißen Rauchgase aus der Verbrennungszone kamen nämlich dort in der Trocknungszone direkt mit dem feuchten Schlamm in Kontakt, so daß geruchsbehafteter Brüden mit den abgekühlten Rauchgasen ins Freie gelangen konnte.

Es war deshalb notwendig, nachträglich noch eine *N a c h v e r - b r e n n u n g s a n l a g e* zu installieren, in welcher Rauchgase und Brüden durch Erwärmung auf 800 °C desodoriert wurden. Hierzu war zusätzliche Wärmeenergie notwendig, die durch Verbrennung von Klärgas, Heizöl oder Erdgas erzeugt wurde. Das war eine teure Angelegenheit und wirkte sich bei dem allgemeinen Anstieg der Öl- und Gaspreise besonders stark auf die Betriebskosten aus.

3. NEUE ANLAGE

Die neu zu erstellende Anlage sollte deshalb so konzipiert werden, daß sie

1. keine Nachverbrennungseinrichtung benötigt und
2. ohne Zusatzfeuerung auskam, d.h. eine "selbstgängige" Verbrennung erlaubte.

Die erste Forderung war mit der Wahl des Wirbelschichtofens erfüllt, die zweite durch die Anordnung von Einrichtungen zur weitgehenden Nutzung der Abwärme (Bild 1).

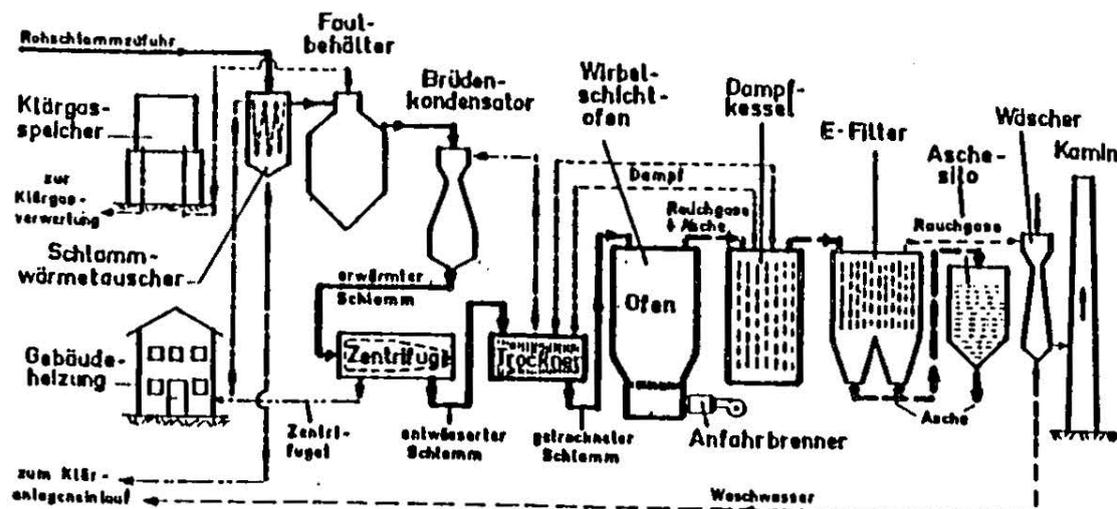


Bild 1: Wirbelschichtofen mit Abwärmenutzung

Bei der neuen Anlage verlassen die heißen Rauchgase den Wirbelschichtofen mit einer Temperatur von etwa 900 °C. Sie werden anschließend in einem Dampfkessel bis auf ca. 250 °C heruntergekühlt und darauf folgend in einem Heißwasserbereiter nochmal, bis auf 170 °C. Mit dieser Temperatur strömen sie zur Entstaubung in einen Elektrofilter und von dort in den Schornstein, den sie mit etwa 150 °C verlassen.

Mit dem im Kessel erzeugten Dampf beheizt man Scheibentrockner, welche in Zentrifugen entwässerten Schlamm von 25 - 28 % TS bis auf etwa 50 - 55 % TS trocknen. Dieser Feststoffgehalt reicht aus, um den Schlamm anschließend im Wirbelschichtofen ohne Zusatzfeuerung zu verbrennen.

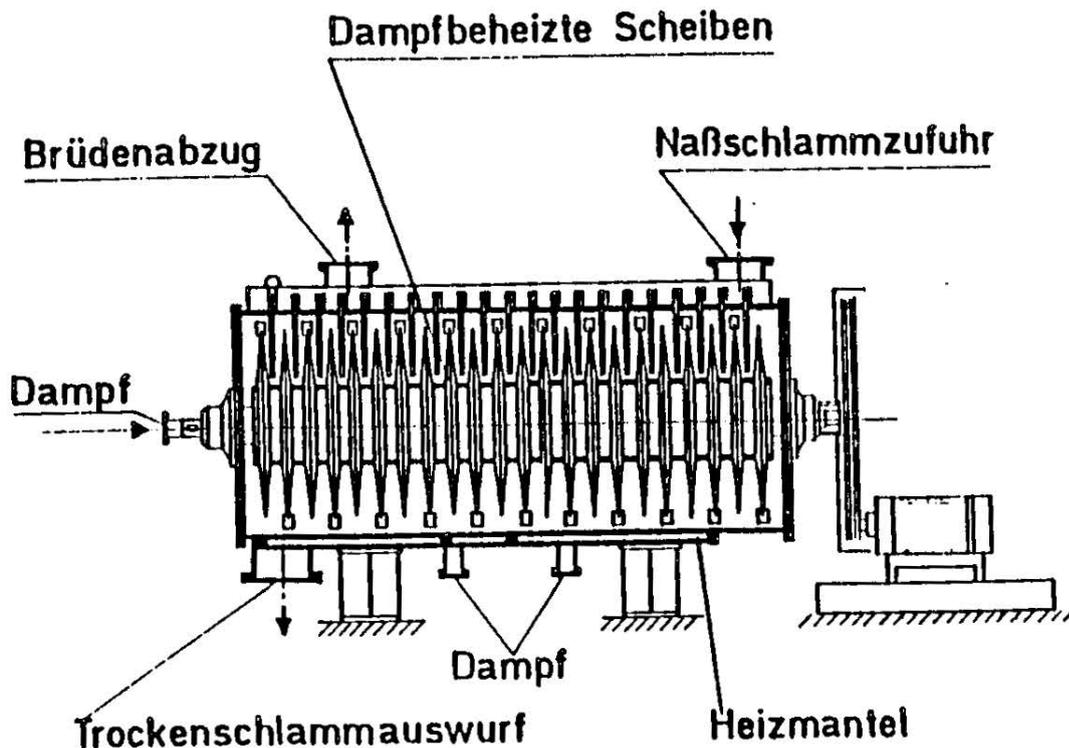


Bild 2: Scheibentrockner

Der Brüden, der in den Trocknern durch verdampfen von Schlammwasser entstand, wird kondensiert. Hierbei kann fast die gesamte aufgewandte Verdampfungswärme als Kondenswärme zurückgewonnen werden.

Der Kondensator wird mit dem zu entwässernden flüssigen Schlamm betrieben, der sich hierbei auf 60 - 70 °C erwärmt. So erwärmter Schlamm läßt sich auf Zentrifugen besser entwässern als kalter Schlamm. Dabei kann man bis zu 10 % an Flockungsmittel einsparen und im Zentrifugenaustrag einen um 1 bis 2 % höheren Feststoffgehalt erzielen. Außerdem gelangt der Zentrifugenschlamm jetzt vorgewärmt in den Trockner und mit dem 60 bis 70 °C warmen Zentrifugat kann man Betriebsräume und Faulbehälter beheizen.

Faulgas wird als Zusatzbrennstoff normalerweise nur zum Anfahren des Ofens benötigt und vielleicht gelegentlich, wenn der Ofen zu schwach belastet gefahren wird. Dadurch kann das meiste im Klärwerk erzeugte Klärgas anderweitig genutzt werden (siehe hierzu Ziffer 6).

Verbrannt wird eine Mischung aus Faulschlamm und eingedicktem Überschußschlamm der Belebungsanlage, etwa im Verhältnis 60 % : 40 % bezogen auf Schlammrockensubstanz. Ferner kommt auch Schwimmschlamm und Rechengut zur Verbrennung. Das Rechengut entwässert man vorher in einer Robot-Rechengutpresse und zerkleinert es in einer sog. Taifun-Mühle.

4. KOSTEN- UND LEISTUNGSVERGLEICH

4.1 Investitionskosten

Für die neue Anlage mußten folgende Kosten aufgewendet werden:

a) Verbrennung (Kostenstand 1980):

Wirbelschichtofen, Trockner, Kessel, Wärmetauscher für Luftvorerwärmung, E-Filter, Aschesilo, Bedienungsbühnen, Fördereinrichtungen, Schaltwarte usw.	8,71 Mio. DM
Rechengut- und Schwimmschlammaufbereitung und -förderung, zugehörige Bauwerke auch für E-Verteilung, Schaltwarte usw.	2,54 Mio. DM
	<hr/> 11,25 Mio. DM

Übertrag	11,25 Mio. DM
----------	---------------

b) Schlammwässerung (zum Betrieb erforderliche vorhandene Einrichtungen auf Preisbasis 1980 hochgerechnet):

3 Zentrifugen (KHD S 4) mit Differenzdrehzahlregelung, Schaltschränken, Pumpen, Leitungen, Flockmittelaufbereitung usw.

1,70 Mio. DM

<hr/> 12,95 Mio. DM

=====

Ein echter Kostenvergleich mit den alten Anlagenteilen ist schwierig, denn diese wurden zu verschiedenen Zeiten, nämlich 1961, 1966 und 1977 beschafft. Zum Teil mußten auch Anrüstungsteile, insbesondere Einrichtungen der Schlammwässerung und Rauchgasreinigung ersetzt sowie eine Rauchgasnachverbrennungsanlage erstellt werden. Schließlich wird der Vergleich noch dadurch unsicher, da es sich dort um 2 verschiedene Entwässerungssysteme sowie um 2 Öfen (Drehetagenöfen) handelt.

Bezieht man die erfolgten Aufwendungen auf die Preisbasis von 1980, so betragen die Kosten für die alte Anlage etwa das Doppelte derjenigen, welche für die neuen Einrichtungen verausgabt werden mußten.

Bei der Ermittlung der Jahreskosten für die neue Anlage in Tabelle 1 blieben die Kosten unberücksichtigt, die durch die Nutzung der Abwärme bei der Gebäude- und Faulturmbeheizung eingespart werden, ebenso wie die Einnahmen, die beim Verkauf des gereinigten Klärgases künftig erzielt werden (vergl. Ziffer 6).

Will man bei den spezifischen Kosten von Tabelle 2 auch noch den Kapitaldienst berücksichtigen, so kann man dies mit dem jeweiligen Zins- und Abschreibungssatz aus den Zahlen von Ziffer 4.1 ermitteln. Für die alte Anlage ist der Kapitaldienst dann mit den dort doppelt so hohen Investitionskosten auch etwa doppelt so groß.

4.2 Betriebskosten

Kostenaufwand für	alte Anlage lt. Betriebsabrechnung 1981 Durchsatzleistung 406 000 m ³ /a bei ca. 5 % TS = 20 300 t TS/a	neue Anlage lt. Betriebsab- rechnung 1983 Durchsatzleistung 458 797 m ³ /a bei 4,73 % TS = 21 700 t TS/a
Strom (Entwässerung + Verbrennung)	425 000,-- DM/a	576 400,-- DM/a
Flockungsmittel	950 000,-- DM/a	1 160 200,-- DM/a
Reparaturen + Betriebs- mittel + Ascheabfuhr	785 000,-- DM/a	687 235,-- DM/a
Heizöl	1 125 000,-- DM/a	-
Erdgas	1 370 000,-- DM/a	-
Klärgas (2,3 Mio. m ³ für alte Anlage)	-	-
Aufwand ohne Personal- kosten	4 655 000,-- DM/a	2 423 835,-- DM/a
Personalkosten	1 800 000,-- DM/a	2 208 000,-- DM/a
Aufwand einschl. Personalkosten	6 455 000,-- DM/a	4 631 835,-- DM/a

Tabelle 1: Jahreskosten (ohne Kapitaldienst)

Mit den Jahreskosten und den dazugehörigen Durchsatzleistungen von Tabelle 1 ergeben sich im Jahresmittel die spezifischen Kosten von Tabelle 2.

	alte Anlage 1981		neue Anlage 1983	
	DM/m ³	DM/t TS	DM/m ³	DM/t TS
Aufwand ohne Personalkosten	11,47	229,40	5,28	111,70
Aufwand einschl. Personalkosten	15,90	318,40	10,10	213,45

Tabelle 2: Spezifische Kosten

Was die bei der Berechnung zu berücksichtigende Lebensdauer angeht, so muß man davon ausgehen, daß die alten Öfen rund 20 Jahre in Betrieb waren und wenn sie nicht so enorme Betriebskosten verursacht hätten, wären sie es vielleicht heute noch. Mit einer ähnlich langen Lebensdauer wie bei den alten Öfen rechnen wir auch mit dem neuen.

5. ABWÄRMENUTZUNG

Die neue Verbrennungsanlage nutzt die Wärme sehr weitgehend aus. So wird z.B. die Abwärme in 4 verschiedenen hintereinander durchlaufenden Stufen genutzt.

Das Wärmeflußdiagramm von Bild 3 wurde für eine Durchsatzleistung von 3 t Schlamm Trockensubstanz pro Stunde errechnet. Die tatsächlich mögliche Leistung der Anlage liegt noch darüber.

Die Breite der Bänder in Bild 2 entspricht dem Wärmeinhalt des jeweils transportierten Stoffes. Mit den dort angegebenen Schlammfeststoffgehalten ergibt sich die Stoffbilanz der Tabelle 3 und mit den zugehörigen Temperaturen die Wärmebilanz der Tabelle 4.

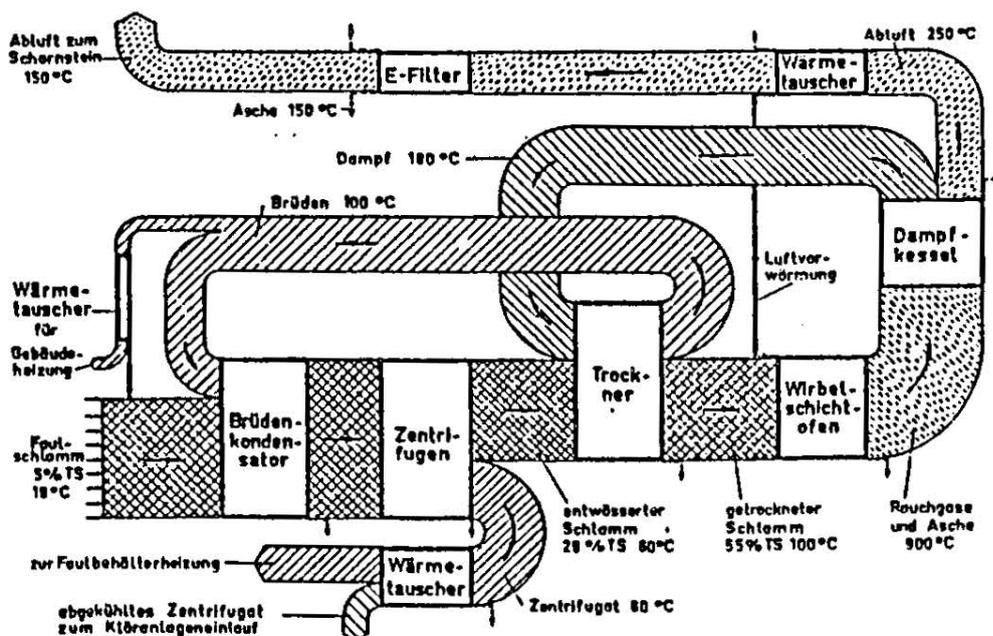


Bild 3: Wärmeflußdiagramm

Ausgangspunkt für die Aufstellung über die Abwärmenutzung ist der Wirbelschichtofen (Tabelle 5). Der Hauptanteil der Wärme stammt aus der Verbrennung der Schlammrockensubstanz (Primärenergie) und aus dem auf 900 °C erhitzten Wasserdampf, der aus dem noch feuchten Schlamm frei wurde.

Diese 900 °C heißen Rauchgase erzeugen im Dampfkessel etwa 170 °C heißen Dampf (Stufe 1). Dieser Dampf beheizt die Schlammrockner (Stufe 2). Der in den Trocknern ausgetriebene Wasserdampf von 100 °C erwärmt im Brüdenkondensator den Flüssigschlamm auf 60 - 70 °C bevor dieser den Zentrifugen zugeführt wird (Stufe 3); und mit dem warmen Zentrifugat werden schließlich Betriebsräume und Faulbehälter geheizt (Stufe 4).

1. Schlammzulauf 5 % TS	Feststoffe	3 000 kg/h
	Wasser	57 000 kg/h
Schlamm		60 000 kg/h
2. Brüdenkondensator	Feststoffe	3 000 kg/h
	Wasser	57 000 kg/h
	Dampf von Nr. 6	5 260 kg/h
Schlamm wenn Wärmetauscher in Betrieb		65 260 kg/h - 900 kg/h
Schlamm		64 360 kg/h
3. Zentrifugenzulauf 4 % TS	Feststoffe	3 000 kg/h
	Wasser	62 260 kg/h
	Polymerlösung	10 000 kg/h
Schlamm wenn Wärmetauscher in Betrieb		75 260 kg/h - 900 kg/h
Schlamm		74 360 kg/h
4. Zum Trockner mit 28 % TS	Feststoffe	3 000 kg/h
	Wasser	7 714 kg/h
Schlamm		10 714 kg/h
5. Zum Ofen mit 55 % TS	Feststoffe	3 000 kg/h
	Wasser	2 454 kg/h
Schlamm		5 454 kg/h
6. Wasserverdampfung im Trockner	Trocknereingang	10 714 kg/h
	Trocknerausgang	5 454 kg/h
Verdampfung		5 260 kg/h
7. Wasserverdampfung im Ofen	Ofeneingang	5 454 kg/h
	Feststoffe	3 000 kg/h
Verdampfung		2 454 kg/h
8. Asche	55 % der Feststoffe	1 650 kg/h

Tabelle 3: Stoff-Bilanz

1. Schlammzulauf mit 18 °C	Feststoffe	$3\ 000 \times 18 \times 0,2 / 860 =$	13
	Wasser	$57\ 000 \times 18 \times 1,0 / 860 =$	1 193
Schlamm			1 206
Heizwert der Schlamm-IS $3\ 000 \times 2,22 =$			6 660
2. Brüdenkondensator	Schlammzulauf		1 206
	Brüden der Trockner $5\ 260 \times 640 / 860 =$		3 914
Schlamm			5 120
Wärmetauscher 1 $900 \times 640 / 860 =$			670
Schlamm			4 450
Heizwert der Schlamm-IS			6 660
3. Zentrifugen	Schl. v. Kondens. $5\ 120 - 70$ (Verluste)=		5 050
	Polymerlösung $10\ 000 \times 14 \text{ °C} / 860 =$		163
Schlamm + Polymerlösung			5 213
Wärmetauscher 1			- 670
Schlamm + Polymerlösung			4 543
Heizwert der Schlamm-IS			6 660
4. Trocknereingang mit 60 °C	Feststoffe	$3\ 000 \times 60 \times 0,2 / 860 =$	42
	Wasser	$7\ 714 \times 60 \times 1,0 / 860 =$	538
Schlamm			580
Dampf vom Kessel (Tabelle 5)			3 819
Schlamm			4 399
Heizwert der Schlamm-IS			6 660
5. Ofeneingang mit 100 °C	Feststoffe	$3\ 000 \times 100 \times 0,2 / 860 =$	70
	Wasser	$2\ 454 \times 100 \times 1,0 / 860 =$	285
Schlamm			355
vorgewärmte Verbrennungsluft (Tab. 5)			420
Heizwert der Schlamm-IS			6 660
Wärmeeingang			7 435
Verluste			4,5 % 335
Wärmeausgang			7 100

Tabelle 4: Wärme-Bilanz in kWh/h

(Heizwert der Schlamm-trockensubstanz 2,22 kWh/kg)

1. Rauchgase aus dem Ofen 900 °C	von Festst.Verbr.	$0,45 \times 3\,000 \times 6,86$	=	3 780
		$\times 0,39 \times 900 / 860$	=	
	Asche	$0,55 \times 3\,000 \times 0,2$	=	345
		$\times 900 / 860$	=	
	Wasserdampf	$2\,454 \times 1\,040 / 860$	=	2 968
	zum Dampfkessel			7 093
2. Rauchgase aus dem Dampfkessel 250 °C	Feststoffe	$9\,261 \times 0,37 \times 250 / 860$	=	996
	Asche	$1\,650 \times 0,2 \times 250 / 860$	=	96
	Wasser	$2\,454 \times 710 / 860$	=	2 026
	zum Wärmetauscher			3 118
3. Rauchgase aus dem Wärmetauscher 170 °C	Feststoffe	$9\,261 \times 0,37 \times 170 / 860$	=	677
	Asche	$1\,650 \times 0,2 \times 170 / 860$	=	65
	Wasser	$2\,454 \times 673 / 860$	=	1 920
	zum E-Filter			2 662
4. Dampfkessel	Rauchgaseingang 900 °C			7 093
	Rauchgasausgang 250 °C			3 118
	Dampfwärmeinhalt			3 975
	Verluste 4 %			156
	zu den Trocknern			3 819
5. Luftvorwärmung (aus Zi. 2 + 3)	Rauchgaseingang 250 °C			3 118
	Rauchgasausgang 170 °C			2 662
	für Luftvorwärmung nutzbar			456
	Verluste $2 \times 4 = 8 \%$			36
	zum Ofen			420
6. Zentrifugat	Zentrifugenausgang (Tab. 4)	5 213 bzw.		4 543
	Trocknereingang (Tab. 4)	- 580	-	580
	zum Wärmetauscher	4 633		3 963
	Verluste 4 %	- 185	-	158
	für Heizzwecke nutzbar	4 448		3 805

Tabelle 5: Wärmenutzung in kWh/h

6. KÜNFTIGE KLÄRGASVERWERTUNG

Das in den Faulbehältern des Klärwerks erzeugte Klärgas war bisher zur Gebäude- und Faulraumbeheizung sowie als Zusatzfeuerung bei den alten Schlammverbrennungsöfen verwendet worden. Das ist künftig nicht mehr erforderlich. Es kann deshalb anderweitig genutzt werden. Um hierfür die günstigste Möglichkeit herauszufinden, wurde eine Energiestudie angefertigt, bei der sich folgende 3 Nutzungsarten herauskristallisierten:

a) Betrieb von Gasmotoren

entweder für Direktantrieb der Gebläse der Belebungsanlage oder zum Antrieb von Generatoren, d.h. zur Verstromung

b) Transport des Gases in einer 5 Kilometer langen Leitung zur Müllverbrennungsanlage mit Kraftwerk, um dort verwendetes Schweröl zu ersetzen

c) Aufbereitung des Klärgases auf Erdgasqualität und Einspeisung in das öffentliche Versorgungsnetz.

Die erstgenannte Möglichkeit ist erprobt, aber nur dort wirtschaftlich, wo neben der erzeugten mechanischen Energie auch die gleichzeitig entstehende Wärme - und das ist mehr als die Hälfte der hineingesteckten Energie - genutzt werden kann. Das war jedoch im Hauptklärwerk Mühlhausen nicht gegeben, nachdem von der Schlammverbrennungsanlage bereits ein Wärmeüberschuß vorhanden war.

Bei der zweiten Möglichkeit müßten bei der Verlegung der 5 Kilometer langen Leitung eine Menge von Problemen gelöst werden, eine sehr langwierige Angelegenheit.

Die letzte Möglichkeit hatte den Vorteil, daß die Erdgasleitung, an die man anschließen konnte, bereits im Klärwerk vorhanden war, nachdem man früher Erdgas als Zusatzfeuerung in der Schlammverbrennungs-

anlage verwendet hatte. Auch konnte man mit den Technischen Werken der Stadt Stuttgart einen akzeptablen Abnahmevertrag aushandeln, der keine Mengenklauseln enthielt und eine Anpassung des Gaspreises an die künftige Erdgaspreisentwicklungen enthielt.

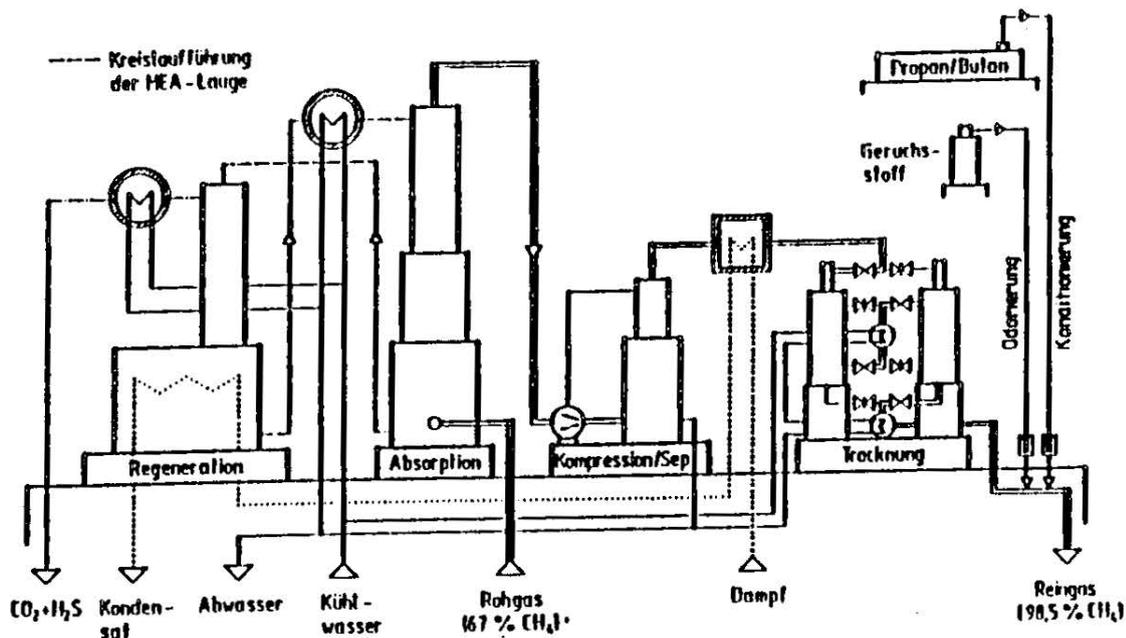


Bild 4: Klärgasreinigungsanlage

Die Arbeiten für die Gasaufbereitungsanlage sind vergeben. Mit der Inbetriebnahme der Einrichtungen ist Ende 1985 zu rechnen.

Die mit der Umstellung der Faulbehälterheizung nötigen Arbeiten kommen demnächst zur Ausschreibung. Ihre Fertigstellung ist nach Inbetriebnahme der Klärgasaufbereitungsanlage zu erwarten.

Das neue Sozial- und Bürogebäude wird bereits im 2. Winter mit Abwärme der Schlammverbrennungsanlage geheizt, die Räume der Sandfilteranlage seit diesem Winter.

Der Vorteil, den die neuen Einrichtungen gegenüber der alten Schlammverbrennungsanlage bietet, ist aus Bild 5 unschwer zu erkennen. Beim alten Ofen (links) benötigt man neben Klärgas noch Fremdenergie (Heizöl und Erdgas), um ihn zu betreiben. Beim neuen Ofen (rechts) reicht die in der Schlamm-trockensubstanz steckende Wärmeenergie zum Betrieb aus. Die Restwärme kann sogar noch für Heizzwecke genutzt werden. Das so nicht mehr benötigte Klärgas kann man jetzt nach seiner Reinigung ins Erdgasnetz einspeisen.

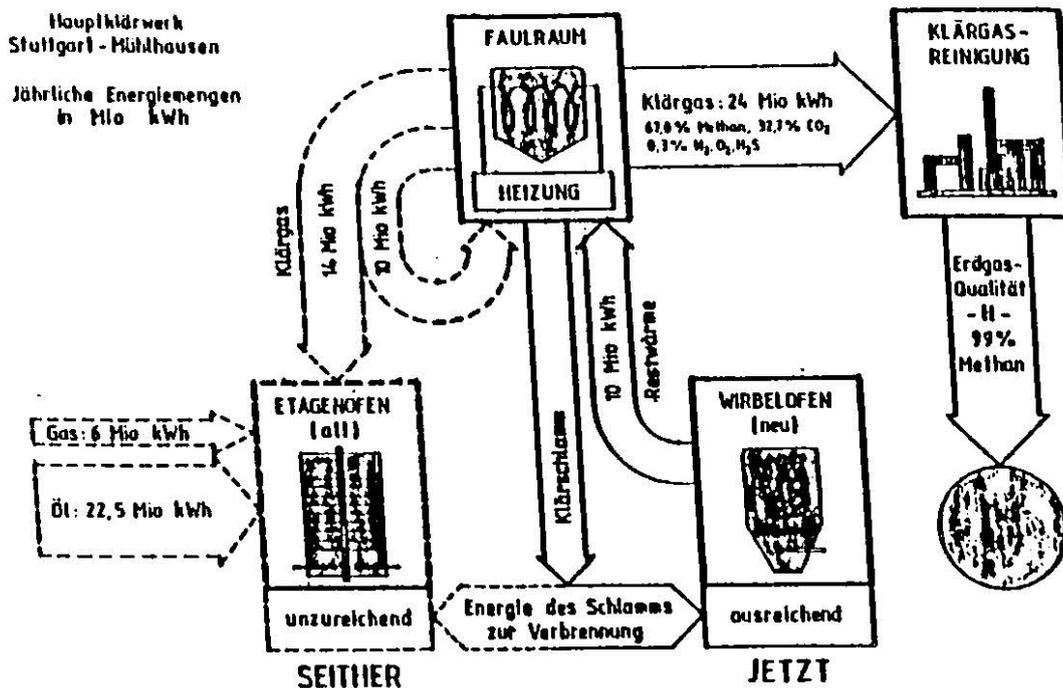


Bild 5: Klärgasnutzung früher und jetzt

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die 20 Jahre alten Drehetagenöfen des Hauptklärwerks Stuttgart-Mühlhausen wurden durch einen neuen selbstgängig betreibbaren Wirbelschichtofen ersetzt. Seine Abwärme wird verwertet zur Trocknung vor-entwässerten Schlammes, zur Erwärmung des zu zentrifugierenden Flüssigschlammes und zur Heizung von Büro-, Sozial- und Betriebsräumen. Die Arbeiten für die Beheizung der Schlammfaulbehälter mit Abwärme der Verbrennungsanlage werden im Zusammenhang mit der in Auftrag gegebenen Klärgasaufbereitungsanlage folgen.

Die Betriebskosten der neuen Schlammverbrennungsanlagen betragen im Jahresmittel 1983 213 DM je Tonne Schlammrockensubstanz. Das sind rund 100 DM weniger, als dies mit der alten Anlage gekostet hatte.

VATER Wolfgang, Ltd. Baudir. Dr.-Ing.
Stadt Stuttgart, Tiefbauamt, Abt. Klärwerke
Schloßstr. 64 A
7000 Stuttgart 1

8. LITERATURVERZEICHNIS

SCHURR E., VATER W.: Energiesparender Schlammverbrennungssofen im Stuttgarter Hauptklärwerk in Betrieb genommen. Korrespondenz Abwasser 6/1982

STADT STUTTGART,
TECHNISCHES REFERAT: 50 Jahre Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen. Festschrift 1966

TRIEBEL W.: Schlammbehandlung im Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen.
Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Bd. III, 2. Auflage, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1978 S. 464 ff

VATER W.: Die Schlammveraschungsanlage im Hauptklärwerk Stuttgart-Mühlhausen.
Brennstoff-Wärme-Kraft, 1966 S. 240 ff

VATER W.: Ist die Schlammverbrennung in der gegenwärtigen Phase der Energieverknappung noch vertretbar?
Korrespondenz Abwasser 1980

VATER W.: Thermische Verfahren (Trocknung, Pyrolyse, Verbrennung).
ATV-Fortbildungskurs C/a, Schlammbehandlung - Schlambeseitigung 1981

VATER W.: Energy Saving Sludge Incineration in Stuttgart's Central Sewage Works.
Wat.Sci.Tech. Vol. 16, 1984 IAWPRC

DAS PROBLEM DER ZWISCHENSPEICHERUNG DES
KLÄRSCHLAMMES BEI SEINER LANDWIRTSCHAFT-
LICHEN VERWERTUNG

G. Blöschl, H. Kroiß

1. Einleitung

Die Rückführung der Wertstoffe des Klärschlammes in die Landwirtschaft ist aus vielen Gründen anzustreben. Die landwirtschaftliche Schlammverwertung ist nicht nur in wirtschaftlicher Hinsicht günstig sondern entspricht auch den Vorstellungen der Schonung von Rohstoffen. Freilich erfordert sie, so wie jede andere Art der Schlambeseitigung, die nötige Kontrolle und Sorgfalt aller Beteiligten, aber auch die nötigen technischen Einrichtungen. Den technischen Einrichtungen kommt vor allem deshalb so große Bedeutung zu, weil bei allen Verfahren der Schlambeseitigung ein sehr hoher Grad der Betriebssicherheit erforderlich ist. Es darf nicht vorkommen, daß die Abwasserreinigung von der Unmöglichkeit einer geordneten Schlambeseitigung behindert wird. Die ungeordnete, also nicht planmäßig durchgeführte Schlammunterbringung wird in der Zukunft nicht mehr möglich sein.

Hier soll nun das Problem der Zwischenspeicherung des Schlammes behandelt werden, das für eine gesicherte landwirtschaftliche Schlammverwertung einwandfrei gelöst werden muß. Während der Klärschlamm täglich anfällt und auch kaum Einfluß auf die anfallende Menge genommen werden kann, ist seine Unterbringung auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen aus mehreren Gründen zeitlich beschränkt. Die zwei wesentlichsten Einflußfaktoren für die Schlammverbringung sind

- die Witterung
- der Vegetationszyklus

So gibt es Wettersituationen, die eine Ausbringung des Klärschlammes unmöglich machen. Nach langen Regenfällen oder bei hoher Schneelage können die Felder nicht befahren werden. Es gibt aber auch Situationen, bei denen eine Schlamm- ausbringung nicht sinnvoll ist. So muß man z.B. vermeiden, daß Schlamm auf gefrorene Böden aufgebracht wird, von denen er in den nächsten Vorfluter abgeschwemmt werden kann.

Je nach Anbaufrucht kann Schlamm ohne Schaden für Pflanzen bzw. aus hygienischen Gründen nur während gewisser Vegetationsperioden aufgebracht werden. Zuzufolge dieser Tatsache ist es erforderlich, Speichermöglichkeiten für den zu verwertenden Klärschlamm auf den Kläranlagen zu schaffen, die einen Ausgleich zwischen Schlammanfall und Schlammausbringung herstellen. In Zusammenhang mit der Speicherung erscheint es sinnvoll, zwei weitere Probleme zu lösen. Einmal kann der Speicher auch als Eindicker wirken, zum anderen kann über ein Speichervolumen eine starke Vergleichmäßigung der Schlammbeschaffenheit erreicht werden. Eine einigermaßen gleichmäßige Schlammbeschaffenheit, gekennzeichnet durch Feststoffgehalt, Stickstoff- und Phosphor- und Schwermetallkonzentrationen ist eine wichtige Voraussetzung dafür, daß mit vertretbarem analytischen Aufwand eine überprüfbare richtige Schlammaufbringung entsprechend den Klärschlammverordnungen durchgeführt werden kann (ÖWWV-Regelblatt 17).

Im weiteren wird nun versucht, unterschiedliche Lösungen für die oben erwähnten Probleme bei verschiedenen Ausbaugrößen von Kläranlagen in technischer Hinsicht zu erarbeiten und sie einer Wirtschaftlichkeitsanalyse zu unterziehen.

2. Lösungsmöglichkeiten

Für kleine bis mittlere Anlagen erscheinen drei verschiedene Lösungsmöglichkeiten gegeben:

- Stapelung des eingedickten Flüssigschlammes und Ausbringung des Schlammes in flüssiger Form
- Stapelung von entwässertem Schlamm und Ausbringung des entwässerten Schlammes mittels Miststreuern
- Kombination der beiden vorhergehenden Methoden:
Stapelung von entwässertem Schlamm, Ausbringung in flüssiger Form, wobei der entwässerte Schlamm mit dem Flüssigschlamm gemischt wird (Braun und Zingler)

Die erste Variante ist verfahrenstechnisch am einfachsten. Durch Einbau eines Mischers kann im Stapelraum eine gute Durchmischung gewährleistet werden. Der größte Nachteil besteht darin, daß zufolge des niedrigen erzielbaren Feststoffgehaltes sowohl der Stapelraum sehr groß wird als auch das Transportvolumen des Schlammes für die landwirtschaftliche Verwertung groß ist.

Die zweite Variante braucht eine Entwässerungsmaschine, die ein streufähiges Gut produziert, was nur mit Hilfe der Zugabe organischer Flockungsmittel und/oder Kalk möglich ist. Damit der gestapelte Schlamm streufähig bleibt, sollte der Lagerplatz abgedeckt werden. Vorteilhaft ist bei dieser Variante die starke Reduktion des Stapelvolumens auf ca. 1/5 gegenüber der ersten Lösung und den dementsprechend geringeren Transportkosten für die Ausbringung. Um die gleiche Sicherheit wie bei Variante 1 zu erzielen, muß die Entwässerungsstufe mit entsprechenden Reservekapazitäten ausgelegt werden.

Die dritte Variante versucht, die Vorteile der beiden vorherigen Lösungsansätze zu vereinigen. Durch Stapelung des entwässerten Schlammes wird das Stapelvolumen klein gehalten. Nachdem die Entwässerung nur für den zu stapelnden Schlamm durchgeführt werden muß, bleiben die Betriebskosten für diesen Verfahrensschritt wesentlich geringer als bei der zweiten Variante. Der entwässerte Schlamm braucht nicht

unbedingt streufähig sein, eine Überdachung des Stapelplatzes zum Schutze gegen Niederschläge ist hier nicht erforderlich.

Die Ausbringung der Mischung aus Flüssigschlamm und entwässertem Schlamm verringert das Transportvolumen gegenüber der ersten Variante. Die Flüssigschlammausbringung hat noch den Vorteil, daß Geruchsprobleme beim Transport wegen der geschlossenen Transportbehälter weitgehend ausgeschlossen sind. Verfahrenstechnisch freilich stellt diese Variante die komplizierteste Lösung dar. Andererseits ist sie sehr flexibel, weil sowohl eine Flüssigschlammabgabe als auch eine Abgabe von entwässertem Schlamm möglich ist (je nach Jahreszeit und Vegetation).

3. Lösungsbeispiele

An Hand der unterschiedlichen Vorteile und Nachteile der drei oben beschriebenen Lösungsmöglichkeiten kann man schon erkennen, daß die Anlagengröße eine bedeutende Rolle bei der betrieblichen und wirtschaftlichen Beurteilung spielen wird. Um diesen Einflußfaktor abschätzen zu können, werden die Varianten für zwei unterschiedliche Größen von Abwasserreinigungsanlagen mit üblichen Schlammstabilisierungsverfahren untersucht.

Bei einer Abwasserreinigungsanlage für 15.000 EGW wurde angenommen, daß sie für eine gleichzeitige aerobe Stabilisierung des Schlammes dimensioniert sei ($B_R = 0,25 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$) (siehe Abbildung 1).

Eine Abwasserreinigungsanlage für 150.000 EGW sei für eine Vollreinigung mit Nitrifikation ($B_R = 0,5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$) und anaerobe Schlammstabilisierung (Schlammfäulung) ausgelegt (siehe Abbildung 2).

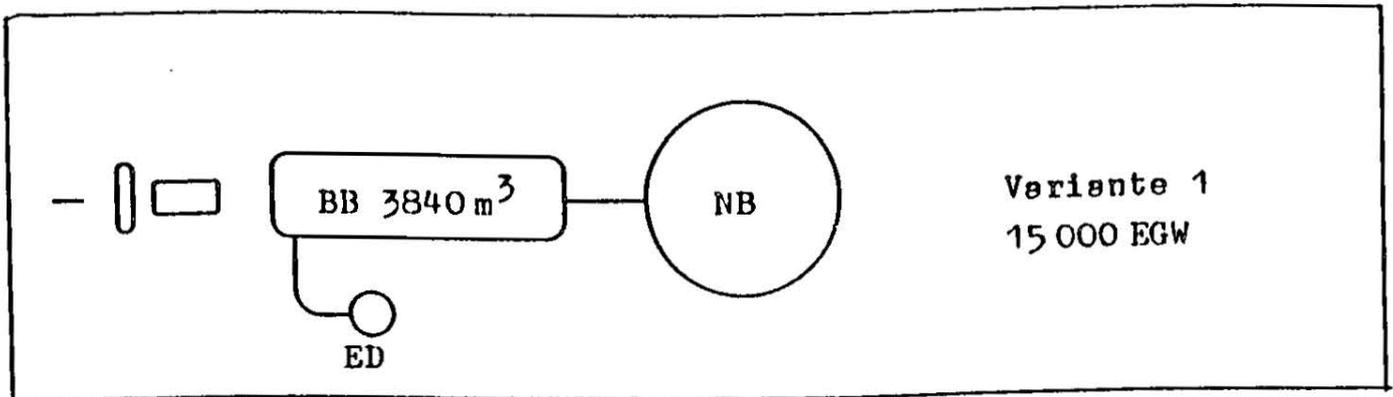


Abb.1: Abwasserreinigungsanlage für 15.000 EGW
(BB: Belebungsbecken, NB: Nachklärbecken, ED: Eindicker)

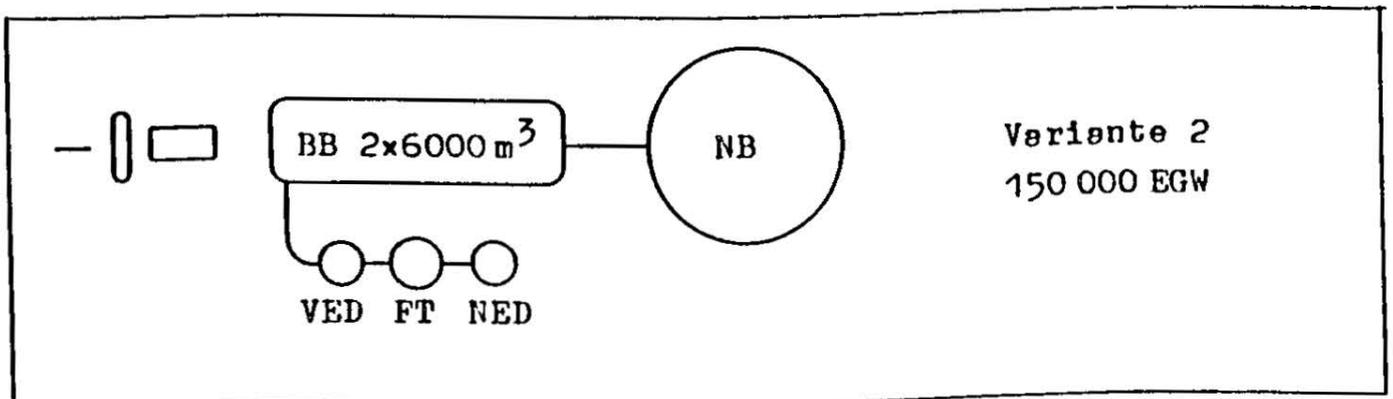


Abb.2: Abwasserreinigungsanlage für 150.000 EGW
(VED: Voreindicker, FT: Schlammfäulung, NED: Nacheindicker)

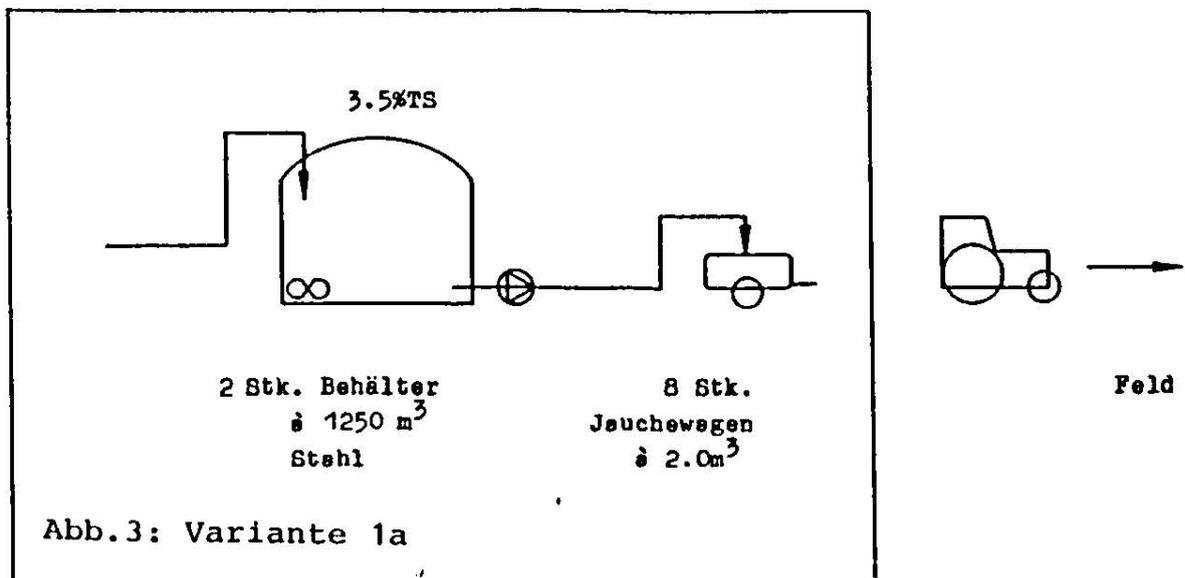
In der folgenden Tabelle sind die 6 Lösungsbeispiele zusammengestellt, für die anschließend eine Kostenrechnung durchgeführt wird.

Ausbau- größe	Schlammstapelung/Schlammausbringung		
	flüssig/flüssig	entw./entw.	entw./flüssig
15.000 EGW	1a	1b	1c
150.000 EGW	2a	2b	2c

Variante	Dim.	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Schlammfall	m ³ /d	22			167		
	t/d	0,8			7,5		
	t/a	280			2800		
Feststoffgehalt des Schlammes	%	3,5			4,5		
Stapeldauer	d/a	2 x 100			2 x 100		
Feststoffgehalt nach Entwässerung	%	-	20	20	-	26	26
Stapelvolumen	m ³	2500	400	400	17000	3000	3000
Ausbringzeitraum	d/a	2 x 82			2 x 82		
Feststoffgehalt des auszubringenden Schlammes	%	3,5	24,3	6,4	4,5	26	8,3
Flächenbedarf für die Beschlämmung mit 3t TS/ha.a	ha	93			930		

Beispiel 1a: Anlage für 15.000 EGW mit Flüssigschlammstapel (zwei Stahlbehälter mit Mischer) und Flüssigschlammabholung durch Landwirte der Umgebung, Güllewagen werden vom Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellt. (Abb. 3)

Variante 1a Flüssigschlammstapel und Flüssigschlammverwertung 15 000 EGW



Beispiel 1b: Anlage für 15.000 EGW mit ganzjähriger Entwässerung des aerob stabilisierten Schlammes durch eine Siebbandpresse, Flockungsmittelbedarf 3,65 kg/t Trockensubstanz, Durchsatzleistung 120 kg TS/h, erzielbarer Feststoffgehalt 20 %; Erhöhung des Feststoffgehaltes auf 24,3 % durch Zugabe von 200 kg CaO/1000 kg TS in einem Mischwerk (z.B. von Fa. Lödige). Trockenschlammstapelung,

Trockenschlammabtransport durch Landwirte, Miststreuer werden zur Verfügung gestellt. (Abb. 4)

Variante 1b Trockenschlammstapel und Trockenschlammverwertung 15 000 EGW

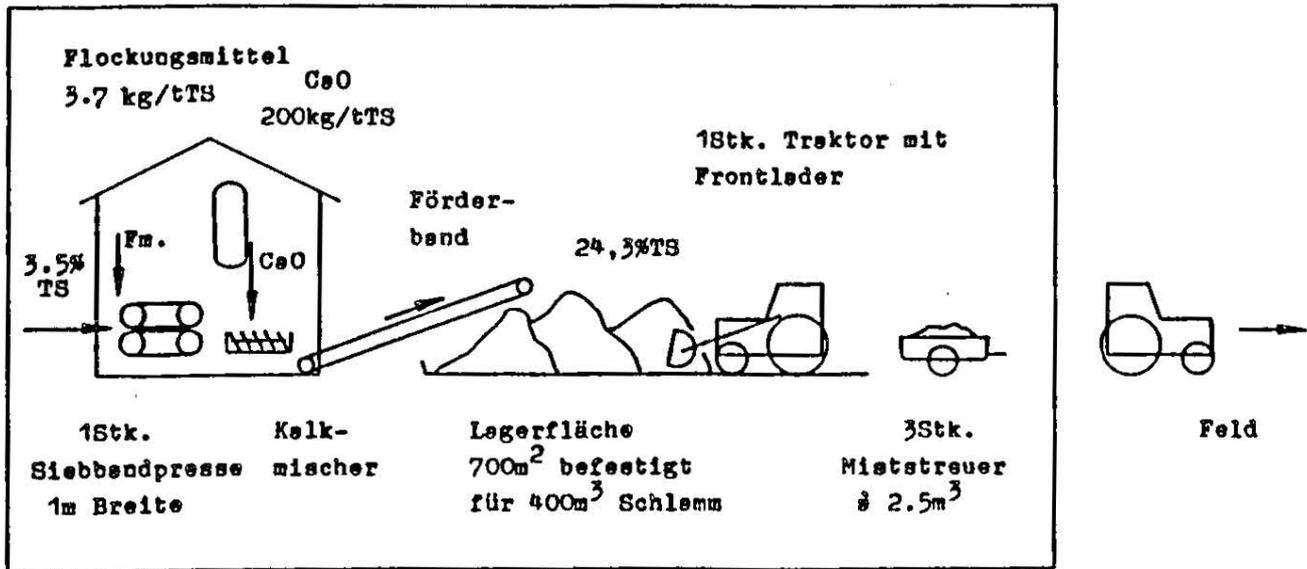


Abb. 4: Variante 1b

Beispiel 1c: Anlage für 15.000 EGW mit Schlammmentwässerung wie Beispiel 1b während der Stapelperioden. Stapelung des entwässerten Schlammes (20 % TS). Zumischung des gestapelten Schlammes im Zeitraum der Ausbringung zum Flüssigschlamm. Abholung des Flüssigschlammes durch Landwirte der Umgebung wie bei 1a. (Abb. 5)

Beispiel 2a: Anlage für 150.000 EGW mit 2 Stahlbeton-Stapelbehältern für Flüssigschlamm mit Mischeinrichtung. Transport und Ausbringung des Flüssigschlammes mit 19 m³ Tankfahrzeugen durch Betreiber der Abwasserreinigungsanlage. (Abb. 6)

Beispiel 2b: Anlage für 150.000 EGW mit ganzjähriger Entwässerung des ausgefaulten Schlammes (3,1 kg Flockungsmittel/t TS), Stapelung des entwässerten Schlammes (26 % TS). Ausbringung mit Großraummiststreuern (7 m³) durch Betreiber der Abwasserreinigungsanlage. (Abb. 7)

Variante 1c Trockenschlammstapel und Flüssigschlammverwertung 15 000 EGW

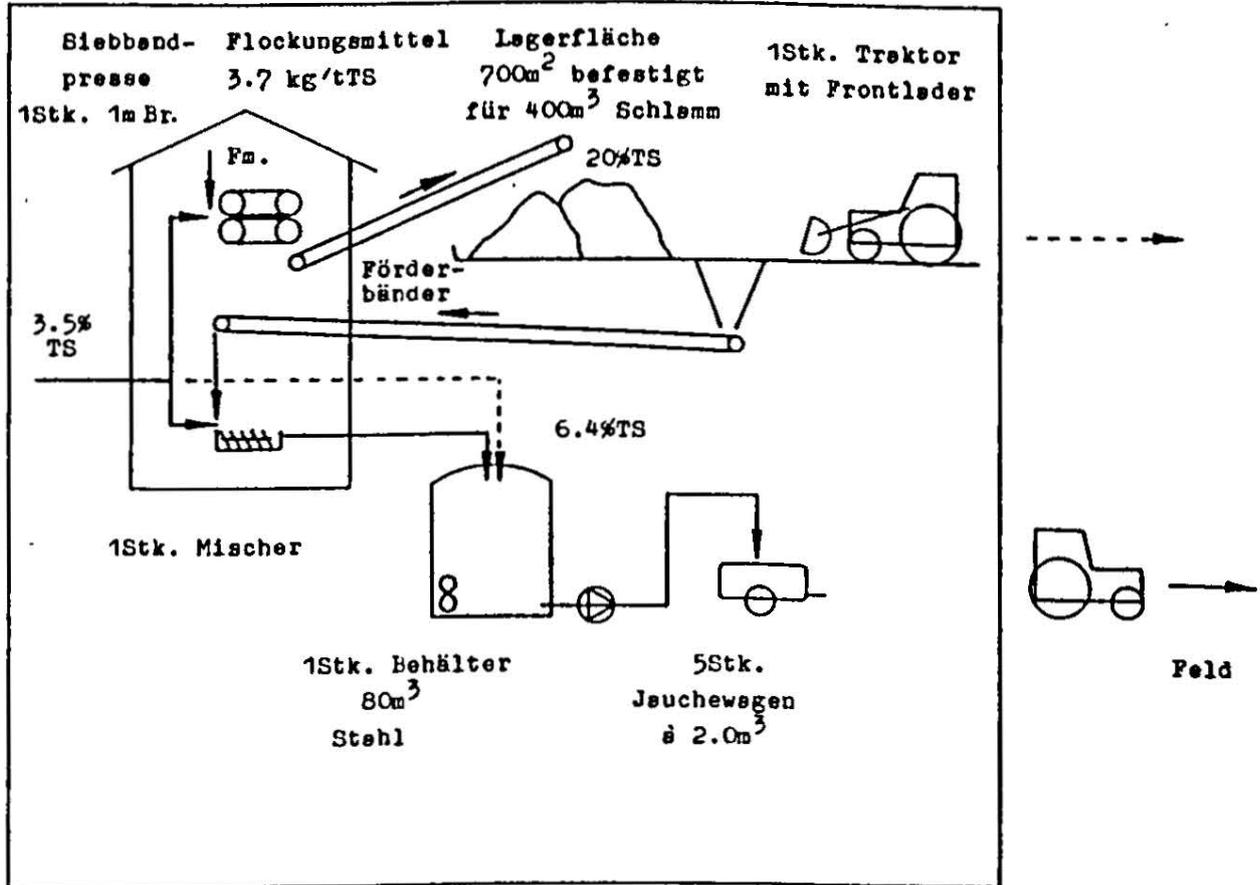


Abb. 5: Variante 1c

Variante 2a Flüssigschlammstapel und Flüssigschlammverwertung 150 000 EGW

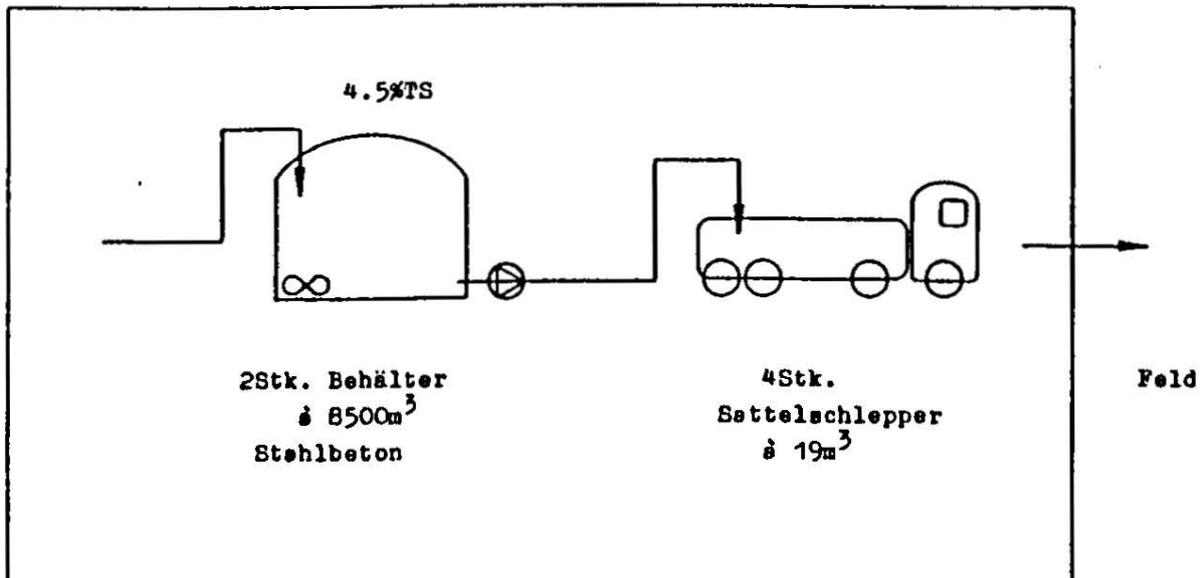


Abb.6: Variante 2a

Variante 2b Trockenschlammstapel und Trockenschlammverwertung 150 000 EGW

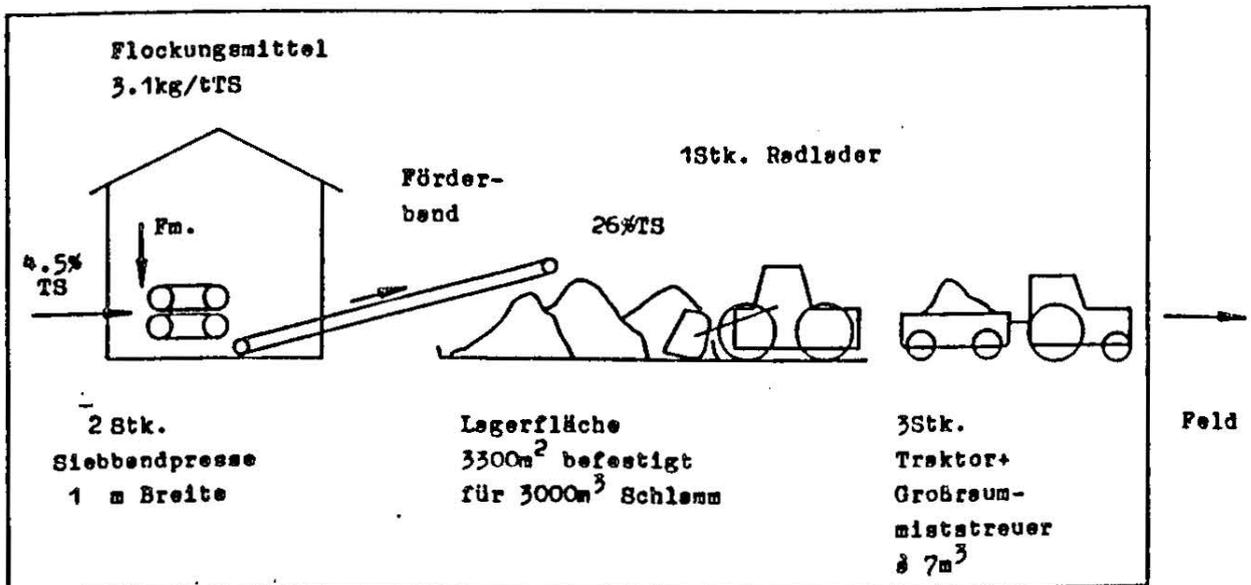


Abb.7: Variante 2b

Beispiel 2c: Anlage für 150.000 EGW mit Schlammmentwässerung wie 2b während den Stapelperioden. Stapelung des entwässerten Faulschlammes (26 % TS) und Zumischung des gestapelten Schlammes im Zeitraum der landwirtschaftlichen Verwertung. Ausbringung des Flüssigschlammes (8,3 % TS) durch 19 m³ Tankfahrzeuge durch Betreiber der Abwasserreinigungsanlage. (Abb. 8)

Variante 2c Trockenschlammstapel und Flüssigschlammverwertung 150 000 EGW

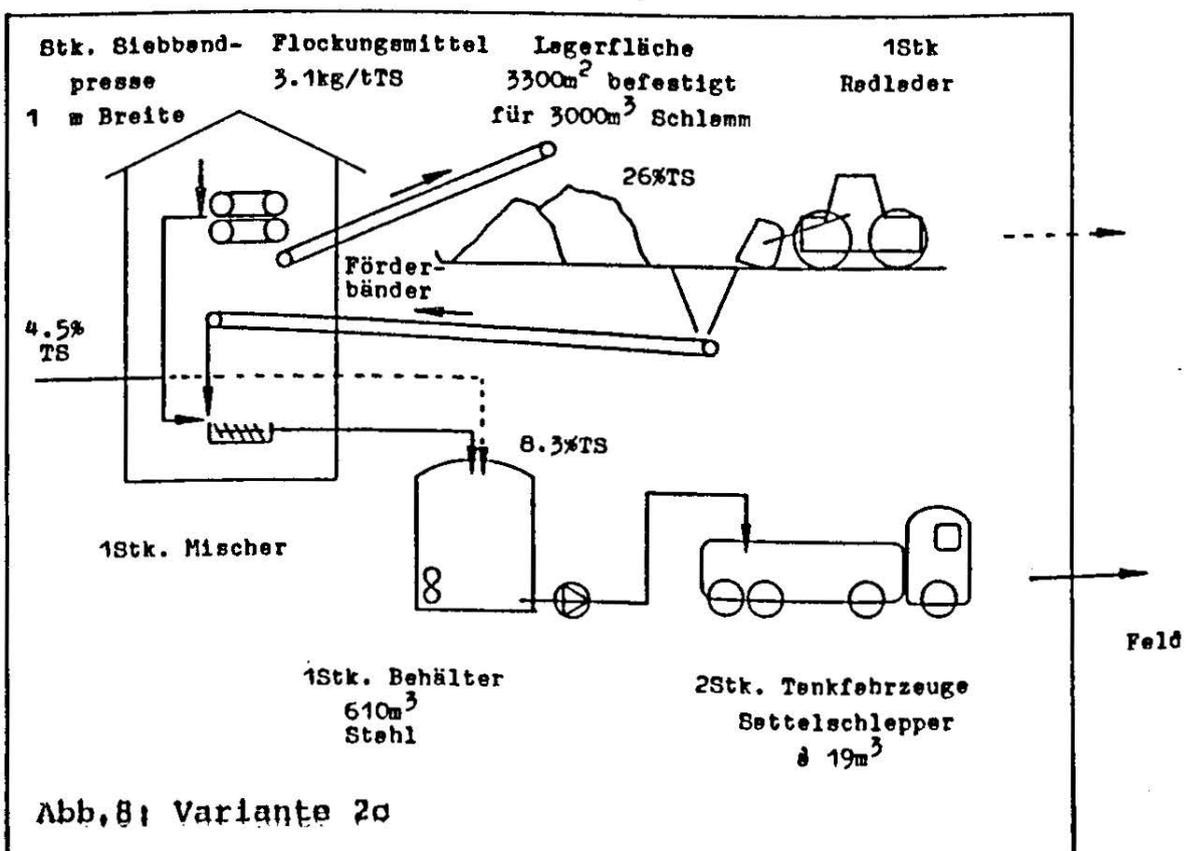


Abb.8: Variante 2c

4. Grundlagen der Kostenberechnung

4.1 Investitionskosten

Als Grunderwerbskosten wurden einheitlich 200,-- S/m² angesetzt.

Die Baukostenberechnung erfolgte nach Einheitspreisen in Anlehnung an Flögl (1980). Die Preise beziehen sich auf Anfang 1984, wurden jedoch aus den Angaben aus dem Jahr 1978 bzw. 1982 hochgerechnet, wobei eine mittlere Steigerung der Baukosten von ca. 7 % p.a. angenommen wurde.

Die Kosten der maschinellen Einrichtung wurden vorwiegend durch Anfragen bei Fachfirmen ermittelt. Für die Kosten der elektrotechnischen Einrichtungen wurde ein Kostenverhältnis von maschineller : elektrotechnischer Einrichtung von 75 : 25 herangezogen (Flögl 1980).

4.2 Betriebskosten

Die Personalkosten wurden mit einem Stundenlohn von S 220/h für die Bedienung der Siebbandpressen und von S 200/h für LKW- bzw. Traktorfahrer angesetzt. Dabei wurden nur die tatsächlich zu leistenden Stunden gerechnet, die Fahrer sind also nur während der Zeit des Ausbringens beschäftigt. Es wurde eine Jahresarbeitszeit von 1680 h/Arbeitskraft angesetzt.

Die Kosten für Wartung und Instandhaltung wurden nach Flögl (1980) mit 4 % der Kosten für die maschinelle Einrichtung und 0,5 % der Kosten der baulichen Einrichtung angenommen. Materialkosten und Fremdleistungen sind hier eingeschlossen. Für die Berechnung der Energiekosten wurden folgende Einheitspreise gewählt:

1 kWh	S 1,50
1 l Diesel	S 10,00 (für LKW)
1 l Spindelöl	S 6,40 (für Radlader)

Der Treibstoffbedarf für Traktoren und LKW wurde mit 25 l/100 km geschätzt, die mittlere Transportentfernung mit 12 km.

Bei der Ermittlung der Chemikalienkosten wurde von einem Preis von S 60/kg org. Flockungsmittel und S 1,30/kg Branntkalk (CaO) ausgegangen.

4.3 Jahreskosten

Die Investitionskosten wurden unter Berücksichtigung von Kalkulationszinssatz p und durchschnittlicher Nutzungsdauer n auf jährliche, uniforme Reihen umgerechnet, es wurde also die Annuitätenmethode angewendet. Der Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR) beschreibt den Kapitaldienst einer zum Zeitpunkt der Betrachtung vorgenommenen Investition für eine Laufzeit von n Jahren. Für die Berechnung der Kapitalkosten wurden folgende Annahmen getroffen:

- kalkulatorischer Zinssatz	9 % p.a.
- durchschnittliche Nutzungsdauer	
Bauwerke 30 Jahre	(KFAKR 9,7 % p.a.)
Maschinen 15 Jahre	(KFAKR 12,4 % p.a.)
Fuhrpark 12 Jahre	(KFAKR 14,0 % p.a.)

Eine Förderung der Investitionen durch z.B. den Wasserwirtschaftsfonds wurde nicht berücksichtigt. In der Tabelle für die Jahreskosten wurden jedoch auch die Kosten für den Fall eines Kapitaldienstfaktors von 4,5 % p.a. aufgenommen. Die angeführten Werte entsprechen etwa der nominellen Belastung des Kläranlagenbetreibers Ende 1984 bei der Förderung der Investitionen zu den günstigsten Bedingungen des Wasserwirtschaftsfonds (Verbandslösungen).

5. Kostenvergleich5.1 Investitionskosten (Mio S)

Kostenart	V a r i a n t e					
	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Grunderwerb	0,20	0,50	0,50	1,00	2,00	2,00
Baukosten						
Stapelbehälter, Gebäude	2,50	1,20	1,50	15,50	1,70	3,00
Sonstiges (Straßen, Lagerfläche, Begrünung)	0,50	0,90	1,00	1,50	2,00	2,30
Maschinelle Einrichtung	0,20	1,80	2,10	0,70	4,00	3,00
Fuhrpark	0,40	0,50	0,50	5,00	2,50	3,60
<hr/>						
Summe	3,80	4,90	5,60	23,70	12,20	13,90

5.2 Betriebskosten

Kostenart	V a r i a n t e					
	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Personal						
Schlammbehandlung	0,15	0,74	0,57	0,34	1,48	0,94
Transport	-	-	-	0,60	0,45	0,30
Betriebsmittel						
Chemikalien	-	0,13	0,03	-	0,51	0,28
Strom	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06	0,06
Treibstoff	-	0,01	0,01	0,32	0,12	0,08
Wartung und Instandhaltung (Korrosionsschutz)	0,04	0,10	0,12	0,31	0,28	0,29
<hr/>						
Summe	0,20	1,00	0,75	1,58	2,90	1,95
Kosten/EGW.a	13,3	66,7	50,0	10,5	10,3	13,0

5.3 Jahreskosten

	V a r i a n t e					
	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Kapitalkosten						
Baukosten	0,31	0,25	0,29	1,75	0,55	0,71
Maschin. Anlage	0,03	0,22	0,26	0,09	0,50	0,37
Fuhrpark	0,06	0,07	0,04	0,79	0,35	0,50
Betriebskosten	0,20	1,00	0,75	1,58	2,90	1,95
Gesamtjahreskosten	0,60	1,54	1,34	4,21	4,30	3,53
S/EGW.a	40,0	102,7	89,3	28,1	28,7	23,5
S/t TS	2138	5488	4772	1539	1571	1287
Gesamtkosten bei Zinssatz von 4,5 % p.a.	0,37	1,22	1,00	2,65	3,45	2,58
S/EGW.a	25	63	55	17,7	23,0	17,2
S/t TS	1283	3233	2822	969	1260	942

6. Schlußfolgerungen

Für kleine bis mittlere Anlagen (10.000 - 100.000 EGW) erscheint die Variante mit Flüssigschlammstapel und Flüssigausbringung die wirtschaftlich günstigste. Daneben ist sie auch die einfachste und betriebssicherste Lösung des Problems. Die Kosten sind vor allem von den Kapitalkosten abhängig. Bei entsprechender Förderung der Investitionen durch billige Kredite verringern sich die spezifischen Kosten je Einwohner so weit, daß ein gewisser Ausgleich zwischen Klein- und Großanlagen eintritt.

Bei Anlagen über 100.000 Einwohnerequivalenten bis etwa 200.000 EGW sind alle drei Varianten kostenmäßig ähnlich. Wegen der Einfachheit und Betriebssicherheit dürfte vor allem bei entsprechender Förderung der Investitionen die erste Variante ebenfalls die günstigste sein. In allen

Fällen, wo die landwirtschaftliche Verwertung durch industrielle Einleiter potentiell gefährdet ist, haben die beiden anderen Varianten den großen Vorteil, daß eine Deponierung des Schlammes auf einer geordneten Deponie möglich ist. In mehrfacher Hinsicht hat dann aber die Variante mit der Möglichkeit der Flüssigschlammaufbringung (2c) Vorteile gegenüber der Ausbringung mit dem Miststreuer (2b). Wenn zufolge der Struktur der landwirtschaftlichen Anbaugebiete in der Umgebung der Abwasserreinigungsanlage die Schlammaufbringung wesentlich längere Stapelzeiträume erfordert (z.B. in Weinbaugebieten), erscheint die Variante mit der Ausbringung des entwässerten Schlammes (2b) als die vorteilhafteste.

Bei mittleren bis großen Anlagen muß daher ganz besonders die örtliche Lage in ein entsprechendes Variantenstudium bei der Planung einfließen, damit die wirtschaftlich und betrieblich günstigste Lösung gefunden werden kann.

Die zusätzlichen Investitionen für die Sicherung der landwirtschaftlichen Schlammverwertung belaufen sich auf ca. 5 - 10 % der Kosten für die Abwasserreinigungsanlage samt Schlammstabilisierung.

Verwendete Literatur

- Arbeitsblatt A 131: Bemessung von biologischen Kläranlagen über 10.000 EGW, Hsg. ATV
- Braun, H.J., Zingler, E. (1984): "Sludge thickening and sludge dewatering in the Gruppenklärwerk I of the Niersverband. Wat.Sci.Tech. 1984, Bd.
- Flögl, W. (1980): Vergleichende Kostenuntersuchungen über das Belebungsverfahren. Wiener Mitteilungen Bd. 36, Hsg. W.v.d.Emde, TU-Wien
- Handbuch der Abwassertechnik Bd. II und Bd. III, 2. Auflage, Hsg. ATV
- Kemmerling, W. (1978): Ökonomie der Wasserwirtschaft. Seminar an der TU-Wien, 1978
- ÖWWV-Regelblatt Nr. 17: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen - Empfehlungen für Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen

Verfasser:

Cand.Ing. Günther Blöschl

Dipl.Ing. Dr.techn. Helmut Kroiß

**Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau
Technische Universität Wien**

**Karlsplatz 13
1040 Wien**

W I E N E R M I T T E I L U N G E N
W A S S E R - A B W A S S E R - G E W Ä S S E R

eine von den Wasserbauinstituten an der Technischen Universität Wien,
dem Institut für Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur u.
dem Österreichischen Wasserwirtschaftsverband
herausgegebene Schriftenreihe

Band Nr.		Preis öS
1	Kresser, W.: Das Wasser (1968)	100,--
2	Breiner, H.: Die Gesetzmäßigkeiten der stationären Flüssigkeits- strömung durch gleichförmig rotierende zylindrische Rohre (1968)	200,--
3	von der Emde, W.: Abwasserreinigung - Grundkurs (1969)	vergriffen
4	4.Seminar ÖWWV, Raach 1969 Abwasserreinigungsanlagen Entwurf-Bau-Betrieb (1969)	vergriffen
5	5.Seminar ÖWWV, Raach 1970 Zukunftsprobleme der Trinkwasserversorgung (1970)	vergriffen
6	6.Seminar ÖWWV, Raach 1971 Industrieabwässer (1971)	vergriffen
7	7.Seminar ÖWWV, Raach 1972 Wasser- und Abfallwirtschaft (1972)	vergriffen
8	Schmidt, F.: Das vollkommene Peilrohr (Zur Methodik der Grundwasserbeobachtung) (1972)	250,--
9	Doleisch, M.: Über die Auswertung von Abflußmessungen auf elektronischen Rechenanlagen Pruzinsky, W.: Über die Anwendung von radioaktiven Tracern in der Hydrologie (1972)	250,--
10	1.Hydrologie-Fortbildungskurs Hochschule für Bodenkultur (1972)	vergriffen
11	Gutknecht D.: Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von HW-Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten (1972)	vergriffen
12	8.Seminar ÖWWV, Raach 1973 Uferfiltrat und Grundwasseranreicherung (1973)	270,--
13	von der Emde W., Fleckseder H., Huber L., Viehl K.: Zellstoffabwässer - Anfall und Reinigung (1973)	vergriffen

Band Nr.:		Preis öS
14	2.Hydrologie-Fortbildungskurs 1973 Hochschule für Bodenkultur (1973)	vergriffen
15	9.Seminar ÖWWV, Raach 1974 Neue Entwicklungen in der Abwassertechnik (1973)	300,--
16	von der Emde, W.: Praktikum der Kläranlagentechnik (1974)	vergriffen
17	Behr, O.: Stabilitätsuntersuchung von Abflußprofilen mittels hydraulischer Methoden u. Trendanalyse (1974)	250,--
18	3.Hydrologie-Fortbildungskurs 1975 Universität für Bodenkultur (1975)	180,--
19	1.Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1976 Institut für Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur (1976)	180,--
20	11.Seminar ÖWWV, Raach 1976 Abfall- und Schlammbehandlung aus wasser- wirtschaftlicher Sicht (1976)	320,--
21	2.Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1977 Institut für Hydraulik, Technische Univ.Wien (1977)	300,--
22	12.Seminar ÖWWV, Raach 1977 Abwasserreinigung in kleineren Verhältnissen (1977)	350,--
23	Baron W., Heindl W., Behr O., Reitinger J.: Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern (1977)	200,--
24	Begert, A.: Ein Beitrag zur Reinigung des Abwassers eines Chemie- faserwerkes eines chemischen Betriebes und einer Kokerei (1978)	vergriffen
25	Krois, H.: Ein Beitrag zur Reinigung von Zuckerfabriksabwasser (1978)	vergriffen
26	Gutknecht, D.: Methoden der hydrologischen Kurzfristvorhersage	300,--
27	13.Seminar ÖWWV, Raach 1978 Wasserversorgung-Gewässerschutz	350,--
28	14.Seminar ÖWWV, Raach 1979 Industrieabwasserbehandlung-Neue Entwicklungen	400,--
29	Frischherz, H.: Probleme der Uferfiltration und Grundwasseranreicherung mit besonderer Berücksichtigung des Wiener Raumes	350,--
30	Beiträge zu Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft: o.Univ.-Prof. DDR. Werner Kresser zum 60. Geburtstag	350,--
31	Schügerl, W.: Grundwasserzuströmungsverhältnisse zu Horizontalfilterrohrbrunnen	200,--

Band Nr.:		Preis öS
32	3. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1980 Institut für Wasserwirtschaft, Univ. f. Bodenkultur (1980)	350,--
33	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (1) (1980)	vergriffen
34	15. Seminar ÖWWV, Raach 1980 Behandlung und Beseitigung kommunaler und industrieller Schlämme	350,--
35	Usrael, G.: Faktoren, die die Inaktivierung von Viren beim Belebungsverfahren beeinflussen (1980)	250,--
36	Flögl, W.: Vergleichende Kostenuntersuchungen über das Belebungsverfahren (1980)	350,--
37	Ruider, E.: Ein Beitrag zur Reinigung und Geruchsfreimachung von Abwasser aus TK-Verwertungsanstalten	350,--
38	Schiller, G.: Wasserwirtschaftliche Probleme der Elektrizitätserzeugung (1981)	Restbestände
39	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (2)	400,--
40	16. Seminar ÖWWV, Raach 1981 Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung als zusammengehörige Techniken	350,--
41	Kurs 1: Filterbrunnen zur Erschließung von Grundwasser	400,--
42	Kirnbauer, R.: Zur Ermittlung von Bemessungshochwässern im Wasserbau	300,--
43	Institut für Wasserwirtschaft: Wissenschaftliche Arbeiten	350,--
44	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (3)	350,--
45	Kurs 2: Verbundwirtschaft in der Wasserversorgung	400,--
46	Stalzer, W.: Gewässerschutzplanung, deren Umsetzung und Ziel- kontrolle im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees	350,--
47	17. Seminar ÖWWV, Ottenstein 1982 Wechselwirkung zwischen Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen. Erfahrungen und Probleme	400,--
48	Kleinwasserkraftwerke, Notwendigkeit u. Bedeutung Flußstudien: Schwarza, Kleine Ybbs, Saalach	440,--
49	Beiträge zu Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Gewässerschutz und Abfallwirtschaft o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. W.v.d. Emde zum 60. Geburtstag	440,--
50	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (4)	300,--

Band Nr.:		Preis ÖS
51	18.Seminar ÖWWV Ottenstein, 1983 Sicherung der Wasserversorgung in der Zukunft	400,--
52	ÖWWV-Kurs 3, 1983 Thermische Beeinflussung des Grundwassers	350,--
53	Fortbildungskurs des ÖWWV 1984 "Planung und Betrieb von Regenentlastungen"	300,--
54	19. Seminar ÖWWV, Gmunden 1984 Sonderabfall und Gewässerschutz	500,--
55	Naturnahes Regulierungskonzept "Pram"	360,--
56	Fortbildungskurs des ÖWWV 1985 "Blähschlammprobleme beim Belebungsverfahren"	300,--
57	ÖWWV-Kurs 4, 1985 Chemie in der Wassergütwirtschaft	
58	20.Seminar ÖWWV, Ottenstein 1985 Klärschlamm - Verwertung und Ablagerung	

Diese Bände sind zu beziehen von:

Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft
Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Band 1, 2, 8, 9, 17, 21, 23, 26, 30, 31, 41, 42, 52

Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau
Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Band 12, 15, 16, 20, 28, 34, 35, 36, 47, 49, 53, 54, 56, 57

Institut für Wasserwirtschaft, Universität Bodenkultur,
Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

Band 18, 19, 22, 27, 29, 32, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 51, 55