

# **WIENER MITTEILUNGEN**

**WASSER · ABWASSER · GEWÄSSER**

11. SEMINAR ÖWWV

**ABFALL- UND SCHLAMMBE-  
HANDLUNG AUS WASSER-  
WIRTSCHAFTLICHER SICHT**

**BAND 20 - WIEN 1976**

# WIENER MITTEILUNGEN

## WASSER-ABWASSER-GEWÄSSER

BAND 20

ABFALL- UND SCHLAMMBEHANDLUNG  
AUS WASSERWIRTSCHAFTLICHER SICHT  
VORTRÄGE DES 11. ÖWWV-SEMINARS  
RAACH, 9.2. – 13.2.1976

HERAUSGEBER: *(Colter)*  
PROF. DR.-ING. W. KEMMERLING  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN  
INSTITUT FÜR GEWÄSSERREGULIERUNG,  
LANDWIRTSCHAFTLICHEN WASSERBAU  
UND ABFALLWIRTSCHAFT

*116.813 II*  
*20*

## Vorwort

Der Österreichische Wasserwirtschaftsverband veranstaltete vom 9. bis 13. Februar 1976 im Bundestagungsheim in Raach am Hochgebirge (NÖ) sein 11. Seminar mit dem Generalthema "Abfall- und Schlammbehandlung aus wasserwirtschaftlicher Sicht". Die wissenschaftliche Leitung des Seminars hatten o.Prof.Dipl.-Ing.Dr.Walter Kemmerling und Dipl.-Ing.Dr.Werner Lengyel.

Um die starke Belastung unserer Gewässer durch Abwässer zu mindern, werden immer mehr Kläranlagen gebaut. Dies ist aber nur der erste Schritt zur schadlosen Umwandlung der Abwässer, dem der zweite, nämlich die Behandlung der dabei anfallenden Schlämme, unbedingt folgen muß. Nicht selten ist dieses Problem in der Praxis schwieriger zu lösen als die Abwasserreinigung selbst. In vielen Fällen wird es möglich sein, das Schlammproblem mit der Behandlung der anfallenden festen Abfälle, vor allem Müll, zu kombinieren. In jedem Fall aber sind die Gefahren, die sich aus der Behandlung von Abfällen und Schlämmen für die ober- oder unterirdischen Gewässer ergeben können, festzustellen und durch entsprechende Vorkehrungen zu verhindern. Nicht zuletzt werden Wirtschaftlichkeit und vor allem auch Wirksamkeit der Behandlungsart davon abhängen, ob und in welchem Ausmaß es gelingt, großräumige, nach sachlichen Gesichtspunkten ausgerichtete Lösungen zu verwirklichen, die unabhängig von oft zufälligen Verwaltungsgrenzen unter Berücksichtigung der natürlichen Gegebenheiten des Raumes geplant sind.

Im Rahmen des Seminars war es in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht möglich, alle mit dem Generalthema angesprochenen Fragen aufzuzeigen oder ausführlich darzustellen. Vieles konnte nur kurz angedeutet werden, um Anregung zu geben, sich eingehender mit diesen Problemen auseinanderzusetzen. Um die Vorträge des Seminars, dessen Teilnehmerzahl beschränkt werden mußte, einem größeren Kreis interessierter Fachleute zugänglich zu machen, werden sie - teilweise etwas zusammengefaßt - im vorliegenden Band 20 der Wiener Mitteilungen "Wasser - Abwasser - Gewässer" veröffentlicht.

Allen Vortragenden sei auch an dieser Stelle nochmals gedankt.

o.Prof.Dipl.-Ing.Dr.W.Kemmerling  
Technische Universität Wien

Vortragende

Braun, R. Prof.Dr.

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
CH-8600 Dübendorf, Überlandstraße 33

Ingerle, K. Prof.Dipl.-Ing.Dr.

Universität Innsbruck, Fakultät für Bauingenieurwesen  
und Architektur, 6020 Innsbruck, Technikerstraße 13

Joven, W. Dir.Dipl.-Ing.

VÖEST-ALPINE AG, Bereich EBR - Leoben  
8700 Leoben, Peter Tunnerstraße

Kemmerling, W. Prof.Dr.-Ing.

Technische Universität Wien, 1040 Wien, Karlsplatz 13

Kick, H. Prof.Dr.

Agrikulturchemisches Institut der Universität Bonn  
D-53 Bonn, Meckenheimer Allee 176

Kurzweil, H. Dipl.-Ing.Dr.

Büro Dr. Werner Lengyel, 1030 Wien, Jacquingasse 13

Lengyel, W. Dipl.-Ing.Dr.

Zivilingenieur für Kulturtechnik, 1030 Wien, Jacquingasse 13

Megay, K. Hofrat Dr.med.

Bundesstaatliche bakteriologisch-serologische Untersuchungs-  
anstalt, 4020 Linz, Derfflingerstraße 2

Mucsy, G. Dipl.-Ing.

VITUKI, Budapest VIII, Rákóczi ut 41

Starzer, F. Hofrat Dr.

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 4010 Linz, Altstadt 30

Stiglbauer, K. Prof.Dr.

Österreichische Raumordnungskonferenz, 1014 Wien, Ballhausplatz 1

Tabasaran, O. Prof.Dr.-Ing.

Universität Stuttgart, D-7 Stuttgart 80, Bandtäle 1

Wohlrab, B. Prof.Dr.

Justus-Liebig-Universität, Institut für Landeskultur  
D-63 Gießen, Senckenbergstraße 3, Zeughaus

## INHALT

Vortragender	Seite
✓ Kemmerling, W.: Wasserwirtschaftliche Aspekte der Abfallbehandlung	A - 1
Lengyel, W.: Schlammbehandlung	B - 1
✓ Kemmerling, W.: Geordnete Ablagerung von Schlämmen	C - 1
Joven, W.: Klärschlamm-Müllkompostierung	D - 1
Kurzweil, H.: Kompostierung von Klärschlamm	E - 1
Ingerle, K.: Gemeinsame Lösung der Abfall- und Abwasserprobleme im ländlichen Raum	F - 1
Mucsy, G.: Aufbereitung ölhaltiger Schlämme	G - 1
Kick, H.: Landwirtschaft und Abwasserklärschlamm	H - 1
Wohlrab, B.: Rekultivierung mit Abfall und Abfallprodukten, insbesondere mit Müll und Klärschlamm	I - 1
Braun, R.: Kompostierung von Hausmüll und Industrieabfällen	K - 1
Megay, K.: Hygiene der Abfall- und Schlammbehandlung	L - 1

Tabasaran, O.:

Die pyrolytische Behandlung von kommunalem Müll

M - 1

Braun, R.:

Auslaugungsversuche mit Schlacken aus der Müllverbrennung

N - 1

Tabasaran, O.:

Über Versuche zur Kompostierung von Hausmüll und  
Abwasserschlämme

O - 1

Starzer, F.:

Rechtsfragen der Abfall- und Schlammbehandlung - Ländergesetze

P - 1

Schäfer, E.:

Konzept einer geordneten Abfallwirtschaft in Österreich

Q - 1

Walter Kemmerling:

Wasserwirtschaftliche Aspekte der Abfallbehandlung

Von den rd. 1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser auf der Erde sind 97,2 Prozent salziges Meerwasser. Etwa 2 % sind als Eis in den nördlichen und südlichen Polargebieten sowie in den Gebirgen festgelegt. Nur 0,8 % befinden sich als Süßwasser im natürlichen Wasserkreislauf (Niederschlag, Abfluß, Verdunstung). Auf diesen geringen Prozentsatz ist die Erdbevölkerung primär angewiesen. Nach einem Bericht der Organisation für Ernährung und Landwirtschaft bei den Vereinten Nationen (FAO) vom März 1972 droht binnen 30 Jahren eine tödliche Wasserknappheit. Bereits heute leiden nach Erhebungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) etwa 130 Millionen Menschen in 75 Ländern der Erde unter Wassernot oder müssen mit mehr oder weniger stark verschmutztem Wasser auskommen.

Je größer die Erdbevölkerung wird - die 6 Milliarden-Grenze wird in absehbarer Zeit überschritten sein -, um so mehr ist es notwendig, das Wasser mit allen uns zur Verfügung stehenden Mitteln zu schützen. Bei der Wassergesetzgebung muß sich der Schwerpunkt vom Schutz vor den vom Wasser drohenden Gefahren zum Schutz des Wassers vor den Gefahren, die ihm vom Menschen drohen, verschieben. Die häufig beschworene Selbstreinigungskraft des Wassers, aber auch des Bodens oder der Luft ist in weiten Bereichen durch Zivilisationseinflüsse so weit gestört oder überlastet, daß sie die ihr von der Natur zugedachte Aufgabe nicht mehr erfüllen kann.

In dieser Situation ist es notwendiger als je zuvor, das Wasser im Interesse der Allgemeinheit zu bewirtschaften, d.h. alle das Wasser berührenden Maßnahmen oder Interessen sinnvoll aufeinander abzustimmen. Wasserwirtschaft ist das zielbewußte Ordnen aller menschlichen Einwirkungen auf die Gewässer, also sowohl auf das Oberflächenwasser als auch auf das Grundwasser. Sie umfaßt neben der quantitativen und biologischen auch die qualitative Komponente, die Wassergütemirtschaft, die in diesem

Referat im Zusammenhang mit der Abfallwirtschaft stärker im Vordergrund steht. Allerdings darf bei den vielfältigen Zusammenhängen zwischen Wasserwirtschaft und Abfallwirtschaft (oder ganz allgemein Umweltschutz) nicht nur dieser Teilbereich gesehen werden. Nur ein gutes Zusammenwirken aller drei Teilgebiete aus einer einheitlichen Sicht und Zielsetzung heraus kann zu einem dauerhaften Erfolg führen. Hier liegt ein großes und sehr wichtiges Aufgabengebiet des Wasserwirtschaftskatasters.

Mit dem Begriff "Abfallbehandlung" wird ein Teilgebiet der Abfallbeseitigung angesprochen. Die Abfallbeseitigung umfaßt den Teil der Abfallwirtschaft, der die Bereiche Sammeln, Transportieren, Aufbereiten, Behandeln und Ablagern überdeckt.

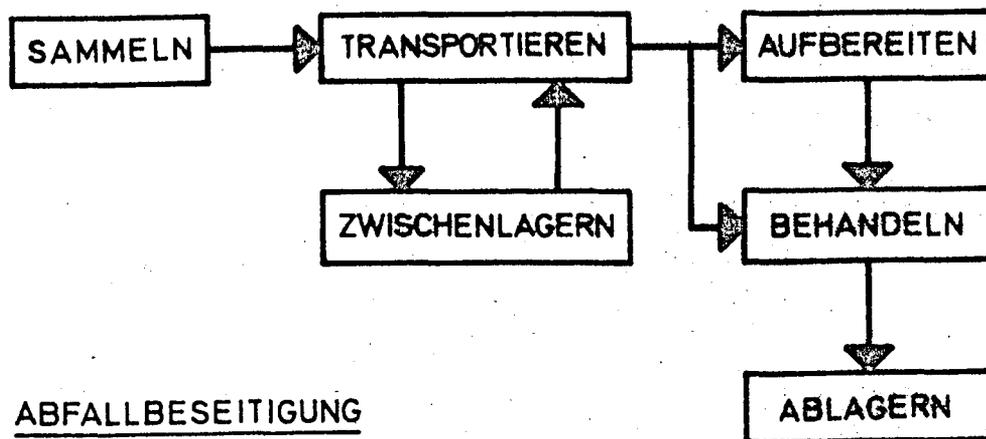


Abb.1

Abfälle sind bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder deren geordnete Beseitigung durch besondere Vorschriften geboten ist. Die ÖNORM S 2000 Abfall-Begriffe (Gründruck) unterteilt weiter in Müll (feste Abfälle bestimmter Herkunft) und Sonderabfall (Abfall, dessen schadlose Beseitigung gemeinsam mit Müll wegen seiner Beschaffenheit und/oder Menge ohne spezielle Aufbereitung

nicht möglich ist). Der Müll wird nach seiner Herkunft unterteilt in Hausmüll, Geschäfts- und Gewerbemüll, Sperrmüll und Straßenkehricht.

Eine Abfallbeseitigung ohne jede Beeinträchtigung der Umwelt gibt es nicht. Die Abfallbehandlung hat daher zum Ziel, die Abfälle so aufzubereiten oder umzuwandeln, daß eine Gefährdung der Umwelt ausgeschlossen ist und daß mögliche Beeinträchtigungen auf ein Ausmaß zurückgeführt werden, das sowohl ökologisch, d.h. im Hinblick auf die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und Umwelt als auch wirtschaftlich tragbar erscheint. Die ökologischen und die wirtschaftlichen Verhältnisse sind nicht konstant, sondern sehr variabel und primär standortbedingt. Hieraus ergibt sich die zwingende Schlußfolgerung, daß die Zweckmäßigkeit der Abfallbehandlungsart und die Bedeutung der damit verbundenen wasserwirtschaftlichen Aspekte nicht losgelöst vom Objekt entschieden werden kann, sondern von Standort zu Standort neu überdacht und beurteilt werden muß.

Hier kommt auch die Forderung nach einer ausreichenden "Lebensqualität" (quality of life) ins Spiel. Sie ist heute bereits zu einem Schlagwort geworden, das in keinem Parteiprogramm und in keiner Umweltschutz-Sonntagsrede mehr fehlt. Aber so leicht es ist, dieses Wort auszusprechen (oder niederzuschreiben), so schwer ist es, eine genaue Definition hierfür anzugeben. Die hungernde Bevölkerung in Bangla Desh versteht hierunter etwas anderes als die satten Menschen in Amerika oder Mitteleuropa. Aber auch hier gehen die Ansichten sicherlich weit auseinander. Lebensqualität ist wie Gesundheit - in der Magna Charta der Weltgesundheitsorganisation als ein Zustand des vollkommenen physischen, seelischen und sozialen Wohlbefindens charakterisiert - ein Wort, das jeder zu verstehen glaubt, dem aber jeder einen anderen Inhalt gibt. So charakterisiert dieses Wort "Lebensqualität" weniger eine konkrete Aufgabe, als vielmehr eine allgemeine Aufforderung, sich vom überwiegend quantitativen Wachstumsdenken abzuwenden und sich anderen Werten zuzuwenden, die keine hohen Umweltbelastungen

und keinen Raubbau an den Rohstoffen unserer Erde zur Folge haben. So gesehen kann auch ein Schlagwort, wenn es richtig aufgenommen und verstanden wird, seine Berechtigung haben bzw. erhalten.

Gewiß ist die Abkehr vom Wachstumsdenken, das Ablegen mancher uns so selbstverständlich gewordener Gewohnheiten nicht leicht. Von jedem einzelnen von uns werden Opfer verlangt werden. Aber ebenso gewiß ist es, daß der Preis um ein vielfaches höher sein wird, wenn wir noch lange warten - vorausgesetzt, daß es dann überhaupt noch einen "Preis" gibt, durch den eine Katastrophe verhindert werden kann.

Nach dem heutigen Stand der Technik kommen für die Abfallbehandlung die drei "klassischen" Verfahren

- Geordnete Deponie,
- Kompostierung und
- Verbrennung

sowohl allein als auch in verschiedenen Kombinationen in Frage. Dabei ist zu bemerken, daß es zwar geordnete Deponien ohne Kompostierung oder Verbrennung gibt, aber kein Verfahren, das ganz ohne Deponie auskommen kann. Auch hieraus läßt sich u.a. erkennen, welche große Bedeutung die geordnete Deponie auch heute noch für die Abfallbehandlung hat. Neuere thermische Verfahren (z.B. Pyrolyse, Vergasung, FLK-Verfahren) befinden sich noch im Teststadium.

Bei allen diesen Verfahren gibt es wasserwirtschaftliche Aspekte, ist die Möglichkeit einer Beeinträchtigung von Grund- und/oder Oberflächenwasser grundsätzlich gegeben. Allerdings muß ich mich angesichts der mir zur Verfügung stehenden Zeit auf einige, mir wichtig erscheinende Aspekte beschränken, die sich vor allem auf die in Österreich überwiegend angewandte Behandlungsart der Deponie beziehen. Zuvor gestatten sie mir in diesem Zusammenhang noch einige Bemerkungen zum sogenannten Recycling.

Noch vor rund 6 Jahren hielten große Wochenzeitungen im deutschen Sprachraum das aus dem amerikanischen Abfallwesen zu uns gekommene Wort Recycling als "Fachausdruck der Müllexperten" für erklärungsbedürftig. Heute gibt es kaum noch Diskussionen oder Vorträge, in denen dieses Wort nicht fällt, wenn es um Abfallprobleme geht. Auf den ersten Blick erscheint es als eine faszinierende Möglichkeit, aus Dingen, die niemand mehr haben will, eben aus Abfällen, ein Wirtschaftsgut zu gewinnen, das sich sogar verkaufen läßt.

Die Übersetzung von "Recycling" ins Deutsche scheint schwierig zu sein. Man findet in der Literatur verschiedene Ausdrücke, wie z.B.:

- Weiterverarbeitung (z.B. Kompostierung, Verbrennung)
- Wiederverwendung (z.B. Leih- und Pfandflasche)
- Wiederverwertung (Bezieht sich auf den nutzbaren Anteil im Abfall wie z.B. Metalle, Glas, Papier u.a.m.)

In der Praxis werden diese Begriffe, die jeweils nur einen Teilaspekt des Problemkreises Recycling umfassen, noch in den verschiedensten Bedeutungen benutzt. Wenn man aber davon ausgeht, daß Recycling im Zusammenhang mit der Abfallbeseitigung kein bestimmtes technisches Verfahren ist, sondern vornehmlich ein Denkmodell, eine Gesinnung kennzeichnet, kommt man fast automatisch dazu, diesen ganzen Problemkreis, der sich mit dem Wiedereinführen von nutzbaren Anteilen der Abfälle in den Produktionsprozeß befaßt, mit dem übergeordneten Begriff Abfallbewirtschaftung oder einfach "Abfallwirtschaft" zu kennzeichnen.

Die freie Wirtschaft hat immer dann Recycling praktiziert - und sie wird es auch hinkünftig tun -, wenn es wirtschaftlicher ist als das Verwenden ursprünglicher Rohstoffe, d.h. wenn wirtschaftliche Verfahren existieren oder Rohstoffverknappung eintritt. Die Probleme beginnen dort, wo auch unter Einbeziehung der für eine schadlose Beseitigung erforderlichen Beträge kein Gewinn mehr zu erwarten ist. Hier muß reines Kosten-Nutzen-Denken um ökologische und auch rohstoffökonomische Aspekte erweitert werden. Auch die sozialen Kosten müssen in die Wirtschaftlichkeit mit einbezogen werden. Für viele Verfahren der

Rohstoffrückgewinnung werden sich dann die Schwellenwerte der Rentabilität erheblich verschieben.

Allerdings darf nicht vergessen werden, daß beim Rückführen von Abfällen in den Produktionsprozeß Umweltbelastungen (Emissionen, Immissionen, Energieverbrauch) durch Sortieren, Aufbereiten, Behandeln etc. entstehen. Dadurch ergibt sich ein weiteres Kriterium zur Beurteilung solcher Maßnahmen. Sie sind zumindest dann fragwürdig, wenn die durch sie hervorgerufene Gesamtbelastung der Umwelt größer ist als die, die sich aus der Gewinnung und Aufbereitung der ursprünglichen Rohstoffe und der notwendigen Abfallbehandlung ergibt.

Die Gesamtbelastung der Umwelt durch Recycling-Maßnahmen kann dadurch wesentlich verringert werden, daß man statt einer aufwendigen Abfallbehandlung das Übel an der Wurzel packt und bereits beim Entstehen der Abfälle eingreift. Durch entsprechende Produktionsmethoden kann es erreicht werden, daß weniger Abfälle anfallen und vor allem sogenannte umweltfreundliche, deren Rückführung in den Stoffkreislauf (oder auch Behandlung) keine großen Aufwendungen erfordert.

Ohne geordnete Deponien könnte man auch dann nicht auskommen, wenn es gelänge, den Umdenkungsprozeß von der Abfallbeseitigung zur Abfallwirtschaft und vor allem seine Umsetzung in die Praxis wesentlich zu beschleunigen. Es gibt immer Stoffe, deren Wiedereinbringung in einen Rohstoffkreislauf aus bestimmten Gründen (technischen, ökonomischen, ökologischen etc.) nicht möglich oder nicht sinnvoll ist. Sie müssen ebenso wie die bei den verschiedenen Behandlungsverfahren anfallenden Rückstände abgelagert werden. Außerdem müssen gerade bei technisch hoch entwickelten Behandlungsanlagen Ausweichdeponien zur Verfügung stehen, falls die Anlagen einmal ausfallen sollten.

Hieraus ergeben sich wichtige Konsequenzen für die Raumordnung. Die Auswahl von Deponieflächen darf nicht mehr oder weniger vom Zufall abhängen, d.h. von der Möglichkeit, die Flächen preisgünstig erwerben oder pachten zu können. Maßgebend muß die Eignung für den Betrieb einer geordneten Deponie sein. Das bedeutet aber, daß hinkünftig bei den Planungen mit dem Ziel

einer Raumordnung auch das Deponiepotential eines Planungsgebietes ermittelt und im erforderlichen Umfang sichergestellt werden muß.

Die älteste Methode der Abfallbehandlung, die Deponie, scheint in jüngster Zeit immer mehr in den Ruf zu geraten, rückständig oder gar umweltfeindlich zu sein. Dies liegt sicherlich u.a. auch daran, daß in Österreich zur Zeit auf den meisten Deponien die Abfälle ungeordnet und unkontrolliert abgelagert werden. Von den im Jahre 1973 in den österreichischen Gemeinden anfallenden Müllmengen wurden ohne Wien fast 95 % deponiert. Unter Einschluß von Wien waren es immerhin noch rd. 74 % (das sind rd. 990 000 t).

Hinzu kommt, daß eine Deponie, auch eine geordnete, einen geringen Prestigewert hat. Ein Verfahren wird - vielfach unbewußt - um so besser eingestuft, je größer der technische Aufwand ist. Nicht zuletzt werden auch die Forderungen, die sich aus dem Zusatz "geordnete" für das Einrichten und den Betrieb einer Deponie ergeben, meist unterschätzt und lediglich auf das äußere Bild bezogen.

Unter dem Namen "geordnete Deponie" sind alle Verfahren zusammengefaßt, bei denen die Abfälle möglichst schadlos auf Dauer abgelagert werden. Dabei sind zur Verhinderung nachhaltiger Umweltschäden sowohl hygienische, hydrologische und ökologische Gesichtspunkte als auch bautechnische Grundsätze für den Aufbau einer Deponie zu berücksichtigen.

Eine weitere Unterteilung der geordneten Deponien kann nach dem abgelagerten Material vorgenommen werden, wie z.B.:

- Mülldeponie
- Kompostdeponie
- Erdmaterialdeponie
- Schlackendeponie
- Sonderabfalldeponie

Nach der Ablagerungstechnik können unterschieden werden:

- Verdichtungsdeponie.

Die Abfälle werden - soweit erforderlich - verdichtungsfähig aufbereitet, in entsprechender Schichtdicke eingebaut und dann verdichtet. Der Abbau der organischen Stoffe liegt im anaeroben Bereich (Faulung).

- Rottedeponie.

Die Abfälle werden in der Regel zerkleinert und dann in einer Höhe lose aufgeschüttet, die den Abbau organischer Substanzen überwiegend im aeroben Bereich (Rotte) ermöglicht. Die darauffolgende Schicht wird erst nach Abschluß der Rotte aufgebracht.

Wenn Niederschlagswasser in eine Deponie eindringt, löst es auf seinem Versickerungsweg anorganische und organische Stoffe aus dem abgelagerten Material und reichert sich damit an, bis es als Sickerwasser an der Deponiesohle aus der Abfallschüttung austritt. Die Beschaffenheit dieses Sickerwassers wird u.a. sehr stark durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Deponiematerial und Homogenisierungsgrad
- Deponiealter
- Ablagerungstechnik
- Menge des Sickerwassers und Art der Durchsickerung der Abfallschüttung

Die Menge des Sickerwassers wird primär von den Klimaverhältnissen (Niederschlag, Verdunstung) und einem eventuellen Fremdwasserzufluß zu der Abfallschüttung bestimmt. Daneben hat der Deponiebetrieb in Verbindung mit der Gestaltung der Abdeckung und der Rekultivierung große Bedeutung.

Über die qualitative und quantitative Seite dieser Vorgänge fehlen noch weitgehend zuverlässige Unterlagen. Die bisher durchgeführten Messungen und Beobachtungen an bestehenden Deponien sowie an größeren Deponiemodellen zeigen oft größere Differenzen, deren Ursachen nicht immer eindeutig angegeben werden können.

Der Wasserhaushalt einer Abfalldeponie wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, deren Bedeutung zweckmäßig an einem Modell aufgezeigt werden kann. Dabei können auch unterschiedliche Deponieformen (Halde, Grubenverfüllung, Hanganschüttung) berücksichtigt werden. Die Bezeichnung "Modell" weist darauf hin, daß es sich um eine vereinfachende Nachbildung der natürlichen Verhältnisse handelt, bei der um der besseren Klarheit willen einzelne, nicht ins Gewicht fallende Faktoren, fortgelassen werden können.

In Abb.2 sind der prinzipielle Aufbau einer als Halde errichteten Abfalldeponie sowie an einem Deponie-Element die für den Wasserhaushalt wichtigen Faktoren dargestellt. Die Dimension ist bei allen Faktoren die gleiche und wurde daher nicht eingezeichnet. Sie kann in mm oder l, bezogen auf Flächen und Zeiteinheit, angegeben werden (z.B. mm/m<sup>2</sup>.a oder l/ha.a).

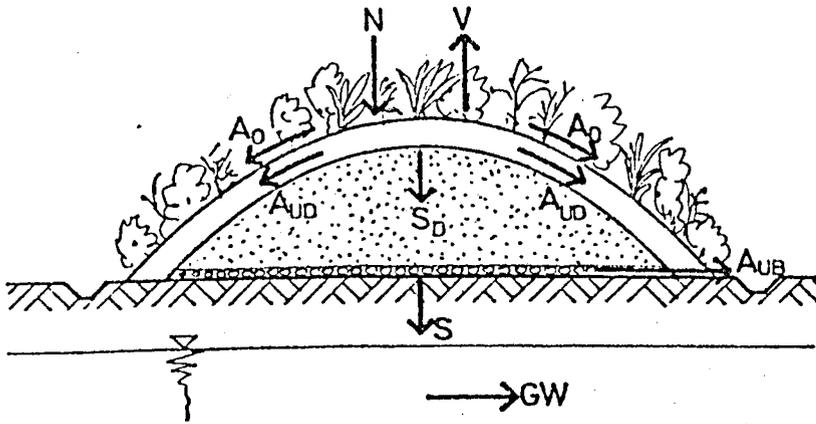
Bei der Untersuchung des Einflusses, den die einzelnen Faktoren haben, müssen Deckschicht und Abfallschüttung getrennt betrachtet werden, da in ihnen sowohl der Wassergehalt als auch die Fließvorgänge unterschiedlich sind. Im Gegensatz zur Deckschicht findet in der Abfallschüttung kein vertikaler Rücktransport von bereits eingesickertem Niederschlagswasser (über die Verdunstung) statt.

Die Wasserhaushaltsgleichung für die Deckschicht ist bei den drei hier angesprochenen Deponieformen gleich. Sie lautet:

$$N + Z_o + Z_{UD} = V_E + V_r + A_o + A_{UD} + (R-B) + S_D$$

Ein horizontaler Wasseraustausch kann bei dem einzelnen Deponieelement sowohl an der Oberfläche ( $Z_o$  und  $A_o$ ) als auch innerhalb der Deckschicht ( $Z_{UD}$  und  $A_{UD}$ ) stattfinden. Bei Betrachtung der ganzen Deponie (s. Prinzipskizze Abb.2) verbleibt jedoch nur der Abflußanteil, da außer durch  $N$  kein Wasser zugeführt werden kann.

A HALDE



a) Deckschicht mit Zufluß:

$$N = V + \Delta A_0 + \Delta A_{UD} + \Delta W_D + S_D$$

b) Deckschicht ohne Zufluß:

$$N = V + A_0 + A_{UD} + \Delta W_D + S_D$$

c) Abfallschüttung:

$$S = S_D - A_{UB}$$

$$V = V_E + V_T$$

$$\Delta A_0 = A_0 - Z_0$$

$$\Delta A_{UD} = A_{UD} - Z_{UD}$$

- N Niederschlag
- $V_E$  Evaporation
- $V_T$  Transpiration
- V Gesamtverdunstung
- $Z_0$  Zufluß, oberirdisch
- $Z_{UD}$  Zufluß, unterirdisch in der Deckschicht
- $A_0$  Abfluß, oberirdisch
- $A_{UD}$  Abfluß, unterirdisch in der Deckschicht
- $S_D$  Sickerwasser aus der Deckschicht
- S Sickerwasser aus der Abfallschüttung
- $A_{UB}$  Basisabfluß aus der Deponie auf der Oberfläche des Untergrundes oder aus Dränungen
- R Wasserrücklage in der Deckschicht
- B Wasseraufbrauch in der Deckschicht
- $A_{WD}$  R-B Wasserspeicherung in der Deckschicht

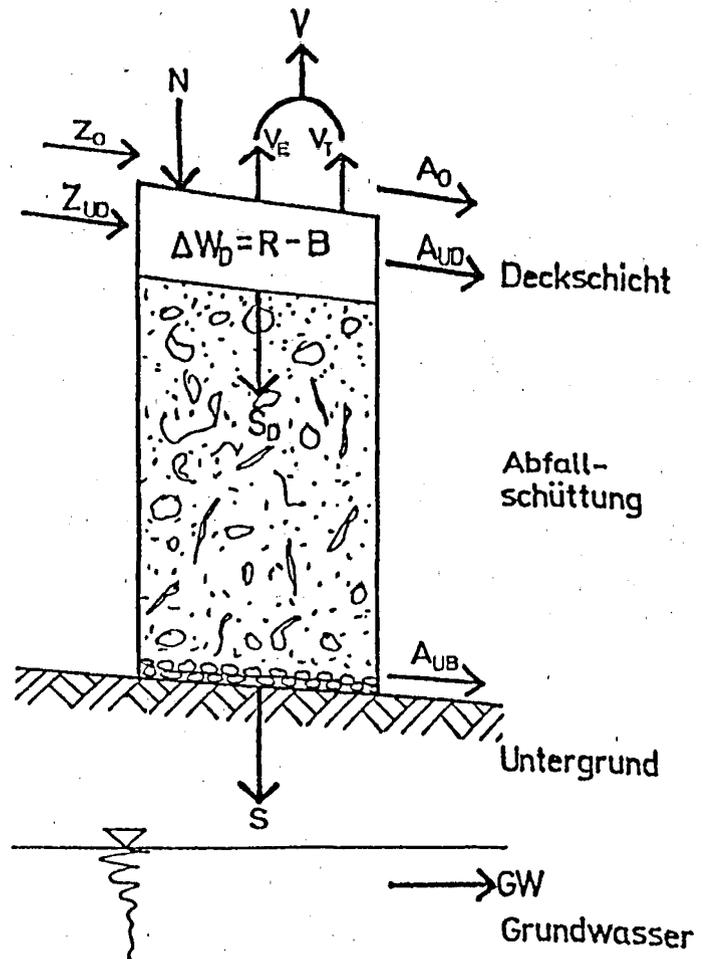
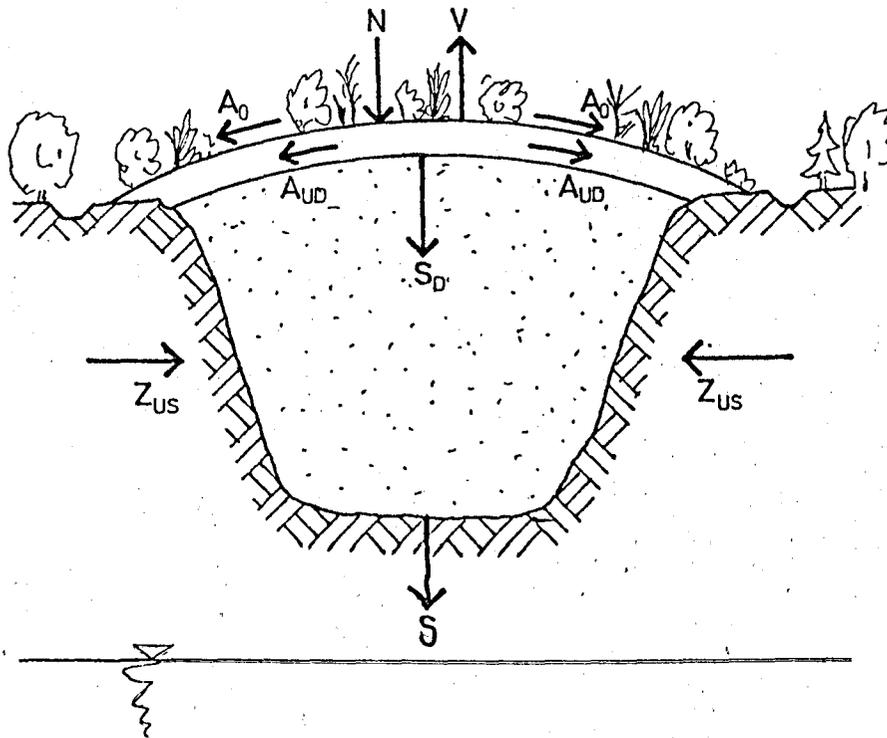
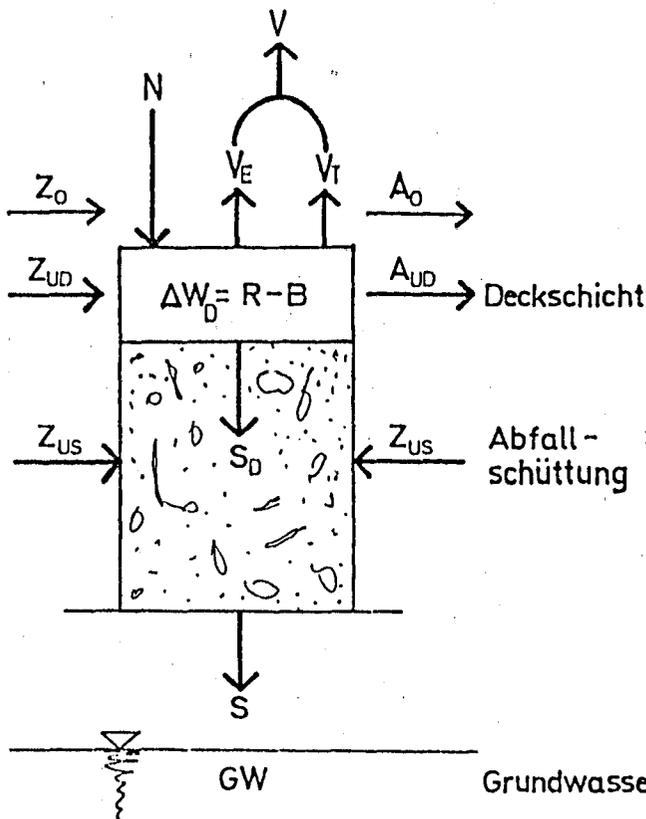


Abb.2: Wasserhaushalt einer Abfalldeponie - Halde

B GRUBENVERFÜLLUNG



Der Wasserhaushalt der Deckschicht entspricht Fall A



a) Deckschicht mit Zufluß:

$$N = V + \Delta A_0 + \Delta A_{UD} + \Delta W_D + S_D$$

b) Deckschicht ohne Zufluß:

$$N = V + A_0 + A_{UD} + \Delta W_D + S_D$$

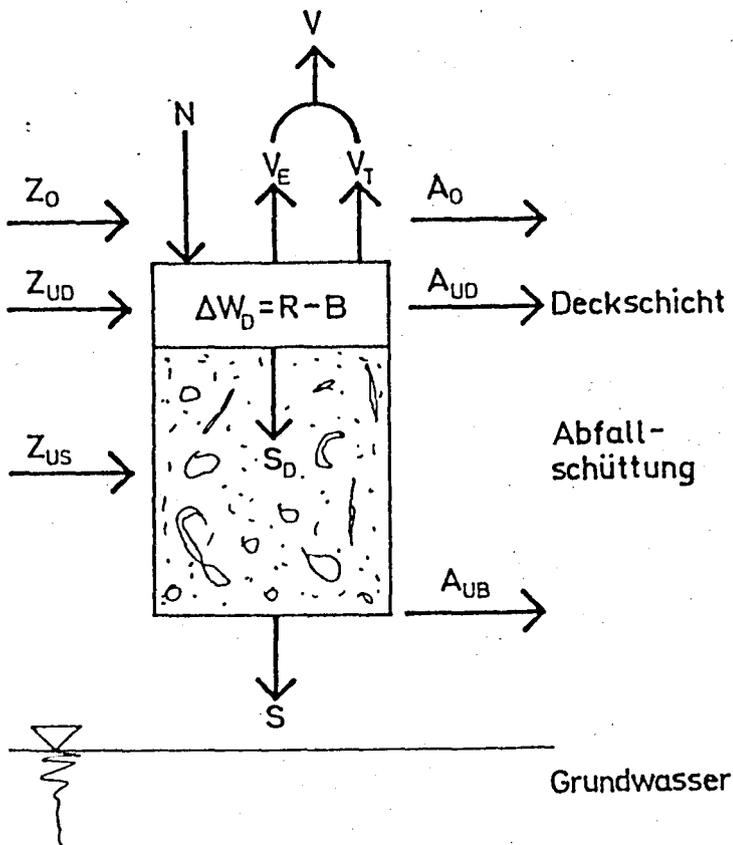
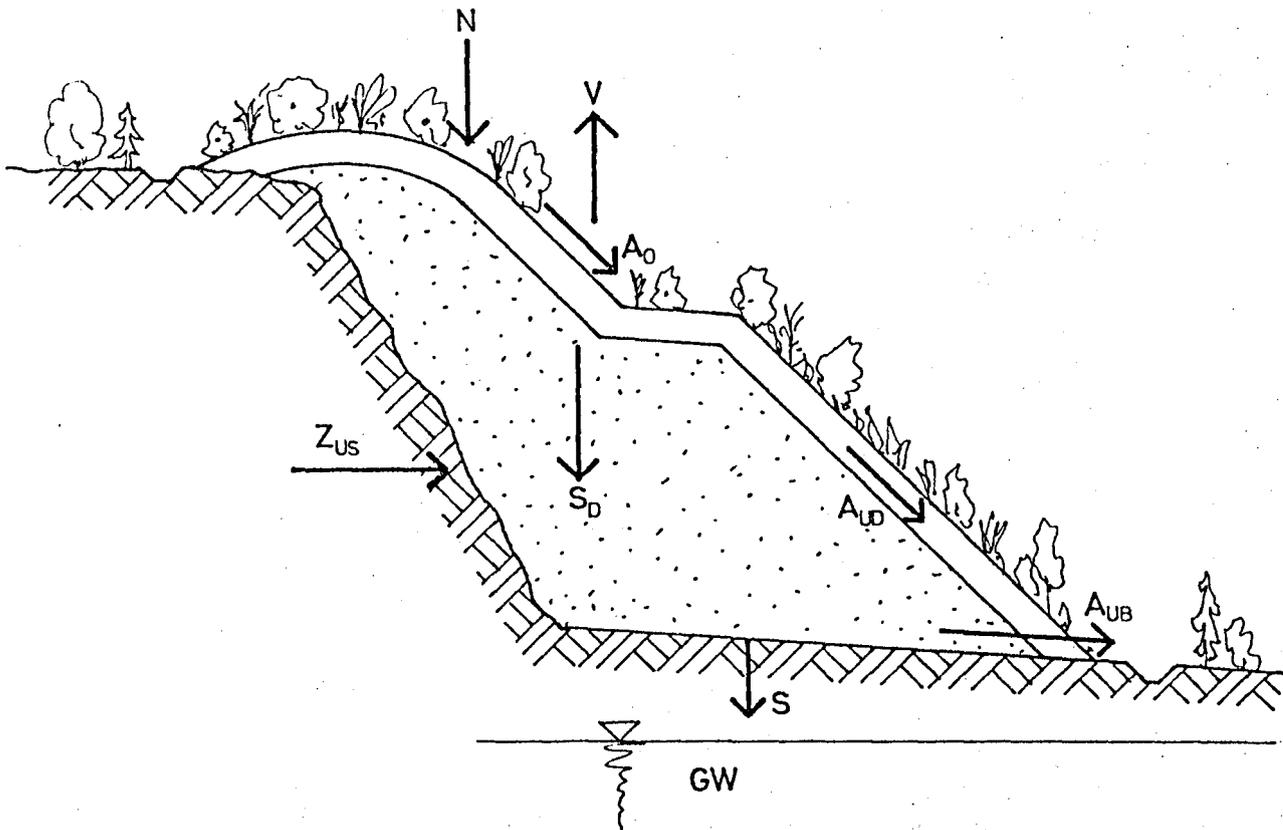
c) Abfallschüttung:

$$S = S_D + Z_{US}$$

$Z_{US}$  = unterirdischer Zufluß aus den Seitenwänden der Grube  
(Quellen, Druckwasser, Schichtwasser u.ä.)

Abb.3: Wasserhaushalt einer Abfalldéponie - Grubenverfüllung

C ANSCHÜTTUNG AN EINEN HANG



a) Deckschicht (ohne Zufluß):

$$N = V + A_0 + A_{UD} + \Delta W_D + S_D$$

b) Schüttung:

$$S = S_D + Z_{US} - A_{UB}$$

Abb.4: Wasserhaushalt einer Abfalldeponie - Anschüttung an einen Hang

Beim vertikalen Wasseraustausch spielen das Verhalten des Bodens zum Wasser (Wasserkapazität) und die Bewachsung der Deckschicht eine Rolle. Bei einer vegetationslosen Deckschicht gibt es keine Transpiration ( $V_r$ ). Die Speicherfähigkeit des Bodens hängt von der Porenraumgliederung ab. Hierbei ist der Anteil an Feinporen entscheidend.

Die Wassermenge, die der Boden längere Zeit durch seine Oberflächenkräfte entgegen der Schwerkraft festhalten kann, bezeichnet man mit Feldkapazität  $F_K$ . Das Wasser, das auch von den Pflanzen nicht mehr dem Boden entzogen werden kann, bezeichnet man als Totwasser (nicht nutzbare Bodenfeuchte)  $F_o$ . Ihr Grenzwert ist der permanente Welkepunkt (PWP). Zwischen diesen beiden Grenzwerten kann die Bodenfeuchte (der Wassergehalt) eines bewachsenen Bodens schwanken. Man bezeichnet die Differenz als nutzbare Speicherfeuchte  $F_{Kn}$  (oder auch nutzbare Wasserkapazität  $WK_n$ ).

$$F_{Kn} = F_K - F_o.$$

Eine nicht bewachsene Deckschicht kann bei ausreichender Dicke (60 - 100 cm) niemals bis zum PWP austrocknen. Bei einem bewachsenen Boden ist daher der für eine vorübergehende Speicherung von Niederschlagswasser zur Verfügung stehende Porenraum i.a. wesentlich größer. Dies wirkt sich auch auf die Wasserspeicherung  $\Delta W_D$  in der Deckschicht aus, die bei kurzzeitigen Wasserbilanzen zu berücksichtigen ist. Sie ergibt sich aus der Differenz des bei Niederschlägen gespeicherten Wassers (Rücklage R) und des in Trockenzeiten von den Pflanzen verdunsteten Wassers (Aufbrauch B). Diese Differenz, das sogenannte Speicherglied, kann sowohl positiv als auch negativ sein.

Mit  $S_D$  ist die Sickerwassermenge bezeichnet, die aus der Deckschicht an die Abfallschüttung abgegeben wird. Bei Betrachtung der ganzen Deponie beträgt sie:

$$S_D = N - (V_E + V_r) - \Lambda_o - A_{UD} - \Delta W_D$$

Diese Gleichung zeigt, wo man ansetzen kann, um die Sickerwassermenge  $S_D$  möglichst gering zu halten.

Der Niederschlag ist vom Klima abhängig und nicht beeinflussbar. Dagegen kann durch schnelles Begrünen der aufgetragenen Deckschicht die Gesamtverdunstung  $V$  durch Aktivieren der Transpiration  $V_r$  nicht unerheblich vergrößert werden (bis über 300 mm/a).

Der Oberflächenabfluß  $A_o$  kann durch entsprechende Gestaltung der Deckschichtoberfläche (keine abflußlosen Mulden, ausreichendes Gefälle u.a.m.) erheblich gesteigert werden. Erosionen sind durch geeignete Gegenmaßnahmen zu verhindern. Eine ausreichende Vorflut muß gegeben sein, auch für den unterirdischen Abfluß in der Deckschicht ( $A_{UD}$ ), der durch einen entsprechenden Aufbau der Deckschicht so weit gesteigert werden kann, daß praktisch kein Sickerwasser auftritt. Einen möglichen Aufbau zeigt Abb.5.

Der Einfluß des oberirdischen Abflusses  $A_o$  (in Abhängigkeit vom Abflußbeiwert  $\psi$ .) auf die Sickerwassermenge  $S_D$  ist in Abb.6 für eine Deponie etwa im Raum Wr. Neustadt dargestellt. Die langjährigen Mittelwerte betragen hier etwa:

$$N = 650 \text{ mm/a}; \quad V = 500 \text{ mm/a}.$$

Ohne Oberflächenabfluß ( $\psi = 0$ ) ergibt sich eine Sickerwassermenge von 150 mm/a bzw. 150 l/m<sup>2</sup>.a. Bei einem Abflußbeiwert von  $\psi = 0,15$  werden etwa 50 mm/a vom Niederschlag zu Sickerwasser (s. Abb. 7). Bei einem Abflußbeiwert von 0,23 tritt im Jahresmittel kein Sickerwasser mehr auf. Da es sich um langjährige Mittelwerte handelt, ist selbstverständlich ein Sickerwasseranfall während einzelner Starkregenperioden nicht auszuschließen, wenn das in die Deckschicht einsickernde Niederschlagswasser die Bodenfeuchte bis über die Feldkapazität  $F_K$  hinaus anhebt. Wie oft dieser Zustand eintreten kann, ist aus den Jahresmittelwerten nicht zu erkennen. Allerdings dürfte es nicht sehr häufig sein, wenn die Deponie mit Lehmböden ( $WK_n = 260 \text{ mm/m}$ ) oder gut ausgereiftem Kompost ( $WK_n = 300 \text{ mm/m}$ ) abgedeckt ist.

Auf die nutzbare Speicherkapazität der Abdeckschicht kann durch die Auswahl eines entsprechenden Bodens Einfluß genommen werden. Besonders geeignet sind Lehmböden und auch gut ausgereifter Kompost.

Abb.5: Beispiel für den Aufbau einer Deponieabdeckschicht

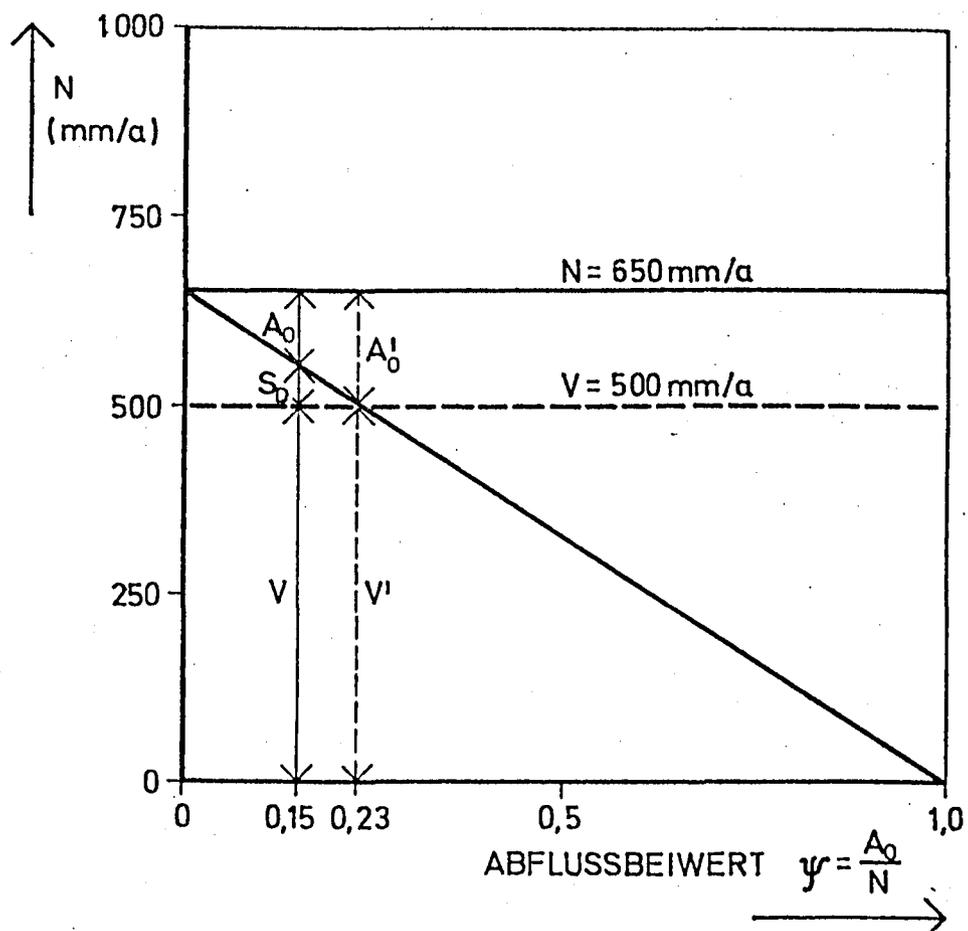
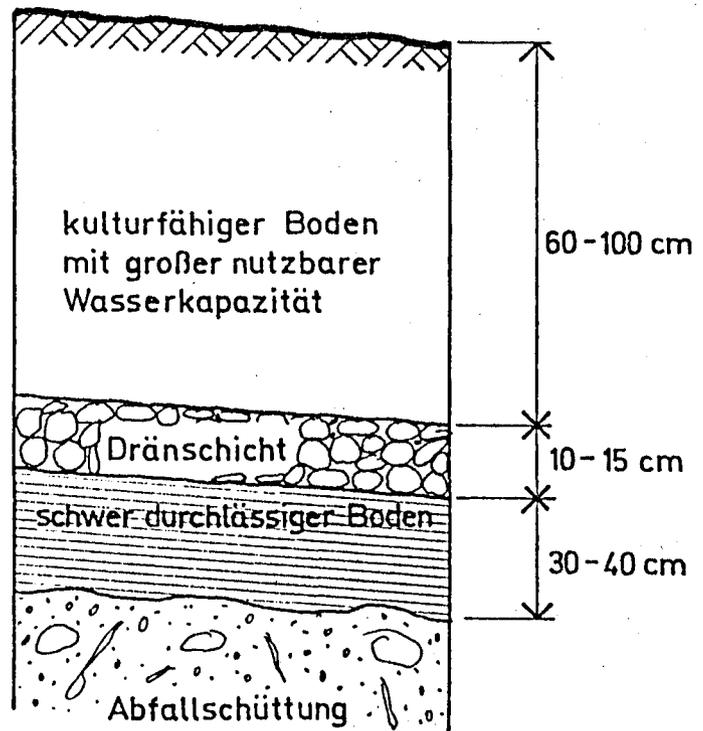


Abb.6: Sickerwasser und Oberflächenabfluß in Abhängigkeit vom Abflußbeiwert für den Raum Wr. Neustadt.

$$S = N - V - A_0$$

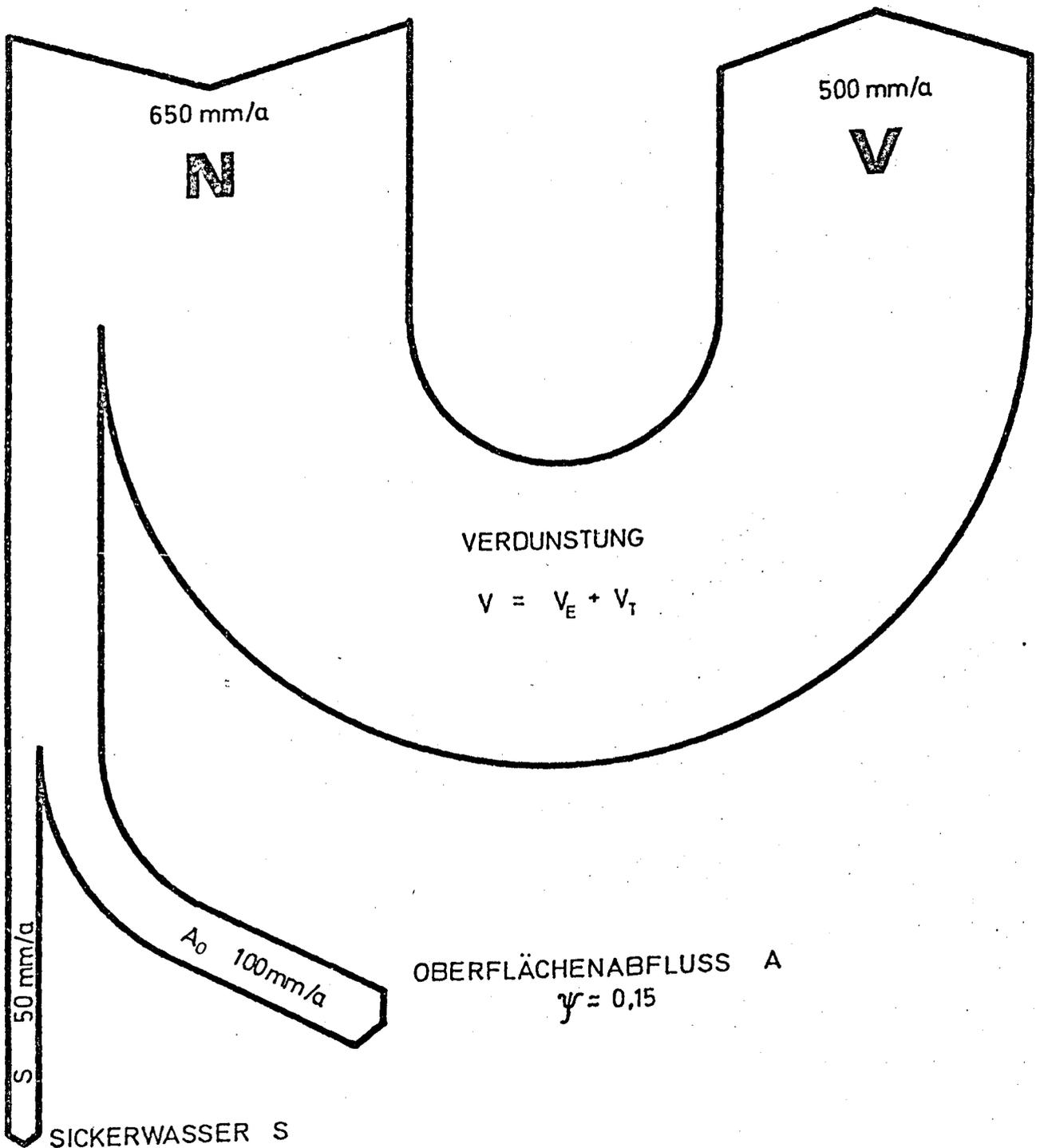


Abb.7: Wasserhaushalt einer Abfalldeponie - Bsp.: Grubenverfüllung im Raum Wr. Neustadt.

Voraussetzung:  $Z_0, Z_{UD}, A_{UD}, Z_{US} = 0$ ;  $S_D = S$ ;  $W_D = 0$   
(langjährige Mittelwerte für N und V)

Der Wasserhaushalt der Abfallschüttung wird im Gegensatz zur Deckschicht von der Form der Deponie beeinflusst.

#### A. Halde (Abb.2):

Das von der Deckschicht abgegebene Sickerwasser  $S_D$  kann bei einem naturdichten (oder auch künstlich gedichtetem) Untergrund mit ausreichendem Gefälle und guter Dränung als Basisabfluß  $A_{UB}$  ganz aus dem Deponiekörper herausgeleitet und aufbereitet werden. Eine Einsickerung in den Untergrund (S) kann so ganz verhindert werden. Auch bei einem durchlässigen Untergrund ohne Basisdichtung sollte immer eine Dränung bzw. Drän-schicht eingebaut werden. Eventuelle Störungen im Wasserhaushalt der Deponie können so leicht erkannt werden.

#### B. Grubenverfüllung (Abb.3):

Bei der Grubenverfüllung gelangt das von der Abdeckschicht abgegebene Sickerwasser  $S_D$  in jedem Fall als Sickerwasser S in den Untergrund. Unter ungünstigen Bedingungen kann es noch durch seitliche Zuflüsse (Zus) vermehrt werden. Hier ist besonderes Augenmerk auf die Ausbildung der Deckschicht und die Ableitung von Fremdwasser zu legen.

#### C. Hanganschüttung (Abb.4):

Vom Wasserhaushalt gesehen ist <sup>es</sup> eine Mischung aus den Fällen A. und B. Die dort gemachten Ausführungen gelten hier entsprechend. Das Verhindern seitlicher Zuflüsse (Zus) ist hier besonders wichtig. Eine Dichtungsschicht zwischen Abfallschüttung und Hang ist aus verschiedenen Gründen abzulehnen. Bei stärkerem Wasserandrang und fehlender Ausweichmöglichkeit auf einen anderen Platz könnte das seitlich zufließende Wasser über eine gut durchlässige Schicht zwischen Hang und Abfallschüttung zur Deponiesohle und von da über eine Dränung abgeleitet werden.

In den erläuterten Beispielen wurde nur eine vertikale Einsickerung in den Untergrund (ggfls. bis zum Grundwasser) angenommen. Der im Fall B. mögliche geringe horizontale Wasseraustausch wurde vernachlässigt, da er im allgemeinen keine große Bedeutung hat. Ein echter horizontaler Wasseraustausch ist dann möglich,

wenn die Abfallschüttung im Grundwasser liegt. Da dies grundsätzlich nicht zulässig ist, wurde dieser Zustand nicht in die Betrachtungen einbezogen.

Bei der Bestimmung des Wasserhaushaltes der Abfallschüttung sind im Schüttkörper zwei Phasen zu unterscheiden:

1. Anfeuchten des Schüttkörpers bis zur Speicherfeuchte (Feldkapazität)  $F_K$ .
2. Sickerwasserströmung durch den angefeuchteten Schüttkörper.

Unter der Annahme, daß die eingebrachten Abfallstoffe einen homogenen Körper bilden, wird dieser durch das von der Deckschicht abgegebene Sickerwasser ziemlich gleichmäßig bis zur Feldkapazität durchfeuchtet. Dabei wandert der wassergesättigte Horizont (Main Wetting Front) langsam abwärts, bis die Deponiesohle erreicht ist. In diesem Zeitpunkt ist die erste Phase, die mit dem Aufbringen der Deckschicht begonnen hat, abgeschlossen. Die unmittelbar anschließende zweite Phase ist durch eine entsprechend den hydrologischen Verhältnissen schwankende Sickerströmung durch die Abfallschüttung gekennzeichnet, für die das Darcy'sche Gesetz  $v = k \cdot J$  gilt. Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ist bei Müll sehr stark von der Zusammensetzung abhängig, die unmittelbar die Porenraumgliederung beeinflusst. Auch der Zerkleinerungsgrad und die Einbauart spielen eine große Rolle. Als Anhaltsgrößen seien zwei an Strömungssäulen mit 300 m  $\varnothing$  gemessene Werte genannt:

Müll, zerkleinert, locker eingebaut:  $k = 2450$  m/d

Müll, zerkleinert, verdichtet:  $k = 125$  m/d

Durch eine gute Durchmischung (Homogenisierung), Zerkleinerung und Verdichtung kann der Durchlässigkeitsbeiwert bei Deponien sehr stark beeinflusst werden.

Die Zeit, die bis zum Erreichen der Feldkapazität in einer Schüttung erforderlich ist, hängt von der Sickerwassermenge, der Schütthöhe und der verfügbaren Wasserkapazität ab. Die verfügbare Wasserkapazität ( $WK_v$ ) ergibt sich aus der Differenz

zwischen Feldkapazität  $F_k$  und dem Wassergehalt der Schüttung beim Aufbringen der Deckschicht (WK), die wiederum von der Einbaufeuchte und der Wasseraufnahme bis zum Abschluß der Schüttung bestimmt wird. Die Wasseraufnahme hängt vor allem von der Einbauart (mit oder ohne Gefälle bei den Einbauschichten) und der Einbaudauer ab.

Bei möglichst trocken eingebautem Hausmüll und entsprechender Einbauart kann die verfügbare Wasserkapazität in der Größenordnung von 100 mm/m liegen. Beim Müllkompost kann mit dreimal so großen Werten gerechnet werden.

Die Geschwindigkeit, mit der sich der wassergesättigte Horizont in der Schüttung abwärts bewegt, beträgt:

$$V \text{ (mm/a)} = \frac{S_D \text{ (mm/a)}}{WK_v \text{ (mm/m)}}$$

Die Zeitdauer bis zum Eintreffen größerer Sickerwassermengen an der Deponiesohle bei einer Schütthöhe von  $H$  m beträgt dann:

$$t \text{ [a]} = \frac{H \text{ [m]}}{V \text{ [m/a]}} = \frac{H \cdot WK_v}{S_D}$$

Auf das Beispiel der Deponie im Raum Wr. Neustadt (Abb.7) bezogen bedeutet dies, daß hier bei einer Deponiehöhe von 5 m erst nach etwa 10 Jahren mit einer Sickerwasserbildung gerechnet werden muß, allerdings unter der Voraussetzung, daß der Schüttkörper gleichmäßig durchfeuchtet wird. Dies ist aber in der Praxis auch bei gut verdichteten und homogenisierten Deponien nicht der Fall. Es bilden sich bevorzugte Sickerbahnen, so daß bereits Sickerwasser an der Sohle auftritt, wenn erst ein Teil der Schüttung durchfeuchtet ist.

Bei Kompostdeponien ist mit einer wesentlich höheren verfügbaren Wasserkapazität als bei Hausmülldeponien zu rechnen und wegen der größeren Homogenität auch mit gleichmäßigerer Durchfeuchtung und entsprechend späterem Eintreffen des Sickerwassers an der Deponiesohle. Bei dem bereits erwähnten

Deponiebeispiel im Raume Wr. Neustadt wäre erst nach 30 Jahren mit einem Eintreffen von Sickerwasser zu rechnen.

Wenn in den ersten Jahren nach der Schüttung noch kein Sickerwasser an der Deponiesohle auftritt, so bedeutet das keineswegs, daß hier keine Gefahr für das Grundwasser besteht, im Gegenteil. Je später Sickerwasser an der Deponiesohle auftritt, um so längere Zeit stand dem Sickerwasser für physikalisch-chemische Lösungsvorgänge zur Verfügung, um so stärker ist der erste Sickerwasserstoß mit organischen und anorganischen Schmutzstoffen belastet.

Die Beschaffenheit des Sickerwassers aus Mülldeponien ist gekennzeichnet durch sehr hohe Konzentrationen organischer und anorganischer Inhaltsstoffe. Die in der Praxis an bestehenden Deponien gemessenen Werte zeigen sehr starke Unterschiede (s. Tabelle 1). Neben dem Deponiealter, dem Deponiematerial, dem Deponiebetrieb und der Deponieart (Verdichtungs- oder Rottedeponie) spielen die Art der Durchsickerung, die Zeit, die dem Sickerwasser für die Lösungsvorgänge zur Verfügung steht, die Sickerwassermenge und das Auftreten von zeitweiligem Rückstau bzw. Einstau eine große Rolle. Eine klare Abhängigkeit von diesen Faktoren kann aber aus den bisher bekannten Analysenwerten nicht abgeleitet werden, nicht zuletzt auch deshalb nicht, weil sie oft unter sehr unterschiedlichen Bedingungen, Voraussetzungen und Untersuchungsmethoden ermittelt wurden, ohne daß diese eindeutig festgelegt werden konnten bzw. wurden.

Zum Einfluß der Deponieart auf die Qualität des Sickerwassers kann bei Hausmüll ganz allgemein festgestellt werden, daß die Sickerwässer aus einer Verdichtungsdeponie vor allem zu Beginn des Sickerwasseranfalls sehr stark mit organischen und anorganischen Stoffen belastet sind, die allerdings mit der Zeit geringer werden, nicht zuletzt bedingt durch die kürzere Kontaktzeit des Sickerwassers beim Durchfließen der Deponie. Die Sickerwässer aus Rottedeponien haben zwar auch anfangs sehr hohe Schmutzkonzentrationen, die ein Einsickernlassen ins Grundwasser verbieten, aber insgesamt sind die organischen Bestandteile

geringer und nehmen auch schneller ab als bei der Verdichtungsdeponie. Die Rotte-Deponie ist daher eine wirkungsvolle Maßnahme, wenn neben der Volumsreduktion auch die organischen Frachten gesenkt werden sollen. Bei Kompostdeponien ist wegen der hohen Wasserkapazität des Kompostes nur mit einem langsamen Vordringen des wassergesättigten Horizontes zu rechnen, es sei denn, daß der Kompost bereits sehr feucht in die Deponie eingebaut wurde. Wegen der sehr langen Kontaktzeiten muß mit einer sehr starken Verschmutzung des ersten anfallenden Sickerwassers gerechnet werden. Allerdings werden auch hier die organischen Frachten nicht sehr hoch sein, jedenfalls wesentlich geringer als bei der Verdichtungsdeponie.

Alle drei Deponiearten dürfen also aufgrund der Beschaffenheit ihrer Sickerwässer nicht an Standorten errichtet werden, bei denen diese in nutzbare Grundwasservorkommen einsickern können. Der signifikanteste Unterschied in der Beschaffenheit der Sickerwässer zeigt sich in den sehr verschiedenen organischen Schmutzfrachten, die auf die unterschiedlichen Abbaubedingungen der organischen Substanzen (aerob oder anaerob) zurückzuführen sind.

	Müll 0-2,5 Jahre alt	Müll Ab 3 Jahre alt	Komm. Abwasser
BSB <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /l	1500-45000	250-16000	~ 250
COD mg O <sub>2</sub> /l	3600-62000	2800-19000	~ 500
TOC mg C/l	1900-23000	1800-10000	~200

Tab. 1 Organische Inhaltstoffe von Müllsickerwasser  
Grenzwerte einiger Untersuchungen.

Die organische Belastung ist wesentlich höher als jene von kommunalem Abwasser. Eine Abhängigkeit vom Deponiealter ist zu erkennen.

Literaturhinweis

1. BRAUN, R.: Gedanken zur Rückgewinnung industrieller Produktionsstoffe aus Abfall.  
Vortrag, gehalten auf der 11. Arbeitstagung für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz des ÖWWV.
2. HELMER, R.: Menge und Zusammensetzung von Sickerwasser aus Deponien verschiedener Abfallstoffe.  
Müll und Abfall 6. Jahrgang 1974, Heft 3, S. 61 ff.
3. KEMMERLING, W.: Möglichkeiten und Grenzen der aeroben und anaeroben Deponie.  
Österreichische Gemeinde-Zeitung, 41. Jahrgang 1975, Heft 6, S.118 ff.
4. KEMMERLING, W.: Wasser und Abfallwirtschaft  
Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer, Heft 7, Wien 1972
5. SCHENKEL, W.: Die Abfalldeponie unter besonderer Berücksichtigung ihrer wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkte.  
Vortrag, gehalten am Institut für Gewässerregulierung, landwirtschaftlichen Wasserbau und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien - Mitteilungen aus dem Institut, Heft 1.
6. STEGMANN, R.: Qualität von Sickerwasser aus Mülldeponien.  
Seminarbericht der Fa. Edelhoff, Iserlohn

Werner Lengyel:

## Schlammbehandlung

### 1. Einleitung

Nichts könnte die Bedeutung der Schlammbehandlung in der Abfall- und Abwassertechnik besser charakterisieren, als dieses Zitat:

"Über die Behandlung des Schlammes habe ich in den vorhergehenden Abschnitten schon so viel sagen können, daß sie die schwierigste aller mit der Abwasserbehandlung zusammenhängenden Fragen darstellt. Selbst die besten der bislang für ihre Lösung gebrachten Vorschläge können noch nicht als befriedigend bezeichnet werden."

Besonderes Gewicht erhält dieses Zitat, wenn man bedenkt, daß es sich im vor nahezu 70 Jahren erschienenen "Leitfaden der Abwasserreinigung" von Dunbar finden läßt.

Zahlreich sind die seit diesen Tagen erdachten, untersuchten, angepriesenen, kommerziell ausgenützten und doch wieder verworfenen "Patentlösungen" zur Schlammbehandlung. Letztlich beweist heute wie damals eine sehr natürliche Technologie, nämlich die anaerobe alkalische Schlammfäulung, ihre Überlegenheit. Auch diese Aussage findet sich bei Dunbar:

"Das im vorigen Abschnitt besprochene Ausfaulen des Schlammes und seine Überführung in eine nicht mehr riechende, leicht dränierbare Form darf deshalb heute als die Methode bezeichnet werden, die der idealen Lösung dieser schwierigen Aufgabe am nächsten kommt."

Nach dem Gesetz von der Erhaltung der Materie kann es ja keine Beseitigung im Sinne von "verschwinden" oder "auflösen", sondern nur im Sinne von "umwandeln" geben, wobei die Umwandlungsprodukte oder Zwischenprodukte der Umwandlung zumindest zeitweise in Wasser und Luft und jedenfalls endgültig im Boden zu finden sind.

Die gesamte Abwasserreinigung würde in Frage gestellt, würden nicht die vom Trägermedium Wasser mitgeführten gelösten, halbgelösten und ungelösten Abfallstoffe in eine Form übergeführt werden können, die die Unterbringung dieser Stoffe in einer künstlichen Lagerstätte oder in den natürlichen Kreislauf ermöglichen würde.

Bei der Beurteilung der einzelnen Technologien der Schlammbehandlung soll daher die Umweltfreundlichkeit, charakterisiert durch Investitionsaufwand, Betriebsaufwand und Beeinträchtigung von Wasser, Boden und Luft, einzig und allein ausschlaggebend sein. Es darf also nicht nur das Verfahren selbst, sondern auch die Umweltfreundlichkeit der für das Verfahren notwendigen Betriebsmittel betrachtet werden. Verfahren mit hohem Energieverbrauch und hohem Einsatz an industriellen Gütern, wie Maschinen, Apparate oder Chemikalien, sind zugunsten natürlicher Verfahren zurückzustellen.

Jede Schlammbehandlung muß in verschiedenen Verfahrensschritten zumindest folgende Prozesse umfassen:

Einengung der Schlamminhaltsstoffe, d. h. Abtrennung von Schlammwasser,

Umwandlung der Schlamminhaltsstoffe in Formen, die ohne Gefahr für Mensch, Tier und Pflanze eine

Unterbringung im Boden, in einer Deponie oder besser in der Produktionsschicht ermöglichen.

Im folgenden soll eine Übersicht über mögliche und in Gebrauch stehende Teilprozesse der Schlammbehandlung gegeben werden.

## 2. Anfall und Beschaffenheit von Abwasserschamm

Der bei der kommunalen Abwasserreinigung anfallende Schlamm enthält in frischem Zustand meist mehr als 95 % Wasser, welches schwer abzutrennen ist, da es durch hydrophile Kolloide an die Feststoffe gebunden ist.

Die Feststoffe bestehen zu 60 - 70 % aus biologisch abbaubaren organischen Verbindungen (Kohlhydrate, Fette, Eiweiße). Außerdem enthält jeder Frischschlamm menschen-, tier- und pflanzenpathogene Keime und Parasitencier. Frischschlamm hat daher die unangenehme Eigenschaft, nicht lagerfähig zu sein, sondern sofort in stinkende Fäulnis überzugehen. Durch diesen biochemischen Abbauvorgang werden die hochmolekularen organischen Verbindungen in niedermolekulare energiearme organische Verbindungen übergeführt und so der Schlamm stabilisiert.

Tabelle 1 gibt die typische Zusammensetzung eines ausgefaulten Klärschlammes einer mechanischen Kläranlage wieder.

Tabelle 1:

Chemische Analyse eines ausgefaulten Klärschlammes von der mechanischen Kläranlage Graz vom Dezember 1975, durchgeführt von der Landwirtschaftlich-chemischen Bundes-Versuchsanstalt, Wien.

Wasser H <sub>2</sub> O .....	88,50 %
Trockensubstanz .....	11,50 %
Asche .....	6,50 %
Organischer Anteil .....	5,00 %
Gesamt-Stickstoff N .....	0,280 %
Nitrat-Stickstoff NO <sub>3</sub> -N .....	∅
Ammoniak-Stickstoff NH <sub>3</sub> -N .....	0,096 %
organisch gebundener Stickstoff N .....	0,184 %
Gesamt-Phosphorsäure P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,480 %
Gesamt-Kali K <sub>2</sub> O .....	0,024 %
Kalk CaO .....	1,20 %
Magnesium MgO .....	0,23 %
Natrium Na <sub>2</sub> O .....	0,011 %
Kupfer Cu .....	46 ppm
Mangan Mn .....	50 ppm
Eisen Fe .....	2000 ppm
Zink Zn .....	470 ppm
Kobalt Co .....	1,20 ppm
Molybdän Mo .....	1,50 ppm
Blei Pb .....	64 ppm
Cadmium Cd .....	1,2 ppm
Chrom Cr .....	30 ppm
Nickel Ni .....	24 ppm
pH .....	7,25
elektrische Leitfähigkeit $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .....	2,61 $\cdot 10^{-3}$

Tabelle 2 zeigt die jährlichen Schlammengen, wie sie derzeit gemessen werden. Außerdem ist in dieser Tabelle auch die Faulgasmenge, die jährlich aus dem Schlamm eines Einwohnergleichwertes entsteht, angegeben sowie die Heizwerte und der spezifische Energieinhalt von Frischschlamm, Faulschlamm und Faulgas.

Tabelle 2:

Jährliche Schlammengen und Energieinhalt des Schlammes pro Einwohner

		Frisch- schlamm	Faul- schlamm	Faul- gas
Schlamm- bzw. Gasmenge	l/EGW a	1.033	400	10.950
Wassergehalt	%	97	95	-
Wassergewicht	kg	1.002	380	-
Feststoffgewicht	kg	31	20	-
Gewicht der organ. Substanz (Glühverlust)	kg	22	11	-
Gewicht der mineral. Substanz (Glührückstand)	kg	9	9	-
Heizwert $H_{U1}$ , $H_{Uwf}$	kcal/kg kcal/Nm <sup>3</sup>	3.200	1.600	6.000
Spezifischer Energieinhalt	kcal/EGW a	99.200	32.000	65.700

An sich müßte der Energieinhalt von Faulschlamm und Faulgas dem Energieinhalt von Frischschlamm entsprechen. Die Verluste, die gemessen werden, treten durch die Entgasung des Faulschlammes außerhalb des Faulraumes in der nachfolgenden Behandlung des Schlammes auf.

Die jährlichen Frischschlamm- und Faulschlammengen sind in Tabelle 3 in Abhängigkeit vom Wassergehalt dargestellt. Außerdem sind in dieser Tabelle jene Wassermengen angeführt, die in bezug auf einen Faulschlamm mit 40 % Feststoffgehalt abzutrennen sind.

Tabelle 3 veranschaulicht genauso wie Abbildung 1 die eminente Bedeutung der Einengung der Schlamminhaltsstoffe. Mit jedem Prozent Wasserentzug vermindert sich die Schlammmenge enorm. Faulschlamm mit 40 % Feststoffgehalt hat nur mehr eine Menge von 8 % vom Ausgangsfrischschlamm mit 95 % Wassergehalt.

Tabelle 3:

Jährliche Schlammengen in Abhängigkeit vom Wassergehalt

	Wassergehalt	Frischschlamm			Faulschlamm		
		Schlammmenge		Wasser abzutrennen	Schlammmenge		Wasser abzutrennen
	%	1/EGW	%	1/EGW	1/EGW	%	1/EGW
pumpfähig	95	620	100	570	400	64,5	350
	90	310	50	260	200	32,2	150
	85	206	33,2	156	133	21,4	82
	80	155	25	105	100	16,1	50
	75	124	20	74	80	12,9	30
stichfest	70	103	16,5	53	66,6	10,7	16,6
	65	88,5	14,2	38,5	57,1	9,2	7,1
streufähig	60	77,5	12,5	27,5	50	8,06	0
	0	31	5	-	20	3,22	-

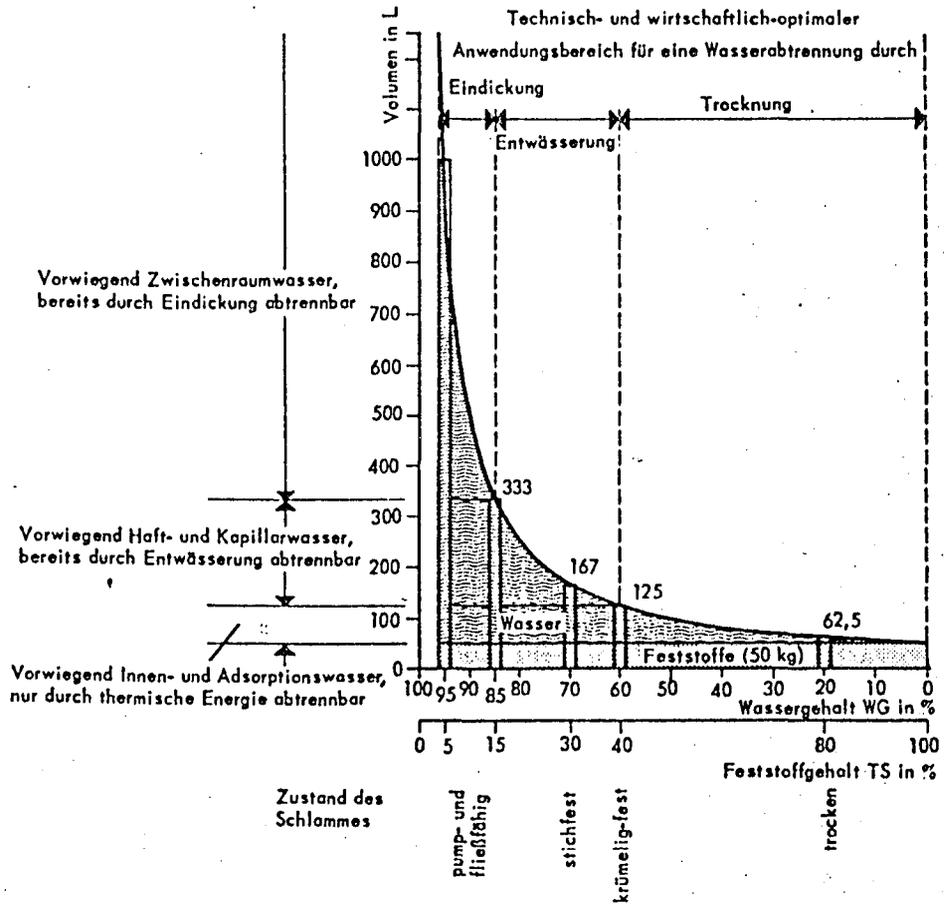
Abbildung 1 gibt die Volumenminderung und Zustandsänderung von 1 m<sup>3</sup> Klärschlamm durch Reduktion des Wassergehaltes wieder, u. zw. erläutert am Beispiel eines ausgefaulten Schlammes häuslichen Ursprungs mit 95 % Ausgangswassergehalt. In dieser Abbildung sind auch die Anwendungsbereiche für eine Wasserabtrennung durch Eindickung bis 15 %, durch Entwässerung von 15 - 40 % Feststoffgehalt und durch Trocknung dann, wenn größere Feststoffgehalte erreicht werden sollen, dargestellt. Ebenso ist in dieser Abbildung nach Ulrich Möller die Beschaffenheit des Schlammwassers charakterisiert.

Der Arbeitsaufwand für die Abtrennung von 1 m<sup>3</sup> Schlammwasser schwankt in weiten Grenzen. Ausgedrückt in Kilowattstunden pro Kubikmeter abzutrennendes Schlammwasser beträgt der Arbeitsaufwand bei der

Eindickung	rd. $10^{-3}$ - $10^{-2}$ kWh
Entwässerung	rd. $10^0$ - $10^1$ kWh
thermischen Trocknung	rd. $10^3$ kWh

Abbildung 1:

Volumensänderung von Klärschlamm durch Reduktion des Wassergehaltes  
(nach U. Möller)



In Österreich beträgt die Intensität der Globalstrahlung im Jahresmittel  $2,5 - 4,5 \text{ kWh/m}^2$  und Tag, entsprechend rd.  $800.000 - 1,400.000 \text{ kcal/m}^2$  und Jahr. Zumindest in den Sommermonaten könnte die Ausnutzung der Globalstrahlung für die Schlamm-trocknung rentabel sein. Auch die Verdunstungsraten mit etwa  $400 \text{ mm}$  pro Jahr ermöglichen es in unseren Breiten, den Klärschlamm natürlich zu entwässern.

### 3. Verfahrensschritte bei der Klärschlammbehandlung

Anhand der Tabelle 4 sollen die einzelnen möglichen und angewendeten Verfahrensstufen der Schlammbehandlung in 8 Hauptgruppen eingeteilt und in ihren wesentlichen Zügen besprochen werden. Es kann keinesfalls im Rahmen dieses Referates auf Details eingegangen werden, sondern es muß vielmehr eine möglichst taxative Erfassung angestrebt werden. Detailfragen werden in den Spezialreferaten behandelt.

#### 3.1 Eindicken

Unter Eindicken wird im allgemeinen die Erhöhung der Feststoffkonzentration unter der Einwirkung der Schwerkraft verstanden, wobei Sedimentations- und Flotationsvorgänge nutzbar gemacht werden. Bei der statischen Eindickung vollzieht sich die Abtrennung von Schlammwasser in Becken, die diskontinuierlich beaufschlagt werden, während mit dynamischer Eindickung Verfahren bezeichnet werden, bei denen eine dauernde Beschickung und sehr häufig auch ein Rühren des Schlammes durch Rührer mit senkrechten Stäben erfolgt. Der Durchfluß bei den meist runden Eindickbehältern erfolgt entweder radial nach außen bei großen Eindickern oder auch in Längsrichtung bei kleineren Anlagen. Unter Schlammwaschung wird Abführen von Stickstoffverbindungen während des Eindickvorganges durch Beigeben von gereinigtem Abwasser verstanden.

Bemessen sollen Eindicker nach Oberflächenbelastung ( $0,5 - 0,75 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ) sowie nach Feststoffbelastung ( $40 - 80 \text{ kg TS/m}^2$  und Tag) werden. Die Tiefe sollte nicht unter  $3,0 \text{ m}$  gewählt werden.

Tabelle 4:

Verfahrensschritte bei der Schlammbehandlung

=====

Eindicken	Sedimentieren statisch dynamisch	physikalisch	Flotieren mechanisch, chemisch, biologisch, elektrisch
Stabilisieren	Verteilungsreaktion	chemisch Kalk	aerob biochemisch anaerob (Faulung)
Hygienisieren	Desinfektionsmittel	chemisch Kalk	thermisch pasteurisieren Co 60 physikalisch (Bestrahlung) Spaltprod. Elektron.
Konditionieren	organisch chemisch anorganisch Ansäuern	chemisch-mech. Asche	thermisch Niedertemperatur Hochtemperatur
Entwässern	Beete	natürlich Teiche (Lagoons)	dynamisch künstlich statisch physikalisch
Trocknen	Beete	natürlich Teiche	thermisch künstlich Luft
Umwandeln	kompostieren	biochemisch Naßoxydation	thermisch entgasen - vergasen veraschen
Unterbringen	Schlamm	Deponie Asche	Kompost Landwirtschaft Naßschlamm

Zur Eindickung eignet sich auch die in der industriellen Verfahrenstechnik sehr häufig angewendete Flotation. Das Wesen der Flotation besteht in einer Koagulation der Suspensa, die außerdem durch Anlagerung von Luft- oder Gasblasen zum Aufschwimmen gezwungen werden.

Die feinen Gas- oder Luftblasen werden mechanisch durch Eindüsen unter Druck, chemisch durch Verbindungen, die im Schlamm zum Schäumen führen, biochemisch durch Bildung von Faulgas oder elektrisch durch Elektrolyse erzeugt. Die Eindickeeffekte sind oft höher als bei Sedimentationseindickern, da bei letzteren ja immer eine biochemische Gasentwicklung auftritt. Im allgemeinen können durch Eindickung ohne Konditionierung Feststoffgehalte zwischen 3 % bei Schlamm aus Stabilisierungsanlagen oder Überschussschlamm allein, bis 12 % bei gut ausgefaulten Schlämmen aus mechanischen Anlagen erreicht werden. Bei biologischen Anlagen kann für den im Absetzbecken gemischten Vorklär- und Überschussschlamm mit 4 - 8 % gerechnet werden.

### 3.2 Stabilisieren

Als Stabilisieren von Schlamm können jene Maßnahmen verstanden werden, die seine chemische Beschaffenheit so verändern, daß er "haltbar" wird, also auch über längere Zeit seine errungenen Eigenschaften nicht mehr ändert. Es gibt keine allgemeingültige Definition oder detaillierte Richtwerte für die Beschaffenheit eines stabilisierten Schlammes. Ein Anhaltspunkt möge die Forderung sein; die ursprüngliche organische Substanz soll um 50 % vermindert sein.

Bei der aeroben Stabilisation erfolgt der erforderliche Abbau der organischen Substanz entweder direkt im Belebungsbecken bei der "gemeinsamen" oder "Simultanstabilisierung" oder in eigenen Behandlungsanlagen bei der "getrennten Stabilisierung". Jedenfalls muß für die abbauenden Mikroorganismen Sauerstoff zur Verfügung gestellt werden. Bei der gemeinsamen Stabilisierung in Graben- oder Kompaktanlagen erfolgt eine dauernde Schlammwaschung durch das durchfließende Abwasser, während in getrennten Anlagen alle Abbauprodukte, also auch Feinstes und Suspensa, im Schlamm bleiben und oft zu Schwierigkeiten bei der Entwässerbarkeit dieser Schlämme führen.

Bei gemeinsamer Stabilisierung wird über die BSB-Schlammbelastung ( $B_{TS} = 0,05 - 0,1 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS und Tag}$ ) bemessen.

Bei getrennter Stabilisierung ist auf die Abwassertemperatur zu achten, da z. B. bei  $5^\circ$  Wassertemperatur der gleiche Effekt in 30 Tagen erzielt wird, wie bei  $30^\circ \text{ C}$  in 3 - 4 Tagen. Für österreichische Verhältnisse, vor allem in den Gebirgsländern, sollte daher für 30 Tage Stabilisierungszeit oder mit einem Stabilisierungsraum von  $0,1 \text{ m}^3/\text{EGW}$  mit einer Sauerstoffzufuhr von  $1 \text{ kg O}_2/\text{m}^3$  und Tag bemessen werden.

Über die anaerobe Stabilisierung von Abwasserschläm nach dem bewährten Verfahren der alkalischen Schlammfäulung in beheizten Faulräumen wurde im Rahmen von Seminaren in Raach bereits mehrmals berichtet. Ein einwandfreier Betrieb vorausgesetzt, kann mit maximal 5 kg organische Feststoffe pro Kubikmeter Faulraum und Tag oder 20 Tage Aufenthaltszeit oder 30 - 50 l/EGW bemessen werden.

Klärschlamm kann auch chemisch stabilisiert werden, u. zw. durch Veränderung des pH-Wertes sowohl nach oben durch Kalken (pH über 11) oder Ansäuern (pH unter 4). Die chemische Stabilisierung wird aber nur bei Zwischenlösungen und in kleineren Verhältnissen zu empfehlen sein.

Neuerdings werden fast unglaubliche Wirtschaftlichkeitswerte von einem neuen Verfahren berichtet, welches Prof. Bösing von der TH Hannover erfunden hat und von ihm die "Stabilisierung nach der Verteilungsreaktion" genannt wird. Es werden dabei die Schlammstoffe nach Zugabe von zwei Komponenten in einem exothermen Prozeß in ein inertes, hydrophobes Pulver umgewandelt. Für das Verfahren ist die Beschaffenheit des Ausgangsmaterials gleichgültig, es können daher z. B. auch Ölschlämme oder sonstige Industrieschlämme genauso umgesetzt werden wie Abwasserschlämme. Vorteilhaft soll sich bei diesem Verfahren die Erzeugung von Düngerkalk mit der Umwandlung von Abwasserschläm kombinieren lassen.

### 3.3 Hygienisieren

Das Abtöten von pathogenen Keimen und Parasiteneiern wird vor allem bei Unterbringung des Schlammes in der Landwirtschaft immer öfter gefordert. Bei kleineren Schlammengen, vor allem aus Anlagen mit erhöhter Infektionsgefahr (z. B. Kläranlagen von Lungenheilstätten) oder bei Auftreten von besonders gefährlichen Erregern bei Epidemien, kann die Hygienisierung mittels Desinfektionsmitteln, meistens Chlor, notwendig sein. Auch starkes Kalken würde vor allem in Krisenzeiten angewendet. Bei der thermischen Behandlung des Schlammes zwecks Pasteurisierung können Anlagen mit direktem Wärmeübergang (Dampfeinblasen) oder Anlagen mit indirekter Wärmeübertragung (Schlamm-Wasser-Wärmetauscher, Schlamm-Schlamm-Wärmetauscher) verwendet werden. Bei gut betriebener Wärmewirtschaft der Schlammfaulanlage kann mit dem entstehenden Klärgas auch die Pasteurierungsanlage betrieben werden. Im allgemeinen reichen 20 Minuten Einwirkzeit bei 70° C aus, um einen genügenden Abtötungseffekt zu erzielen.

Neuerdings werden auch Anlagen zur Bestrahlung von Klärschlamm angeboten. Die Bestrahlung kann mit  $\alpha$ -Strahlen aus Kobalt-60-Bomben oder mit  $\gamma$ -Strahlen erfolgen, wobei bei letzteren entweder Spaltprodukte oder Neutronengeneratoren als Elektronenquelle dienen.

### 3.4 Konditionieren

Unter Konditionieren versteht man Prozesse, die ebenso als Stabilisierungs- oder Hygienisierungsprozesse verwendet werden können, aber in erster Linie die Entwässerbarkeit und die Filtriereigenschaften des Schlammes positiv verändern können.

Bei der chemischen Konditionierung wird durch Zusätze eine Adsorptions-Koagulation, eine Flockung also, hervorgerufen und dadurch die Wasserabtrennung erleichtert. Die Flockungshilfsmittel können organischer Natur sein (Polyelektrolyte, Verbrauch rd. 100 g/m<sup>3</sup>) oder anorganische Verbindungen, wie Eisenchlorid, Eisensulfat oder Aluminiumsulfat. Zur Einstellung des pH-Wertes muß bei Fällung mit anorganischen Salzen der pH-Wert stark durch Kalken angehoben werden. Als grober An-

haltswert kann ein Verbrauch von 3 - 5 % Eisensalz und 8 - 12 % Kalk, bezogen auf die Trockensubstanz des Schlammes, genannt werden. Bei diesen Dosiermengen müßten zur chemischen Konditionierung des Schlammes der Wiener Hauptkläranlage pro Tag rd. 30 t Chemikalien zugesetzt werden.

Auch durch Ansäuern auf pH 4 - 4,5, unter Umständen durch Abfallsäuren (HCl), kann eine Verbesserung der Filtriereigenschaften erreicht werden.

Um den Einsatz an Betriebsmitteln klein zu halten, werden auch Kombinationen von chemischen Zusätzen mit Rückführung von Schlammmasche vorgeschlagen, ein Verfahren, das natürlich nur bei der Schlammverbrennung Anwendung findet.

Bei der thermischen Konditionierung erfolgt die Bildung von Koagulatn unter Einwirkung von Hitze (z. B. Kochen eines Eies), wobei aber große Mengen an organischer Substanz in Lösung gehen (Kochen von Fleisch - Suppe).

Bei der Hochtemperaturbehandlung (rd. 200° C bei 15 atü) kann eine Rücklösung der organischen Substanz bis zu einem Drittel erfolgen, wenn der Anteil der organischen Feststoffe im Ausgangsschlamm über 70 % liegt. Bei 55 % organischer Substanz liegt diese Rate noch immer bei rund einem Sechstel, bezogen auf die Gesamtfeststoffe.

Dem Vorteil der thermischen Konditionierung, ohne Zusätze an Chemikalien und Energie zu arbeiten, steht der Nachteil des hohen apparativen Aufwandes und der Geruchsbelästigung sowie der zusätzlichen Belastung der biologischen Stufe durch das Filtrat gegenüber.

Im Niedertemperaturverfahren wird der Schlamm nicht über 100° C erhitzt und dafür mit allerdings einer kleineren Menge an chemischen Fällungsmitteln versetzt. Als Kompromiß hat dieses Verfahren Vor- und Nachteile der beiden Ausgangsverfahren.

### 3.5 Entwässern

Durch Entwässerungsprozesse soll dem Schlamm vorwiegend Haft- und Kapillarwasser entzogen werden, wobei je nach Größe des Wasserbindungsvermögens und somit der Entwässerbarkeit zwischen

gut entwässerbaren Schlämmen,  
mittelmäßig entwässerbaren Schlämmen,  
schlecht entwässerbaren Schlämmen

unterschieden werden kann.

Gut entwässerbare Schlämme mit größeren Anteilen an Sand oder sonstigen mineralischen Bestandteilen lassen sich ohne Vorbehandlung nur durch Schwerkraft auf Wassergehalte von 75 - 80 %, mittelmäßig entwässerbare auf Wassergehalte von 85 - 90 % und schlecht entwässerbare auf Wassergehalte von 97 - 99 % eindicken.

Das billigste Verfahren stellt zweifellos die natürliche Entwässerung in Schlammbeeten oder Schlammteichen dar, die überwiegend zurzeit in Österreich angewendet werden. Trockenbeete werden mit maximalen Schlammhöhen von 30 cm beschickt und drei- bis viermal jährlich geräumt, wobei für 5 - 10 EGW mit 1 m<sup>2</sup> gerechnet werden muß.

Bei größeren Kläranlagen eignen sich Schlammteiche mit Füllhöhen von 1 - 1,5 m besser. Die Räumung erfolgt hier höchstens einmal pro Jahr durch maschinelle Ladegeräte. Dimensioniert wird mit 2 - 3 EGW/m<sup>2</sup>.

Bei der künstlichen Entwässerung unterscheidet man:

statische Verfahren (Filtration),  
dynamische Verfahren (im künstlich verstärkten Schwerfeld),  
untergeordnet ein physikalisches Verfahren, die Gefriertrocknung.

Zu den statischen Verfahren zählen:

Die Unterdruckfiltration, z. B. in Vakuumtrockenfiltern oder in Saugzellenfiltern,

die Überdruckfiltration in Filterpressen und

die Siebung in Siebbandpressen.

Bei den dynamischen Verfahren werden Zentrifugen und Dekanter verwendet.

Als Aggregatsleistungen werden bei den Filterpressen Leistungen bis 50 m<sup>3</sup> Schlamm pro Stunde, bei Zentrifugen bis 30 m<sup>3</sup>/h und bei Siebpressen bis 20 m<sup>3</sup>/h angeboten.

Filtertücher, Siebbänder und Rotoren sind Verschleißteile und können hohe Unterhaltungskosten verursachen.

Hinsichtlich des Restwassergehaltes liefern die Filterpressen bessere Ergebnisse (Wassergehalt bis 50 %) als Saugfilter (bis 60 % Wassergehalt) und Bandpressen (bis 70 % Wassergehalt).

### 3.6 Trocknen

Die natürlichen Trocknungsverfahren gleichen der natürlichen Entwässerung, wenn auch hier Hilfen wie Abdecken der Schlammteiche verwendet werden. Durch Bearbeiten der Schlammoberfläche in Beeten und Teichen kann die natürliche Trocknung außerdem beschleunigt werden.

Künstliche Trocknungsverfahren können mit

direktem Wärmeübergang und mit

indirektem Wärmeübergang

betrieben werden.

Zu ersterem Verfahren gehören Etagentrockner, Trommeltrockner, Schwebetrockner und Bandtrockner, bei welchen Heizgas oder erhitzte Luft im Gleich- oder Gegenstrom über den Schlamm geleitet wird. Nachteil dieser Verfahren ist die Vermischung des Trockengases mit Brüden des Schlammes, die anschließend ausgewaschen oder zur Desodorisierung auf über  $800^{\circ}\text{C}$  erhitzt werden müssen.

Die Verdampfung von Wasser ist einer der unwirtschaftlichsten Verfahrensschritte der Schlammbehandlung überhaupt, da für die Verdampfung von 1 kg Wasser aus Faulschlamm mit  $30^{\circ}\text{C}$  zunächst 70 kcal zur Erwärmung und dann rd. 520 kcal Verdampfungswärme zugeführt werden müssen. Die künstliche Trocknung wird daher nur in Verbindung mit Verbrennungsanlagen verwendet.

Die natürliche beschleunigte Trocknung an der Luft kann nur nach spezieller Vorbehandlung (Preßtrocknungsverfahren) und unter Dampf erfolgen.

### 3.7 Umwandeln

Unter Umwandeln sollen alle jene Prozesse verstanden werden, die nach mehreren Verfahrensschritten der Vorbehandlung zu einer weitgehenden Änderung der chemischen, biochemischen und bakteriellen Beschaffenheit des Schlammes führen und so eine endgültige Unterbringung erlauben. Auch hier verfließen die Grenzen der Behandlungsstufen, wenn z. B. Faulschlamm direkt als Naßschlamm an die Landwirtschaft abgegeben wird. In diesem Falle erfolgt Entwässerung und Trocknung, eine weitere Umwandlung und Unterbringung in einem Verfahrensschritt.

Schlammkompostieren stellt einen biochemischen Umwandlungsprozeß dar, der zu einem hochwertigen Produkt führt. Hierüber wird im Rahmen dieses Seminars noch mehrmals berichtet.

Die Naßoxydation (Zimpro-Verfahren), die in Autoklaven bei  $280^{\circ}\text{C}$  und 120 atü stattfindet, stellt ein Sonderverfahren dar, das in den USA in großen Anlagen angewendet wird.

Die thermische Umwandlung bei Luftmangel, die Pyrolyse also, wird in diesem Seminar in einem eigenen Vortrag näher behandelt. Zurzeit sind keine Anlagen in Betrieb, die für Schlamm allein über das Versuchsstadium hinausgegangen wären.

Die Schlammveraschung, also die thermische Umwandlung bei Luftüberschuß, wird auf größeren und mittleren Anlagen mit hohem apparativen Aufwand betrieben. Sehr häufig fielen Entscheidungen zugunsten dieses Verfahrens mit dem Hinweis auf die Unmöglichkeit, die festen Rückstände der Abwasserreinigung in anderer Weise nicht beseitigen zu können. Die Abbildung 2 gibt die Volumenreduktion von Klärschlamm und Müll nach der Umwandlung zu Kompost bzw. nach der thermischen Umwandlung wieder. Ausgegangen wurde hierbei von den Werten der Tabelle 2. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß die zusätzliche Reduktion durch Veraschung von einem Schlamm mit 40 % Feststoffgehalt zur Asche nur mehr unbedeutend ist. Vollkommen wasserfrei kann auch die Schlamm- asche nicht transportiert bzw. abgelagert werden.

Heiztechnisch stellt Klärschlamm wegen seines Wassergehaltes und des geringen Heizwertes seiner Feststoffe einen denkbar schlechten Brennstoff dar, der außerdem sehr zu Verkrustung der Heizflächen neigt.

Die Veraschung von Klärschlamm wird vorwiegend in Etagen- oder Wirbelschichtöfen, aber auch in Drehrohr- und Muffelöfen durchgeführt.

Die Kosten der Klärschlammverbrennung, u. zw. sowohl hinsichtlich der Investitions- als auch der Betriebskosten, sind meistens bedeutend höher als die Kosten einer Umwandlung nach natürlichen Verfahren.

### 3.8 Unterbringen

Auf Deponien kann entwässerter Faulschlamm ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen gebracht werden. Eine Beeinträchtigung des Grundwassers durch Aufsatzung ist genauso wie bei überdüngten landwirtschaftlich genutzten Flächen zu beachten. Frischschlamm sollte auch nicht nach Stabilisation mit Kalk deponiert werden, da das Langzeitverhalten nicht genügend bekannt ist.

# REDUKTION VON KLÄRSCHLAMM UND MÜLL FÜR 1 EGW UND JAHR

## KLÄRSCHLAMM

## HAUSMÜLL

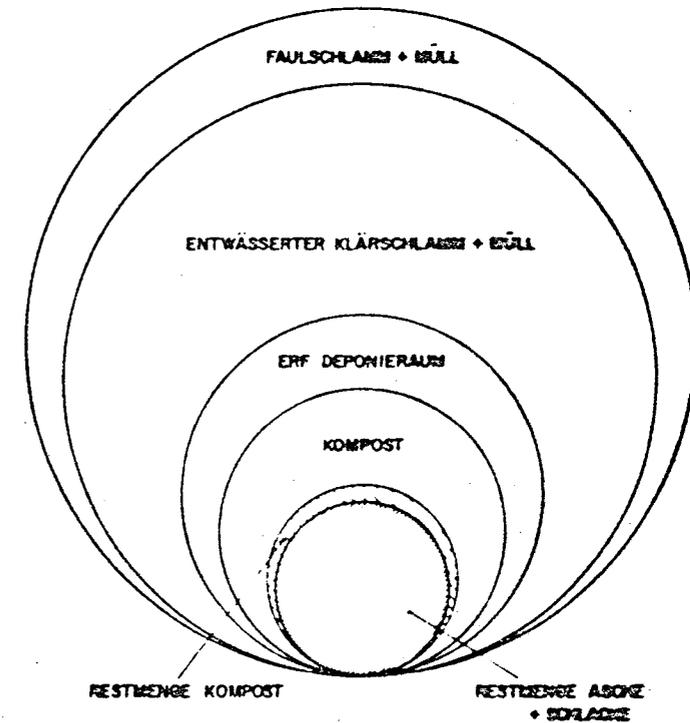
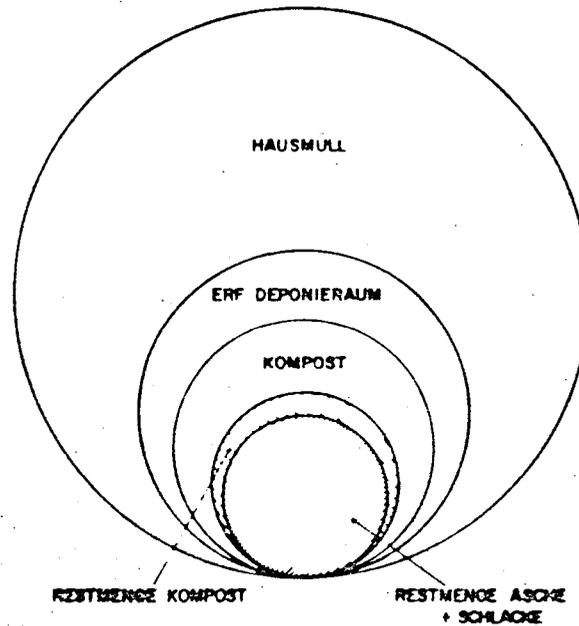
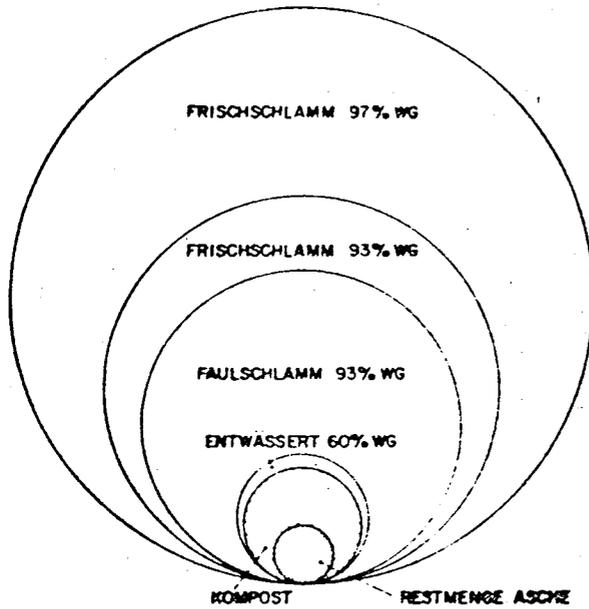
## KLÄRSCHLAMM + MÜLL

AUSGANGSMENGE:

l	kg
1033	1033

l	kg
1000	260

l	kg
1286	546



RESTMENGE:

	l	%	kg	%
DEPONIE	50	4,8	50	4,8
KOMPOST	40	3,9	40	3,9
VERBRENNUNG	11	1,1	11	1,1

	l	%	kg	%
	330	33	260	100
	100	10	80	31
	80	8	117	45

	l	%	kg	%
	380	30	300	55
	120	9,4	100	18
	91	7,1	128	23

Als beste Lösung im Sinne von Recycling und Umweltfreundlichkeit stellt sich die Unterbringung des Schlammes in der Landwirtschaft dar.

Die Naßschlammabgabe stellt vor allem in gut organisierter Form das billigste Verfahren dar. Als Voraussetzung für die Naßschlammabgabe müssen in erreichbarer Entfernung von der Kläranlage pro Einwohner 25 - 30 m<sup>2</sup> landwirtschaftliche genutzte Flächen zur Verfügung stehen. Auch hierüber wurde auf Seminaren in Raach schon berichtet.

Die Unterbringung von Klärschlammkompost oder von Müll-Klärschlammkomposten dürfte nach dem Arbeitsaufwand (Düngestreuer) die wirtschaftlichste Lösung sein.

#### 4. Zusammenfassung

Für die Schlammbehandlung gilt, wie für jede Abfallbehandlung, der Satz:

"Je größer die zur Verfügung stehende Fläche ist und je länger die Zeit, in der der Abfall umgewandelt werden muß, desto geringer sind der Energieeinsatz, der apparative Aufwand und somit die Kosten."

Werden z. B. für den Schlamm der Hauptkläranlage der Stadt Wien Schlammteiche für 2,5 Mio. Einwohnergleichwerte angelegt, so müßte dafür eine Fläche von rd. 60 - 80 ha zur Verfügung gestellt werden, eine Fläche, die beim Bau von rd. 15 km Autobahn ohne Schwierigkeiten eingelöst wird und die etwa 2 % der Gesamtfläche des Stadtgebietes von Wien entspricht.

Für die Unterbringung von Naßschlamm wären rd. 7500 ha landwirtschaftlich genutzte Flächen notwendig, eine Fläche, die ziemlich genau rd. 1 % der Ackerfläche Niederösterreichs oder rd. 1/4 % der gesamten land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen Niederösterreichs entspräche.

Walter Kemmerling:

## Geordnete Ablagerung von Schlämmen

### 1. Einleitung

Die Belastung unserer Gewässer durch Abwässer hat in den letzten Jahren eher zu- als abgenommen. Der verstärkte Bau von Kläranlagen ist daher eine Forderung, die wegen ihrer offensichtlichen Notwendigkeit keiner weiteren Begründungen bedarf. Hinzu kommt die immer häufiger erhobene Forderung, auch die biologisch schwer oder nicht abbaubaren Schmutzstoffe zurückzuhalten. Um sie zu erfüllen ist es notwendig, die derzeit praktizierten Verfahren der biologischen Abwasserreinigung auf geänderte oder neue Verfahrensstufen auszudehnen. Dabei darf nicht übersehen werden, daß die Abwasserreinigung nur der erste Schritt zur schadlosen Umwandlung der Abwässer ist, dem der zweite, nämlich die Behandlung der dabei anfallenden Schlämme, folgen muß. Nicht selten ist dieses Problem in der Praxis schwieriger zu lösen als die Abwasserreinigung selbst, so daß in Zukunft die endgültige Lösung des Schlammproblems immer mehr die Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung beeinflussen wird. Es müssen praktikable Lösungen gefunden werden, wenn die gesamte Abwasserreinigung nicht in absehbarer Zeit in Frage gestellt werden soll.

### 2. Abwasserschlämme

Abwasserschlamm oder Klärschlamm besteht aus ungelösten Bestandteilen, die bei der Abwasserreinigung durch Sedimentation oder andere Verfahren vom Abwasser getrennt werden und mit mehr oder weniger hohem Anteil an Wasser gemischt sind. In kommunalen Kläranlagen fallen vorwiegend Schlämme mit hohen organischen Anteilen, also im Boden biochemisch einsetzbaren Stoffen, an. Sie können in flüssiger oder entwässeter Form landbaulich oder forstwirtschaftlich genutzt werden (Verbesserung der Bodenstruktur - Erhöhung der nutzbaren Wasserkapazität, Verbesserung des Kleinklimas und der

Lebensbedingungen des Edaphons u.a.m.). Außerdem können organische Schlämme, besonders gemeinsam mit Hausmüll, zu guten Komposten umgewandelt werden, die auf vielerlei Arten an sehr vielen Stellen sinnvoll verwendet und in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Eine Ablagerung allein oder auch gemeinsam mit Müll sollte nur als Not- oder Übergangslösung betrachtet werden. Das Verbrennen organischer Schlämme, die in der geschilderten Form verwendet werden können, führt statt zu einem ökologisch wichtigen Stoffkreislauf zu einem linearen, die Umwelt belastenden System und zur Erhöhung der Entropie. Von daher gesehen ist die Schlammverbrennung nicht einmal eine Notlösung.

Organische Schlämme aus Gewerbe und Industrie sind nach den gleichen Grundsätzen zu behandeln. Im allgemeinen werden sie aufgrund gemeinsamer Abwasserreinigung mit den kommunalen Schlämmen zusammen aufbereitet. Allerdings sind bestimmte Voraussetzungen zu beachten, damit der Betrieb der Schlammbehandlung nicht gestört wird.

So kann z.B. Gerbereischlamm bis zu 2 % der Trockensubstanz Chrom ( $\text{Cr}^{3+}$ ) enthalten, das sich im Laufe der Zeit im Faulschlamm immer mehr anreichert und von einer bestimmten Konzentration ab eine Schlammfaulung im Faulbehälter verhindert. Bei einem Verhältnis von kleiner als 1:1 (kommunaler zu gewerblichem Schlamm) ist erfahrungsgemäß immer eine innerbetriebliche Abtrennung des Chroms durchzuführen. Diese Schlämme kommen aber auch für eine Verbrennung nicht in Frage, da das Chrom-(III)-hydroxid bei höheren Temperaturen thermisch gespalten wird und zu Chrom (VI) (Chromat) aufoxydiert wird. Chromat ist aber eine leicht lösliche und sehr toxische Verbindung.

Bei der Behandlung von Schlämmen aus anderen Gewerbe- und Industriebetrieben gemeinsam mit kommunalem Schlamm können ähnliche Probleme auftreten. Durch entsprechende verfahrens- und klärtechnische Maßnahmen sind diese Probleme aber in der Regel zu lösen, wenn auch zum Teil mit erheblichem finanziellen Aufwand.

Die Mikroorganismen, die an den Faulungsvorgängen beteiligt sind, können durch automatische Selektions- und Mutationsmechanismen an bestimmte Gifte gewöhnt werden und diese so in größeren Konzentrationen ertragen. Allerdings sind der Adaptionsfähigkeit gewisse Grenzen gesetzt. Das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer toxischer Stoffe wirkt in der Hemmung biochemischer Reaktionen summierend oder sogar potenzierend (s. Tab.1). Schwierigkeiten kann die Beseitigung von Schlämmen aus den Werkskläranlagen der Metallveredelungsbetriebe bereiten.

## 2.1 Kommunalen Frischschlamm

Die Deponie von kommunalem Frischschlamm könnte theoretisch in Form von Erdfaulbecken durchgeführt werden. Eine starke Belästigung der Umwelt durch Geruch kann dabei nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Aus diesem Grunde wird dieses Verfahren im allgemeinen nicht praktiziert.

Der Ruhrverband hat Versuche durchgeführt, den Frischschlamm in aufgespülten Haufen zu entwässern und zu deponieren. Der Schlamm wird nach Alkalisierung und Eindickung über ein Zentralrohr versprüht. Dadurch entsteht ein Spülhaufen (Abb.1), von dessen Randflächen das sich abscheidende Wasser gut ablaufen kann. Bisher haben sich in der über 2 1/2 Jahren dauernden Betriebszeit noch keine Geruchsbelästigungen oder andere Schwierigkeiten gezeigt. Dieses Verfahren hat - unabhängig von der Verwendung von Frisch- oder Faulschlamm - zwei Vorteile:

- o Der Schlamm Spiegel hat ein steileres Gefälle als bei der Teichdeponie (Lagune). Schlamm- und Regenwasser laufen schneller ab. Die Verdunstungsraten aus dem Schlamm sind höher.
- o Die Schlammoberfläche ist größer und mehr dem Wind ausgesetzt.

Einer gemeinsamen Deponie von Frischschlamm und Müll stehen erhebliche hygienische Bedenken entgegen. Frischschlamm ist hygienisch erheblich bedenklicher als aerob oder anaerob sta-

Stoff	Rohschlamm	
	Stagnation mg/l	Toxizität mg/l
Chrom VI	100	200
Chrom III	100 - 300	500
Eisen III	150 - 300	500
Eisen VI	300 - 500	1000
Kupfer	150 - 250	300
Nickel	100 - 300	500
Cyanide	2 - 4	5

Tab. 1 Grenzwerte der hemmend oder toxisch auf die Faulung wirkenden Stoffe

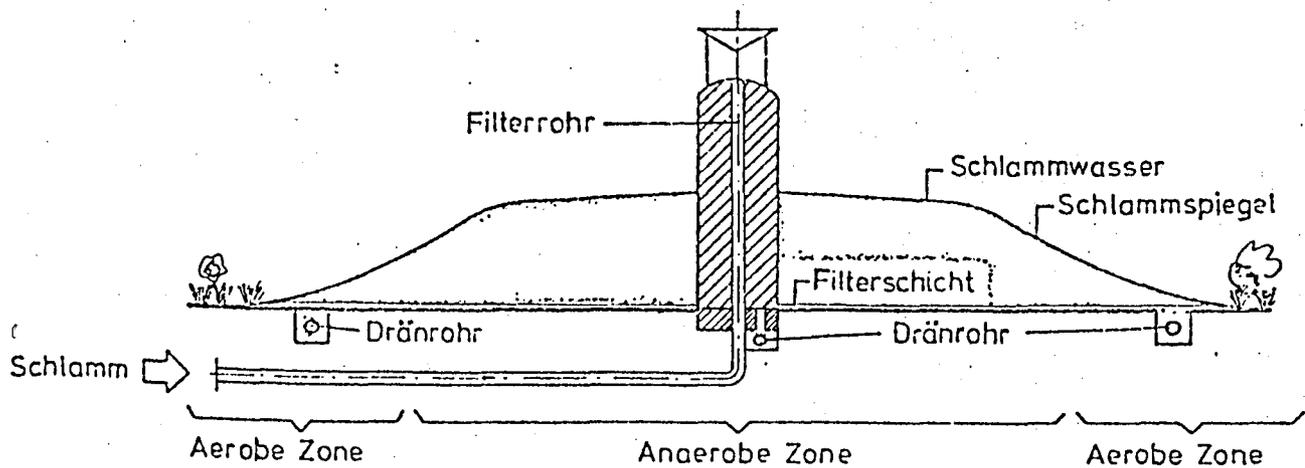


Abb. 1 Schlammdéponie in Spülhaufen  
(n. Wolters und Rössler)

bilisierter Schlamm. Über die Einstufung der mit Kalk hoch alkalisierten Frischschlämme sind mir keine Untersuchungsergebnisse bekannt. Eine gemeinsame Deponie von Müll und Frischschlamm sollte daher niemals zugelassen werden und auf ausgesprochene Notfälle beschränkt bleiben.

## 2.2 Behandelte kommunaler Schlamm

Die Behandlung von Abwasserschlamm hat i.a. zum Ziel, ihn in einen für eine endgültige Ablagerung oder Verwertung geeigneten Zustand zu überführen. Dazu muß er in der Regel

- o stabilisiert (keine Umweltbelästigungen durch Faulung),
- o konditioniert (leicht entwässerbare Form) und
- o entwässert (Verminderung des Schlammvolumens)

werden.

Für die Stabilisierung kommen die anaerobe (Schlammfäulung), die aerobe (eigentliches Stabilisieren) und die thermische Behandlung in Frage.

Bei der anaeroben Behandlung werden die organischen Substanzen weitgehend mikrobiell zu Methan und Kohlendioxid abgebaut. (Verringerung des Schlammvolumens und der Fäulnisfähigkeit).

Endprodukte der aeroben Behandlung sind Kohlendioxid, Mineral-salze und schwer abbaubare organische Reststoffe. Ein so stabilisierter Schlamm kann erfahrungsgemäß nicht mehr zu Geruchsbelästigungen führen, wenn er in Schichten bis zu etwa 30 cm Dicke gelagert wird.

### 2.2.1 Deponie flüssiger oder pumpfähiger Schlämme

Der Schlamm wird durch Verdunstung des Schlammwassers entwässert. Der Abzug überstehenden Wassers (und Ableitung zur Kläranlage) ist wichtig. Das Beschicken in dünnen, maximal 20 cm dicken Schichten, fördert eine schnelle Wasserabgabe des Schlammes.

Zwischen den einzelnen Schlammgaben sind ausreichende Zwischenzeiten für den Wasserentzug vorzusehen. Ein nicht ausreichend

entwässerter Schlamm muß sonst sein Wasser durch die neue Schicht abgeben, was erheblich längere Zeit in Anspruch nimmt. Ein Wechselbetrieb mit mindestens zwei Plätzen ist daher zweckmäßig.

Entwässerungswirkung von Schlammteichen:

Von 95 Gew.% Wassergehalt auf 80-70 Gew.%.

Volumsverminderung: Auf 1/4 bis 1/6 des Ausgangsvolumens.

Zur Zwischenlagerung (und Entwässerung) dienen Schlamm-trocken- und-lagerplätze. Deponien zur endgültigen Ablagerung heißen auch Schlammteiche oder Lagunen. Die wirtschaftlichste Größe von Schlammteichen liegt bei einem Deponievolumen von etwa 10-15 Jahren. Kosten s. Tabelle 2.

Nr.	Baujahr	Nutz- volumen  m <sup>3</sup>	Baukosten (hochgerechnet auf 1974)		Grunderwerb		Druckleitung Länge      Kosten (1975)		Bemerkungen
			DM	DM/m <sup>3</sup>	DM	DM/m <sup>3</sup>	m	DM/m	
1	1967/69	14.000	143.000	10,21	40.000	2,86	-	-	Industrie-Schlamm- platz
2	66/67	15.000	224.000	14,93	40.000	2,66	-	-	- " -
3	71/72	22.000	290.000	13,18	-	-	-	-	schwieriges Gelände
4	70	30.000	564.000	18,80	-	-	800	202	schwieriges Gelände und bes. Abdichtung
5	63/65	32.000	252.000	7,88	93.000	2,90	-	-	
6	66/67	55.500	596.000	10,74	144.000	2,59	2.285	220	mit getranter Rückleitung
7	65/66	60.000	319.000	5,32	100.000	1,67	1.500	165	
8	69	92.800	691.000	7,45	160.000	1,72	-	-	
9	68/69	100.000	812.000	8,12	140.000	1,40	700	178	
10	63/64	105.000	945.000	9,00	170.000	1,62	4.200	111	

Tabelle 2: Baukosten einiger Schlammplätze (hochgerechnet auf d. Jahr 1974)

Bei der Anlage von Schlammteichen (Lagunen) sind nicht nur die allgemeinen baulichen und betrieblichen Grundsätze natürlicher Schlammmentwässerungsanlagen zu berücksichtigen, sondern auch die der geordneten Deponie bei der Beurteilung der Standortqualität und eventuell erforderlicher Schutzmaßnahmen. Es müssen daher bekannt sein:

- o Geologische, insbesondere geohydrologische Verhältnisse
- o Menge, Beschaffenheit und Tiefenlage von Grundwasservorkommen
- o Bestehende Wasserrechte und -nutzungen im Einflußbereich der geplanten Deponie
- o Meteorologische Daten, soweit sie für den Bodenwasserhaushalt wichtig sind (Verdunstung, Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität u.a.m.)
- o Eigenschaften (physikalische und chemische) der Bodenarten unter der Deponie, vor allem ihr Verhalten zum Wasser (Adsorptionsvermögen, Porenraumgliederung, Permeabilität, Wasserkapazität u.a.m.)
- o Abflußverhalten benachbarter Oberflächengewässer und ihre Güteklassen.

Der endgültige Standort ist vor der Detailplanung im Einvernehmen mit den örtlich zuständigen Behörden festzulegen. Dabei ist die wasserwirtschaftliche Bedeutung von Grundwasservorkommen, die im Einflußbereich möglicher Deponiestandorte liegen, in Zusammenarbeit mit dem wasserwirtschaftlichen Planungsorgan festzustellen.

Besonders geeignete Standorte sind Ödlandflächen ohne anstehendes Grundwasser mit natürlicher Vorflut sowie Flächen, bei denen die boden- oder geologischen Verhältnisse keine nachteilige Beeinflussung des Grundwassers erwarten lassen. Abweichend von der Deponie fester Abfälle kann man bei der Deponie von Schlämmen (Abwasserschlämmen) voraussetzen, daß diese selbstdichtend sind. Allerdings muß durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Filterschicht) verhindert werden, daß sich Sik-

kerwasser über dem Untergrund ansammeln kann (Schlammwanne).

Ungeeignet sind im allgemeinen klüftiger Untergrund (z.B. in Karstgebieten), Gebiete mit ökologischen Besonderheiten, bei Hochwasser überflutete Flächen u.a.m. In jedem Fall auszuschließen sind:

- o Grundwasserschutz- und schongebiete, Schongewässer, Heilquellenschutzgebiete.
- o Flächen über Grundwasservorkommen, die nach Menge und Qualität für eine Wasserversorgung geeignet sind.
- o Baggerseen
- o Hochwasserabflußgebiete
- o Flächen, deren Abstand von geschlossenen Siedlungen < 300 m beträgt.

Bei bestehenden Möglichkeiten, kleine Täler mit Dämmen abzuriegeln, ist das Verhältnis von Volumen des Schlammteiches und Aufwand (Spezifische Kosten je m<sup>3</sup>) besonders günstig (Abb.2).

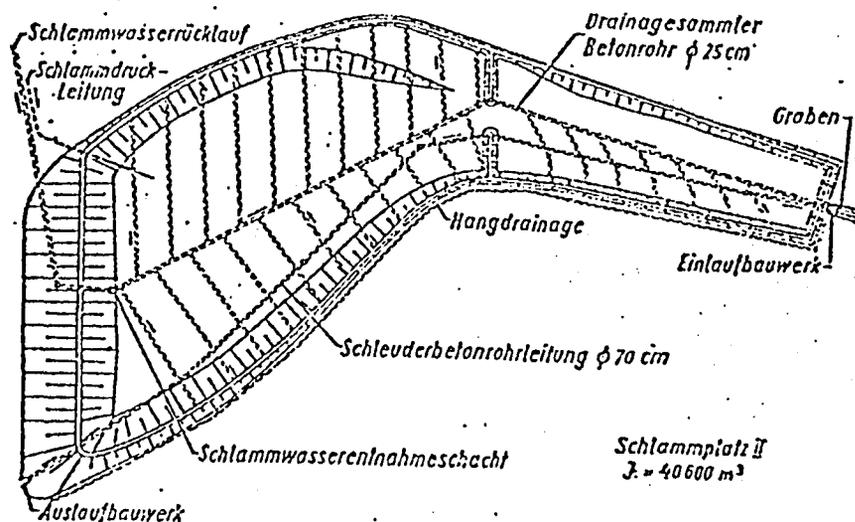


Abb. 2: Schlammteich mit großem Fassungsvermögen, nach Rohde (2)  
 Der Schlammteich ist durch Abriegelung eines Seitentales entstanden. Links im Bild der Sperrdamm. Das Fremdwasser, Oberflächen- und Hangwasser wird über einen offenen Graben und eine Hangdrainage abgefangen und durch eine gesonderte Rohrleitung unschädlich abgeleitet. Das abgetrennte Schlammwasser wird über eine Drainage oder Schlammwasser-Abzugsschächte abgezogen. Es fließt durch eine besondere Rücklaufleitung im freien Gefälle zur Kläranlage zurück

Bild: Archiv Ruhrverband

Fremdwasser ist von der Deponie fernzuhalten. Zufließendes Oberflächenwasser ist durch Hanggräben (oder Hangdräne) abzuleiten. Diese sind ausreichend zu bemessen. Gräben sind ggfls. im Sohlbereich zu dichten. Sie sind so anzuordnen, daß sie durch den Betrieb nicht beschädigt werden können.

Quellen sind zu fassen und in dichter Rohrleitung bis außerhalb des Deponiebereiches zu führen. Wenn das nicht möglich ist, darf an dieser Stelle keine Schlammdeponie angelegt werden.

Kleinere Vorfluter, auch wenn sie nicht ständig Wasser führen, sind um die Deponie herumzuleiten. Nur wenn ein Umleiten nicht möglich ist, kann eine Verrohrung in Frage kommen.

Das gesamte Deponiegelände ist mit einem mind. 2 m hohen Zaun gegen unbefugtes Betreten zu sichern.

Die Deponie muß jederzeit über entsprechend ausgebaute und befestigte Straßen zu erreichen sein.

Schlämme mit schädlichen Beimengungen (Cyane, giftige Buntmetallsalze, chlorierte Kohlenwasserstoffe u.a.m.) sollen möglichst nicht in flüssiger oder pastöser Form deponiert werden. Solche Beimengungen kommen nicht selten aus ungenügend behandelten, zu kommunalen Kläranlagen geleiteten industriellen Abwässern. Läßt sich eine Deponie nicht umgehen, ist auf eine gute Dichtung zum Untergrund und Rückführung des Schlammwassers zur Kläranlage zu achten, besonders wenn der pH-Wert des Schlammes nicht im alkalischen Bereich gehalten werden kann. Dann besteht die Gefahr, daß sowohl das Schlammwasser als auch das ablaufende verschmutzte Regenwasser in höherem Maße mit Schadstoffen belastet sind (nicht vollständig entwässerte Schlämme sind leichter auslaugbar).

### 2.2.2 Deponie entwässerter, stichfester Schlämme

Die verschiedenen Konditionierungs- und Entwässerungsverfahren sind nicht Gegenstand dieses Referates. Über die Beschaffenheit von Abwässerschlämmen bei verschiedenen Wassergehalten gibt

Tabelle 3 Auskunft. Im übrigen sind folgende Anforderungen an die Entwässerung zu stellen:

- o Umwandlung schädlicher oder störender Stoffe in eine möglichst stabile wasserunlösliche Form.
- o Um Aufweichungen und Rücklösungen zu verhindern, sollen im Schlamm häufig vorhandene Gele weitgehend zerstört oder zumindest gestört sein.
- o Anaerobe Vorgänge sollen nicht auftreten oder im alkalischen Bereich ablaufen.
- o Der entwässerte Schlamm muß mit leichtem Gerät befahren und verdichtet werden können.

**BESCHAFFENHEIT VON ABWASSERSCHLÄMMEN  
BEI VERSCHIEDENEN WASSERGEHALTEN**

Wassergehalt (WG)	Beschaffenheit
> 85%	flüssig und pumpfähig
75 – 65%	i.a. stichfest, noch plastisch, breiartig und schmierend,
< 65 – 60%	krümelig-fest, nicht mehr schmierend
< 40 – 35%	streufähig, beständig fest
< 15 – 10%	staubförmig

Tab.3: Veränderung der Beschaffenheit von Abwasserschlämmen bei abnehmendem Wassergehalt

### 2.3 Deponie von Klärschlamm und Müll

Die gemeinsame Ablagerung von Müll und Frischschlamm ist aus hygienischen Gründen abzulehnen, auch nach einer Stabilisierung mit Kalk, da über das Langzeitverhalten dieser Schlämme noch keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen.

#### 2.3.1 Verdichtungsdeponie

Nach einer Umfrage wird für die Bundesrepublik Deutschland geschätzt, daß in mindestens 15 % aller Mülldeponien auch Klärschlamm mit abgelagert wird. Über Art und Menge der deponierten Schlämme gibt es jedoch keine statistischen Unterlagen. Das derzeitige Mengenverhältnis zwischen Klärschlamm und Müll

ist in Tabelle 4 (geschätzt) angegeben.

Hausmüll (HM)	Klärschlamm (KS)	HM : KS Gewicht	HM : KS Volumen
200-300 kg/E.a	25-30 kg TS/E.a	1 : 0,125	-
1,2-1,6 m <sup>3</sup> /E.a (unverdichtet)	500-700 kg/E.a bei 95% WG	1 : 2,5	1 : 1,2-1,7
0,3-0,6 m <sup>3</sup> /E.a (verdichtet)	250-350 WS/E.a eingedickt 90% WG	1 : 1,2	1 : 0,6-0,8
	100-140 kg/E.a entwässert F 75% WG	1 : 0,5	1 : 0,23-0,35
	60-90 kg/E.a entw. 60% WG	1 : 0,33	1 : 0,15-0,2

Tab.4: Mengenverhältnis Klärschlamm - Müll

Bei der Ablagerung von Schlamm auf Verdichtungsdeponien spielt der Wassergehalt des Schlammes eine sehr wichtige Rolle. Aus betrieblichen Gründen und wegen der Standsicherheit der Deponie muß die Menge des mehr oder weniger stark wasserhaltigen Schlammes beschränkt werden. Das Ausmaß der Beschränkung wird im wesentlichen durch das Mengenverhältnis Klärschlamm/Müll bestimmt. Sollen Müll und Klärschlamm einwohnergerecht deponiert werden, muß der Schlamm auf etwa 25-30 % TS entwässert werden. (möglichst stabilisiert). Er kann dann leicht schichtweise breitflächig in die Deponie eingebaut werden.

Tabasaran (7) hat für die Stadt Pforzheim empfohlen, den über eine Zentrifuge oder Siebbandpresse auf 25-30 % entwäs-

serten Schlamm in einer Schichthöhe von etwa 20 cm auf die parzellenweise verdichteten, etwa 1 m hohen Hausmüllschichten aufzubringen und ihn dort längere Zeit (6-12 Monate) nachtrocknen zu lassen. Das würde etwa dem einwohnergleichen Volumenverhältnis entsprechen. Eine weitergehende Entwässerung ist nur bei überproportionalem Verhältnis von Klärschlamm zu Müll zu fordern. Umgekehrt wäre mit einer geringeren Entwässerung auszukommen.

Bei höheren Wassergehalten als 75 % hängt die zuverlässige Schlammmenge von der Art und der Menge der angelieferten Abfälle (vorwiegend Haus- und Gewerbemüll) ab. Außerdem wird sie von den Betriebsbedingungen bestimmt. Es können nur solche Mengen zugelassen werden, die einen ordnungsgemäßen Betriebsablauf nicht stören. Neben eventuellen zusätzlichen Geruchsbelästigungen sind der erhöhte Sickerwasseranfall und die Standsicherheit des Deponiekörpers zu berücksichtigen.

Bei seuchenhygienisch bedenklichen Schlämmen ist die Frage einer vorherigen Desinfektion zu prüfen. Im allgemeinen kann man nach Knoll folgende Reihenfolge für die hygienische Umweltgefährdung von städtischen Abfallstoffen ansetzen (fallende Linie):

Abwasserschlamm - Abwasser - Müll

Der einwohnergleiche Einbau von Müll und flüssigem Klärschlamm ist bei einem geordneten Deponiebetrieb nicht möglich (s. Tabelle 4). Der flüssige Schlamm sickert zu langsam in den verdichteten Deponiekörper ein. Eine wichtige Rolle spielt hier auch die Wasserkapazität des Mülls. Auf keinen Fall darf soviel flüssiger Schlamm aufgebracht werden, daß an den Außenkanten Sickerwasser oder Klärschlamm austreten.

In einem Feldversuch über 6 Monate wurden 0,5-0,6 kg Schlamm (4-5 % TS) je kg feste Abfallstoffe in einer Deponie eingebracht (Stone, zit. bei 6). Der Schlamm wurde durch Tankwagen auf den ausgebreiteten und verdichteten Müll gesprüht. Die Schichthöhe von Müll und Klärschlamm betrug etwa 1,2-1,5 m. Die einzelnen Schichten wurden mit rund 10 cm Abdeckmaterial

abgedeckt. Während des Versuches wurden keine wesentlichen Beeinträchtigungen der Standfestigkeit der Deponie festgestellt.

Die Methode, in der Deponiefläche keine Auffangwannen auszuschieben, die dann mit flüssigem Schlamm gefüllt werden, hat sich bei geordneten Deponien und verhältnismäßig kleinen Schlammengen in der Praxis durchaus bewährt. Für Klärschlamm ist sie aber im Hinblick auf die anfallenden Mengen und die Menge des dann zu erwartenden Sickerwassers keine Lösung des Problems.

Ein Mischen von Müll und Klärschlamm vor der Ablagerung (z.B. in einer Zerkleinerungsmaschine) ist schon die Vorstufe für eine Rottedeponie, die dann in jeder Beziehung positiver zu beurteilen und zu empfehlen wäre. andererseits könnte dies auch der erste Schritt für eine gemeinsame Kompostierung von Müll und Klärschlamm sein.

### 2.3.2 Rottedeponie

Die Rottedeponie kann im allgemeinen größere Schlammengen aufnehmen als die Verdichtungsdeponie, da infolge der höheren Temperaturen beim Rotteprozeß viel Wasser verdunstet. Allerdings hängt es sehr stark von der Art der Luftzufuhr ab, ob sich die Rottevorgänge günstig entwickeln.

In einem großangelegten Versuch haben Reuß u.a. (4) für die Stadt Wolfenbüttel die gemeinsame Ablagerung von Müll und Klärschlamm in einer Rottedeponie erprobt. Dabei zeigte es sich, daß bei dünnflüssigem Schlamm das Wasser bereits nach kurzer Zeit in die Hohlräume des Mülls versickerte, so daß 40-50 cm Frischmüll ausreichten, 200 mm Schlammauftrag (95 % Wassergehalt) abzudecken und für eine Raupe befahrbar zu machen. Eine Minderung der Sickerwassermenge durch hohe Rottetemperaturen wurde eindeutig bestätigt. Allerdings war die Belastung der Sickerwässer mit organischen Verbindungen trotz günstiger Rottetemperaturen sehr hoch. Auf eine Dichtung mit Dränung (in diesem Fall in einer ehemaligen Kiesgrube) und Klärung des Sickerwassers kann auch bei einer Rottedeponie nicht verzichtet

werden. Der Schlammauftrag von 200 mm erzeugte bereits anaerobe Zonen.

Abschließend wird empfohlen, bei gemeinsamer Ablagerung von Müll und Klärschlamm die Rottedeponie anzustreben. Um optimale Bedingungen zu erreichen, sollte sie jedoch als Tafelmiete auf durchlässiger Sohle eingerichtet werden. Müll und Klärschlamm sollten vorher gleichmäßig vermischt werden.

### 3. Industrieschlämme

Für das ordnungsgemäße Behandeln industrieller Schlämme ist eine zentrale Erfassung und Ablagerung des Schlammes auf regionaler Ebene die beste Lösung, besonders wenn es sich um viele Kleinbetriebe handelt. Für die Auswahl geeigneter Lagerplätze gelten die Richtlinien für geordnete Deponieanlagen. Für ggfls. notwendige Dichtungen haben sich Deckschichten aus Lehm oder tonigem Material gut bewährt. Auch Kalk- und Karbidschlämme sind gut geeignet.

Außer auf speziellen Industrieschlamm-Lagerplätzen können gewerbliche und industrielle Schlämme auch auf zentralen Deponien abgelagert werden. Voraussetzung ist allerdings, daß diese Plätze nach den Grundsätzen einer geordneten Deponie angelegt sind und betrieben werden. Um mögliche Rücklösungen auszuschließen, sind besondere Sicherungsmaßnahmen durchzuführen (Einbau in Gruben, kein unmittelbarer Kontakt mit Hausmüll, dachförmige Abdeckungen der Gruben mit bindigem Material u.a.m.). Bei Flüssigschlämmen ergeben sich Schwierigkeiten.

### 4. Schlußbetrachtung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine gute Entwässerung der wichtigste Schritt für eine ordnungsgemäße Schlammablagerung ist. Dann können Abwasser- und Industrieschlämme unter Beachtung bestimmter Regeln meist ohne besondere Schwierigkeiten allein oder gemeinsam mit Müll deponiert werden. Schwierigkeiten sind immer zu erwarten bei nicht stabilisierten (ausgefauten) Abwasserschlämmen und bei Flüssigschlämmen.

Literaturhinweise

1. Merkblatt Nr.7  
der Z f A. Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau. Bundesgesundheitsblatt, 15. Jahrgang 1972, Nr. 15/16, S.234-237
2. MÖLLER, U.: Schlampteiche der Lagunen. Handbuch "Müll- und Abfallbeseitigung", Erich Schmidt Verlag, Berlin, Kennzahl 3190
3. MÖLLER, U.: Verfahren zur vorausgehenden Behandlung für die Veraschung/Verbrennung kommunalen Klärschlammes. 5. Fortbildungskurs I für Ingenieure der Müll- und Abfallwirtschaft 1975 am Institut für Siedlungswasserwirtschaft TU Hannover.
4. REUSS, K., SPILLMANN, P.  
und VAHL, H.: Gemeinsame Ablagerung von Hausmüll und Klärschlamm in einer Rottedeponie. Müll und Abfall, 7. Jahrgang 1975, Heft 3, S. 65 ff.
5. SCHLAITZER, J.: Geordnete Ablagerung schlammiger Abfälle. Müll und Abfall, 3. Jahrgang 1971, Heft 2, S. 43 ff.
6. SEYFRIED, C.F.: Deponie von Abwasserschlämmen. 5. Fortbildungskurs I für Ingenieure der Müll- und Abfallwirtschaft 1975 am Institut für Siedlungswasserwirtschaft, TU Hannover

7. TABASARAN, O.: Gemeinsame Beseitigung von Hausmüll  
und Abwasserschlämm.  
Der Städtetag 1973, Heft 7, S. 403 ff.

## BERICHTIGUNG

zu Band 20 der Wiener Mitteilungen

Selte	Zeile	falsch	richtig
B-3	7	organische	anorganische
B-15	14	Dampf	Dach
C-4	18	sondern eher unwirtschaftlich	ist zu streichen
F	-	geordnete Deponie	Verdichtungs- deponie
G-8	10	pH-Wert = 14	pH-Wert > 12
G-14	Tab. 4	mg/l	mg/g
H-2	7	a)	streichen
	8 - 13	b) c) usw.	a) b) usw.
H-3	28	Calzium Natrium	Calciumionen Natriumionen
H-6	4	ohne daß	sodaß
	30	bezeichnet	berechnet
H-7	8	90	9,0
	16	300	600
L-10	34	ml	l
Q-16	21	besonder	besondere
Q-23	34	-Verpflichtung	-Verflechtung

Wilfried Joven

## Klärschlamm - Müllkompostierung

### 1. Allgemeines

Unter den Verfahren zur Abfallentsorgung nimmt die Kompostierung eine Sonderstellung ein:

Die Abfälle werden auf natürliche und umweltfreundliche Art und Weise zu einem vielseitig verwendbaren Produkt verarbeitet. Da feste und flüssige Abfälle gemeinsam kompostiert werden können, ist die Kompostierung auch der günstigste und einfachste Weg zur Beseitigung von Klärschlämmen.

### 2. Anforderungen an die Beschaffenheit von Müll und Klärschlamm

#### 2.1. Müll

Müll besteht - insbesondere bei höheren Anteilen von Gewerbeabfällen - vorwiegend aus kohlenstoffreichen organischen Stoffen, das C/N-Verhältnis des Mülls liegt im allgemeinen über 35. Ein optimales Nährstoffangebot für die Rotteorganismen für einen raschen und intensiven Verlauf der Abbauvorgänge ist dann gegeben, wenn das C/N-Verhältnis im Rottegut um 15 liegt.

Bei dem hohen C/N-Verhältnis des Mülls kann daher - entsprechend etwa einer Strohdüngung ohne Stickstoffzusatz - eine Festlegung des Stickstoffs durch die Mikroorganismen eintreten und einen verzögerten Ablauf der Rotte zur Folge haben.

Da es heute verfahrenstechnisch durchaus möglich ist, intensiv ablaufende Rotteprozesse zu steuern, sollte das hohe C/N-Verhältnis des Mülls durch Zusatz von stickstoffhaltigen Komponenten eingeeignet werden.

Der Wassergehalt des Mülls unterliegt gewissen, hauptsächlich jahreszeitlichen bedingten, Schwankungen und bewegt sich im Durchschnitt um 30 %.

## 2.2. Klärschlamm

Klärschlämme weisen in Abhängigkeit vom angewendeten Reinigungsverfahren eine mehr oder weniger heterogene Zusammensetzung auf und bestehen zu einem Großteil aus Mikroorganismensubstanz. Abgesehen von einem niedrigen Kaliumgehalt sind Klärschlämme reich an Haupt- und Spurnährstoffen, ihr C/N-Verhältnis liegt zwischen 5 und 15. Der Wassergehalt beträgt je nach Eindickungsart 85 - 97 %. Für eine alleinige Kompostierung von Klärschlämmen müssen ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften verändert werden.

## 3. Gemeinsame Kompostierung von Klärschlamm und Müll

Bei gemeinsamer Verrottung von Klärschlamm und Müll ergibt sich die Möglichkeit, unterschiedliche Eigenschaften, wie z.B. die Nährstoffverhältnisse, auszugleichen. Chemische und physikalische Eigenschaften der einzelnen Komponenten müssen gegebenenfalls durch entsprechende Aufbereitung den verfahrenstechnischen Bedingungen angepaßt werden.

### 3.1. Aufbereitung des Mülls

Bei der Aufbereitung des Mülls werden einerseits die groben, nicht kompostierbaren metallischen und nichtmetallischen Altstoffe möglichst weitgehend entfernt, andererseits erfolgt durch Siebung und Zerkleinerung eine Vergleichmäßigung der Korngröße. Die meisten derzeit üblichen Verfahren setzen eine Vorzerkleinerung voraus, deren Art und Grad verfahrensabhängig ist.

### 3.2. Aufbereitung des Klärschlammes

Die Aufbereitung des Klärschlammes erfolgt in Bezug auf den Wassergehalt und die Lagerfähigkeit. Der Wassergehalt muß mit dem Müll in ein für das Rotteverfahren optimales Verhältnis gebracht werden (Abb. 1).

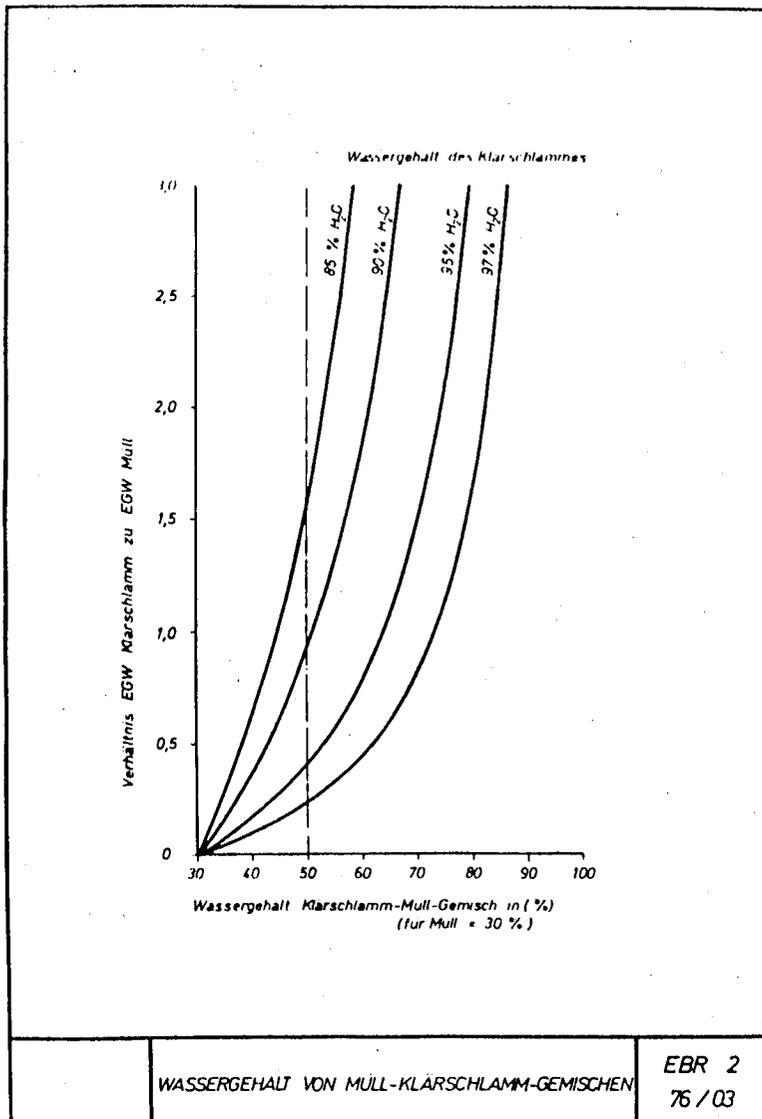


Abb. 1

Die Aufbereitung des Klärschlamm-Müllgemisches erfordert aus technologischen Gründen eine gewisse Lagerfähigkeit des Klärschlammes, die durch aerobe oder anaerobe Stabilisierung erzielt werden kann. Chemisch stabilisierte Schlämme eignen sich im allgemeinen schlecht für eine weitere biochemische Aufbereitung. Grundsätzlich können jedoch alle Arten von kommunalen Klärschlämmen mit Müll kompostiert werden.

Frische Schlämme weisen einen höheren Gehalt an Nährstoffen und umsetzbarer organischer Substanz als Faulschlämme auf und beinhalten eine dem aeroben Milieu der Kompostierung entsprechende Mikroorganismenflora, sind jedoch schwieriger zu entwässern und gehen leicht in Fäulnis über. Für die Verwendung frischer oder ausgefaulter Schlämme sind vor allem Standortfragen entscheidend.

### 3.3. Mischungsverhältnis Klärschlamm-Müll

Der Zusatz von Klärschlämmen zum Müll kann aus verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen:

- \* Kompensation des niedrigen Wassergehaltes des Mülls
- \* Gemeinsame Beseitigung der flüssigen und festen Siedlungsabfälle durch Kompostierung einwohneräquivalenter Mengen
- \* Gezielte Aufbesserung der Nährstoffzusammensetzung.

Da dem Müll zur Einengung des C/N-Verhältnisses nicht unbedeutende Mengen an Klärschlamm zudosiert werden können, ist eine einwohnergleiche Kompostierung möglich. Zuzufolge des schwankenden Wassergehaltes des Mülls sind in diesem Falle Einrichtungen zur Eindickung bzw. zur Schlammmentwässerung vorzusehen.

Verfahrenstechnisch bedeutsam ist vor allem die Optimierung der Zusammensetzung des Rottegütes durch entsprechende Mischung der beiden Komponenten, um einerseits günstige Lebensbedingungen für die Rotteorganismen in Hinblick auf eine hohe Abbauleistung zu schaffen und andererseits um die Qualität des Endproduktes Kompost bezüglich des Stickstoff- und Phosphorgehaltes zu verbessern.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Einfluß des C/N- und des C/P-Verhältnisses auf die Abbaugeschwindigkeit organischer Substanz am Beispiel des Glucoseabbaues.

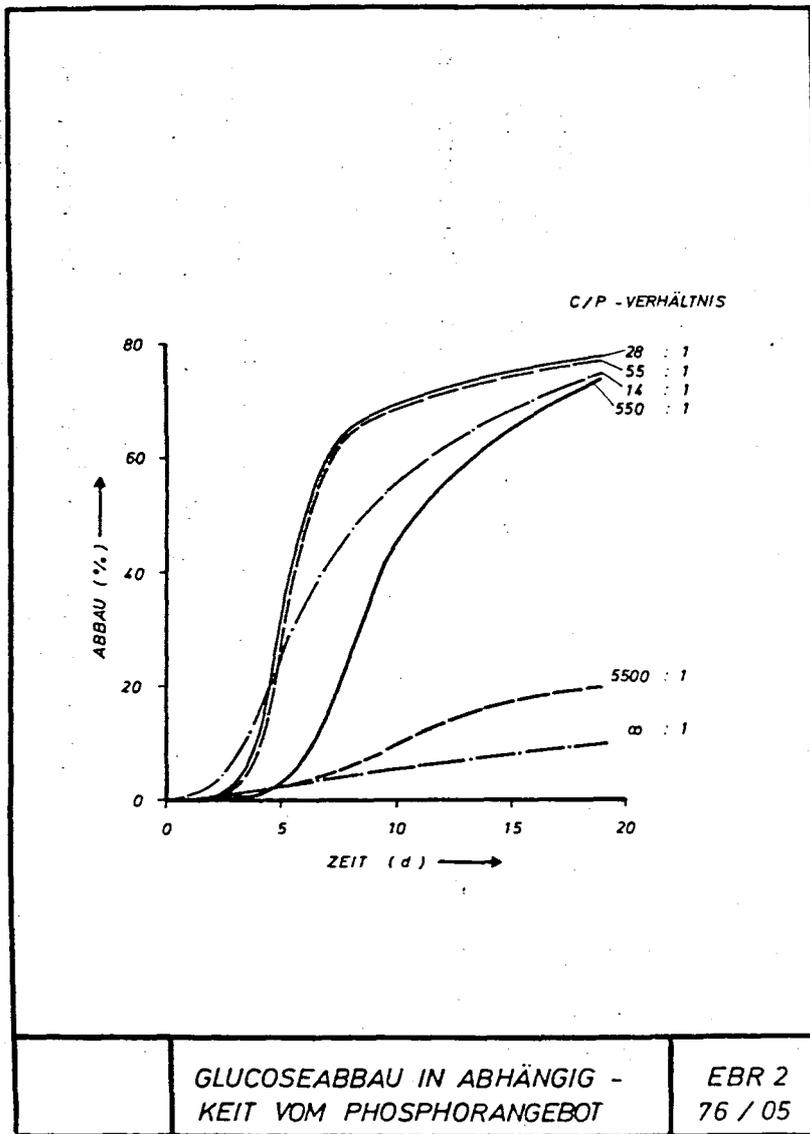


Abb. 2

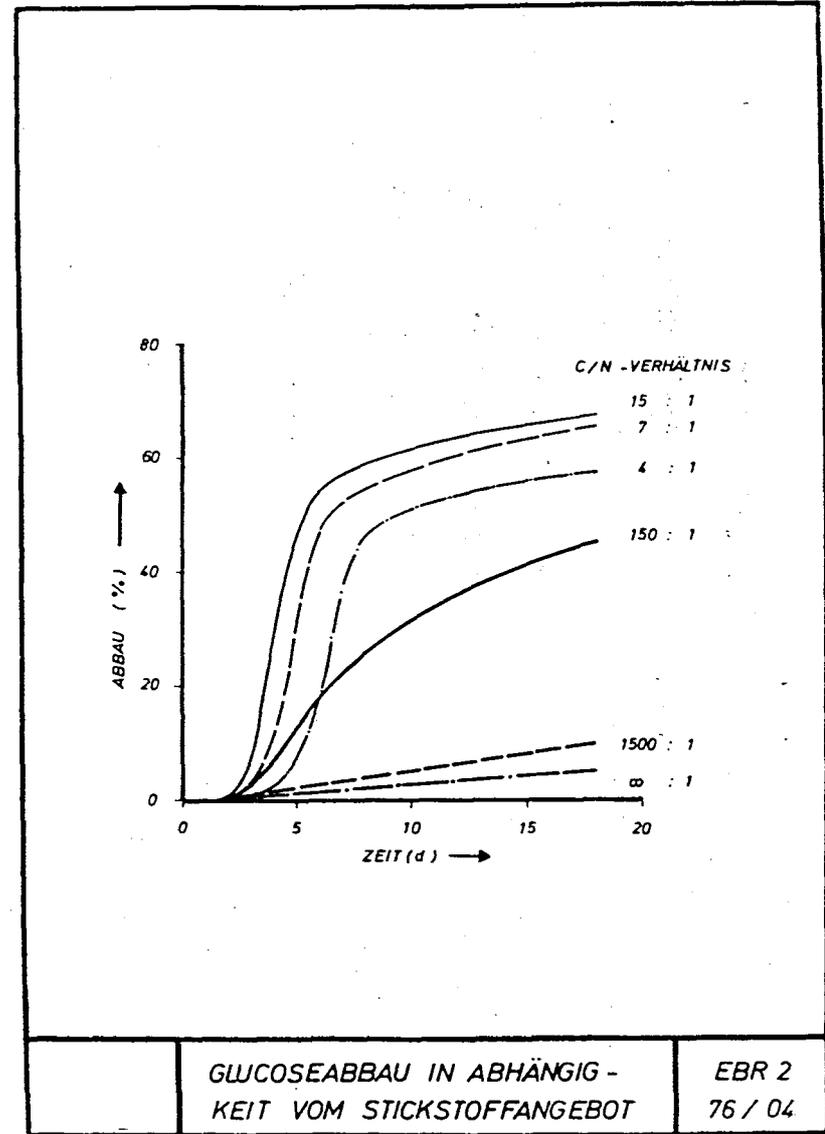


Abb. 3

#### 4. Verfahren der Müll-Klärschlammkompostierung

Bei der Umwandlung von Müll und Klärschlamm in Kompost kann man hauptsächlich zwei Verfahrensvarianten unterscheiden und zwar das

- \* Kompostieren mit natürlicher aerober Fermentation (Abb. 4) und das
- \* Kompostieren mit künstlich beschleunigter Vorfermentation (Abb.5).

Beide Verfahrensvarianten können mit oder ohne Vorzerkleinerung angewendet werden.

Im allgemeinen umfaßt eine Kompostieranlage folgende Verfahrensstufen:

- \* Bunkerung des Rohmaterials
- \* Abscheidung des nicht kompostierbaren Anteils
- \* Vorzerkleinerung
- \* Zumischen von Klärschlamm
- \* Vorrotte
- \* Frischkompostaufbereitung
- \* Nachrotte
- \* Reifkompostverarbeitung
- \* Reststoffbeseitigung

Gestaltung und Auslegung der einzelnen Verfahrensstufen müssen dem jeweiligen Rohmaterial sowie der geforderten Qualität des Endproduktes angepaßt werden; daraus ergeben sich für die einzelnen Verfahrensstufen verschiedene technologische Aspekte.

##### 4.1. Bunkerung

Die Größe des Bunkers ist vom Anlieferungsrythmus und von der Betriebsweise der Anlage abhängig und muß eine entsprechende Reserve gewährleisten.

Während an die Lagerung des Mülls keine besonderen Anforderungen gestellt werden, ist bei der Speicherung des Klärschlammes dessen

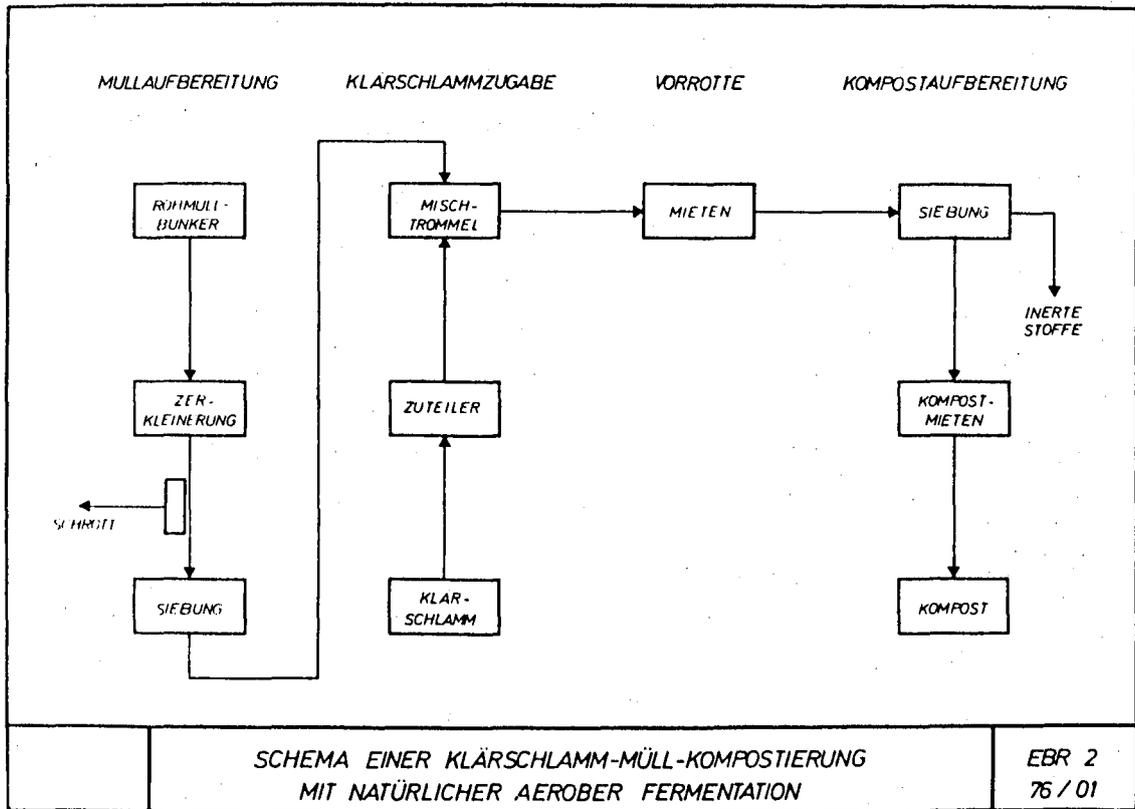


Abb. 4

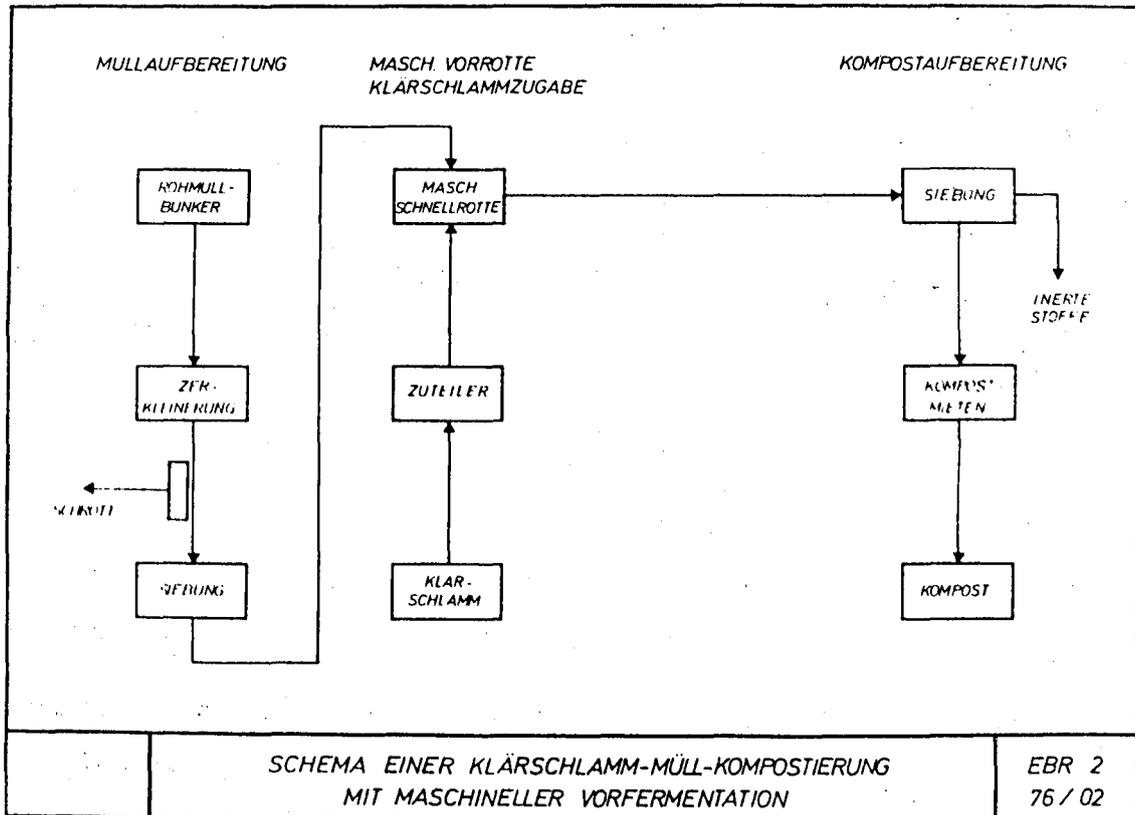


Abb. 5

Zersetzungsfähigkeit zu berücksichtigen. Der erforderliche Stabilisierungsgrad ist von der mittleren Verweilzeit im Bunker sowie von der Anlieferungszeit bzw. dem Transportweg abhängig. Technisch und wirtschaftlich am günstigsten ist die Verwendung von nicht stabilisierten Schlämmen, weshalb eine unmittelbare Nachbarschaft von Kompost- und Klärwerk anzustreben wäre.

#### 4.2. Abscheidung der nicht kompostierbaren Müllbestandteile

Die Entfernung dieser Bestandteile dient einerseits der Verringerung des Ballastanteils, andererseits der Rückgewinnung von Wertstoffen.

Eine maschinelle Abscheidung ist durch magnetische und ballistische Methoden für ferromagnetische und spezifisch schwere Materialien sowie durch Siebmaschinen möglich; andere Ballaststoffe müssen händisch aussortiert werden. Verfahren zur automatischen Ausschaltung von Kunststoffen und Glas sind in Erprobung.

Eine gänzliche Befreiung des Mülls von Ballaststoffen ist - soweit es sich nicht um Wertstoffe handelt - nicht erforderlich, da in der Vorrotte eine Auflockerung des Materials durch Ballaststoffe durchaus erwünscht ist.

#### 4.3. Vorzerkleinerung

Die Vorzerkleinerung hat den Zweck, durch Vergrößerung der Oberfläche eine bessere Benetzbarkeit der Müllpartikel und günstigere Arbeitsbedingungen für die Mikroorganismen zu schaffen. Weiters wird das Ausbringen der Kompostierung durch einen höheren Feinanteil von Ballaststoffen verbessert.

Für die Zerkleinerung des Mülls werden je nach Verfahren Hammermühlen bzw. Prallmühlen und sogenannte Siebraspeln eingesetzt.

Hammermühlen unterscheiden sich je nach Herstellfirma durch Drehzahl und Drehsinn der Rotoren, durch die Gestaltung von Aufgabe

und Abzug sowie durch die Form der Hammer- und Schlagleisten. Üblicherweise werden Hammermühlen mit 2 parallel angeordneten liegenden Rotoren gebaut. Das Prinzip der Siebraspel besteht darin, daß das Mahlgut durch langsam rotierende Rührarme auf einem be-  
stifteten Siebboden zerrieben wird.

#### 4.4. Zumischen von Klärschlamm

Die Misch- und Dosiereinrichtung für den Klärschlammzusatz muß folgende Funktionen erfüllen:

- \* Intensive Vermengung von Müll- und Klärschlamm, wobei eine Verdichtung des Materials möglichst vermieden werden sollte;
- \* Einhaltung eines vorgegebenen Mischungsverhältnisses der beiden Komponenten durch entsprechende Regelbarkeit der Schlammdosierung.

Als Mischvorrichtungen werden je nach Schlammkonsistenz Trommel-, Hohl-schnecken- und Doppelwellenmischer verwendet; in letzteren treten häufig ungünstige Materialverdichtungen auf, wodurch die Nachschaltung einer Auflockerungsvorrichtung erforderlich wird. Die Zudosierung des Klärschlammes erfolgt entsprechend der Schlammkonsistenz mittels Dosierschnecken oder -pumpen, die proportional der aufgegebenen Müllmenge gesteuert werden.

#### 4.5. Vorrotte

##### 4.5.1. Natürliche Fermentation:

Zur natürlichen Fermentation wird das Rottegut auf Mieten geschüttet, die zur Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung in bestimmten Zeitabständen umgesetzt werden. Bei der Kompostierung von unzerkleinertem Material ist eine höhere Mietenschüttung möglich, da die sperrigen Anteile Hohlräume bilden und den Luftzutritt erleichtern. Mieten mit vorzerkleinertem Material müssen wegen der dichteren Lagerung und der rascher ablaufenden biochemischen Ab-  
bauvorgänge häufiger umgesetzt werden.

Die intensiven biochemischen Umsetzungen bei optimaler Zusammensetzung des Rottegutes erfordern vor allem im Anfangsstadium der Rotte eine starke Sauerstoffzufuhr, so daß der natürliche Lufteintrag auch bei häufiger Mietenumsetzung unter Umständen für einen im vollen Umfang aerob verlaufenden Rotteprozeß nicht ausreicht und eine künstliche Beatmung notwendig wird.

#### 4.5.2. Kompostierung mit maschineller Vorfermentation:

Bei Kompostierungsverfahren mit künstlich beschleunigter Vorfermentation wird der vorwiegend aus rasch ablaufenden Abbauvorgängen bestehende Teilprozeß der Vorrotte in sogenannte Rottezellen verlegt. Die Vorrotte in geschlossenen Systemen gestattet eine weitgehende Anpassung der physikalischen Bedingungen, insbesondere der Sauerstoffversorgung, an die wechselnden Erfordernisse des Rottevorganges und führt somit zu einem beschleunigten Ablauf.

Hinsichtlich der Ausführung der Rottezellen unterscheidet man zwischen statischen und dynamischen Schnellrotteverfahren, die zum Teil einen kontinuierlichen Betrieb ermöglichen. Die Verrottung erfolgt bei statischen Schnellrottesystemen - wie festen oder fahrbaren Rottezellen, Klappbodenzellen, Kompostierungsplatten mit Abdeckhauben etc. - ohne ständige Bewegung des Rottegutes. Bei dynamischen Systemen wie Rottetürmen und Rottetrommeln wird das Material stetig weiter bewegt.

#### 4.6. Frischkompostaufbereitung

Der aus der Vorrotte anfallende Frischkompost wird entsprechend dem Grad der Vorzerkleinerung durch Siebung und Mahlung aufbereitet. Er kann nun entweder als Frischkompost verwertet oder zur Gewinnung von Reifkomposten der Nachrotte zugeführt werden.

#### 4.7. Nachrotte

Der Prozeß der Nachrotte läuft langsamer ab und benötigt keine so intensive Sauerstoffversorgung, die Mieten können mit feinkörnigem Material daher höher aufgeschüttet werden. Der Reifkompost besitzt durch weitergehende Humifizierung eine höhere Qualität, durch die Nachrotte wird die Nitrifikation gebremst und damit die Stickstoffverteilung verbessert.

Weiters werden durch die Nachrotte die im Zuge der Vorrotte entstehenden wachstumshemmenden Wirkstoffe abgebaut.

#### 4.8. Verarbeitung des Reifkompostes

Zur Verbesserung der Vermarktungsfähigkeit und in Anpassung an die Bedürfnisse der Verbraucher kann der Reifkompost durch Zugabe von Nährstoffen und von pH-Wert-Regulanden zu Spezialkomposten veredelt werden. Kompostwerke sollen auch über Einrichtungen zur Lagerung und marktgerechten Verpackung der Fertigprodukte verfügen.

#### 4.9. Beseitigung der Reststoffe

Die bei der Roh- und Frischkompostaufbereitung ausgeschiedenen Ballaststoffe werden

- \* als Rohmaterial wiederverwertet wie z.B. Schrott oder Glas
- \* deponiert oder
- \* verbrannt.

### 5. Prozeß- und Qualitätsüberwachung

#### 5.1. Prozeßüberwachung

Um einen technologisch einwandfreien Betrieb eines Kompostwerkes zu gewährleisten, muß die jeweilige Zusammensetzung des Rohmaterials bekannt sein. Für die Beurteilung des Rotteverlaufes ist die Kenntnis des jeweiligen ökologischen Milieus und des Fort-

schrittes der biochemischen Abbauvorgänge notwendig. Zu diesem Zweck werden im wesentlichen folgende Parameter überwacht:

Wassergehalt, Temperatur, pH-Wert, Stickstoffverteilung, Schwefelverteilung bzw. Redox-Potential.

### 5.2. Qualitätsüberwachung

Der Reifegrad von Komposten wird zweckmäßigerweise mit Hilfe biologischer Tests überprüft, wie z.B. die von Spohn 1968 empfohlenen Kresse- und Pilztests. Beim Kresstest wird Keimung und Wachstum von Gartenkresse in unverdünntem Kompost beobachtet, beim Pilztest die Beeinflussung des Wachstums eines Schimmelpilzes (*Verticillium cinnabarium*) auf einen mit Sporen des Pilzes beimpften und mit Kompost versetzten Nährboden untersucht.

Positive Testergebnisse (keine Wachstumshemmung) bestätigen die Wurzelverträglichkeit des betreffenden Kompostes und damit seine Eignung als Bodenverbesserungsmittel auch für empfindliche Kulturen.

### 6. Hygienische Aspekte der Müll-Klärschlamm-Kompostierung

Krankheitserreger für Tier und Mensch (pathogene Keime, Wurmeier und dgl.) finden sich vor allem im Klärschlamm, solche für die Pflanze hauptsächlich im Müll. Durch die biochemische Erwärmung des Rottegutes auf Temperaturen um  $65^{\circ}$  C sowie durch antibiotische Vorgänge im Verlauf der Rotte werden sämtliche Krankheitserreger nach einer bestimmten Zeit inaktiviert. Das Material wird bereits durch die Vorrotte, insbesondere in Gärzellen, weitgehend entseucht, nach Literaturangaben ist zur sicheren Vernichtung sämtlicher Krankheitserreger, wie etwa der Milzbrandbazillen, eine entsprechende Nachrotte auf Mieten vorzusehen.

## 7. Schadstoffe

### 7.1. Anorganische Schadstoffe

Als anorganische Schadstoffe werden sämtliche Schwermetalle angesehen. Einige davon sind jedoch für die Stoffwechselfvorgänge der Lebewesen notwendig (Zink, Kupfer, Eisen, Mangan, Kobalt, Molybdän), ihr Vorhandensein im Kompost ist günstig zu beurteilen, soweit die Konzentrationen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

Dagegen wirkt die Anwesenheit von Quecksilber, Blei, Kadmium und Chrom stets toxisch. Es ist jedoch zu beachten, daß jeweils nur ein bestimmter Anteil des Gesamtgehaltes an Schwermetallen - nach Kick um 10 % - pflanzenverfügbar ist. So wird z.B. die Löslichkeit der Schwermetalle durch die Anwesenheit von basisch wirksamen Stoffen herabgesetzt; weiters werden Schwermetallionen durch die im Kompost gebildeten Ton-Humuskomplexe (Bentonitzusatz) festgelegt.

### 7.2. Organische Schadstoffe

Während der Kompostierprozesse wird ein Großteil der organischen Schadstoffe abgebaut bzw. inaktiviert. Bisweilen werden in Komposten organische Verbindungen gefunden, die als krebserregende Substanzen bekannt sind, wie polycyclische Kohlenwasserstoffe und polychlorierte Biphenyle. Es ist allerdings nicht bekannt, ob diese Substanzen von der Pflanze aufgenommen werden und ob sie in diesem Falle ihre Wirkung in einer Nahrungskette beibehalten können.

## 8. Schlußbemerkung

Die gemeinsame Kompostierung von Müll und Klärschlamm erfüllt durch das Zusammenwirken antibiotischer und exothermer biochemischer Vorgänge in idealer Weise die Forderungen der Hygiene nach einwandfreier Entseuchung von Klärschlamm und Müll.

Sie ist ohne Zweifel auch eines der wirtschaftlichsten und umweltfreundlichsten Verfahren zur Beseitigung des Klärschlammes. Ein Kompostwerk kann jedoch nicht an irgendeiner Stelle, die sich wegen niedriger Bodenpreise oder aus Gründen regional-politischer Vorteile anbietet, errichtet werden. Für die Wahl des Standortes sind nicht zuletzt die Transportkosten für Rohabfälle, Reststoffe und Kompost ausschlaggebend.

Bei der Wahl des anzuwendenden Kompostierverfahrens sind neben den erforderlichen Investitionskosten, die bei gleicher technischer Ausstattung und gleicher Qualität des Endproduktes nicht mehr systemabhängig sind, vor allem der Grad der Betriebssicherheit und der Umweltbelästigung in Betracht zu ziehen.

Literaturverzeichnis

JAEGER, B.:

Technische Verfahren der Kompostierung.  
Aufbereitungs-Technik 5 (1964) S. 508

FARKASDI, G.:

Die Problematik der organischen Schadstoffe bei der Kompostierung  
von Siedlungsabfällen.

Giessener Berichte zum Umweltschutz 1974, H.4, S. 65

FARKASDI, G.:

Kompostierung von Siedlungsabfällen - ein wertvoller Beitrag zum  
Recycling.

Müll und Abfall 7 (1975), S. 61

KICK, H.:

Die Problematik der anorganischen Schadstoffe bei der Kompostie-  
rung von Siedlungsabfällen.

Giessener Berichte zum Umweltschutz 1974, H.4, S. 51

KUMPF, W., MAAS, K. und STRAUB, H.:

Handbuch "Müll- und Abfallbeseitigung" Bd. 3.  
Berlin (1964 - 1974)

RASCH, R.:

Beseitigung und Verwertung von Siedlungsabfällen durch Kompostierung.

Müll und Abfall 7 (1975), S. 25

SPOHN, E.:

Wie reif ist ein Kompost.

Städtehygiene 1968, H.6.

TROLLDENIER, G.:

"Bodenbiologie"

Stuttgart (1971)

Herbert E. Kurzweil:

## Kompostierung von Klärschlamm.

### 1. Allgemeiner Überblick

Bestrebungen, den bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlamm nutzbringend in Landwirtschaft und Gartenbau zu verwenden, gibt es schon seit den Anfängen der Klärtechnik. Eine derartige Verwertung ist ja auch die einzige Alternative zur geordneten Ablagerung. In neuerer Zeit wurden und werden viele Untersuchungen zu diesem Fragenkreis durchgeführt, einerseits mit dem Ziel, etwaige schädliche Nebenwirkungen bei der Verwendung des Klärschlammes im Landbau zu erforschen, andererseits auch mit dem Bestreben, die jeweils zweckmäßigste Art der Schlammverwertung - ob als Naßschlamm oder im entwässerten oder kompostierten Zustand, ob als Frischschlamm oder nach vorheriger Stabilisation - festzustellen.

Grundsätzlich erscheint die Wiederverwendung des Schlammes im natürlichen Stoffkreislauf richtig, wenn nicht eindeutig schädliche Wirkungen dabei zu erwarten sind, weil nur damit eine endgültige Schlamm"beseitigung" erreicht wird.

Die Kompostierung ist ein Aufbereitungsverfahren, das sich natürlicher Vorgänge bedient, mit Massentwicklung von Kleintieren, die unter aeroben Bedingungen die Zersetzung des organischen Materials bewerkstelligen. Im technischen Verfahren werden die gleichermaßen bei jedem aeroben Abbau von Abfällen in der Natur stattfindenden Vorgänge durch technische Maßnahmen unterstützt und beschleunigt, so wie dies z.B. ja auch beim Tropfkörper- und Belebungsverfahren für die Abwasserreinigung der Fall ist. Bei der Kompostierung von Klärschlamm ist eine derartige Maßnahme zunächst die Zugabe von kohlenstoffhaltigem Material, da sonst die Zersetzung sehr lange dauert. Dafür bietet sich vor allem Müll an, der ja in größten Mengen verfügbar ist. Hier soll aber die Mischung mit anderen Füllstoffen erörtert werden, wobei der Schlamm der wesentliche Teil bleibt, nämlich mit "Abfällen" pflanzlichen Ursprungs wie Stroh, Laub, Sägemehl, Sträucherschnitt und anderen Grünab-

fällen. Ein derartiger "Spezialkompost", wie man ihn nach dem Schrifttum nennen müßte, wird wohl im allgemeinen wertvoller sein als Müllkompost (im Hinblick auf die anders gearteten Füllstoffe) und vor allem auch in der Gärtnerei brauchbar sein.

In hygienischer Hinsicht bestehen keine Bedenken, wie u.a. aus dem von STRAUCH (1) genannten Vorschlag für eine Übergangslösung zur Anwendbarkeit von Klärschlamm im Landbau ersichtlich ist (Tabelle 1).

			I	II		III		IV	V	VI	VII
			Ausweich- flächen	Acker- land	Grünland u. Feldfutter- bau		Reb- land	Obstanla- gen ohne Unterkul- tur	Baum- schulen	Garten- land u. Gemüse- anbau	
				VR	V	VR	V	VR	VR		
1.1. Rohschlamm		sb	+	-	-	-	-	-	-	-	-
			(bedingt)								
1.2. Schlamm aus Kleinkläranlagen u. Erdbecken		sb	+	+	-	-	-	-	-	+	-
2.1. flüssig	anaerob	sb	}	+	+	-	+	+	+	+	-
2.2. entwässert	od. aerob	sb									
2.3. natürlich getrocknet	stabilis. Schlamm	sb									
3.1. chemisch	kondit. Schlamm	sb									
3.2. thermisch											
4. thermisch getrockneter Schlamm											
5. erhitzter Naßschlamm (roh, stabilis., chem. kondit.)			+	+	+		+	+		+	+
6. kompostierter Schlamm											

sb = seuchenhygienisch bedenklich VR = Vegetationsruhe V = Vegetationszeit + = Anwendung zulässig; - = Anwendung unzulässig

Tabelle 1: Seuchenhygienisch unbedenkliche Klärschlammverwertung im Landbau.

Vor Erläuterungen eigener Untersuchungen zur Kompostierung nach den eben genannten Grundsätzen sei zunächst klargestellt, daß sich die Ausführungen auf kommunale Klärschlämme beziehen. Industrieschlämme müssen, sofern sie überhaupt kompostierbar sind, jeweils ihren Gegebenheiten entsprechend behandelt werden.

## 2. Eigene Versuche zur Kompostierung von Klärschlamm.

Versuche zur Schlammkompostierung mit pflanzlichem Material wurden 1973 - 1974 auf den Kläranlagen Wiener Neustadt, Baden und Stockerau durchgeführt. In Wiener Neustadt, von dessen Tiefbauamt die Versuche angeregt und stets unterstützt worden sind, werden diese seit Herbst 1975 fortgesetzt, wobei vor allem Untersuchungen verschiedener Reifezustände des Kompostes und dann pflanzenbauliche Feldversuche geplant sind. Es handelt sich also hier vorläufig um einen Zwischenbericht über die bisher vorliegenden Ergebnisse.

Vorweg sei erwähnt, daß bei allen Versuchen mehr oder minder ausgefauter Schlamm nach einer Lagerzeit von einigen Monaten im Schlammteich (in Baden beim Parallelversuch nach maschineller Entwässerung) als Ausgangsmaterial diente. Es wird zwar immer wieder die Auffassung vertreten, daß für die Wiederverwertung Frischschlamm im Hinblick auf den höheren Gehalt an Nährstoffen wertvoller sei, der Verfasser ist jedoch der Ansicht, daß - gerade wegen möglicher schädlicher Nebenwirkungen, aber auch wegen der häufig wechselnden Beschaffenheit des Schlammes - eine mehrmalige biochemische Umsetzung und eine längerdauernde Kompostierung zu Reifekompost, insbesondere bei beabsichtigter Verwendung im Gartenbau, vorzuziehen ist. Die mehrmalige Umsetzung ist im hohen Maße bei der Kette: Schlammfäulung (oder aerobe Stabilisation) - Kompostierung - Boden - Pflanze gegeben. Amerikanische Untersuchungen haben z.B. gezeigt, daß in der Nahrungskette der Bleigehalt von Stufe zu Stufe abnimmt (2).

Nun aber zu den einzelnen Versuchen:

Kläranlage Wiener Neustadt, mechanische Anlage, derzeit 20 - 25000 Einwohner angeschlossen, dazu der städtische Schlachthof und einige Industrie- und Gewerbebetriebe (Färbereien, metallverarbeitende Betriebe). Die Entwässerung erfolgt nach dem Mischsystem. Der Klärschlamm wurde aus dem Schlammteich entnommen; er war nur z.T. ausgefaut, was an dem sehr unangenehmen Geruch deutlich zu bemerken war. Programmgemäß wurden

drei Versuchshaufen aufgesetzt, und zwar Schlamm mit

- Grünabfällen, Laub (Hauptversuch, siehe Abb.1)
- Sägemehl
- Torfmuld

Jedem Haufen wurde, wie in Abb. 1 ersichtlich, etwas Kalk zugesetzt (beim Torfmull - Versuch etwa die doppelte Menge gegenüber a und b) und auch Lehm oder lehmiger Boden in dünnen Schichten. Den äußeren Abschluß bildete ein Grasmantel als Verdunstungsschutz.

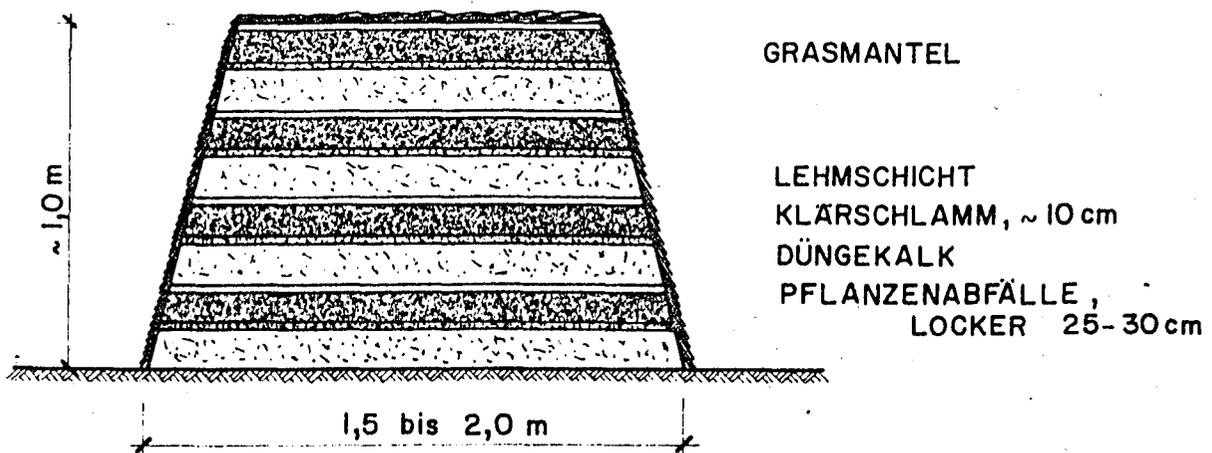


ABB. 1: SCHEMA DES VERSUCHS-KOMPOSTHAUFENS.

Kläranlage Baden, vollbiologische Anlage (Belebungsverfahren), angeschlossen 20 - 25000 EGW, hauptsächlich Trennsystem. Hier wurden zwei Versuchshaufen mit Grünabfällen aufgeschichtet, und zwar

- mit einige Monate altem Schlamm aus den Schlammteichen
- mit entwässertem Schlamm aus der Versuchsanlage der Fa. Andritz (Siebbandpresse).

Provisorische Kläranlage Stockerau, angeschlossen 10 - 15000 EWG, Mischsystem. Das Provisorium besteht in einem durchflossenen Faulraum, da das zukünftige Ausgleichs- und Regenklärbecken, welches bereits gemeinsam mit dem Hochwasserpumpwerk auf der Kläranlage errichtet worden ist, derzeit

für eine Grobreinigung des Abwassers verwendet wird. Der abgesetzte Schlamm wird nur fallweise in die Schlammteiche gepumpt und ist gut ausgefault.

In Stockerau wurde gleichfalls ein Versuchshaufen mit - hier schon erdfeuchtem - Schlamm und Grünmaterial (aus dem üppigen Bewuchs der Schlammteiche) aufgeschichtet. Eine Zugabe von Lehm erübrigte sich, da offenbar lehmiges Bodenmaterial im Schlamm infolge Abschwemmungen im Entwässerungsgebiet enthalten war.

Die Versuchshaufen auf den drei Kläranlagen wurden im Herbst 1973 umgesetzt und bis zur Probeentnahme im März 1975 fallweise beobachtet. Irgendwelche Pflegemaßnahmen erfolgten nicht, mit Ausnahme der Entfernung von Unkrautwuchs. Insbesondere waren im Versuchszeitraum einige längere Trockenzeiten zu überdauern.

Von den Beobachtungen seien kurz erwähnt:

a) Die Temperatur im Komposthaufen stieg kaum über  $40^{\circ}$  C, was die Erfahrung mit den "kalten" Klärschlamm - Komposten bestätigt.

b) Ein Zusatz von Kompost aus dem eigenen Garten mit massenhaft Regenwürmern zum Versuchshaufen "Wiener Neustadt" kurz nach dem Aufsetzen brachte keinen Erfolg, die Regenwürmer verschwanden, was wohl von dem noch zu wenig aufbereiteten Schlamm herrührte. In Stockerau hingegen waren sogar schon im erdfeuchten Schlamm Regenwürmer enthalten.

c) Die Trockenzeiten wurden von den Versuchshaufen mit Grünabfällen gut überstanden, nicht hingegen von der Mischung mit Torfmull. Letzterer trocknete aus und nahm dann kein Wasser mehr auf, sodaß es auch bei der ursprünglichen Schichtung - ohne Durchmischung - im Haufen blieb.

d) Die Struktur war schließlich beim Typ "Grünabfälle" bei weitem am besten. Das Endprodukt zeigte sich als lockere, krümelige Komposterde, ein krasser Gegensatz z.B. in Wiener Neustadt zum bestialisch stinkenden, zäh - schmierigen Klärschlamm als Ausgangsmaterial! In Baden bleibt als interessantes Detail festzuhalten, daß der mit maschinell entwässertem

Schlamm hergestellte Kompost ein mittleres Braun aufwies. Die übrigen Komposte waren durchwegs dunkelbraun gefärbt.

Im März 1975 wurden eine Reihe von Schlamm- und Kompostproben der genannten Kläranlagen, sowie zum Vergleich von Kompost- und Bodenproben aus dem eigenen Garten in der landwirtschaftlich - chemischen Versuchsanstalt in Wien untersucht. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 dargestellt.

Bezeichnung der Probe	Organ. Substanz (Humus)		Methode <del>Elementar</del> CAL				Kalk		pH-Zahl in KCl-Susp.	Gesamtstickstoff nach Kjeldahl % N
	%	Zustand	leichtlösliche Phosphorsäure		leichtlösliches Kali		CaCO <sub>3</sub> %	Der Boden ist:		
			mg je 100 g Boden	Note	mg je 100 g Boden	Note				
Wr. Neustadt, Komp.m.Grünabf.	24,0		135		102		15,0		6,8	0,82
Wr. Neustadt, Komp.m.Sägemehl	22,0		40		10		24,1		7,1	0,62
Wr. Neustadt, Schlamm aus Teich	37,3		225		21		15,0		6,7	1,54
Baden, Komp., Schl.aus Teich	29,0		315		200		19,1		6,6	1,11
Baden, Komp., entw.Schlamm	24,0		285		170		22,0		6,5	1,10
Baden, Schlamm aus Teich	46,5		590		30		7,9		6,4	2,40
Stockerau, Kompost	24,0		405		100		16,2		6,5	0,81
Stockerau, Schl.aus Teich	24,0		315		20		11,6		6,2	0,66
Gartenkompost	17,0		130		330		12,1		7,6	0,56
Gartenerde	3,3		21		12		1,5		7,1	0,24

Tabelle 2: Analysen von Schlamm-, Kompost- und Bodenproben.

Der verhältnismäßig hohe Kaligehalt im "Gartenkompost" geht auf den Zusatz von Holzasche im Winter zurück.

Außerdem wurden Schlamm- und Kompostproben der drei Kläranlagen in der Hygienisch - bakteriologischen Untersuchungsan-

stalt der Stadt Wien auf Parasiten (Wurmeier) untersucht. Ergebnis: In den 30 Stichproben konnten makroskopisch und mikroskopisch Parasiten oder Wurmeier nicht nachgewiesen werden. "Dieser Befund spricht wegen der relativ großen Anzahl von Stichproben dafür, daß in den Schlämmen, aus denen die Stichproben stammten, keine parasitären Elemente mehr enthalten sind."

Um wenigstens ganz überschlägig die Komposte im Pflanzenversuch zu testen, wurden von Mai bis Oktober 1975 Beobachtungen an sechs ursprünglich völlig gleich großen und gleich entwickelten Pfefferonipflanzen gemacht. Die Pflanzen waren in Blumentöpfen  $\emptyset$  20 cm mit folgenden Erdmischungen gesetzt worden (siehe auch Tabelle 2) :

Kompost Wr. Neustadt	} : Gartenerde = 1 : 1
Kompost Baden / Schlammteich	
Kompost Baden / maschinell entw.	
Kompost Stockerau	
Gartenkompost	
Gartenerde, ungedüngt	

Zum "Gartenkompost" ist zu sagen, daß dieser zum Großteil aus Laub, Unkräutern und Sträucherschnitt (u. a. auch von einer Fichtenhecke!), zum geringen Teil aus Küchenabfällen gebildet wird. Ferner werden geringe Mengen von Düngekalk und von "OSCORNA" (hauptsächlich Knochenmehl, Hornmehl u.dgl.), sowie Erde zugesetzt, im Winter auch Holzasche. Die Herstellung entspricht durchaus den längst bewährten Verfahren (3).

Selbstverständlich fehlt dem Pflanzen - Kleinversuch jeder statistische Wert. Er zeigt aber sehr wohl die immer noch (trotz fortgeschrittener Mineralisierung) bedeutende Düngewirkung der Klärschlammkomposte. Das starke Wachstum der gedüngten Pflanzen gerade in den ersten Wochen führte z.B. auch dazu, daß sie weniger stark von Blattläusen befallen wurden als die ungedüngte Pflanze.

In Abb. 2 ist das Wachstum der Vergleichspflanzen schematisch dargestellt.

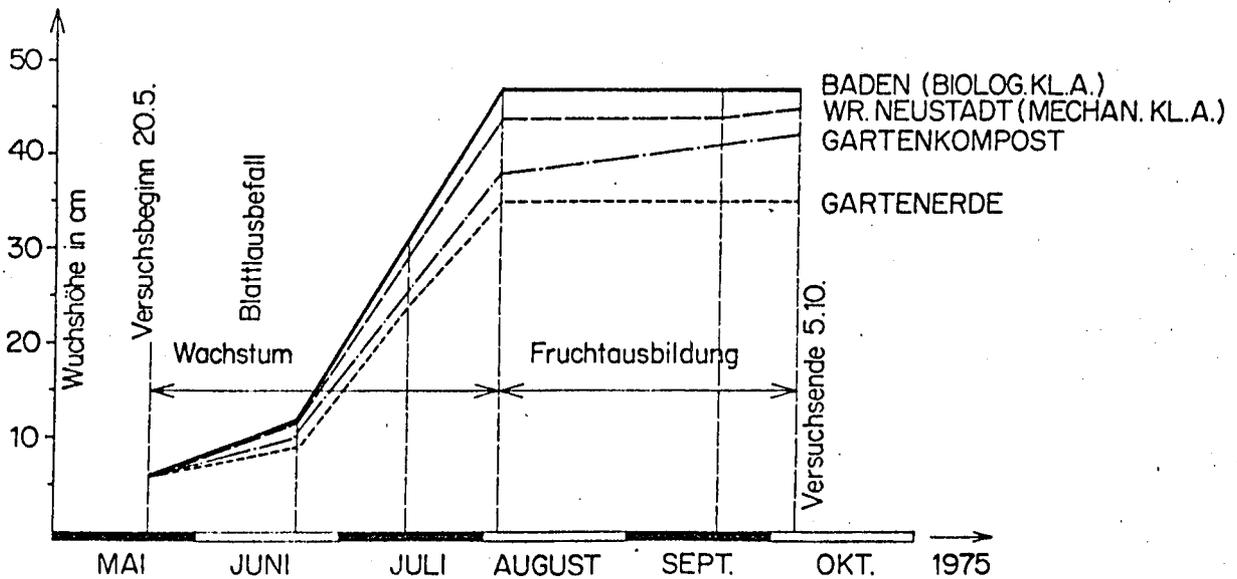


ABB.2: Topfversuche mit Pfefferonipflanzen.

	Wiener Neustadt	Stockerau	Garten- kompost
Wasser H <sub>2</sub> O, %.....	35,63	43,20	39,89
Trockensubstanz, %.....	64,37	56,80	60,11
Asche, %.....	83,21	84,33	86,13
Organischer Anteil, %.....	16,79	15,67	13,87
Gesamt - Stickstoff N, %.....	0,87	0,67	0,58
Ammoniak - Stickstoff NH <sub>3</sub> -N, %..	0,11	0,16	0,17
Gesamt - Phosphorsäure P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % ...	0,64	1,57	0,83
Gesamt - Kali K <sub>2</sub> O, %.....	0,36	0,32	0,60
Kalk CaO, % .....	9,57	9,12	7,45
Magnesium MgO, % .....	2,35	2,13	0,80
Natrium Na <sub>2</sub> O, %.....	0,03	0,03	0,04
Kupfer Cu, ppm .....	272	187	92
Mangan Mn, ppm .....	567	301	1.339
Eisen Fe, ppm .....	18.177	16.198	16.637
Zink Zn, ppm .....	761	1.004	250
Kobalt Co, ppm .....	8,23	6,16	7,49
Molybdän Mo, ppm .....	1,86	4,23	3,99
Blei Pb, ppm .....	14,8	24,7	7,5
Cadmium Cd, ppm .....	4,7	4,4	2,5
Chrom Cr, ppm .....	76	42	47
Nickel Ni, ppm .....	157	178	146
pH.....(in H <sub>2</sub> O) .....	7,76	6,94	8,13
spezif. Leitfähigkeit, Ω <sup>-1</sup> /cm	3,20.10 <sup>-4</sup>	17,60.10 <sup>-4</sup>	3,06.10 <sup>-4</sup>

Tabelle 3 : Analysen von Schlamm- und Gartenkompost.

Bedeutende Unterschiede in der Größe, Beblätterung, Ausbildung des Wurzelballens und auch in Größe und Reifegrad der Früchte waren besonders anfangs Oktober 1975 bei Ende des Versuchs festzustellen.

Um für den Pflanzenbau zuverlässigere Ergebnisse zu erreichen, sind Feldversuche in Großenzersdorf gemeinsam mit dem Institut für landwirtschaftlichen Wasserbau an der Universität für Bodenkultur in Wien vorgesehen.

Zur Prüfung auf etwaige schädliche Stoffe wurden im Herbst 1975 nochmals Analysen der Schlammkomposte Wiener Neustadt und Stockerau, zum Vergleich auch des Gartenkompostes, unter Einschluß der Schwermetalle durchgeführt (Tabelle 3).

Die genauere Beurteilung der festgestellten Untersuchungswerte bleibt dem landwirtschaftlichen Fachmann überlassen. Dennoch seien hier einige unbefangene Bemerkungen gestattet.

Der Anteil an Schwermetallen ist i.a. wesentlich niedriger als vergleichbare Werte in der Literatur, mit Ausnahme von Nickel; dieses ist aber erstaunlicherweise im gleichen Ausmaß im Gartenkompost vorhanden. Im Hinblick auf die erwähnte Zusammensetzung des Gartenkomposts kann man diesen Nickelgehalt kaum als schädlich bezeichnen, es sei denn, unsere ganze Umgebung ist nickelverseucht. Auch der hohe Mangangehalt im Gartenkompost berührt seltsam. Der Bleigehalt liegt auch in den Schlamm - Komposten weit unter den sonst meist in Klärschlämmen festgestellten Werten, was wohl auf die weitgehende Aufbereitung zurückzuführen ist.

Bei der Beurteilung von ausgereiftem Klärschlamm - Kompost ist zu beachten, daß bei seiner Anwendung im Pflanzenbau ähnlich wie bei Stallmistdüngung nicht nur die enthaltenen Nährstoffe, sondern auch die vermehrte  $\text{CO}_2$  - Produktion durch Anregung der Mikroflora im Boden bedeutsam sind (4).

Es wird sich lohnen, all diese Fragen weiterhin ernsthaft zu erforschen. Dabei sollte man nie nur das eigene, enge Fachgebiet, sondern immer auch die großen Zusammenhänge beachten. Vielleicht wird man dann z.B. in der Frage der Schwer-

metalle den Hebel vorrangig bei der für uns bedrohlichen Luftverschmutzung ansetzen (5).

### 3. Technische Anwendung.

#### 3.1. Kompostierung in Mieten.

Die technische Anwendung setzt voraus, daß aufwendige händische Arbeiten vermieden werden. Im Zuge der geschilderten Versuche ließ der Verfasser im Herbst 1974 auf der Kläranlage Stockerau in einem der beiden Schlammteiche den stichfest abgetrockneten Schlamm mit einer kleinen Raupe auf Haufen zusammenschieben, und zwar gemeinsam mit dem reichlichen Pflanzenbewuchs (vor allem Tomaten) und dem abgefallenen Laub, das früher stets verbrannt wurde. Ein Jahr später wurde der fertige Kompost gleichfalls maschinell verladen und zur Verwendungsstelle abgefahren. - Damit ist schon eine recht einfache Art der Kompostierung, gleich im Schlammteich, beschrieben.

Nun ist aber eine Voraussetzung für eine Kompostierung von Schlamm in Mieten, daß er genügend abgetrocknet ist. Wie allgemein bekannt, gibt es gerade in dieser Hinsicht die größten Schwierigkeiten. Es ist daher notwendig, der Bemessung und Ausbildung von Schlammteichen, -trockenbeeten und maschinellen Schlammmentwässerungsanlagen erhöhtes Augenmerk zu schenken.

Für die Wahl des Trocknungsverfahrens kann man sich etwa folgende Richtlinien vorstellen:

a) Größere Kläranlagen in niederschlagsreichen Gebieten ... maschinelle Schlammmentwässerung.

b) Größere Kläranlagen in Gebieten mit mäßigem Niederschlag ... entsprechend ausgebildete Schlammteiche oder maschinelle Schlammmentwässerung.

c) Kleinere Kläranlagen ... Schlamm-trockenbeete, -teiche oder gemeinsame maschinelle Entwässerungsanlagen für mehrere Klärwerke (fahrbar, werden periodisch auf den einzelnen Kläranlagen eingesetzt, wo daher Zwischenbehälter erforderlich sind).

Nachteilig ist bei der maschinellen Schlamm entwässerung im Hinblick auf die Wiederverwertung möglicherweise die Zugabe von Chemikalien (Flockungsmitteln). Dies muß noch geprüft werden. Zur Ausbildung und Bemessung von Schlamm trockenbeeten (-teichen) mit Kompostierung des abgetrockneten Schlammes ist in aller Kürze folgendes festzustellen:

Grundsätzlich sollen die Teiche mit einer Dränage und einer Einrichtung für das Abziehen von Trübwasser hergestellt werden. Letzteres kann z. B. mit regulierbaren Ablaufmönchen erfolgen, besser noch mit Absaugvorrichtungen (Pumpen). Der Naßschlamm soll in den einzelnen Beeten in nicht zu starken Schichten (höchstens 20 cm je Beschickung) eingebracht werden und anschließend möglichst immer wieder aufgerissen, durchpflügt werden, weil ja für die Verdunstung die Oberfläche maßgebend ist. Der abgetrocknete Schlamm wird nun gemeinsam mit Füllstoffen -, wie beschrieben, - jeweils in einem der Teiche zu Mieten aufgesetzt, nach einem halben Jahr umgesetzt und nach einem weiteren halben Jahr abgefahren. All die genannten Arbeitsvorgänge können von zweckmäßig konstruierten Maschinen ausgeführt werden (siehe z.B. Abb.3). Baumäßig ist eine mehrmalige Unterteilung der Schlammteiche notwendig, und zwar bei dem vorhin erwähnten Beschickungs- und Kompostierungsrhythmus in wenigstens sechs Abteilungen.

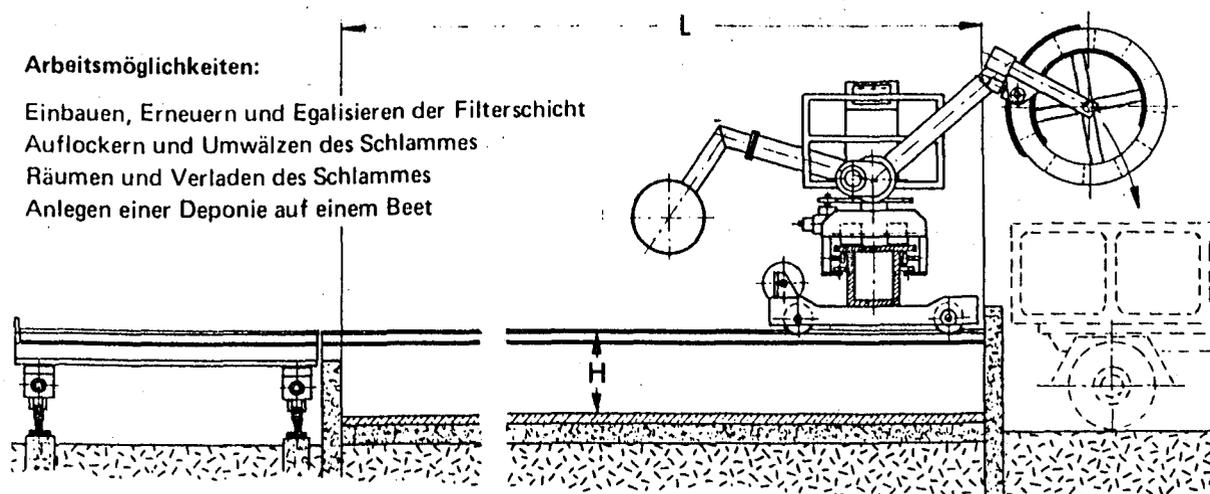


ABB. 3: Trockenbeet - Räumer (UNIMAT)

Zur Bemessung von Schlamm-trockenbeeten mit anschließender Kompostierung werden die von IMHOFF (6) angegebenen Grundwerte herangezogen. Bei einer jährlichen Füllhöhe von 1,2 bis 1,5m mit Naßschlamm gilt demnach ein Platzbedarf bei Belebungsanlagen von  $0,2 \text{ m}^2/\text{E}$  ( $5 \text{ E}/\text{m}^2$ ) für die natürliche Schlamm-trocknung. Kompostiert man nun den getrockneten Schlamm nach dem Schema in Abb.4, so erhält man nach Durchrechnung (mind. 50% Schlammanteil im aufgesetzten Gemisch) unter Berücksichtigung des Umsetzens nach einem halben Jahr und des Abfahrens nach einem Jahr einen Bemessungswert von etwa 7 bis  $8 \text{ E}/\text{m}^2$ . Bei entsprechender Beetunterteilung ist dann ein Arbeitsrhythmus möglich, der insgesamt einen Platzbedarf für Schlamm-trocknung und Kompostierung auf einer vollbiologischen Belebungsanlage von

$0,3 \text{ m}^2$  je Einwohner

ergibt. Selbstverständlich muß dieser vorgeschlagene Bemessungswert noch in der Praxis überprüft werden. Will man Kompost länger als ein Jahr lagern, sind zusätzliche Flächen nötig.

Kompostiert man maschinell entwässerten Schlamm, erscheint eine Fläche von  $0,2 \text{ m}^2/\text{E}$  ausreichend, worin dann auch Reserven für fallweise Schlamm-trocknung bei Ausfall der Maschine berücksichtigt sind.

### 3.2. Kompostierung in geschlossenen Behältern.

Von den bereits vorhandenen Verfahren sei hier als Beispiel kurz der "Bioreaktor" der Biologischen Abfallverwertung - Ges.m.b.H. & Co. (BAV) erwähnt. Der in der Kläranlage anfallende Schlamm muß zunächst maschinell entwässert werden. Dann wird er, bei der ersten Beschickung, mit dem erforderlichen organischen Kohlenstoffträger wie Torf, Sägemehl, gehäckseltem Stroh oder Braunkohle, im Verhältnis 1:1 vermischt. Sobald das Verfahren voll in Betrieb ist, kann der Anteil von neu zugesetzten Kohlenstoffträgern auf 10 % herabgesetzt werden, wenn dafür 40 % verrottetes Rücklaufgut verwendet wird (siehe Abb.5).

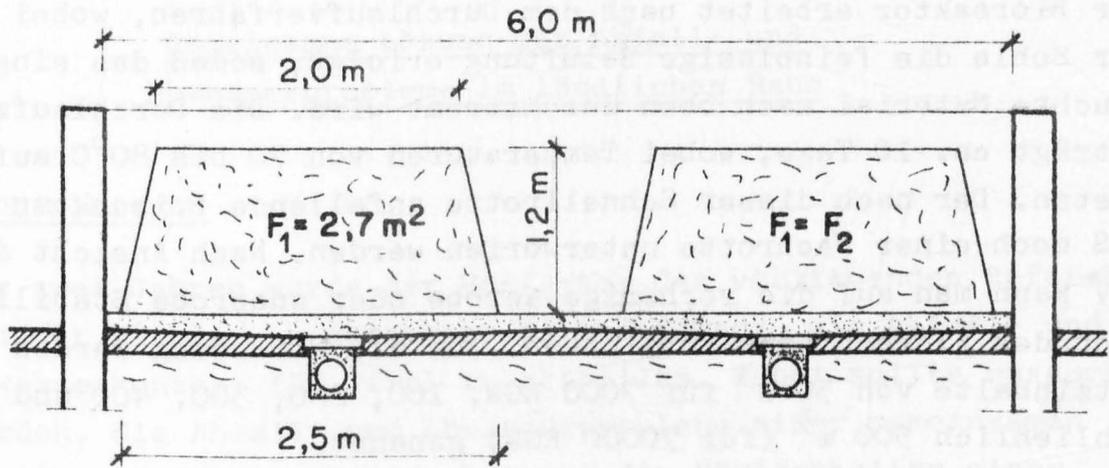


ABB. 4: KOMPOSTIERUNG IM SCHLAMMTEICH.

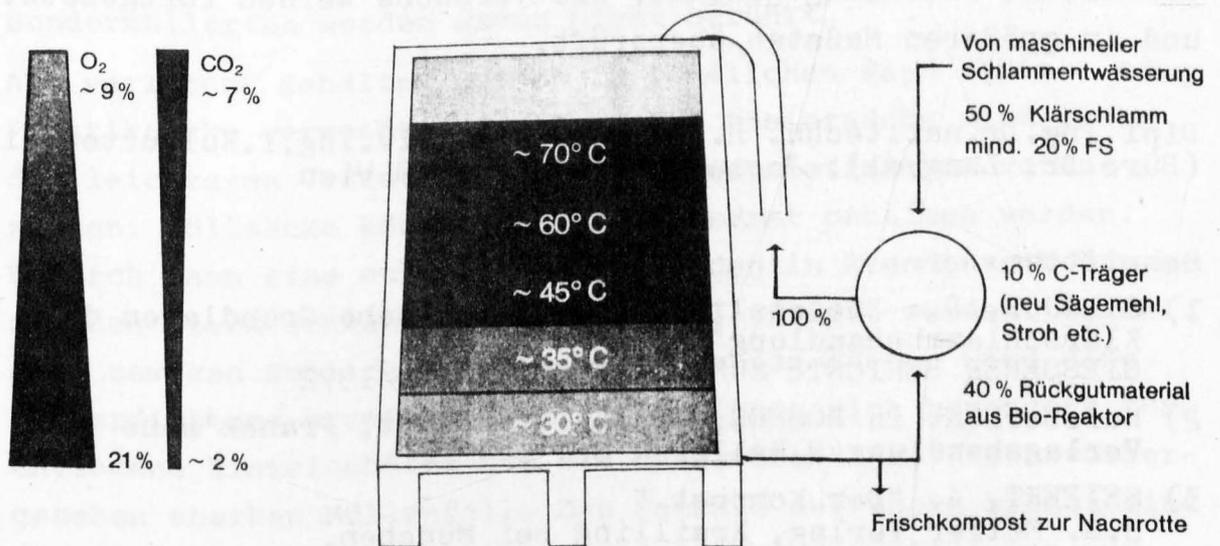


ABB. 5: Klärschlamm - Verrottung BAV, Schema

Der Bioreaktor arbeitet nach dem Durchlaufverfahren, wobei an der Sohle die feinblasige Belüftung erfolgt, sodaß das eingebrachte Material nach oben durchströmt wird. Die Durchlaufzeit beträgt ca. 10 Tage, wobei Temperaturen von 70 bis 80°C auftreten. Der nach dieser Schnellrotte anfallende Frischkompost muß noch einer Nachrotte unterworfen werden. Nach Ansicht der BAV kann man auf die vorherige aerobe oder anaerobe Stabilisation des Klärschlammes verzichten. Für die Bemessung werden Nutzinhalte von 50 m<sup>3</sup> für 7000 EGW, 100, 200, 300, 400 und schließlich 500 m<sup>3</sup> (für 70000 EGW) genannt.

#### 4. Zusammenfassung.

Zur Verwertung des auf den Kläranlagen anfallenden Schlammes kann auch die Kompostierung wesentlich beitragen, wobei ein weitgehend aufbereitetes, hygienisch einwandfreies Produkt erreichbar ist. Im vorliegenden Bericht sind Grundlagen für die Kompostierung von Klärschlamm mit verschiedenen Beimischungen, außer mit Müll, angegeben und auch Bemessungswerte für die praktische Anwendung genannt. Die Versuche werden fortgesetzt und im größeren Maßstab überprüft.

Dipl.Ing.Dr.nat.techn. H. E. Kurzweil, Ziv.Ing.f.Kulturtechnik  
(Büro Dr. Lengyel), Jacquingasse 13, 1030 Wien

#### Schrifttum:

- 1) STRAUCH, D.: "Gesetzliche und hygienische Grundlagen der Klärschlammbehandlung".  
GIESSENER BERICHTE ZUM UMWELTSCHUTZ, 1/1972
- 2) Kurzbericht in KOSMOS, 12/75. Stuttgart, Franck'sche Verlagshandlung W.Keller & Co.
- 3) SEIFERT, A. "Der Kompost."  
H.G. Müller Verlag, Krailling bei München.
- 4) STRASBURGER, "Lehrbuch der Botanik", 30. Aufl. 1971,  
S 246. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- 5) "Ergebnisse der Umwelterhebung 1973", Stadt Wien (MA.22),  
in Zusammenarbeit mit dem Wiener Institut f.Standortplanung
- 6) IMHOFF, Karl und Klaus R., "Taschenbuch d. Stadtentwässerung"  
23. Auflage, R. Oldenbourg Verlag - München, Wien 1972.

Kurt Ingerle:

Gemeinsame Lösung der Abfall- und  
Abwasserprobleme im ländlichen Raum

1. Einleitung

Vor zwei Jahren wurde der Verfasser des vorliegenden Referates von der Tiroler Landesregierung beauftragt, ein Abfall- und Abwasserkonzept für Tirol zu erstellen. Dabei sollte versucht werden, die Abfall- und Abwasserprobleme einer gemeinsamen Lösung zuzuführen. Bevor aber auf die Möglichkeiten einer gemeinsamen Lösung eingegangen werden soll, werden die wesentlichsten Gesichtspunkte der Abfall- und Abwasserentsorgung kurz dargelegt.

2. Müllsammlung

In weiterer Folge soll unter der Bezeichnung "Müll" Haus-, Gewerbe- und Sperrmüll verstanden werden. Die verschiedenen Sondermüllarten werden davon nicht berührt.

Als verlorene Behälter werden im ländlichen Raum Papier- oder Plastiksäcke verwendet. Imprägnierte Papiersäcke sind wegen der leichteren Verrottbarkeit den Kunststoffsäcken vorzuziehen. Müllsäcke können leicht in Vorrat gehalten werden. Dadurch kann eine gute Anpassung an den in Fremdenverkehrsgemeinden stark schwankenden Müllanfall erzielt werden. Durch eine gewisse Schichtung des Mülls in den Säcken wird eine Vorverdichtung erreicht. Müllsäcke eignen sich besonders für entlegene Einzelgehöfte und als Reservebehälter für unvorhergesehen starken Müllanfall. Das Sammeln der Säcke bringt eine Zeiteinsparung gegenüber der Entleerung von Mülleimern und Mülltonnen. Besonders im Winter kann das Anfrieren des Mülls an die Gefäße Schwierigkeiten bereiten. Den Mehrkosten der Säcke steht demnach ein gewisser Vorteil bei der Sammlung gegenüber.

Als Umleerbehälter stehen Mülleimer, Mülltonnen und Müllgroßbehälter zur Verfügung.

Der Mülleimer muß vom Benutzer zur Entleerung auf die Straße gestellt werden. Dieses System ist sehr wirtschaftlich, da zur Entleerung zwei Lader ausreichen.

Die Entleerungskosten der Mülltonnen, die vom Ladepersonal vom Standplatz zur Entleerung auf die Straße und nach der Entleerung wieder zurücktransportiert werden müssen, liegen wegen des erforderlichen Personals, meist vier Lader, relativ hoch.

Durch die Verwendung von Müllgroßbehältern wird die Sammelzeit der Müllfahrzeuge verringert. Müllgroßbehälter sind deshalb wirtschaftlich und können auch zur Aufnahme von Müllsäcken entlegener Gehöfte eingesetzt werden.

Für den ländlichen Raum eignen sich je nach den vorherrschenden Verhältnissen Müllsäcke, Mülleimer und Müllgroßbehälter. Deshalb sollten die Schüttvorrichtungen der Müllfahrzeuge diese Arten der Müllsammlung ermöglichen.

### 3. Mülltransport

Die Ablagerung des Hausmülls in unmittelbarer Nähe der einzelnen Gemeinden hat zu großen Mißständen geführt. Als Ausweg aus dieser Misere bietet sich die Schaffung von einigen wenigen großen Deponien, verbunden mit größeren Einzugsgebieten, an. Die Größe dieser Mülleinzugsgebiete hängt von den Kosten des Transportes und der Müllbehandlung samt Ablagerung ab. Ein Minimum dieser Kosten ist anzustreben.

Zur Bewältigung des Transportproblems wurden folgende Systeme untersucht:

- Nahtransport von Müllsäcken mit offenen Fahrzeugen
- Mülltransport mit dem zweiachsigen Müllfahrzeug
- Mülltransport mit dem dreiachsigen Müllfahrzeug
- Mülltransport mit Containern
- Umladestationen
- Bahntransport

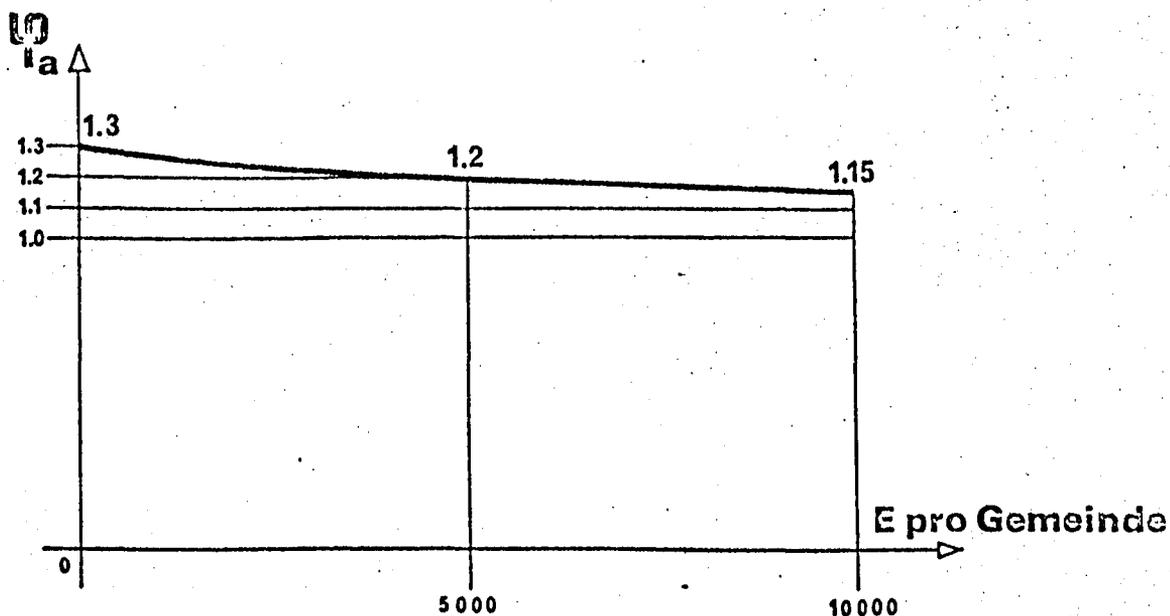
Der Nahtransport von Müllsäcken mit offenen Fahrzeugen ist nur als Übergangslösung bei geringen Transportentfernungen wegen der doch hohen Kosten anzusehen.

Der Mülltransport mit dem zweiachsigen Müllfahrzeug und drei Mann Besatzung ist für die beengten Verkehrsverhältnisse des ländlichen Raumes gut geeignet und stellt bis zu einer Transportweite von 40 km eine sehr wirtschaftliche Lösung dar. Dabei ist auf eine gute Auslastung der Müllfahrzeuge zu achten (10.000 bis 15.000 E). Je nach der Anzahl der möglichen Fahrten pro Tag kann das Entsorgungsgebiet in eine

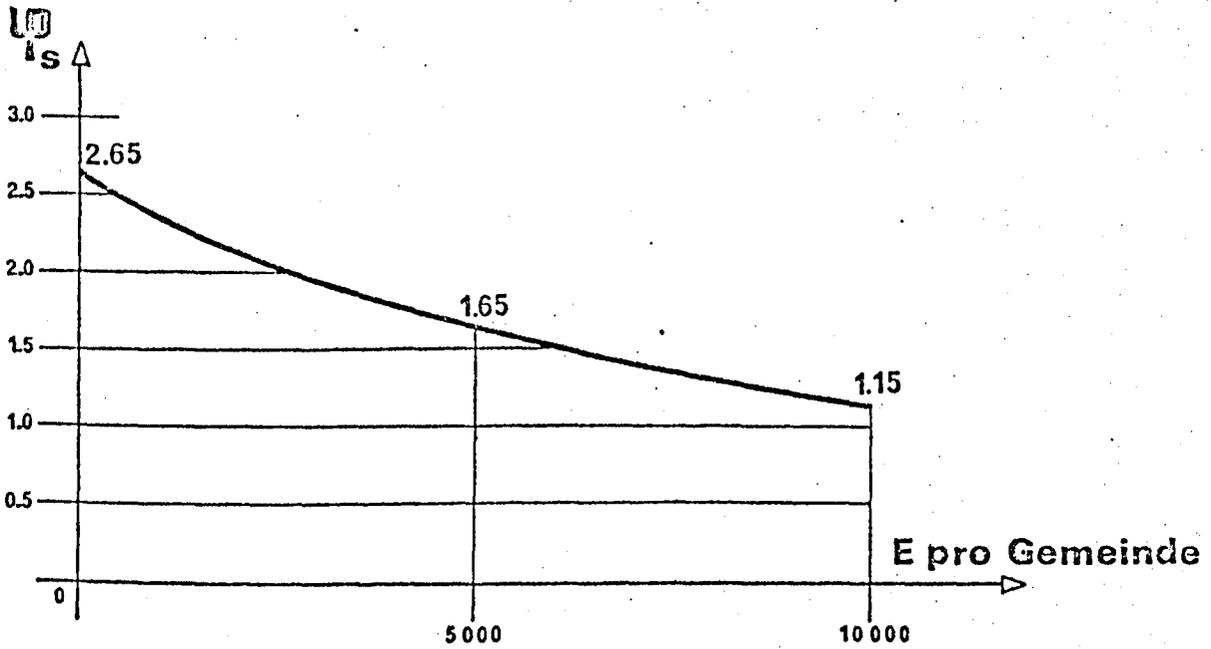
- Dreifahrtenzone (Transportweite bis ca 20 km)
- Zweifahrtenzone (Transportweite bis ca 40 km)
- Einfahrtenzone (Transportweiten über 40 km)

unterteilt werden.

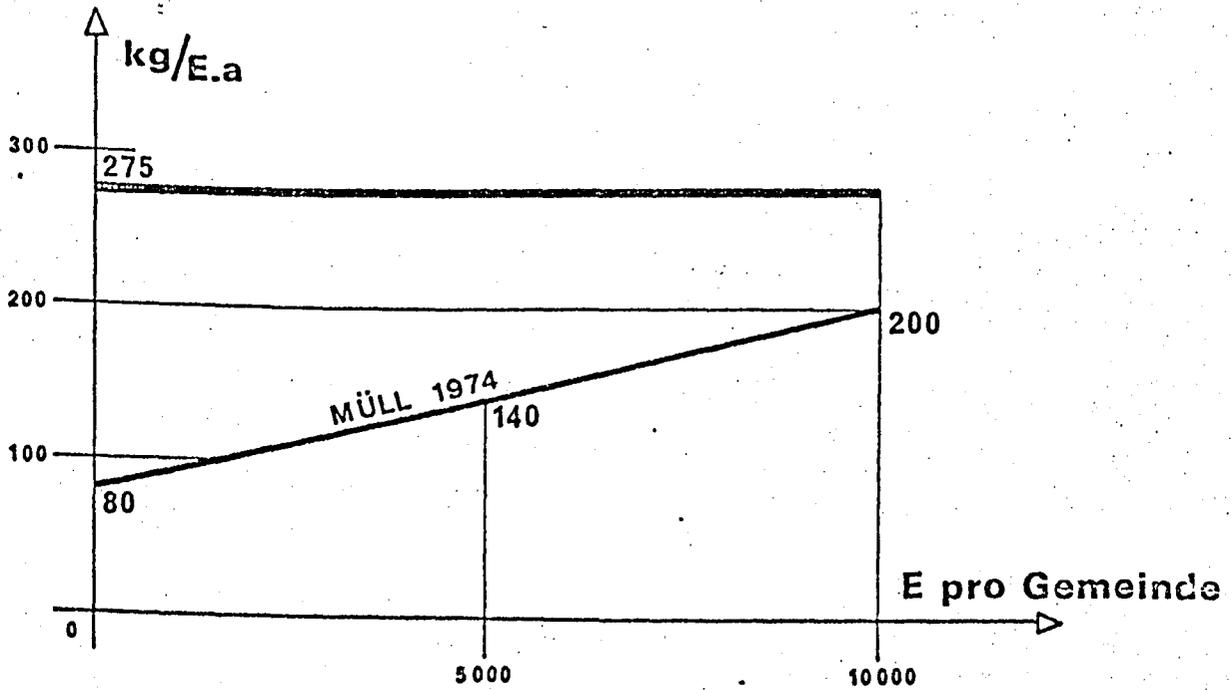
Aus Kostengründen sollten Transportweiten über 40 km weitgehend vermieden werden. Bei der Ermittlung der erforderlichen Müllfahrzeuge ist auf die unterschiedliche Auslastung der Fahrzeuge, die unterschiedliche Sammelzeit und auf den tatsächlichen Müllanfall Rücksicht zu nehmen.



**Auslastungsbeiwert**



**Sammelzeitbeiwert**



**Theoretischer Müllanfall**

Im ländlichen Raum kann mit einem konstanten theoretischen Müllanfall von 275 kg/E·a gerechnet werden. Die Sammelzeit eines Müllfahrzeuges mit einer Nutzlast von 6 t ist dann konstant mit zwei Stunden anzunehmen.

Für größere Transportweiten als 40 km ist bei guten Straßenverhältnissen das dreiachsige Müllfahrzeug dem zweiachsigen überlegen. Es können aber Auslastungsschwierigkeiten auftreten.

Ein Mülltransport mit Containern mit oder ohne Pressvorrichtung erscheint ebenfalls nur für Transportweiten über 40 km sinnvoll. Um ein Containerfahrzeug auszulasten, ist ein Anschluß von mindestens 10.000 Einwohnern erforderlich. Wirtschaftliche Überlegungen, die umständliche Manipulation und die Schwierigkeiten beim Auffinden, Überwachen sowie Reinhalten der Containerstandplätze sprechen gegen dieses Verfahren.

Auch einem Mülltransport mit Umladestationen sollte man eher skeptisch gegenüberstehen. Transportweiten über 40 km und ein Mindestanschluß von 25.000 Einwohnern sind Voraussetzung einer solchen Lösung.

Gegen Umladestationen sprechen:

- Mangelnde Wirtschaftlichkeit
- Hohe Investitionskosten und damit erschwerte Anpassung an sich ändernde Verhältnisse
- Zusätzlicher Flächenbedarf
- Standortsschwierigkeiten

Als Alternative bieten sich kleinere Mülleinzugsgebiete oder der Einsatz von dreiachsigen Müllfahrzeugen an.

Beim Bahntransport müßte der Müll mit zweiachsigen Müllfahrzeugen zu Umladestationen, die in unmittelbarer Bahnnähe zu errichten wären, gebracht werden.

Die Kosten der Umladung und des Bahntransportes, ohne Berücksichtigung der Sammel- und Transportkosten durch die Müllfahrzeuge, betragen mindestens 200.-S/t und liegen bereits in Höhe

der Verarbeitungs- und Deponiekosten des Mülls. Dabei ist ein eventueller Transport von Klärschlamm der Abwassereinigung noch gar nicht berücksichtigt.

Im ländlichen Raum sollte man das zwei- und dreiachsige Müllfahrzeug einsetzen. Nur in Ausnahmefällen ist an Containerstandplätze und Umladestationen zu denken.

Kostenzusammenstellung: S/E.a

System	Transportweiten in km			
	Zone I		Zone II	Zone III
	0 - 5	5 - 20	20 - 40	40 - 70
Nahtransport von Müllsäcken	104,60	-	-	-
Zweiachser	66,60		108,00	174,41
Dreiachser	68,10 *		93,55 *	121,33 *
Container	-		-	219,10 *
Umladestation	-		-	145,95 *

\* Ohne Berücksichtigung von Auslastungs- und Betriebs-schwierigkeiten

Die angeführten Kosten wurden mit einheitlichen Grundwerten ermittelt und dienen in erster Linie dem Vergleich der einzelnen Systeme.

#### 4. Müllbehandlung und Deponie

Derzeit stehen vier Verfahren, zwei thermische und zwei biologische, zur Verfügung. Je nach Sauerstoffzufuhr unterscheidet man:

	thermische Verfahren	biologische Verfahren
mit O <sub>2</sub>	Müllverbrennung	Müllverrottung
ohne O <sub>2</sub>	Müllvergasung	Müllfaulung

Die Müllwiederverwertung - Recycling - kann nicht als eigenes Verfahren angesehen werden. Selbstverständlich wird man versuchen, alle Möglichkeiten einer sinnvollen und wirtschaftlichen Müllwiederverwertung zu ergreifen. Eine Müllexplosion kann dadurch in den nächsten Jahren verhindert werden. Eine Lösung des Müllproblems ist aber auf diese Weise keineswegs zu erwarten.

Alle Verfahren beeinflussen mehr oder weniger die Umwelt. Der Umstand, daß der Müll aus einem großen Einzugsgebiet an einem Ort behandelt und abgelagert werden muß, zwingt zu einer sorgfältigen Planung. Keineswegs darf die Wirtschaftlichkeit allein ausschlaggebend sein. Wenn eine Gemeinde den Abfall eines ganzen Bezirkes oder eines noch größeren Gebietes aufnehmen soll, kann diese sehr wohl verlangen, daß die Umweltbelastungen möglichst klein gehalten werden.

Bei allen Verfahren werden Deponieflächen benötigt. Das erforderliche Deponievolumen, die zu erwartenden Sickerwässer, die Rekultivierungsmöglichkeiten und die auftretenden Umweltbelastungen durch Staub, Papierflug, Geruch und Ungeziefer werden allerdings stark von der Art des Verfahrens abhängen.

## Thermische Verfahren

Die thermischen Verfahren erfordern das geringste Deponievolumen. Die bei der Ablagerung der Schlacke auftretenden Sickerwässer sind aber keinesfalls ungefährlich.

Nicht selten kann im Deponiebereich Grundwasser mit einem pH-Wert größer als 11 angetroffen werden. Auch die Reinigung der Abgase bereitet Schwierigkeiten.

Die thermischen Verfahren sind sicher die teuersten. Als Mindestanschlußwert können ca. 250.000 Einwohner angesehen werden. Schon deshalb scheinen diese Verfahren für den ländlichen Raum weniger geeignet zu sein.

## Müllfaulung (geordnete Deponie)

In der geordneten Deponie findet hauptsächlich die Müllfaulung, ein anaerober biologischer Vorgang statt.

Der Müll wird so, wie er angeliefert wird, abgelagert, verdichtet und täglich mit inertem Material abgedeckt. Durch das Fehlen einer entsprechenden Mischung, Zerkleinerung und Befeuchtung wird ein Teil des Mülls auf viele Jahre konserviert, der andere dagegen beginnt unmittelbar nach der Ablagerung wegen des Fehlens von Luftsauerstoff zu faulen.

Mit Sickerwasseranfall muß deshalb von Beginn der Ablagerungen gerechnet werden. Am größten ist der Sickerwasseranfall in der Regel vor Schließen einer geordneten Deponie. Sehr oft wird übersehen, daß noch Jahrzehnte nach Ablagern des letzten Mülls Sickerwässer anfallen, die die Umwelt belasten und Kosten verursachen.

Der Haus- und Gewerbemüll enthält ca. fünfmal so viel organische Substanz je Einwohner als das Abwasser. Diese faulfähige organische Substanz einer unregelmäßigen Faulung zu überlassen, ist bestimmt bedenklich. Eine geordnete Deponie aber ohne Fassung und Reinigung der Sickerwässer sollte nur in Ausnahmefällen in Erwägung gezogen werden.

Als weitere Nachteile der Müllfaulung sind anzusehen:

- Methangase und starke unregelmäßige Setzungen erschweren die Rekultivierung von geordneten Deponien. Eine Wiederverwendung des Mülls scheidet aus.
- Durch die geringe Verdichtungsmöglichkeit und durch das benötigte inerte Abdeckmaterial ist relativ viel Deponievolumen erforderlich. Die Betriebsdauer einer Verdichtungsdeponie ist deshalb nur halb so lang wie die einer Rottedeponie.
- Das Abkippen des Mülls erfolgt im Freien. Staubentwicklung und Papierflug, besonders bei starkem Wind, ist deshalb kaum zu verhindern.
- Das Unterbringen von Klärschlamm bereitet große Schwierigkeiten.

### Müllverrottung

Die Müllverrottung ist ein aerober Vorgang.

Der Müll wird zerkleinert, gemischt und gleichmäßig befeuchtet. Besonders wichtig ist einerseits eine möglichst feine Zerteilung bzw. Zerstäubung der organischen Substanz, andererseits soll das inerte Material als Träger-substanz der Rotte nicht zu stark zerkleinert werden, damit die Luftdurchlässigkeit der Mieten erhalten bleibt. Durch Ausscheidungen von Pilzen und durch eine Temperatur um 60°C wird der Müll innerhalb von einigen Wochen hygienisiert. Nach ca. 6 Monaten Rottezeit ist eine weitgehende Mineralisierung eingetreten.

Zur Befeuchtung des Mülls kann auch Klärschlamm verwendet werden, wodurch das C/N-Verhältnis positiv beeinflusst wird. Frischschlamm eignet sich ebenso wie Faulschlamm. Der Wassergehalt des zu verrottenden Materials sollte ungefähr 50% betragen.

Die Verrottung erfolgt auf eigenen Mietenplätzen. Anfallendes Sicker- und Niederschlagswasser wird gesammelt

und im Kreislauf zur Befeuchtung des Mülls herangezogen. Die Mietenform hängt von der Art der Zerkleinerung ab. Ein grobes Material läßt eine größere Mietenhöhe zu als ein feines.

In Sonderfällen kann der Müll direkt auf der Deponie oder aber auch in Behältern verrottet werden.

Größte Bedeutung muß aber der Frage der Unterbringung des verrotteten Mülls - des Rohkompostes - zugemessen werden. Die einfachste und billigste Methode ist die Ablagerung, Grubenauffüllung oder Bodenanhebung. Eine weitere Aufbereitung des Rohkompostes erübrigt sich in diesem Falle. Größere Setzungen sind durch das schon hohe spezifische Gewicht des Rohkompostes nicht zu erwarten. Eine Rekultivierung der Deponieflächen ist leicht möglich und eine spätere Feinkomposterzeugung jederzeit durchführbar.

Durch die Verrottung werden die organischen Substanzen abgebaut und durch chemische Reaktionen erfolgt eine weitgehende Bindung der für das Grundwasser schädlichen Stoffe. Die während der Verrottung am Mietenplatz anfallenden Sickerwässer gelangen durch die Kreislauf-führung nicht in den Untergrund und stellen deshalb keine Gefahr für das Grundwasser dar.

Inwieweit dennoch das Grundwasser durch den Rohkompost beeinträchtigt werden könnte, wird derzeit in der Rotte-anlage in Pill/Tirol untersucht. Als Zwischenergebnis steht bereits fest, daß das aus dem Rohkompost aus-tretende Sickerwasser mit dem Sickerwasser aus einer Fauldeponie nicht verglichen werden kann. Dennoch sollte das weit weniger gefährliche Sickerwasser der Kompost-deponie nicht völlig außer acht gelassen werden. Kompostablagerungen im unmittelbaren Einzugsgebiet von Trinkwasserversorgungen sind auf keinen Fall zulässig.

Einer jeden Ablagerung sollte eine hydrologische Untersuchung des betroffenen Gebietes vorausgehen.

Durch eine Grobabsiebung z.B. mit Hilfe eines Trommelsiebes entsteht ein Material, das sich für die Begrünung von Straßenböschungen, Ödlandkultivierungen etc. eignet.

Eine echte Feinkomposterzeugung wird man nur ins Auge fassen, wenn die Absatzmöglichkeiten gegeben sind. Wirtschaftliche Überlegungen stehen da im Vordergrund. Die Feinkomposterzeugung ist nur eine der vielen Varianten der Müllverrottung.

#### 5. Größe der Mülleinzugsgebiete

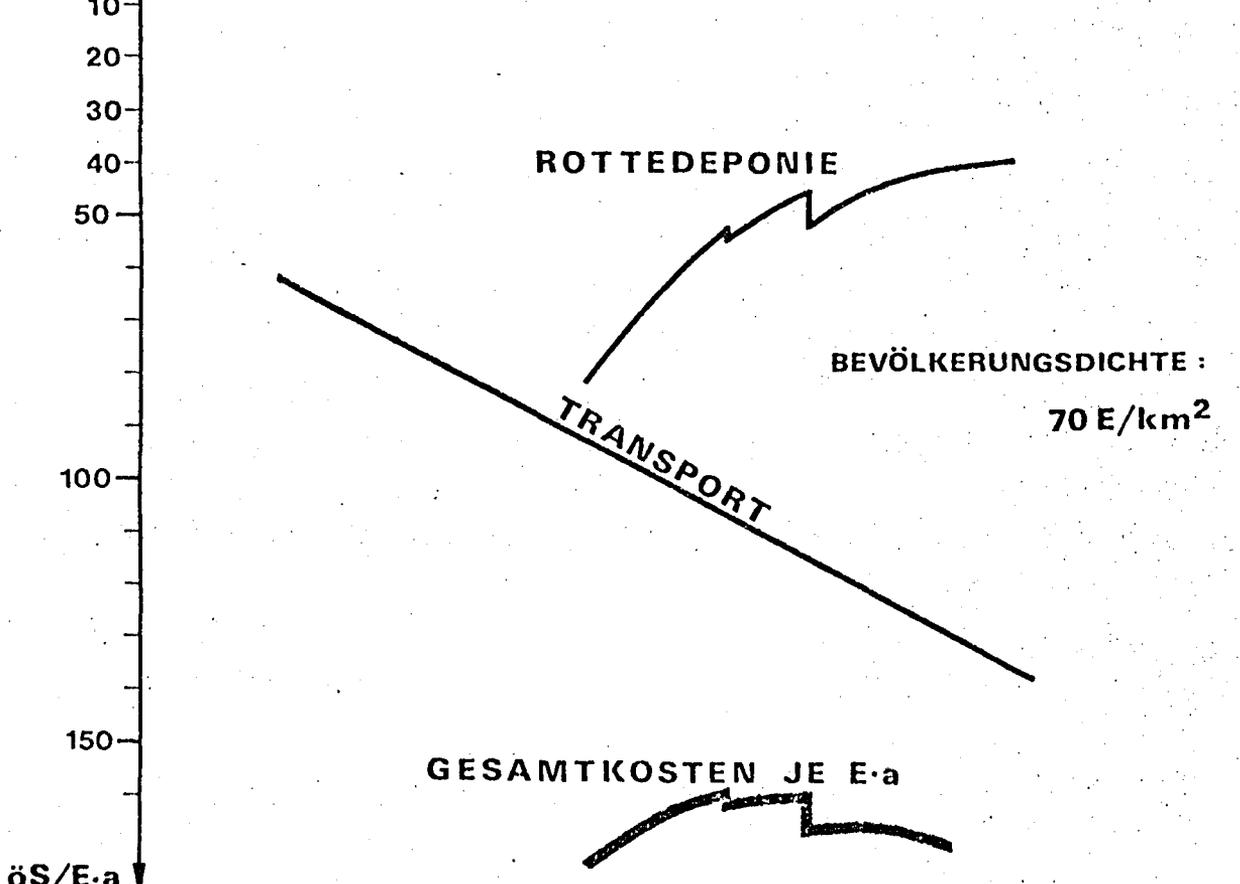
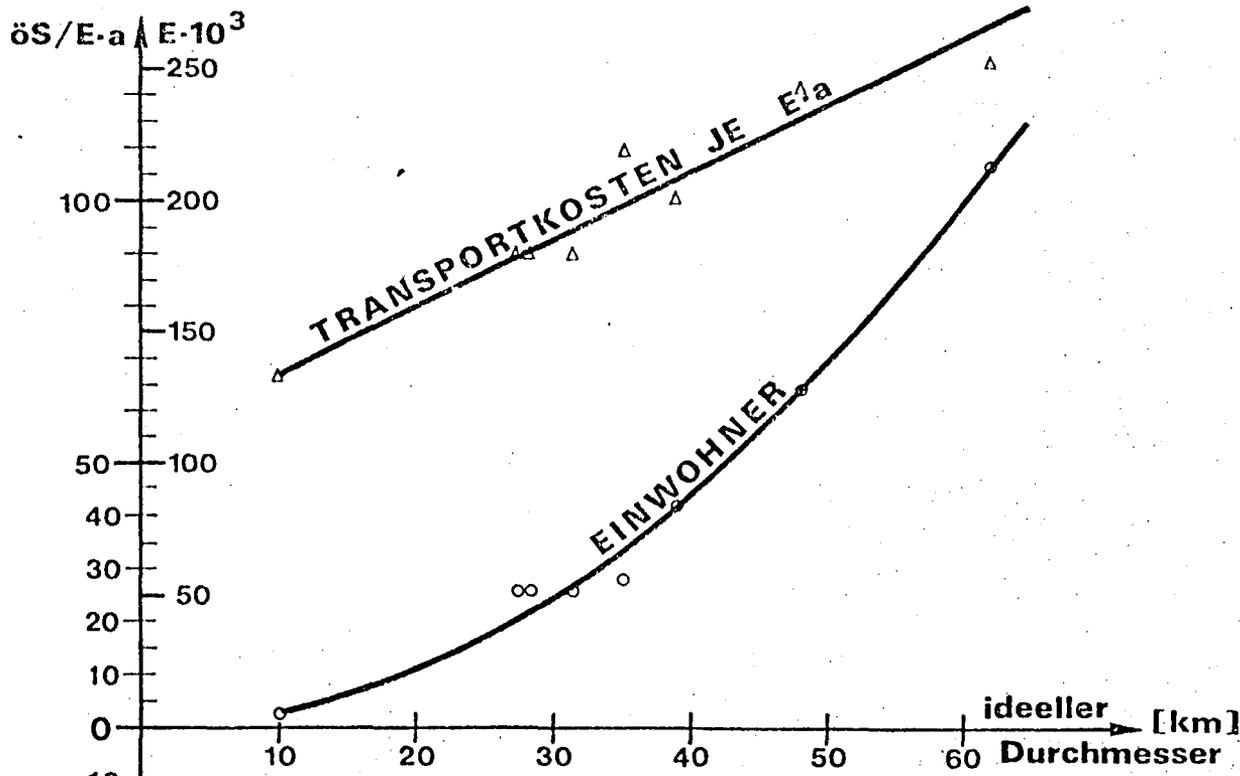
Die Größe der Mülleinzugsgebiete ist so zu wählen, daß die Kosten der Sammlung und des Transportes sowie der Behandlung und Ablagerung so gering als möglich werden. Als geeignetstes Verfahren wird die Müllverrottung und Ablagerung des Rohkompostes den Ermittlungen zugrunde gelegt. Eine Komposterzeugung ist jederzeit möglich und ist nur bei einem wirtschaftlichen Absatz des Kompostes in Erwägung zu ziehen.

Einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Wahl der Mülleinzugsgebiete haben auch politische Bezirksgrenzen und vorhandene Standorte für Rotteanlagen.

Da die geordnete Deponie nicht viel billiger als die Müllverrottung zu stehen kommt, wird sich die Größe der Müllbezirke bei Verwendung dieses Verfahrens nicht ändern. Die Anwendung der thermischen Verfahren dagegen würde zu größeren Müllbezirken führen.

#### Untersuchung Mühlviertel

Für das Mühlviertel wurden im Zuge der Erstellung eines Abfallkonzeptes für das Land Oberösterreich, ein Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, Hydrographischer Dienst, die folgenden drei Varianten der Gebiets-einteilung untersucht:



**GESAMTKOSTEN DER MÜLLBEHANDLUNG IM MÜHLVIERTEL**

- Eine bezirksweise Entsorgung: die Bezirksgrenzen von Rohrbach, Urfahr, Freistadt und Perg sind auch die Grenzen der Mülleinzugsgebiete
- Eine Zweiteilung des Mühlviertels
- Eine zentrale Müllverrottungsanlage für das gesamte Mühlviertel

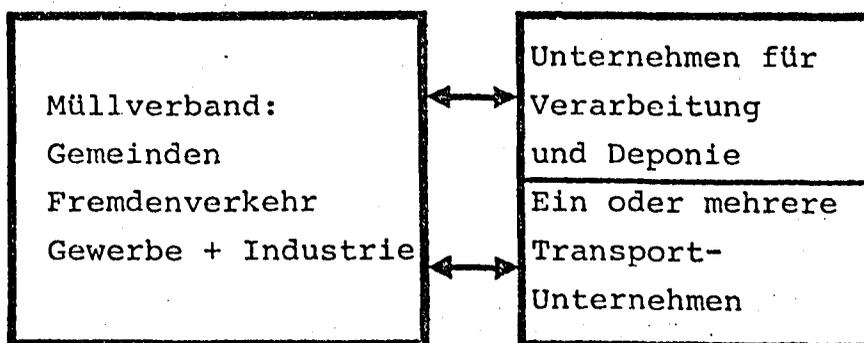
Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der vorhergehenden Abbildung dargestellt.

Als wirtschaftlichste Lösung kann bei einer Bevölkerungsdichte von ca. 70 Einwohner/km<sup>2</sup> ein ideeller Durchmesser des Einzugsgebietes von ca. 45 km angenommen werden. Die Fläche des Einzugsgebietes ist dabei auf eine gleich große ideelle Kreisfläche umzurechnen.

## 6. Müllverbände

Das Mülleinzugsgebiet stellt eine Einheit dar und muß einheitlich vertreten werden. Es ist undenkbar, daß jede Gemeinde mit dem Transport- und Verarbeitungsunternehmen separate Abmachungen trifft. Die vernünftigste Lösung liegt in der Gründung von Müllverbänden. In diesen Verbänden werden die Interessen der Gemeinden, der Industrie und des Fremdenverkehrs wahrgenommen. In einem Einzugsgebiet ist mit ca. 30 bis 40 Gemeinden zu rechnen.

### Organisationsschema:



Die wesentlichsten Aufgaben der Müllverbände sind:

- Aufstellung einer Geschäftsordnung
- Festlegen des Mülltransportes (System)  
Anzahl der Müllfahrzeuge etc.
- Festlegung der Müllbehandlung, Standortwahl
- Kauf bzw. Pachtverträge mit den Grundbesitzern  
des geplanten Standortes
- Ausschreibung und Vergabe des Mülltransportes
- Ausschreibung und Vergabe der Müllbehandlung  
und Deponie
- Überwachung
- Abrechnung
- Öffentlichkeitsarbeit: sparsamer Umgang mit  
Rohstoffen wie z.B. Papier, Glas, etc.

Schon allein aus der kurzgefassten Aufzählung der Aufgaben der Müllverbände kann ersehen werden, daß das Fehlen solcher Verbände zu einem Chaos in der Müllentsorgung führen muß.

Selbstverständlich sollten auch die Müllsammlung und der Transport den Verbänden überantwortet werden. Ein Müllfahrzeug kann ja im ländlichen Raum meist mehrere Gemeinden entsorgen.

Da die Wahl des Standortes einer zentralen Anlage nach Gesichtspunkten des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit erfolgt, ist eine gleichmäßige kostenmäßige Belastung der Gemeinden in gesamten Einzugsgebiet gerechtfertigt.

### 7. Klärschlammbehandlung

Im Prinzip wird bei der Abwasserbehandlung das Abwasser in gereinigtes Wasser und Klärschlamm getrennt. Eine Weiterbehandlung des Klärschlammes ist sehr wichtig, da dieser mit Krankheitserregern, toxischen, organischen und anorganischen Stoffen belastet ist.

Folgende Ziele werden dabei verfolgt:

- Abbau der organischen faulfähigen Substanz
- Abtötung der Krankheitserreger
- Landwirtschaftliche Wiederverwendung des Klärschlammes

Wegen der Möglichkeit der gemeinsamen Behandlung von Müll und Klärschlamm sollte im ländlichen Raum eine gemeinsame Planung des Abwasser- Müllproblems erfolgen.

Die Schlammbehandlung kann auf ähnliche Weise wie die Müllbehandlung durchgeführt werden. Man unterscheidet zwischen den thermischen und biologischen Verfahren.

#### Thermische Verfahren

Frischschlamm wird entwässert und anschließend allein oder gemeinsam mit dem Müll verbrannt bzw. vergast. Bei diesem Verfahren tritt der Wassergehalt des Schlammes unangenehm in Erscheinung. Eine entsprechende mechanische Schlamm entwässerung und der Einsatz von Flockungsmitteln ist unerlässlich.

Die thermischen Verfahren - Verbrennung und Vergasung - eignen sich für Großstädte. Im ländlichen Raum kommen sie schon aus wirtschaftlichen Überlegungen kaum in Frage.

#### Schlammfäulung

Die biologische Schlammbehandlung kann auf anaerober oder aerober Basis erfolgen.

Die anaerobe Schlammfäulung in beheizten Faulbehältern ist aus wirtschaftlichen Überlegungen nur für größere Anlagen zu empfehlen. Mit den sich bildenden Faulgasen kann der Faulbehälter auf einer Temperatur von ca. 33°C gehalten, eine Pasteurierungsanlage betrieben und die Betriebsgebäude beheizt werden. Eine darüber hinausgehende Energieerzeugung ist nur bei großen Anlagen sinnvoll.

Die Schlammfäulung in unbeheizten Behältern kann zu Geruchsbelästigung führen und sollte nur bei sehr kleinen Anlagen in Erwägung gezogen werden. Zu dieser Methode zählt auch der Emscher Brunnen.

Durch die Ausfäulung kommt es zu einer Volumsreduzierung des Schlammes und die Entwässerungseigenschaften werden meist günstig beeinflusst.

Über die Notwendigkeit einer Pasteurisierung bei landwirtschaftlicher Nutzung des Schlammes gehen die Meinungen auseinander. Daß ausgefäulter Schlamm nicht frei von Krankheitserregern ist, steht aber fest.

Nach der Ausfäulung des Schlammes kann eine mechanische Entwässerung oder eine Trocknung in Schlammbeeten vorgenommen werden. Aber auch eine flüssige Verwertung des Schlammes ist möglich.

#### Aerobe Stabilisation des Schlammes im belüfteten Becken

Durch längere Belüftung des Belebtschlammes beim Belebungsverfahren bzw. durch Belüftung des Überschussschlammes in eigenen Becken kommt es ebenfalls zu einem Abbau der organischen Substanzen. Dieses Verfahren, das z.B. auch beim Oxydationsgraben angewandt wird, wird bevorzugt bei kleinen Anlagen eingesetzt.

Die Behandlung des Schlammes in eigenen Belüftungsbecken sollte als Übergangslösung in Erwägung gezogen werden, wenn Belebungsbecken zur Verfügung stehen, die erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt werden.

Als Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe Energiebedarf zu nennen.

## Aerobe Verrottung des Schlammes

Die aerobe Verrottung des Schlammes hat gewisse Ähnlichkeit mit dem Tropfkörperverfahren der Abwassertechnik. Der Schlamm überzieht in einer dünnen Schicht ein poröses Trägermaterial. In die Poren des Trägermaterials kann Luftsauerstoff eindringen. Durch den Abbau der energiereichen organischen Substanzen kommt es zu einer Erwärmung bis zu 70°C. Als Trägermaterial kann Torf, Sägemehl, Stroh, Braunkohle und nicht zuletzt entsprechend aufbereiteter Haus- und Gewerbemüll verwendet werden. Die gemeinsame Verrottung von Müll- und Klärschlamm hat gerade im ländlichen Raum besondere Bedeutung.

Durch Ausscheidungen von Pilzen und durch eine Temperatur von 70°C wird das Müll- Klärschlammgemisch innerhalb von einigen Wochen hygienisiert. Nach ca. 6 Monaten Rottezeit ist eine weitgehende Mineralisierung eingetreten.

Durch eine Verrottung des Klärschlammes mit dem Müll wird das Müllproblem nicht zusätzlich verschärft, das Schlammproblem aber gelöst.

Durch die Verrottung von Frischschlamm anstatt Faulschlamm können die Gesamtkosten der Abwasserreinigung wesentlich gesenkt werden.

## 8. Klärschlammtransport

Mit dem Ausbau der Kläranlagen wird das Schlammproblem immer schwieriger zu lösen sein. Klärschlamm, sei es Frisch- oder Faulschlamm, kann gemeinsam mit dem Müll verrottet werden. Deshalb darf der Transport des Schlammes zur Rotteanlage nicht außer acht gelassen werden.

Eine Entwässerung des Schlammes auf ca. 70-80% Wassergehalt verringert die Transportkosten und ermöglicht die Verrottung äquivalenter Schlamm- und Müllmengen. Die mechanische Entwässerung könnte durch eine mobile Schlamm-entwässerungsein-

richtung, die vom Schlammtransportfahrzeug mitgeführt wird, erfolgen. Bei einer Entwässerung auf 75% Wassergehalt fällt gewichtsmäßig ca. halb so viel Schlamm wie Müll an.

Für den Schlammtransport wirken sich geringe Transportweiten sehr positiv aus. Besteht die Möglichkeit, die Rotteanlage in unmittelbare Nähe einer Kläranlage zu stellen, kann der anfallende Frischschlamm direkt in die Rotteanlage gepumpt und so die Kosten des Schlammtransportes eingespart werden.

Bei der Ermittlung der Mülleinzugsgebiete wurde der Klärschlamm nicht berücksichtigt. Eine gemeinsame Verarbeitung von Müll und Klärschlamm würde nur zu einer unwesentlichen Verkleinerung dieser Gebiete führen.

#### 9. Gründung von gemeinsamen Abfall- Abwasserverbänden

Bei der Abfallentsorgung gibt es kaum mehr eine Diskussion über die Notwendigkeit und die Vorteile der Zweckverbände.

Bei der Abwasserreinigung dagegen wird eine großräumige Lösung nur dort angestrebt, wo das Abwasser mehrerer Gemeinden in einer Zentralkläranlage behandelt werden kann. In diesem Fall ist die Bildung eines Abwasserverbandes vorgesehen.

In schwächer besiedelten Gebieten bleiben aber immer mehrere kleine Gemeinden übrig, die wegen der hohen Kosten der erforderlichen Kanäle und der langen Fließzeit des Abwassers nicht an die Zentralanlage angeschlossen werden können. Diese Gemeinden werden derzeit sich selbst überlassen und sind meist nicht in der Lage, das Abwasserproblem zufriedenstellend zu lösen. Das Fehlen von qualifizierten Fachleuten in diesen Gemeinden wirkt sich schon beim Bau und besonders später beim Betrieb der Anlagen aus.

Die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen an kleineren Kläranlagen ließen insbesondere folgende Mängel erkennen:

- Fehler in der konstruktiven Ausgestaltung.
- Falsch verstandene Sparsamkeit durch Weglassung wichtiger Anlageteile.
- Mangelnde Rücksichtnahme auf einen späteren zentralen Betrieb. Zu große Typenvielfalt innerhalb eines kleinen Gebietes und damit nachteilige Auswirkung auf Wartung und Ersatzteilhaltung.
- Mangelnde Bereitschaft zu einem abwassertechnischen Zusammenschluß mit anderen Gemeinden.
- Erschwerte Verwirklichung eines Prioritätenplanes. Abhängigkeit eines Ausbaues vom guten Willen der Gemeinden.
- Äußerst ungerechte Kostenbelastung der Bevölkerung. Gemeinden, die eine Kläranlage bauen, werden durch hohe Abgaben "bestraft", dagegen werden Gemeinden ohne Kläranlagen von Abgaben verschont. Sie sind Nutznießer der flußaufwärts errichteten Anlagen und belasten selbst die Unterlieger.
- Mangelnde Wirtschaftlichkeit, die durch eine großräumige Lösung verbessert werden könnte.
- Die größten Mängel treten aber beim Betrieb dieser Anlagen auf. Das gemeindeeigene Personal ist dabei überfordert. Auch fehlt die richtige Einstellung. Da die Abwasserreinigung meist nicht der betreibenden Gemeinde zugute kommt, sondern den Unterliegern, besteht die Tendenz, die laufenden Betriebskosten "klein zu halten". Notwendige Reparaturen an der Anlage werden nicht oder nur sehr zaghafte durchgeführt.

Diese Nachteile können vermieden werden, wenn auch die Gemeinden mit kleinen Einzelanlagen in größere Abwasserverbände aufgenommen werden. Der Bau und der Betrieb auch dieser Anlagen obliegt dann den Verbänden. Das für die Zentralanlagen erforderliche Personal, die dort vorhandenen Labors, Werkstätten und Fahrzeuge stehen damit auch den Einzelanlagen des Abwasserverbandes zur Verfügung.

Die angestellten Überlegungen führen zu dem naheliegenden Schluß, die Abwasser- und Mülleinzugsgebiete im ländlichen Raum einander anzugleichen und gemeinsame Abwasser- Abfallverbände zu bilden.

Zusätzlich ergeben sich durch die Gründung solcher Verbände folgende Vorteile:

- Vorteile bei der gemeinsamen Verarbeitung von Müll und Klärschlamm.
- Bildung einheitlicher Abwasser- Abfalltarife innerhalb dieser Gebiete.
- Kein sprunghafter Abgabeanstieg. Entsprechend dem zunehmenden Ausbaugrad steigt der Tarif kontinuierlich an. Dabei wird die größte Belastung erst mit dem Vollausbau erreicht. Der andernfalls sprunghafte Anstieg der Abgabenbelastung einer Gemeinde entfällt, da alle Verbandsgemeinden, auch solche , die noch keine Kläranlage besitzen, an den Kosten beteiligt werden.
- Bei den Vertretern der Gemeinden, der Industrie und des Fremdenverkehrs in den Abwasser- und Abfallverbänden handelt es sich meist um dieselbe Personengruppe. Eine Zusammenlegung beider Verbände erspart Zeit und Kosten.

Derzeit sind in Österreich im ländlichen Raum noch wenig kleine Kläranlagen vorhanden. Die Chancen solche großzügige Lösungen auch realisieren zu können, sind deshalb gut. Darüberhinaus bietet sich die Möglichkeit mit der Gründung der Abfallverbände gleichzeitig die Abwasserreinigung in den betreffenden Gebieten einer Lösung zuzuführen.

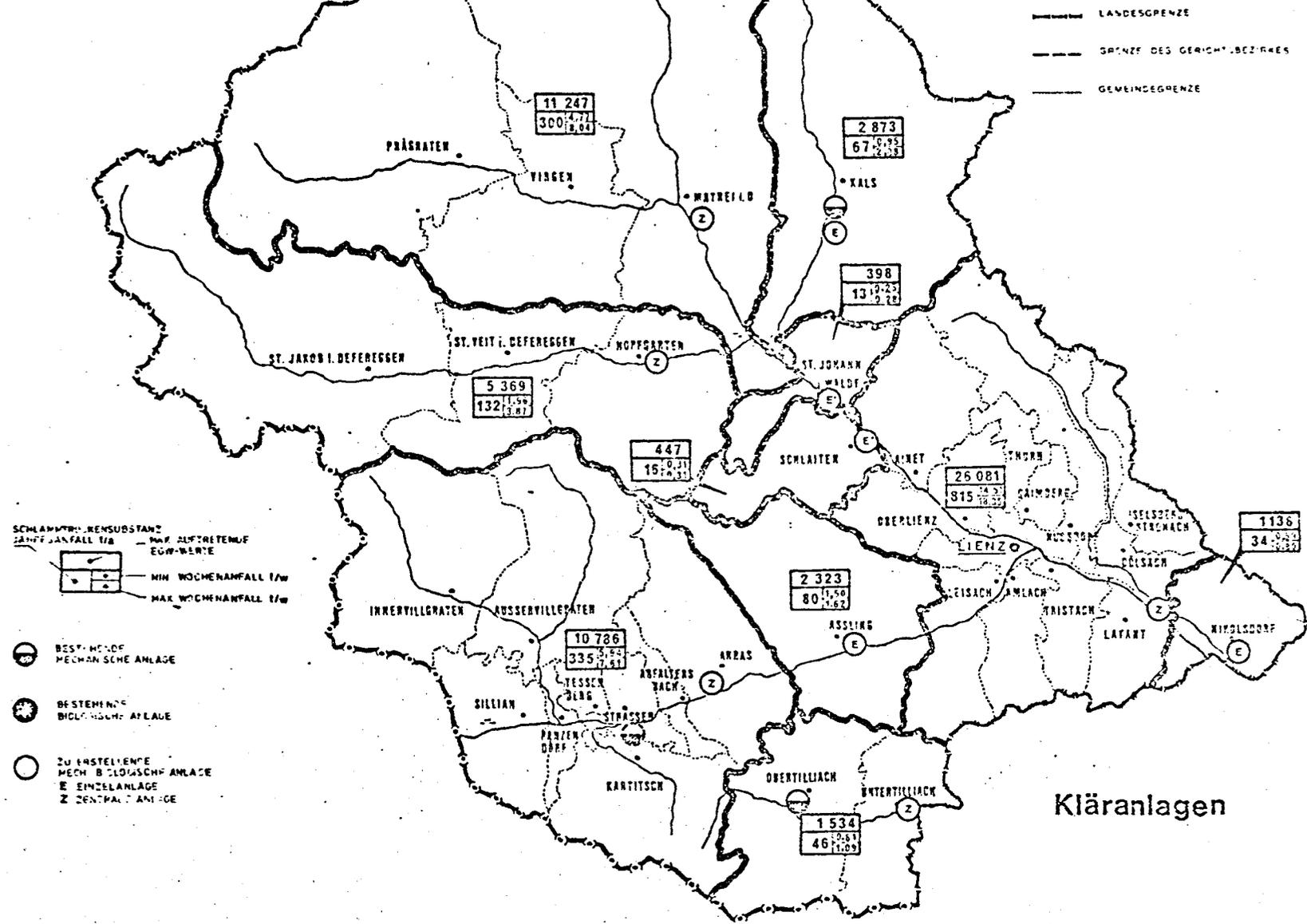
Zusätzlich zu den Aufgaben der Abfallentsorgung hätten dann die erweiterten Abwasser- Abfallverbände alle Belange der Abwasserreinigung, insbesondere Bau und Betrieb der Abwasserreinigungsanlage und überörtlichen Kanäle, sowie die Erstellung der Jahresabrechnung zu übernehmen.

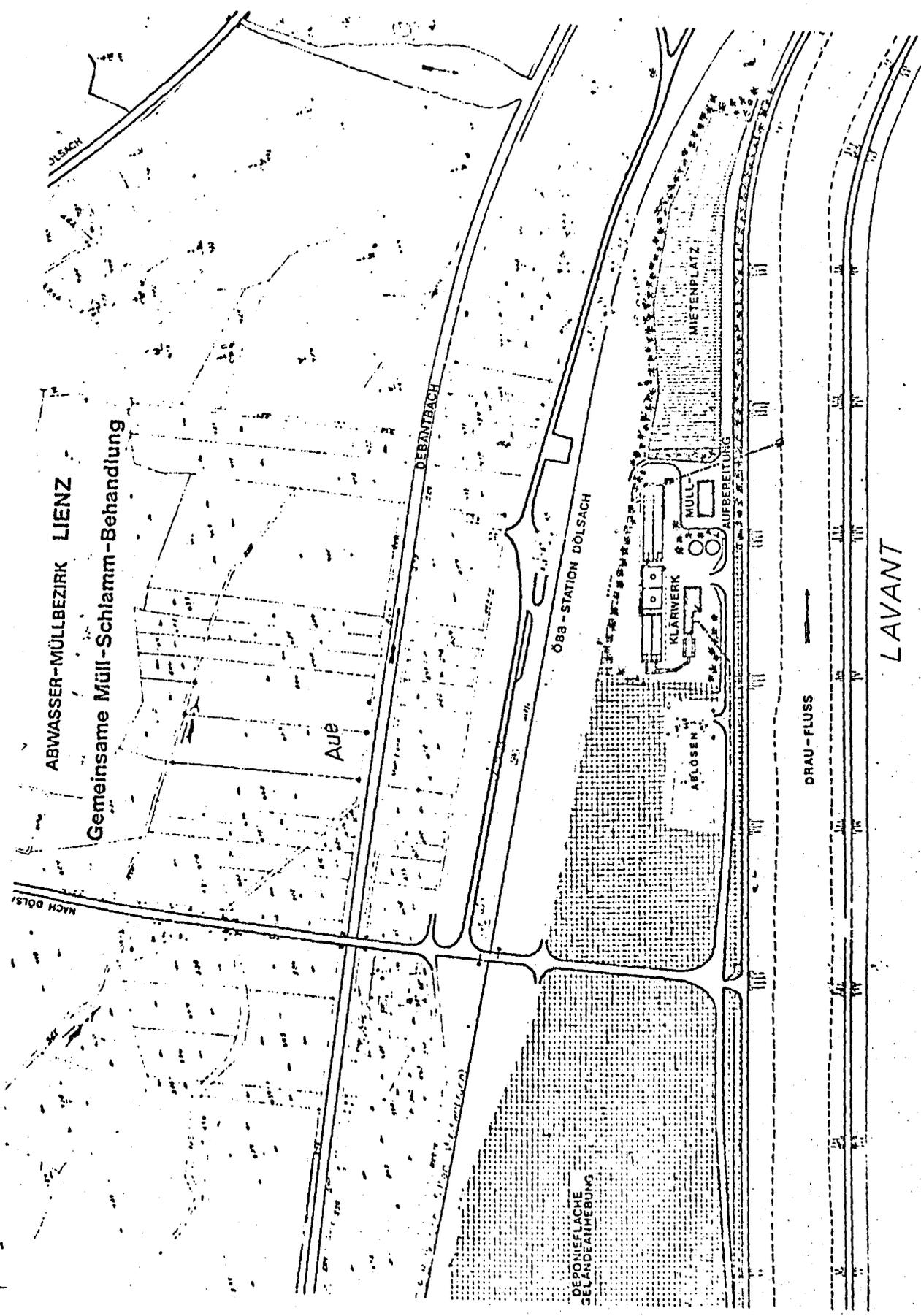
Die folgenden Abbildungen zeigen eine gemeinsame Abwasser- Abfallbehandlung, dargestellt am Beispiel Osttirol.



# ABWASSER- MÜLLBEZIRK

# LIENZ





György Mucsy:

## Aufbereitung ölhaltiger Schlämme

### A. Einleitung

Die Rohölproduktion der Welt hat sich während der letzten Jahrzehnte vervielfacht (Bild 1). Dies führte allmählich zu einer vorher unvorstellbaren, weltweiten Verschmutzung unserer Umgebung. Es kann bei näherer Untersuchung festgestellt werden, dass man bei der Rohölproduktion, bei der Verarbeitung, beim Transport und beim Verbrauch mit Verschmutzungen zu rechnen ist. In allen vier Fällen wird diese Verschmutzung durch die flüssigen, oder bereits verarbeiteten Kohlenstoffe verursacht, mit welcher sich die Fachliteratur und auch die Öffentlichkeit in erster Linie befasst. Heute noch ist jenes Problem welches durch die bei der Behandlung der flüssigen Rohöle und Ölprodukte erzeugten ölhaltigen Schlämme entsteht, hauptsächlich nur bei den sich mit diesem Phänomen befassenden Fachleuten oder aber bei den schon Betroffenen bekannt.

Dieser Aufsatz befasst sich mit der Frage der Behandlung und Unterbringung der bei der mechanischen Reinigung der Raffinerieabwässer entstehenden Schlämme. Dies ist ein Problem, dessen Lösung in Ungarn mit einer Bevölkerungsdichte von 113 Personen/km<sup>2</sup> und in anderen, ähnlich oder noch dichter besiedelten Ländern immer schwieriger wird.

### B. Schlammbehandlung und Unterbringung (Überblick)

Die grundlegende Bedingung der effektvollen wirtschaftlichen Behandlung und Unterbringung des wasserreichen ölhaltigen Schlammes - woher dieser auch stammen mag - ist die grösstmögliche Verminderung seines Volumens.

Es ist sehr schwer die Menge der ölhaltigen Schlämme, die bei der mechanischen Reinigung der Raffinerieabwässer entstehen, allgemeingültig zu bestimmen, weil dies von sehr vielen Faktoren abhängt [2]. Es kann aber Informationen wegen auf umfangreiche amerikanische Untersuchungen hingewiesen werden bei denen

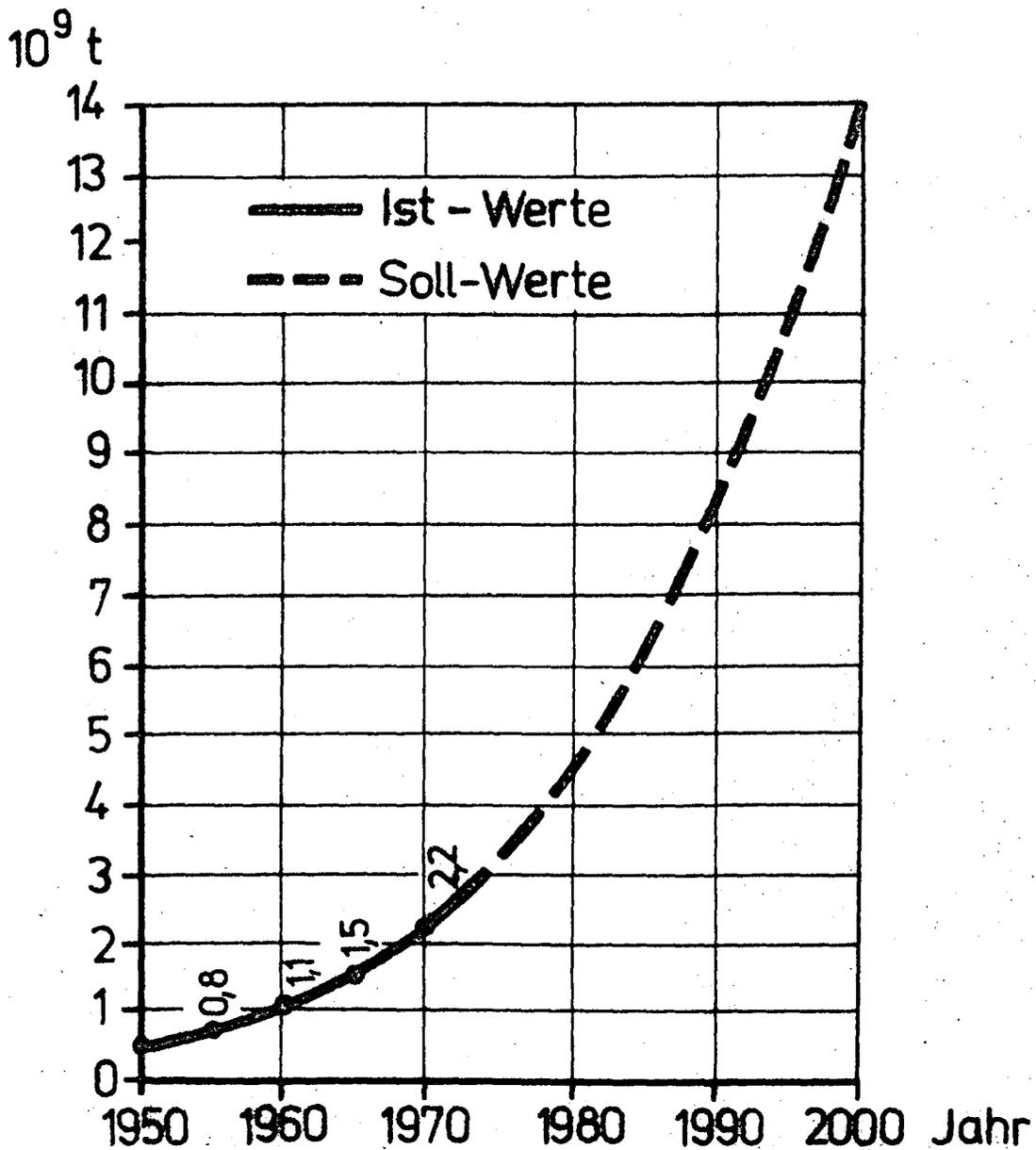


Bild.1. Rohölproduktion der Welt

man in mit Bandkratzern ausgerüsteten API Ölabscheidern folgende Werte gemessen hat: Wassergehalt: 61,2-98,3%; Ölgehalt: 1,1-20,7%; organische Stoffe 0,5-2,3%; Asche 0,4-15,8% (im % der gesamten Schlammmenge). Von diesen Werten sind selbstverständlich Abweichungen möglich.

Die erste und aus dem Gesichtspunkt der weiteren Behandlung entscheidende, in allen Fällen verwendete Methode der Volumenreduzierung ist die Eindickung. Mit dieser Methode kann man auf verhältnismässig einfachem Wege, ohne oder mit geringer Energieaufwendung, ausgehend von einigen Prozenten, ölhaltige Schlämme mit 5-8% - oder entsprechend dem eingespeisten Schlamm sehr viel höheren - Feststoffgehalt erreichen. Mit Eindickung kann man die Menge des Schlammes auf ein Drittel oder ein Viertel heruntersetzen. Das abgezogene Öl und ölhaltige Wasser muss natürlich weiterbehandelt werden. Die Eindickung kann entweder selbst in den Absetzbecken erfolgen oder aber in separaten Eindickern. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass je besser die Eindickung ist, desto effektvoller sind die weiteren Entwässerungsverfahren.

Die Schlammentwässerungsverfahren, welche die weitere Volumenreduktion bezwecken, können in natürliche und künstliche, maschinelle Verfahren aufgeteilt werden.

Von den natürlichen, herkömmlichen Methoden muss man die Trocknung auf Schlamm-trockenbeeten erwähnen, welche heutzutage ihres enormen Flächenbedarfes wegen als überholt gelten und in vielen Fällen gar nicht verwirklicht werden kann.

Es sei hier noch ergänzend bemerkt, dass bei maschinellen Entwässerungsverfahren darauf zu achten ist, dass in die zu entwässernde Substanz Feststoffteilchen nur bis zum (von den erzeugenden Firmen) vorgeschriebenem Maße und Grösse gelangen dürfen.

Die maschinelle Schlammentwässerung geschieht heute im grossen Maß durch Filter und Zentrifugen.

Als das klassische Filter wird das Vakuumfilter betrachtet. Gut bewährt haben sich die Maschinen mit ablaufendem Filter-

tuch. Die Filterflächen der KOMLINE Erzeugnisse bestehen nicht, wie heutzutage schon üblich, aus Kunststoffgeweben, sondern aus eng nebeneinander laufenden separaten korrosionsbeständigen Spiralfedern, welche sehr leicht und gut zu reinigen sind. Um bei Ölgehalt der Verstopfung des Filters und Verölung des Filtrates vorzubeugen, ist die Hinzugabe eines adsorbtionsfähigen Hilfsmittels notwendig. Zu diesem Zwecke haben sich Diatoma-Erde und Asche bewährt. Auf diese Weise arbeitende Maschinen sind die sogenannten Precoatfilter.

Amerikanische Untersuchungen [2] stellten bei einem Precoat-Filter folgende Leistungen fest:

	Schlamm aus Ölabscheider in Gewichtsprozenten	Schlamm Kuchen	Filtrat
Wasser	83,1	29,0	91,2
Öl	10,0	22,1	8,8
TS	6,9	48,9	0,0

Der Durchsatz betrug in diesem Falle  $7 \text{ kg TS/m}^2 \cdot \text{h}$ .

Gute Leistungen können auch durch Filterpressen erzielt werden welche aber zur Entwässerung von ölhaltigen Abwasserschlämmen allgemein nicht verwendet werden, sondern vielmehr bei der Entwässerung von bei der Schmieröl-Produktion entstehenden tonhaltigen Schlämmen.

Als neueste Entwicklung auf dem Gebiet der Filter können die Siebbandpressen betrachtet werden, welche einfacher sind als die Vakuumfilter. An Hand von Laborversuchen konnte festgestellt worden, dass mit den Siebbandpressen ungefähr derselbe Grad der Entwässerung erzielt werden dürfte wie bei den Vakuumfiltern, aber nur mit solchen Schlämmen, bei denen der Ölgehalt kleiner ist als 3%.

Die ölhaltigen Schlämme können effektiv auch mit Zentrifugen entwässert werden. Gut bewährt haben sich die verschiedenen, kontinuierlich arbeitenden Schneckenaustragszentrifugen oder Dekantierzentrifugen und die Separatoren deren Leistung durch die Verwendung von Polyelektrolyten sprunghaft verbessert werden

konnte. Es ist gelungen die Trockensubstanz in 95% oder sogar mehr zurückzuhalten. Es ist aber zu bemerken, dass der Wassergehalt des Zentrifugates durch die Verwendung von Flockungsmitteln zunimmt, die Polyelektrolyte aber haben diesbezüglich eine entgegengesetzte Wirkung.

Bei ölhaltigen Schlämmen können Zentrifugen welche eine Dreiphasen trennung - Trockensubstanz, Wasser, Öl - ermöglichen, sehr gut verwendet werden. Mit diesen Zentrifugen liegt der Wassergehalt der Ölphase schätzungsweise zwischen 2-8%.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass bei der maschinellen Entwässerung gute Resultate nur dann erzielt werden können, wenn der zu entwässernde Schlamm frisch ist.

In der Praxis werden nicht nur die hier beschriebenen einzelnen Entwässerungsmethoden angewendet, sondern auch deren Kombinationen, um nur das LURGI Verfahren (Zentrifuge + Precoatfilter mit Asche), das STARACOSA Verfahren (Zentrifuge + Schlamm-trockenbeet, das WEGU Verfahren (Vibrosieb + Precomat Aschefilter), usw. zu erwähnen. Mit diesen Verfahren kann das Volumen des bereits eingedickten Schlammes im Allgemeinen weiter auf  $1/5$  -  $1/6$  reduziert werden. Das erhaltene Schlammwasser muss mit wenigen Ausnahmen weiter behandelt werden, was zweckmässig in den Abwasserreinigungseinheiten vorgenommen werden kann.

Da die Menge des entwässerten Schlammes noch immer bedeutend ist, müssen jene Probleme die mit der Unterbringung zusammenhängen gelöst werden.

Die Unterbringung des entwässerten Schlammes in Lagunen, Bodensenkungen oder Deponien ist zwar möglich, bringt aber andere Probleme mit sich, als Z.B. der Transport, die immer wachsende notwendige Grundfläche, die Verschmutzung des Bodens und des Grundwassers, das Sammeln, Ableiten und Reinigung der Sicker- und Niederschlagswässer, usw. Jene Lösung bei welcher die nicht entwässerten ölhaltigen Schlämme in grossen Schlammteichen untergebracht werden, betrachtet man - wenigstens aus mitteleuropäischer Sicht - schon als nicht mehr zufriedenstellend.

Zur weiteren grösstmöglichen Volumenverminderung des entwässerten Schlammes steht die Verbrennung zur Verfügung.

Die noch mit vielen technischen Schwierigkeiten verbundenen Nassverbrennungsvorfahren nur erwähnend, soll die Aufmerksamkeit den schon mehr verbreiteten Verbrennungsmethoden zugewendet werden.

Da für die Bedingungen - 50%-iger Wassergehalt, 60%-iger Aschegehalt - welche die selbsterhaltende Verbrennung stellt, im allgemeinen nicht zu erfüllen sind, muss man bei der Verbrennung gewöhnlich für Zusatzfeuerung Sorge tragen. Die Menge des Zusatzbrennstoffes, welcher in diesem Falle selbstverständlich auch ein Ölprodukt ist, ist - abhängig vom Ölgehalt des Schlammes - bedeutend geringer als bei kommunalen Abwasserschlämmen. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse einer VITUKI Untersuchung, die die Bestimmung derjenigen Parameter bezweckte, welche bei der Verbrennung des Schlammes in erster Linie von Bedeutung sind. In diesem Falle handelt es sich um verschiedene Schlämme, die aus API Ölabscheidern stammen.

Die Verbrennung des ölhaltigen Schlammes kann in Muffelöfen, in Etagenöfen, in Drehrohröfen oder in Wirbelschichtöfen erfolgen. Die Temperatur die unbedingt erreicht werden muss, beträgt 700-750°C. Die freigewordene Wärmeenergie kann, den örtlichen und verfahrenstechnischen Verhältnissen angepasst, genutzt werden. Die Auswahl des Ofentyps ist von vielen Umständen abhängig. Der Muffelofen ist verhältnismässig einfach, wird aber nur bei kleineren Schlammengen eingesetzt. Ein grosser Vorteil: er kann leicht aufgeheizt werden. Der Etagenofen hat zwar viele Regulierungsmöglichkeiten, ist wärmetechnisch hervorragend, die Konstruktion und die maschinelle Einrichtung sind aber ziemlich kompliziert und deshalb teuer. Sehr gut bewährt haben sich bei ölhaltigen Schlämmen die Drehrohröfen, bei welchen man für bessere Rauchgasreinigung sorgen muss. In neuerer Zeit werden auch Wirbelschichtöfen verwendet, bei welchen man aber noch mit einigen zu lösenden Problemen zu rechnen hat: die Rauchgase enthalten viele Feststoffe - es sind gute und teure Abscheider notwendig, nach amerikanischen Erfahrungen können in ihnen zusammengebrannte Schlammklumpen (clogging) entstehen. Ein grosser Vorteil dieses Ofentyps ist, dass er keine beweglichen Maschinenteile hat. Wenn man nur die Menge des Schlammes betrachtet, verwendet man

Tabelle 1Parameter verschiedener ölhaltiger Schlämme

Parameter		Schlammtyp		
		I (schlammig)	II (feinsandig)	III (sandig)
Wassergehalt	40°C	51-74	21-53	25-65
Ölgehalt	%	25-36	9,4-22	3-10
Asche	%	13-22	11-62	35-60
Erstarrungs- intervall d.Öles	°C	+5--12	+8--13	+7--15
Viskosität d. Öles				
	13°C	4,8-11,0	5,4-6,8	6,5-8,8
	50°C	4,1- 6,7	2,9-4,8	2,2-4,1
Flammpunkt d. Öles	°C	127-162	106-170	99-126
S <sup>2-</sup> -Gehalt d.Öles	mg/g	16-57	7,7-32	15-60
Cl <sup>-</sup> " "	"	0,8-2,4	1,1-2,7	1,4-2,6
Verbrennungs- wärme d. Schlammes	Kcal/kg	3600-5500	1000-3900	860-900
Heizwert d. Schlammes	Kcal/kg	3500-5400	880-3600	600-800

im allgemeinen bei ganz kleinen Schlammengen (0,5 - 1,0 t/h) Muffelöfen, bei grösserem Durchsatz Wirbelschichtöfen, bei Mengen bis zu 15-20 t/h Drehrohröfen oder Etagenöfen. Der verwendete Ofentyp ist natürlich sehr von den Marktverhältnissen abhängig.

Das Volumen der entstehenden Asche schwankt natürlich sehr, beträgt aber im allgemeinen 15-35% der eingespeisten Schlammmenge. Das ist schon sehr günstig, besonders wenn man die Sterilität hoch schätzt. Die Asche hat aber den Nachteil, dass beim Auswaschen durch Regenwasser ein Abflusswasser mit einem pH-Wert = 14 entsteht. Bei den Versuchen im VITUKI konnte man durch Zuzumischen von Wasser zur Asche eine Masse herstellen, welche an der Luft getrocknet, nach 28 Tagen eine Würfelfestigkeit von 38-40 kg/cm<sup>2</sup> erreichte. Es besteht also die Möglichkeit die Umweltverschmutzung durch die Asche zu vermeiden und ein brauchbares Baumaterial herzustellen. Wirtschaftsuntersuchungen hat man in dieser Frage bis jetzt noch nicht durchgeführt. Wenn die Asche gelagert werden muss, dann muss man die Möglichkeit der Grundwasserverschmutzung untersuchen und geeignete Massnahmen zur Verhütung treffen. Ein Zudecken der Deponie mit organischem Boden und Pflanzenanbau (Gras, Sträucher, Bäume) ist unbedingt erforderlich.

Die bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase sind besonders wegen ihres SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> Gehaltes korrosiv. Die Verbrennung können sich in erster Linie die nicht armen Länder, mit einem hohen technischen Niveau leisten, weil ja die Kosten der Verbrennung von 1 t Trockensubstanz 20-50 US \$ betragen.

Wegen des oben erwähnten teureren Verfahrens sucht man die Lösung der Frage der Unterbringung, womöglich Nutzung der ölhaltigen Schlämme in letzterer Zeit auf dem Gebiet der Landwirtschaft. Man hat festgestellt, dass zahlreiche, von den im Boden lebenden Bakterien- und Pilzarten zum Abbau von mehreren Kohlenwasserstoffarten geeignet sind. Fehér [4] hat in seinen Untersuchungen in 1 g Boden 10<sup>8</sup> Bakterien, 1,6 x 10<sup>7</sup> Strahlpilze, 10<sup>5</sup> Pilze, 0,5 x 10<sup>5</sup> - 1,0 x 10<sup>5</sup> Algen und 10<sup>4</sup> Urtiere und Würmer gefunden. In so einer Fülle von Organismen haben Dotson und seine Mitarbei-

ter [3] in den oberen Schichten des Bodens ca 100 Bakterienarten und an die 30 Pilzarten gefunden, welche zum Abbau von mehreren Kohlenwasserstoffsorten beitragen. 66% der ölabbauenden Bakterien waren Pseudomonas. Dies wird anschaulicherweise auch dadurch bestätigt, dass man bei Erdgassickerungen und Rohöllagerstädten im Boden sog. "Paraffingürtel" gefunden hat, welche aus Zellen und Stoffwechselprodukten von Kohlenwasserstoffe abbauenden Bakterien bestehen. Die Autoren berichten in ihrem Artikel über drei USA Raffinerien, wo man die ölhaltigen Schlämme auf eigens für diese Zwecke hergerichtete Landflächen verteilt, wo sie in den Boden so eingearbeitet werden, dass man dort aerobe Zustände aufrechterhält. Bei der Shell Raffinerie in Houston (Texas) z.B. hat man ölhaltige Schlämme in 15 cm Dicke auf die Landfläche verteilt. Nach der Ableitung des ausgeschiedenen Wassers und Entfernung des Öles, hat man den Schlamm monatlich 3-4 mal mit Hilfe eines Bulldozers mit der oberen 15 cm dicken Bodenschicht durchgearbeitet. Es konnte festgestellt werden, dass der Abbau der ölhaltigen Stoffe drei-neun Monate in Anspruch nahm. Das hängt natürlich von vielen Faktoren ab. Als besonders resistent hat man Paraffin-Waxe und polyaromatische Substanzen gefunden. Nasse Böden wirken ungünstig auf den Abbau. Wärme, also höhere Bodentemperaturen sind günstig. In einem nahe gelegenen Teich hat man die Jahresdurchschnittstemperatur mit 23°C festgestellt, die Bodentemperatur selbst hat man nicht aufgezeichnet. Beerstecher hat 30°C als die günstigste Temperatur für die Kohlenwasserstoffe abbauenden Bakterien gefunden. Man hat ausserdem an Ort und Stelle mit Kleinversuchen in offenen Schachteln, die mit ca. 24 kg Boden gefüllt waren, festgestellt, dass bei Umrühren monatlich 80-960 mg Öle/cm<sup>3</sup> Boden x Monat abgebaut wurden. Schneller Abbau erfolgte bei einem Ölgehalt von 23% des Bodens.

Sabanov [7], Nagiev und Halilov [6], Tahmazov [8] haben im Falle von Mais und Weizen nach der Beschickung mit Ölprodukten, teilweise mit der Dosierung von Kunstdünger eine Steigerung des Ernteertrages von 9-18% gemessen. Mamedov [5] hat nach seinen Versuchen feststellen können, dass die ölhaltigen Schlämme einen guten Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens ausübten: die Porosität nahm zu, die Wasserdurchlässigkeit stieg

auf das vier-fünffache, die Wasseraufnahmefähigkeit stieg um 10-20%, die Verdunstung des Bodens verminderte sich um 20-50%.

Nach dieser sehr kurzen zusammenfassenden Erläuterung ist es schon zu sehen, dass die Austragung von ölhaltigen Schlämmen auf landwirtschaftliche Flächen - mit oder ohne Nutzung - das Problem der Unterbringung sogar mit Gewinn lösen kann, wenn es umsichtig durchgeführt wird.

### C. Untersuchungsergebnisse bei der Verwertung ölhaltiger Schlämme in der Landwirtschaft

Im folgenden werden von den mehrere Jahre dauernden Versuchen und Untersuchungen die die Aufbereitung ölhaltiger Schlämme bezweckten, diejenige eingehender erläutert, welche die Beseitigung auf landwirtschaftlichen Flächen vorsahen. Die Versuche wurden von dem Lehrstuhl für Pflanzenzucht in Mosonmagyaróvár der Agrarwissenschaftlichen Universität Keszthely in Koordination und Mitwirkung des VITUKI durchgeführt [1], [9].

Es werden in Ungarn z. Z. jährlich ungefähr 10 Mill. t Rohöl respektive dessen Derivate verbraucht. Die Beseitigung der bei der Gewinnung, Verarbeitung, Transport und Verbrauch entstehenden Schlämme wird immer schwieriger. Da Ungarn verhältnismässig viele für landwirtschaftliche Zwecke geeignete und auch nicht geeignete flache Gebiete hat, liegt es an der Hand, mit besonderer Hinsicht auf die sandigen und Sodaböden, die Unterbringung der ölhaltigen Schlämme hier zu versuchen.

Die Suche nach der Lösung in dieser Richtung wird auch dadurch befürwortet, dass die Schaffung immer mehr Land beanspruchender grosser Schlampteiche nicht in Frage kommt, die zur Verwirklichung der Verbrennungsanlagen notwendigen Investitionskosten sehr hoch sind und schliesslich, dass der heimische wünschenswerte industrielle Hintergrund z. Z. noch nicht vorhanden ist.

Die Landwirtschaft-orientierten Versuche wurden 1973 in Modellversuchen, dann in Wagner'schen Vegetationsgefässen begonnen welche 1974 und 1975 auf Mikroparzellen (15 m<sup>2</sup>) und auf Kleinparzellen (80 m<sup>2</sup>) fortgesetzt wurden.

Versuche bei welchen man nur den Abbau des Ölgehaltes auf Böden ohne Pflanzenanbau untersucht hätte, wurden bis jetzt noch nicht durchgeführt. Die hauptsächlich zu Informationszwecken dienenden Modellversuche nicht erläuternd, werden im Folgenden dem technischen Masstab näherliegende Vegetationsgefäß-, Mikro-, und Kleinparzellenversuche und deren Ergebnisse zusammengefasst.

Die Vegetationsgefäßversuche wurden mit den folgenden 6 Schlammarten durchgeführt.

- A. Ölhaltiger Schlamm aus halbtechnischem Versuch mit Aluminiumhydroxydgehalt;
- B. Ölhaltiger Schlamm aus halbtechnischem Versuch mit Bentonitgehalt;

Ölhaltige Schlämme aus der Raffinerie DKV:

- I. Schlamm vom Trockenbeet des öligen Regenwasser - API Ölabscheiders;
- II. Schlamm vom Trockenbeet des öligen Industrieabwasser - API Ölabscheiders;
- III. Schlamm von der Sohle des künstlichen Abwasserteiches;
- IV. Schlamm von dem zentralen Schlammspeicherraum.

Die wichtigsten Kennwerte der obigen Schlämme sind in Tabelle 2 enthalten. Es stellte sich bei den Versuchen heraus, dass von den bei den Versuchen den Böden beigemengten Schlämmen der anaerobe Schlamm III die Entwicklung der Pflanzen (Mais) ausgesprochen behindert, was auch aus der Tabelle 3 zu entnehmen ist.

Es konnte auch die während der 3 monatigen Versuche im Boden abgebaute Menge des Öles festgestellt werden (Tabelle 4). Die Abbaurate ist bei den im aeroben Stadium befindlichen Schlämmen beträchtlich (64-80%) im Gegensatz zu dem anaeroben Schlamm mit nur 23%.

Bei den Mikroparzellenversuchen wurde mit den Schlämmen Ia,IIa und IVa gearbeitet, deren wichtigsten Kennwerte die Tabelle 5 enthält. Bei den Versuchen wurde - die Kontrollparzellen ausgenommen - den Böden entweder nur Schlamm, oder Schlamm und

Vegetationsgefäßversuche.SchlammparameterA) Aluminiumhaltiger Ölschlamm:

Trockensubstanz	5,5 g/l
Ölgehalt	970,0 mg/l
S <sup>2-</sup> -Gehalt	0,57 mg/l
Ölkonzentration der Schlamm-TS	176,8 mg/g

B) Bentonithaltiger Ölschlamm

Trockensubstanz	6,75 g/l
Ölgehalt	1024,0 mg/l
S <sup>2-</sup> -Gehalt nicht nachweisbar	
Ölkonzentration der Schlamm-TS	151,9 mg/g

DKV Schlämme

Schlammart	I	II	III	IV	
Entnommen von	Schlammtrockenbeet		Abwasser-	Zentr.	
Parameter			teich	Schlamm-	
				speicher	
Wassergehalt	33,7	39,4	36,4	3,7	%
Ölgehalt	4,3	4,1	50,0	6,0	TS %

Vegetationsgefässversuche.Mais Ernteerträge mit verschiedenen Schlammzugaben

Schlamm- zugabe (Art)	E r n t e e r t r a g			
	Grüngewicht	%	Gewicht luft- trocken	%
1. ∅	32,4 kg	100,00	5,63 kg	100,00
2. A	42,8 "	132,10	7,98 "	141,74
3. B	40,3 "	124,38	7,58 "	134,64
4. I.	24,6 "	75,93	3,60 "	63,94
5. II.	33,5 "	103,40	5,36 "	95,20
6. III.	3,9 "	12,04	0,55 "	9,77
7. IV.	17,6	54,32	2,61 "	46,36

Bemerkung: nach 3 Monaten Wachstumszeit;  
keine Kunstdüngerzugabe

Tabelle 4

Vegetationsgefussversuche,  
labbau im Boden während einer Vegetationsperiode von  
3 Monaten

Schlamm- zugabe (Art)	Ölgehalt in 1 g Boden vor nach der Vegetationsperiode mg/l		Abbau %
A	0,25	0,20	19,2
B	0,79	0,81	-
I	2,2	0,45	79,8
II	0,58	0,25	57,0
III	0,79	0,61	22,8
IV	2,2	0,83	64,2

Tabelle 5

Mikroparzellenversuch.  
Schlammparameter

Schlammart	Ia	IIa	IVa	
Entnommen von Schlamm- trockenbeet	DKV		Zentr. Schlamm- speicher	DKV
Parameter				
Wassergehalt	73,9	34,0	34,4	%
Ölgehalt	28,0	34,4	98,7	TS %

Kunstdünger beigemischt mit den folgenden spezifischen Werten:

Ölhaltiger Schlamm:	120 q/ha	welcher bei den Schlämmen Ia, IIa und IVa der Reihe nach 88, 273 und 776 g/m <sup>2</sup> Ölbelastung entspricht;
Karbamid	: 1,10 q/ha	(in N Wirkstoff)
Superphosphat	: 0,35 q/ha	(in P " )
Kalidünger	: 0,78 q/ha	(in K " )

Auf dem seit Jahren nicht mehr bebauten, sandigen Boden konnte man die in der Tabelle 6 dargestellten Erträge verzeichnen. Die Werte der Tabelle zeigen, dass die Erträge bei der Zugabe von Schlamm alleine kleiner waren, als bei der Kontrollparzelle. Durch Kunstdünger konnten sie aber beträchtlich erhöht werden.

Die Zahl der im Boden lebenden Bakterien wurde auch untersucht (Tabelle 7). Es kann festgestellt werden, dass die Zahl der Bakterien zwar durch die Ölschlämme auch günstig beeinflusst wird, aber bei der Zugabe von Kunstdünger ein noch grösseres Anwachsen erfolgt. Durch die bakteriologischen Untersuchungen konnte die Bildung von zu den Strahlpilzen gehörenden Proactinomyces beobachtet werden. Dies scheint diejenigen Ansichten zu bestätigen, wonach man schwerlich über typische ölabbauende Bakterien sprechen kann, weil diese den verschiedensten Stämmen angehören können.

Die Parzellenversuche wurden auf sandigem Lehmboden durchgeführt, auf einer Fläche wo früher einmal Wald gestanden hat und welche im Jahr vor den Versuchen mit Futterpflanzen bebaut war. Dabei wurden nur unbedeutliche Mengen von Kunstdünger ausgestreut. Bei den Versuchen wurden ausser den Kontrollparzellen, Parzellen nur mit Kunstdünger, nur mit Ölschlamm, und mit beiden, und zwar mit folgenden Mengen, eingerichtet:

Karbamid:	1,75 q/ha	(in N Wirkstoff)
Ölschlamm:	1250,00 q/ha	(dies bedeutet eine spezifische Belastung von 670 g Öl/m <sup>2</sup> )

Tabelle 6

Mikroparzellenversuche.  
Ernteerträge<sup>x</sup>

Zugaben	Gerebelter Mais (im Mai n.J.) q/ha	Verhältnis- zahl %
∅	68,6	100
Ia Schlamm	47,50	69
IIa "	58,2	85
IVa "	60,4	88
Ia " + Kunstdünger	71,4	104
IIa " + "	90,0	131
IVa " + "	90,9	133

<sup>x</sup> nach 6 Monaten Vegetationszeit

Tabelle 7

Mikroparzellenversuche.  
Bakterienzahl<sup>x</sup>

Zugaben	Bakterienzahl in 1 g Boden
∅	70.000
Ia Schlamm	260.000
IIa "	290.000
IVa "	280.000
Ia Schlamm + Kunstdünger	540.000
IIa " + "	410.000
IVa " + "	360.000

<sup>x</sup> nach 6 Monaten Vegetationszeit

Das Schlammgemisch wurde zwei API Ölabscheidern in verschiedenen Raffinerien entnommen und zu halb-halb vermengt. Parameter

Wassergehalt: 50,2%  
 Ölgehalt : 10,8% (auf TS)

Die Höhe und das Grüngewicht der geernteten Pflanzen ist nach 3 monatiger Entwicklungsperiode auf Tabelle 8 zu finden. Es ist daraus zu entnehmen, dass die Höhe der Pflanzen bei nur Ölschlamm um 8%, bei Ölschlamm und Kunstdünger um 18% grösser ist als in den unbehandelten Kontrollparzellen, sie bleiben aber hinter den Ergebnissen der Parzellen, die nur mit Kunstdünger behandelt wurden zurück. Die Grüngewichte zeigen eine ähnliche Tendenz.

Aus den Ergebnissen der chemischen Untersuchung des Bodens ist folgendes festzustellen: die pH-Werte schwanken zwar einige Zehntel bleiben aber im schwach alkalischen Bereich. Der Gehalt anorganischen Stoffe steigt verglichen mit den Kontrollparzellen, was besonders bei der Zugabe von Ölschlamm und Kunstdünger zu merken ist. Die  $P_2O_5$  und  $K_2O$  Gehalte des Bodens gestalteten sich günstig.

Die Ergebnisse der physikalischen Untersuchungen des Bodens zeigten zwar eine unbedingt zur Besserung neigende Tendenz, es wäre aber verfrüht jetzt nach so kurzer Versuchszeit in Einzelheiten gehende Äusserungen zu machen.

Die mikrobiologischen Untersuchungen haben die Ergebnisse der früheren Beobachtungen bestätigt, indem ölhaltige Schlämme, besonders bei der Dosierung von Kunstdünger die biologische Aktivität des Bodens erhöhen. Der ölhaltige Schlamm hat von den Mikroorganismen besonders die Zahl der Actynomyces-, der Stickstoffbindenden Azotobacter-Stämme und der paraffinverbrauchenden "ölabbauenden Bakterien" gesteigert. An Hand der Ergebnisse ist auch festzustellen, dass, wenn keine andere Kohlenstoffquelle zur Verfügung steht, die im Ölabbau tätigen Bakterien zu den verschiedensten Stämmen gehören können.

Tabelle 8Parzellenversuche.Ernteerträge<sup>x</sup>

(Mais)

Behandlung	cm	Höhe	Grüengewicht	
		Verhältnis- zahl %	kg/Parzelle	Verhält- niszahl %
∅	152,5	100,0	112,13	100,0
Kunst- dünger	202,5	132,8	130,37	116,27
Ölschlamm	165,0	108,2	121,11	108,01
+ Ölschlamm Kunstdün- ger	180,0	118,0	128,70	114,78

<sup>x</sup> nach 3 Monaten Wachstumszeit

#### D. Zusammenfassung

Man muss den ölhaltigen Schlümmen die im steigenden Mass anfallen, in Bezug auf ihre Behandlung und Unterbringung besondere Aufmerksamkeit schenken. In diesem Referat wurden die Aufbereitungsverfahren jener ölhaltigen Schlümme zusammenfassenderweise erörtert, welche aus API Ölabscheidern der Raffinerie-Abwasserreinigungsanlagen stammen.

Eine zufriedenstellende und den Anforderungen des Umweltschutzes entsprechende Lösung ist nur nach einer beträchtlichen Volumenreduzierung möglich wobei auch eine bestmögliche Entölung angestrebt wird. Die Unterbringung des flüssigen Schlammes in Schlammteichen kann nicht mehr als eine befriedigende Lösung betrachtet werden.

Als erste Verfahrenstufe wird unbedingt Eindickung empfohlen. Dadurch kann man eine Volumenreduzierung im allgemeinen auf  $1/2-1/4$  erreichen. Von den weiteren Entwässerungsverfahren verwendet man anstatt der herkömmlichen Trockenbeete immer mehr die maschinellen Verfahren, wie Precoat-Filter, Zentrifugen. Auf diese Weise kann man - diese auch kombiniert angewendet - wieder auf  $1/3-1/6$  reichende Mengenreduzierung erreichen. Weil die Stapelung des so entwässerten Schlammes ein grosses, und mit der Zeit immer schwierigeres, wenn nicht unlösbares Problem bedeutet, muss man die Schlammverbrennung vorziehen. Dies ist sehr kostspielig und auch nicht sehr umweltfreundlich. Es wird vorgeschlagen den Schlamm auf landwirtschaftliche Flächen zu verteilen. Die bisherigen Erfahrungen und die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass der ölhaltige Schlamm im Boden unter aeroben Verhältnissen gut abgebaut werden kann (bei  $2,2 \text{ mg/g}$  Boden Öllast ein Abbau von  $64,2-79,8\%$  in 3 Monaten). Die Pflanzen ertragen den Ölschlamm (in Kleinparzellenversuchen bis zu  $670 \text{ g Öl/m}^2$ ), gedeihen aber besser wenn Kunstdünger auch zugemengt wird. Der Ertrag ist zwar in diesem Falle nicht so hoch als bei nur Kunstdüngerzugabe, dafür aber übt der Ölschlamm eine gute Wirkung auf den Boden aus. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften, sowie Humusgehalt, Wasserhaushalt, Porosität, usw. verbessern sich, die biologische Aktivität des

Bodens nimmt erheblich zu.

Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass Ölschlamm in erster Linie nicht als Düngermittel zu betrachten ist sondern dort angewendet werden soll wo vorläufig nur Bodenverbesserung oder Urbarmachung des Bodens zum Ziele gesetzt wird. Wenn man in diesem Falle von der Pflanzenzucht absieht, oder gar nur auf Kohlenwasserstoffabbau bedacht ist, dann kann man mit besonderer Agrotechnik die spezifische Öllast auf die Bodenfläche erheblich steigern (z.B. 80-960 mg Öl/cm<sup>3</sup> Boden x Monat).

Aus diesen Fakten ist ersichtlich, dass die kontrollierte Verwertung des Ölschlammes auf landwirtschaftlichen Flächen möglich und umweltfreundlich ist, und da sie keine - ausser Transportmitteln - extra Investitionen und Bebauungsmethoden erfordert, wirtschaftlicher erscheint als z.B. die Verbrennung.

Die Weiterführung der Versuche ist im VITUKI ins Auge gefasst worden, um in den vielen Fragen, besonders jene, die nur nach längerer Beobachtung beantwortet werden können, Klarheit zu verschaffen.

Es sollte hier noch erwähnt werden, dass auf die Anregung des VITUKI das VUZH in Bratislava bereits grosstechnische landwirtschaftliche Versuche mit Ölschlamm durchführt.

#### Danksagung

Der Autor möchte hiemit seinen besonderen Dank Fräulein E. Kránitz, der wissenschaftlichen Mitarbeiterin der Agrarwissenschaftlichen Universität Keszthely und Herrn G. Urbányi dem wissenschaftlichen Mitarbeiter des VITUKI für ihre wertvolle Hilfe bei der Zusammenstellung dieses Referates aussprechen.

## LITERATUR

1. Agrártudományi Egyetem Keszthely Mezőgazdaságtudományi Kar Mosonmagyaróvár. Kránitz, E.: Untersuchung der landwirtschaftlichen Verwertung von ölhaltigen Schlämmen. Bericht. Mosonmagyaróvár, 1975. (Ung.)
2. API: Manual on Disposal of Refinery Wastes, Volume VI. Washington, 1963.
3. Dotson, C.K. - Dean, R.B. - Cooke, W.B. - Kennar, B.A.: Land Spreading a Conserving and Non-polluting Method of Disposing of Oily Wastes. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference held in San Francisco and Hawaii 1970, p.II-36. Pergamon Press, New York, 1971.
4. Fehér, D.: Bodenbiologie. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1954. (Ung.)
5. Mamedov, R.G.: Einfluss von ölentstammendem organischen Dünger auf die geophysikalischen Eigenschaften der Böden. Sovhos, XXII partsjesda astarinskava rajona, Aserb. S.S.R. Akademischer Verlag, Baku, 1971. (Russ.)
6. Nagiev, G.M. - Halilov G.R.: Der Einfluss Rohöl entstammender organischer Verbindung auf den Maisertrag. Neftjanie udobrenja i stimuljatorü, p. 353-356. Izd. An. Aserb. S.S.R., Baku, 1963. (Russ.)
7. Sabanov, M.Z.: Einfluss vom Rohöl entstammenden Wachstums- mittel auf den Maisertrag auf schlechten Böden. Neftjanie udobrenja i stimuljatorü, p.375-377. Izd.An. Aserb. S.S.R., Baku, 1963. (Russ.)
8. Tahmazov, G.H.: Einfluss von Rohöl entstammenden Wachstums- mittel auf den Ertrag von Herbstweizen. Neftjanie udobrenja i stimuljatorü, p.219-222. Izd. An. Aserb. S.S.R., Baku, 1963. (Russ.)
9. VITUKI. Urbányi, Gy.: Untersuchung von Behandlungsmethoden von ölhaltigen Schlämmen. Bericht. Budapest, 1975.

Prof. Dr. H.Kick:

## Landwirtschaft und Abwasserklärslamm

### A Einleitung

Ein wichtiges Teilgebiet der Abfallbeseitigung ist die steigende Verunreinigung der Oberflächengewässer durch die Abwassereinleitung. Das bedeutet: es müssen in nächster Zukunft zahlreiche Abwasserreinigungsanlagen gebaut werden, die Klärtechnik muß verbessert werden, da laufend mit neuen komplexeren Stoffen gerechnet werden muß. In der BRD fallen derzeit ca.  $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Abwasserklärslamm (Naßschlamm) jährlich an, diese Menge wird aber, wenn 90% der Bevölkerung an die Abwasserreinigung angeschlossen sein werden, etwa  $38 - 40 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ausmachen. Hierin stecken als Finanzbedarf auch nach Angaben des Bundesministeriums des Innern der BRD noch rund 43,0 Milliarden DM in der öffentlichen Abwasserbehandlung und 22,0 Milliarden für den industriellen Bereich, die zu erreichen dieses Zieles 1985 mindestens nötig wären. Mit meinem Referat will ich versuchen, die Gesichtspunkte der sinnvollen Beseitigung von Abwasserklärslämmen aus dem Blickwinkel des Landbaues darzustellen, damit auch der Wasserwirtschaftler diesen Teil zumindest etwas übersieht und vor allem auch die Möglichkeiten, die aus der Sicht des Landbaues bestehen, realistisch einschätzen kann.

Die wasserverunreinigenden Stoffe, die bislang in der Tendenz zunehmen, müssen irgendwo bleiben. So beträgt der BSB<sub>5</sub>, bekanntlich ein Maß für den organischen Anteil, nach neueren Feststellungen 70g pro Einwohner und Tag, - bislang galten 54g.

### B Boden als Filter

Abwässer können, wie in einzelnen Fällen auch heute noch praktiziert, ungeklärt oder vorgeklärt über die Verregnung oder die Berieselung von Landflächen gereinigt werden, indem man die Böden als Reinigungsfilter benutzt und gleichzeitig das Grundwasser anreichert. Beispiele in der BRD sind die Rieselfelder in Berlin,

in der Senne bei Bielefeld, die Abwasserverregnung von Braunschweig, gegen die gerade in letzter Zeit von verschiedenen Gruppen sturmelaufen wird.

Bei der Abwasserverrieselung- oder verregnung wie auch bei der Abwasserschlammaufbringung macht man sich die Filterwirkung des Bodens zunutze, diese bezieht sich auf:

- a) Bindung von Stoffen durch:
- b) mechanische Filterwirkung
- c) Austauschreaktion vor allem mit Kationan und in geringerem Umfang mit Anionen
- d) chemische Fällungsreaktionen
- e) Oberflächenkräfte
- f) biologische Vorgänge

Diese Filterwirkung, die übrigens auch aus der Sicht des Nährstoff, Gas und Wasserhaushalts des Bodens völlig unabhängig von Abwasserproblemen, besonders für den Pflanzenanbau wichtig ist und die Entwicklung der Pflanzen entscheidend steuert, ist aus einer Fülle von kaum übersehbaren Studien und Publikationen bekannt.

Die wichtigsten Faktoren dieser Filterwirkung sind die Textur des Bodens. Unter Textur versteht man die anteilmäßige Verteilung der als Sand, Schluff und Ton bezeichneten Korngrößenfraktionen mit ihrem durch Humusstoffe noch verstärkten Einfluß auf die Porengröße. Diese bestimmt die mechanische Filterwirkung und auch die Wasserbewegung im Boden.

Die Bindung von molekular- und ionendispersen Stoffen ist möglich durch Adsorption und chemische Ausfällung, durch Ionenaustausch und chemische Umwandlung. Besonders wichtig sind die, durch die Mikroorganismen des Bodens bedingten Stoffumsetzungen. Zahlreiche Mikroorganismen, die im Boden leben, bauen organische Stoffe ab oder wandeln sie in andere um, wobei der vollständige Abbau zu  $\text{CO}_2$  oder  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  und  $\text{SO}_4$  in den oberen Bodenschichten vorherrscht. Von diesen organischen Stoffen wird ein mehr oder weniger großer Teil auch zu den stabileren Humusstoffen umgesetzt.

Die Austauschbindung ist besonders ausgeprägt für Kationen, weniger für Anionen, weil die Austauschkörper der Böden überwiegend negative Ladung tragen, herrührend bei den Tonmineralen durch Ersatz des vierwertigen Siliciums in den Gitterschichten durch das dreiwertige Al oder Ersatz des dreiwertigen Al durch zweiwertige Ionen wie  $^{II}Fe$  oder Mg, wodurch überschüssige negative Ladungen im Tonteilchen auftreten. Humusstoffe fungieren durch ihre Carboxylgruppen und andere OH-Reste mit Säurefunktion ebenfalls als sehr wirksame Kationenaustauscher, indem das Proton ausgetauscht wird. Die austauschbare Bindung von Anionen im Boden ist geringfügig, daher die hohe Beweglichkeit von  $NO_3$ , Cl und auch  $SO_4$ . Lediglich für die  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^-$  und  $PO_4^-$ -Anionen ist mit einer größeren Bindungskapazität zu rechnen, die besonders an freien  $Fe(OH)_3$  und  $Al(OH)_3$ , aber auch an den Tonmineralen ausgebildet ist, wenn diese letzteren Fe- und Al-Ionen an ihren Oberflächen gebunden haben. Dies ist besonders der Fall für Mineralböden, die versauert sind.

Die Basenaustauschkapazität von Boden liegt je nach der Meßmethode, bei der man  $NH_4^-$  oder auch Bariumionen benutzt, zwischen 1,8 und 64 m val je 100g Boden. Sie ist abhängig von Tongehalt und Humusgehalt. Die Humusstoffe selbst haben eine höher spezifische Austauschkapazität als die Tonminerale. Sie beträgt etwa 150 - 170 m val/100g, während sie bei Ton je nach Tonmineral zwischen 7-10 und 60-80 m val je 100 g Ton liegt.

Mineralböden haben meist Kationenaustauschkapazitäten von 5-20 m val/100g. Eine Bodenschicht von 25 cm Tiefe, also etwa die Ackerkrume oder der Pflughorizont, könnte bei 10 m val Kationenaustauschkapazität etwa je ha 7400 kg Calcium bzw. 8510 kg Natrium austauschbar binden. In den meisten Böden mit pH-Werten kleiner als 7 sind Basensättigungsgrade immer kleiner als 100%, da mit zunehmender Versauerung des Bodens die Wasserstoffionen zunehmend an Anteil der Austauschkapazität gewinnen. Von den gebundenen Ionen macht in der Regel unter unseren Klimabedingungen der Anteil an Ca-Ionen die Hauptmenge 60 - 90% aus, dann folgen Magnesium, schließlich Kalium und Natrium.

Bedeutung haben aber auch chemische Umsetzungen, d.h. die Phosphationen können auch durch Calcium- und Sesquioxidionen als wasserunlösliche Phosphate ausgefällt werden. Zwar ist diese Reaktion vom pH-Wert der Böden abhängig, in den Böden liegen diese in den Bereichen 4-8, so daß für diese Fällungsreaktionen günstige Bedingungen herrschen. Daher ist auch kaum unter normalen Verhältnissen mit einer für die Landwirtschaft zu Buche schlagenden Phosphatauswaschung in das Grundwasser zu rechnen. Das Entstehen von wasserunlöslichen Verbindungen ist bei Schwermetallen von Bedeutung, wie man an den reinen Verbindungen erkennen kann. Allerdings bedeutet dies nicht, daß diese in den Böden in reiner Form vorkommen, sondern hier muß sowohl mit Austauscherbindung auch der Schwermetalle und auch mit Komplexbildung mit Bindung als Chelate und organische Bindung gerechnet werden, wobei besonders die Humusstoffe die Hauptrolle spielen, während Chelate mit organischen Hydroxysäuren zwar möglich sind, aber der Menge nach wahrscheinlich zurücktreten.

### C Rückführung von Abfallstoffen aus Siedlungen in den natürlichen Kreislauf

Diese Frage wird sehr oft in einer unzulässigen Weise idealisiert und trifft im eigentlichen Sinne nur für die Abfälle der Pflanzen- und Tierproduktion und die menschlichen Exkremente einschließlich der Küchen- und Speisereste zu. Leider enthalten die Siedlungsabfälle auch Stoffe, die diesem an sich wünschenswerten "Recycling" hinderlich sind, dazu kommen noch Probleme der Hygiene insbesondere herrührend von den menschlichen Ausscheidungen. In der Landwirtschaft ist diese Rückführung von Stoffen ein uraltes Verfahren und stößt heute nur in der konzentrierten Massentierhaltung auf technisch-organisatorische aber nicht prinzipielle Schwierigkeiten. Dazu treten auch betriebswirtschaftliche, ökonomische Probleme.

D Welche Bedeutung hat die Verwertung der Abwasserklärslämme  
im Landbau insgesamt für die Landwirtschaft?

Man kann bei der Wirkung unterscheiden in positive und negative Faktoren. Legt man eine Schlammproduktion von 200 l/Jahr und Einwohner zugrunde mit 5% Tr.M., so sind dies bei einer Stadt mit 100.000 Einwohnern 20.000 m<sup>3</sup>. Darin sind etwa enthalten 1000 t Trockenmasse, bzw. 500-600 t organische Masse. Die Zusammensetzung der Trockenmasse kann natürlich beträchtlich schwanken, bedingt durch die ins Abwasser gelangten organischen Stoffe. Wenn es sich nur um Haushaltsabwasser allein handelt, wird man mit einer überall praktisch für diesen Fall ziemlich gleichen Zusammensetzung rechnen können.

Für das "Recycling" ist besonders die Rückführung der Pflanzennährstoffe, die aus dem Boden entnommen werden, entscheidend, während es bei der organischen Masse sich im eigentlichen Sinn nicht um ein Recycling handelt, sondern um die ebenfalls als positiv zu wertende Anreicherung des Bodens mit organischer Masse, die für die Erhaltung der Ertragsfähigkeit des Bodens sehr wichtig ist, die aber aus dem allgemein verfügbaren CO<sub>2</sub> der Atmosphäre stammt, also durch die Photosynthese gewonnen wurde. Diese organische Masse kann der Landwirt aber auch im eigenen Betrieb mit Hilfe der Sonnenenergie produzieren bzw. dies ist die Regel (Stallmist, Stroh, Gründüngung), dagegen kann er nicht die anderen Pflanzennährstoffe produzieren, mit Ausnahme von pflanzenverwertbaren Stickstoffverbindungen, die durch Bindung des Luftstickstoffs mittels Bakterien laufend, d.h. ein gewisser Anteil des Bedarfes aus dem Luftstickstoff, gewonnen werden. Dagegen ist dies für andere wichtige Nährstoffe, wie Phosphat, Kalium, Calcium, Magnesium, Spurennährstoffe nur soweit möglich, als die Vorräte im Boden genügend groß sind und durch die Wirtschaftsweise möglichst geschont werden. Bei diesen Stoffen setzt die moderne arbeitsteilige Wirtschaft jedenfalls Grenzen, daher auch die Notwendigkeit Verluste laufend zu ersetzen. Für das obige Beispiel einer Stadt mit 100.000 Menschen, fallen, wenn man nur die beiden wichtigen Nährelemente N und P betrachtet, berechnet als N und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, im ungeklärten Abwasser

etwa 270.000 kg Stickstoff jährlich an, d.h. bei einer an sich hohen Gabe organisch gebundenen Stickstoffs müßte man rund 800 - 1000 ha zur Verfügung haben, wenn diese N-Gabe von landwirtschaftlichen Kulturen verwertet werden soll, ohne daß man rund 550 mm je ha jährlich ausbringen könnte. Den Rieselfeldern und Abwasserverregnungsanlagen mutet man jedoch meistens weit mehr zu, während zusätzlich zu den natürlichen Niederschlägen etwa 300 mm Wasser während der Vegetationszeit unter unseren Klimabedingungen dem Wasserbedarf der Pflanze noch gerecht werden bzw. in Ertragssteigerungen sich bemerkbar machen.

Stellt man entsprechende Überlegungen auch für Klärschlämme an, so muß man auch hier zunächst den Stickstoffgehalt des Schlammes in erster Linie für die Bemessung zugrunde legen. Wenn man für ausgefaulten Klärschlamm im Naßschlamm 7% Trockenmasse und als anfallende Menge 200 l je Jahr mit einem  $N_t$ -Gehalt von 3% in der Trockenmasse zugrunde legt, dann wären dies in  $10 \text{ m}^3$  - 21 kg N und für 100.000 Einwohner  $20.000 \text{ m}^3 \times 2,1 = 42.000 \text{ kg N}$ , d.h. also bei der gleichen N-Belastung mit 270 kg N/ha wären nur 155 ha jährlich nötig ( $130 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Legt man allerdings nur ein Drittel des Gesamtstickstoffs als unmittelbar pflanzenverfügbar zugrunde, so wären diese Gaben aus pflanzenbaulicher Sicht auch etwas höher anzusetzen, allerdings müssen mit den restlichen Stickstoffmengen in der Nachwirkung gerechnet werden, was aber meist schwer abschätzbar ist.

Die Stickstoffbilanz der Kulturpflanzen zeigt allerdings, daß diese Menge nicht immer voll ausgenutzt bzw. durch den Anbau entzogen wird, so daß, wenn keine Verluste auf andere Weise eintreten, eine Anreicherung zu erwarten wäre. Eine ganz ähnliche Situation kann man für die Phosphatzufuhr voraussetzen, denn der Phosphatgehalt als  $P_2O_5$  bezeichnet, entspricht etwa dem Stickstoffgehalt, - auch hier wird der Entzug vielleicht nur  $1/3$  bis zu  $1/4$  der Zufuhr ausmachen, so daß unter den o.a. Annahmen mit einer Phosphatanreicherung im Boden zu rechnen ist. Diese Phosphatanreicherung wirkt sich jedoch kaum für das Pflanzenwachstum kritisch aus, weil die Phosphatwirkung sich von der Stickstoffwirkung grundsätzlich unterscheidet, sondern die Anreicherung ist im Gegenteil sogar positiv zu werten.

Ganz ähnlich ist die Kalkzufuhr im Schlamm zu bewerten, sie wirkt sich positiv aus, weil dieser Kalk der Versauerung der Böden entgegen wirkt. Die Kalkmengen, berechnet als basisch wirksamer Kalk in den Schlämmen, sind besonders dann bedeutend, wenn durch  $\text{Ca(OH)}_2$ -zusatz die Sedimentation und Ausflockung beschleunigt wird. Diese können bis zu 10% der Tr.M. ansteigen. Dies wären für unser Beispiel immerhin im Durchschnitt bei  $130 \text{ m}^3/\text{ha}$  Schlammgabe jährlich rund 90 dz CaO, eine Menge, die weit über einem durchschnittlichen Bedarf von 3-5 dz CaO/ha im Jahr läge. Auch bei Kalk ist mit einer beachtlichen Anreicherung und wahrscheinlich auch einer Verschiebung der pH-Werte des Bodens nach der alkalischen Richtung hin zu rechnen, die allerdings nicht die Größenordnung und Wirkung von 90 dz CaO erreichte, wenn man diese Menge dem Acker als Branntkalk verabreichen würde, aber immerhin besonders auf Grünland schon mit rund  $300 \text{ m}^3$  bei einer Zufuhr von 60-70 dz CaO den pH-Wert der Narbe um mindestens eine halbe pH-Einheit erhöht. Dies kann bei Grünland für die botanische Zusammensetzung der Narbe bzw. für den Futterwert sehr wichtig sein. (Tab.1)

Da aber der Gehalt an basisch wirksamen Kalk in der Klärschlamm-trockenmasse von 3-10% und sogar noch mehr schwanken kann, ist Kenntnis dieses Wertes wichtig, weil dadurch auch die Löslichkeit der Schwermetalle beeinflusst wird. Auch wird verständlich, warum nach verschiedenen Angaben mit Klärschlamm auch der Boden versauern kann, nämlich dann, wenn die vorhandene Kalkmenge nicht genügt, um die beim Abbau des Klärschlammes im Boden entstehenden Säuren abzupuffern, z.B. würden, wenn man wieder das erwähnte Beispiel von  $130 \text{ m}^3$  Klärschlammgabe je Jahr benutzt, bei einer Gabe an organischer Masse von jährlich 4,5 t unter der Annahme, daß in einem Jahr die Hälfte dieser organischen Masse mineralisiert wird, maximal immerhin 32-35 dz CaO gebraucht, um die entstehende  $\text{CO}_2$  als Bicarbonat zu binden. Da ein Teil jedoch als gasförmiges  $\text{CO}_2$  aus dem Boden entweicht, ist dieser Anteil wahrscheinlich wesentlich geringer. Jedoch bindet die bakterielle Nitrifizierung der Stickstoffverbindungen und die Bildung von Sulfaten aus den Sulfiden des Faul-

schlammes beträchtliche Kalkmengen. Aus einer allerdings wegen der großen Schwankungen der Schlammbeschaffenheit sehr groben Tabelle kann man wenigstens die Menge der Nährstoffe erkennen. (Tab.2 und 3)

Die schon erwähnte Anreicherung des Bodens mit organischer Masse mit einer daraus abzuleitenden, stärkeren Humusbildung ist zwar zu erwarten, aber wahrscheinlich wegen der relativ leichten Abbaubarkeit der organischen Masse in den Klärschlämmen weit geringer als z.B. beim Müllkompost, dessen organische Masse in Abhängigkeit von der Rottezeit stabiler ist, als bei Klärschlämmen, wie man aus dem Anteil an wirksamer organischer Masse erkennen kann. (Tab.4) Als wirksame organische Masse bezeichnet man den in 70%  $H_2SO_4$  hydrolosierbaren + humifizierten Anteil (löslich in 0,5 N NaOH) der organischen Masse. Daraus erklärt sich auch die relativ geringe Anreicherung an organischer Masse bei gleichen Gaben an organischer Masse. (Tab.9)

Ein wichtiger Faktor ist die genauere Festlegung der Stickstoffwirkung. Es hat sich gezeigt, daß diese Wirkung sehr eng mit dem Anteil an wasserlöslichem oder auch mit MgO abdestillierbarem Stickstoff im Schlamm korreliert, während der Gesamtstickstoffgehalt verständlicherweise nicht so eng korrelieren dürfte, weil die Bindungsform des restlichen Stickstoffs weit schwerer zu erfassen ist. Der wasserlösliche Anteil ist praktisch gleich dem mit MgO abdestillierbaren, wahrscheinlich gleichzusetzen mit dem als  $NH_4$  vorliegenden Anteil. Bei 17 Schlämmen ganz verschiedener Herkunft betrug der Anteil des mit MgO abdestillierbaren Stickstoffs im Durchschnitt 35% des Gesamt-Stickstoffs mit einer Variationsbreite von 37%. Es besteht auch eine gewisse Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes vom Trockenmassegehalt. Jedenfalls ist für den Landwirt die Kenntnis des N-Gehaltes für die Bemessung der Menge sehr wichtig, während hingegen abgesehen von zu hohen Gehalten an bestimmten Schwermetallen, nämlich an Zn, insbesondere aber Cu, Ni, Cd, Pb, Hg, auch an Chrom, die anderen Pflanzennährstoffe unkritisch sind und ihre Zufuhr durchwegs als positiv zu bezeichnen ist, wobei es bei den meisten allmählich zu Anreicherungen kommt. Als wichtig muß betont werden, daß der

Gehalt an verfügbarem Kalium in Klärschlämmen praktisch bedeutungslos ist, so daß auf jeden Fall eine angemessene Kali-gabe verabreicht werden muß in der gleichen Höhe wie bei der üblichen Mineraldüngung, während selbstverständlich wie aus dem vorhergehenden ersichtlich, auf mineralische N und P-Düngung verzichtet werden kann, wenn die Klärschlammgabe auf den wasserlöslichen N-Anteil abgestimmt wird.

#### E Negative Gesichtspunkte für die Anwendung von Abwasser- klärschlämmen

Als eindeutig negativ sind mit Sicherheit die Elemente Cadmium, Blei, Nickel und Quecksilber, aber auch Arsen zu bewerten, die in den verschiedenen Schlämmen meist wohl als Sulfide, Phosphate und Carbonate vorkommen. Ihre Gegenwart ist grundsätzlich unerwünscht, wohingegen die Gehalte an Zn, Cu, Mo, Mn und auch an Se, J dann als erwünscht angesehen werden können, wenn in den Böden ein Mangel an diesen Elementen besteht, Eisen und Aluminium spielen hier praktisch keine Rolle. Sie können den Bedarf an Spurennährstoffen decken, in diesem Falle können Abwasserklärschlämme wie auch Müllkomposte sogar sehr vorteilhaft sein und schon mit geringen Gaben den Spurennährstoffbedarf für lange Zeit decken. Es sollte aber der Gehalt an all diesen Elementen auf jeden Fall annähernd bekannt sein, denn eine laufende Akkumulierung im Boden kann sehr nachteilig sein, weil im Extremfall die Pflanzen geschädigt werden können, aber auch weil die Pflanzen diese Elemente anreichern können, ohne daß äußerlich wahrnehmbare Schadsymptome entstehen. Ihre Eignung als Futtermittel oder Nahrungsmittel kann dadurch schon beeinträchtigt sein.

Die bislang bekannt gewordenen zahlreichen Schlammanalysen zeigen, daß der Gehalt gerade an diesen Elementen sehr stark schwanken kann, da sie meist aus identifizierbaren Quellen, nämlich gewissen Industrie- und Gewerbebetrieben in die Abwässer gelangen und wegen ihrer chemischen Eigenschaften leicht ausgefällt werden und sich besonders in den Schlämmen wiederfinden.

Es müssen daher, wenn hier eine wirksame Verminderung der Gehalte erreicht werden soll, diese Quellen verstopft werden, was technisch wohl keine allzugroßen Schwierigkeiten macht, aber wahrscheinlich juristische Fragen aufwirft. Schlämme mit sehr großen Gehalten an den erwähnten Elementen sollten möglichst auf Sonderdeponien gebracht werden, weil nämlich dann ihr Verbleib bekannt ist und kontrolliert werden kann. (Tab.5 u.3)

Zunächst ist hier für eine landwirtschaftliche Verwertung eine laufende Kontrolle des anfallenden Schlammes auf diese Elemente zu fordern, auf die sich dann die Anwendung stützen kann. Häufig wird die Frage gestellt, welche Mengen an Schwermetallen schließlich in Schlämmen überhaupt vorhanden sein dürfen. Sehr leicht ist die Frage dann zu beantworten, wenn die Gehalte in der Schlamm-trockenmasse etwa in Bereichen liegen, die auch bei laufender Anwendung eine Anreicherung über die in natürlichen Böden vorhandenen Mengen hinaus ausschließen, d.h. bei weniger als 100 mg je kg Trockenmasse, aber für Cadmium und Quecksilber noch niedriger, weniger als 20 mg. Wo dies nicht der Fall ist, muß die Anwendung so dosiert werden, daß diese Grenzen, die auch in natürlichen Böden nur ungefähr festliegen, einigermaßen gehalten werden. Wie aus den Zahlen der Tabellen 6 u.3 hervorgeht, ist hier ein verhältnismäßig großer Spielraum, als allgemein gültige Regel kann man z.Z. festhalten, daß je höher der pH-Wert des Bodens, etwa von 6,5 ansteigend nach der alkalischen Seite, je höher Ton- und Humusgehalt liegen, umso eher können die oberen Grenzen angehalten werden oder umso weniger werden die Schwermetalle pflanzenaufnehmbar sein. Selbstverständlich braucht nicht jede Anhebung des Schwermetallspiegels im Boden schon die Aufnahme durch die Pflanzenwurzel beschleunigen, um die es in der Hauptsache geht, aber die Wahrscheinlichkeit dafür wächst. Die Aufnahme ist nicht nur durch die Bodeneigenschaften bedingt, sondern hängt auch von der Pflanzenart ab. Bei Grünland, insbesondere bei Weideland, spielt auch die oberflächliche Haftung von Schlammbestandteilen auf der Narbe eine nicht unerhebliche Rolle, so daß auch eine unmittelbare Aufnahme durch Weidetiere möglich ist. Die verschiedenen Kulturpflanzen unterscheiden sich auch unabhängig vom Boden in der Nährstoffaneignung

erheblich. Man wird aber nicht Bestrebungen zustimmen können, die das Auftreten von Ertragsdepressionen oder gar von Symptomen der Toxizität bei den Pflanzen als die zu beachtende Grenze ansehen, weil dann die Gehalte in den Pflanzen mit Sicherheit auch Nachteile in der Verwendung als Futter- oder Nahrungsmittel bringen.

Sehr umstritten ist zur Zeit noch die Bedeutung der in den Klärschlämmen wie übrigens auch in den Müllkomposten aller Art im Vergleich mit Boden und Stallmist in den Siedlungsabfällen weit stärker verbreiteten cancerogenen Aromaten. Auch kommen noch zahlreiche andere organische Stoffe in Klärschlämmen vor, z.B. polychlorierte Biphenyle, Tenside, Weichmacher, Aufheller, Farbstoffe, Pharmaka, man könnte sicher mehrere hundert Stoffe aufzählen. Die Bedeutung aller dieser Stoffe als Hemmnis für eine landwirtschaftliche Verwertung sollte jedoch nicht übergebührlich hoch eingeschätzt werden. Cancerogene werden übrigens auch sonst in Böden gefunden, die noch nicht vom Menschen genutzt wurden. Ihre Aufnahme über Pflanzenwurzeln ist besonders an ihre Wasserlöslichkeit gebunden, die speziell für die erwähnten cancerogenen Aromate nicht vorausgesetzt werden kann, sondern diese Stoffe sind lipid löslich oder nur in organischen Lösungsmitteln löslich. Die bisher vorgelegten Untersuchungen über die Anreicherung in Pflanzen sind nicht ausreichend für eine einigermaßen abschließende Beurteilung. Der Einfluß der Tenside, insbesondere der Chelate, muß ebenfalls noch näher untersucht werden, denn Chelate vom Typ der Diaminotetraessigsäure und verwandter oder ähnlich wirkender Chelatoren vermögen unlösliche Schwermetallverbindungen für Pflanzen zugänglicher zu machen und könnten möglicherweise sogar die Aufnahme der Schwermetalle, die sich im Boden angereichert haben, durch Pflanzen begünstigen.

In den Waschmitteln sind im Mittel 25% Perborate als Bleichmittel enthalten. Diese dürften hauptsächlich für die B-Gehalte in der Schlamm-trockenmasse verantwortlich sein, z.B. in der Größenordnung von 22-167 mg/kg Trockenmasse, d.h. mit einer Klärschlammgabe von 100 m<sup>3</sup> (7% Tr.M.) würde 150-1200 g B zuge-

führt. Diese Menge ist keinesfalls schädlich und es ist bei der Annahme, daß in der BRD jährlich 80.000 - 100.000 t Perborat verbraucht werden, damit zu rechnen, daß das darin enthaltene Bor zu einem großen Teil im Klärschlamm festgehalten wird, weil Borate an Aluminium und Eisenhydroxiden sich anlagern, auch unlösliche Calciumborate gebildet werden, außerdem bildet Borsäure organische Borsäureester. Meist bleibt aber der Gehalt in unschädlichen Bereichen, da das Bor zunächst sehr festgebunden wird.

Zu den negativen Gesichtspunkten sind auch die Probleme der Hygiene, d.h. der Verbreitung von pathogenen Keimen aller Art und Parasiten zu rechnen. (Tab.7) Es gibt Möglichkeiten, die aus diesem Bereich herrührenden Schwierigkeiten sehr stark abzuschwächen und den Einwänden von Seiten der Tier- und Humanhygiene wirksam zu begegnen. In der BRD hat man eine Richtlinie ausgearbeitet, deren strikte Befolgung die seuchenhygienisch unbedenkliche Unterbringung der Abwasserklärschlämme mit großer Sicherheit ermöglicht. (Tab.8) Außerdem kann noch die mindestens 10 Minuten lange Pasteurisierung bei 65-70°C eingeschaltet werden, falls der Einsatz der unbehandelten Schlämme aus irgendwelchen Gründen nach den erwähnten Richtlinien nicht möglich ist. Die technische Seite dieser Pasteurisierung möchte ich hier nicht behandeln. Benutzt man Wärme, so werden für 120-150 m<sup>3</sup> Schlamm nach den Erfahrungen des Niersverbandes (1) 1 t Heizöl benötigt. Daraus kann man etwa den Energiebedarf und Energiekosten für diese Pasteurisierung abschätzen. Versuche zur Benutzung von Gammastrahlen zur Abtötung oder Unschädlichmachung von pathogenen Keimen und Parasiten sind in Geiselbulach bei München im Gange. Auch die Benutzung von Elektronenstrahlen wird vorgeschlagen (9). Die Kosten für diese neuen Verfahren dürften jedoch denen für die Pasteurisierung mit Wärme nicht nachstehen, die zum Teil auch aus dem Faulgas gewonnen werden könnte und daher nicht zusätzliche Energie in Anspruch nähme.

#### F Beurteilung der Wirkung von Klärschlämmen im Landbau

Beachtet man die Beschaffenheit der Abwasserklärschlämme, insbesondere den Stickstoffgehalt, so kann ihre düngende Wirkung

auf die Entwicklung der meisten Kulturen als vorteilhaft bezeichnet werden. Kalium muß jedoch fast immer zugefügt werden - es sei denn, der Boden selbst ist kaliumreich - da die Kaliumgehalte im Vergleich zum Stickstoffgehalt bedeutungslos sind. Man könnte darüber zahlreiche Versuchsergebnisse sowohl eigene wie auch in der Literatur bereits veröffentlichte anführen. (6, 7)

Lediglich die Anwendung zum Frischgemüseanbau ist mit Rücksicht auf Ästhetik und Appetitlichkeit, d.h. wenn das Gemüse ungekocht verzehrt wird, aber auch wegen einer möglichen unangenehmen Auswirkung auf den Geschmack, nicht zu empfehlen. Geruchs- wie auch Geschmacksstoffe haften nicht nur äußerlich, sondern können auch über die Blätter und Wurzeln in die Pflanze gelangen. Beeinträchtigungen dieser Art werden allerdings unbedeutend oder verschwinden völlig, wenn auf die Schlammasbringung die anzubauende Kultur nicht unmittelbar folgt, sondern ein längerer, von den einzelnen Kulturen abhängiger, zeitlicher Abstand dazwischen liegt. Geschmacks- und Geruchsstoffe werden schnell im Boden abgebaut oder unschädlich gemacht. Es ist sogar möglich, auf verfülltem Klärschlamm z.B. ehemaligen Deponien, Pflanzen anzubauen, die allerdings die enorme anfängliche Stickstoffwirkung vertragen können, z.B. fast alle Futterpflanzen, Futterrüben, auch Mais, Pappeln wachsen vorzüglich (4). Sogar im Weinbau läßt sich Naßschlamm ohne Schwierigkeiten einsetzen (5).

Ein Versuch mit 2 verschiedenen Klärschlämmen auf einem leichten Boden zeigt die Wirkung der zeitlich verschiedenen Ausbringung, nämlich der Herbst- und Frühjahrsanwendungszeit. Hier muß noch eindringlich darauf hingewiesen werden, daß die Klärschlammanwendung, vor allem bei weit über den für die Pflanzen nötigen Stickstoffbedarf hinaus, auch eine mögliche Beeinflussung von Grundwasser berücksichtigt werden muß, insbesondere durch Nitrate (8). Die Pflanzen nutzen im Anwendungsjahr meist nur etwa ein Drittel des verabreichten Gesamtstickstoffes aus, d.h. bei dem schon erwähnten Beispiel bei 4% Stickstoff in der Trockenmasse etwa 90 - 100 kg N, wenn in 100 m<sup>3</sup> Klärschlamm 270 kg zugeführt werden. Der nicht sofort aufgenommene, organisch gebundene Stickstoff wird aber im Boden von den Mikroorganismen weiter mineralisiert und es kann zu den bekannten Nitratverlagerungen kommen,

wie sie zum Beispiel in Gebieten mit konzentrierter Massentierhaltung auftreten, sobald die Flächen mit den Abgängen der Tiere ungebührlich hoch belastet werden, d.h. nicht mehr die pflanzenbauliche Verwertung im Vordergrund steht, sondern der Zwang der Beseitigung der Abgänge durch Ausbringen über den Boden die Eigner zur Ausbringung hoher Mengen auf die Flächeneinheit veranlaßt. Zu einer solchen Situation sollte es bei der Klärschlamm-anwendung nicht kommen, wenn die Unterbringung im Landbau eine Dauermaßnahme und nicht zur Belastung der Umwelt, insbesondere des Grundwassers führen soll. Gutes Ausfaulen des Schlammes dürfte die gerade bei der Massentierhaltung auftretende Geruchsbelästigung aufheben.

Die Landwirtschaft kann nur an einer in der Hauptsache ihren Erfordernissen dienenden Bemessung der Klärschlammgaben als einer Lösung auf die Dauer interessiert sein. Ihr wird häufig sogar vorgeworfen, sie trage durch die heutige Minereraldüngeranwendung zur Verunreinigung von Grund- und Oberflächenwässern bei. Dies wird schon allein aus wirtschaftlichen Gründen der Landwirt im eigenen Interesse möglichst zu vermeiden suchen; denn er hat wohl kein besonderes Interesse daran, die teuren Düngernährstoffe auch noch in das Grundwasser zu schicken, wo sie für ihn verloren sind, sondern er wird - und auch dies ist möglich - sie so gezielt anwenden, daß unnötige Verluste möglichst vermieden werden. Falls es gelingt, die schädlichen Bestandteile, insbesondere die Schwermetallgehalte und Gehalte an anderen potentiell toxischen Stoffen, die in den Schlämmen vorkommen können auf ein Niveau herabzudrücken, das garantiert, daß ein in der Natur vorhandener Spiegel nicht wesentlich überschritten wird, dürften sich keine grundsätzlichen Schwierigkeiten für die Abwasserklärschlamm-anwendung in der Landwirtschaft einstellen, d.h. eine Verwertung der Abwasserklärschlämme wäre ohne Befristung der Zeitdauer möglich. Dabei möchte ich die organischen, potentiell schädlichen Stoffe etwas weniger kritisch beurteilen, weil es wohl kaum organische Verbindungen gibt, die nicht eines Tages doch durch Mikroorganismen abgebaut werden könnten, es also nicht zu einer

unbegrenzten Akkumulierung kommen wird, Schwermetalle jedoch können lediglich ihre Bindung ändern, in geringem Umfang von Pflanzen aufgenommen oder in den Untergrund verlagert werden, eine massive Anreicherung ist aber sicher.

Die Forderungen der Hygiene können erfüllt werden, wenn die diesbezüglichen Anwendungsregeln befolgt werden, die in dem erwähnten Merkblatt des Bundesgesundheitsamtes niedergelegt sind und etwa dem heutigen Stand der Kenntnisse entsprechen. Pasteurisierungsverfahren stehen zur Verfügung bzw. neue Verfahren werden noch entwickelt.

Abwasserklärslämme sollten nicht zu Gemüsearten und Obstarten angewendet werden, die dem unmittelbaren Verzehr dienen, vor allem, wenn die Gefahr der unmittelbaren Berührung besteht. Dies gilt auch bei pasteurisierten Schlämmen mit Rücksicht auf Ästhetik und Appetitlichkeit. In jedem Fall muß eine ausreichende Information über die Stickstoffwirkung, verbunden mit sachkundiger Beratung und eine wirksame Kontrolle des Gehaltes an Schwermetallen und anderer als potentiell gefährlich erkannten Stoffen eingerichtet werden. Kontrolle wie auch Beratung kann von den gebietsweise zuständigen landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsanstalten bzw. den landwirtschaftlichen Beratungsorganen übernommen werden. Das wahrscheinlich am billigsten arbeitende Ausbringungsverfahren ist das Verfahren, das der Niersverband (10) entwickelt hat, nämlich Ausbringen des dem Eindicker entnommenen Naßschlammes, am besten wohl Faulschlamm, ohne Trocknung oder sonstige teure Entwässerungsverfahren. Der Landwirt erhält mit Großtankwagen und Verregnungsanlage kostenlos frei Feld die gewünschte Schlammmenge. Dies Verfahren benötigt außer der Transport- und Pumpenergie bei den derzeitigen Preisen etwa 0,45 DM/m<sup>3</sup> keine zusätzliche Energie (diese könnte sogar größtenteils über die Methangewinnung geliefert werden). Vor allem ist diese Ausbringung von hervorragender Gleichmäßigkeit und bei jeder Wetterlage möglich. Die Transportentfernung vom Klärwerk zu den Landflächen bestimmen die Kosten ganz wesentlich. Sie werden derzeit vom Niersverband (10) mit 4,46 DM je m<sup>3</sup> bei einer

mittleren Transportentfernung von 11,4 km angegeben. Die Kraftstoff- und Schmiermittelkosten liegen dabei nur bei 0,446 DM je m<sup>3</sup>, die Löhne bei 2,54 DM/m<sup>3</sup>.

#### G Zusammenfassung

Für die Verwendung von Abwasserklärschlamm zu Düngungszwecken muß der Landwirt möglichst gut in seine Düngungsmaßnahmen einkalkulieren können:

1. Die Stickstoffwirkung und den Gehalt an basisch wirksamen Stoffen.
2. Die Anreicherung potentiell toxischer Stoffe in den Böden, sofern diese im Klärschlamm in bedenklichem Ausmaß zu erwarten sind.

Die Untersuchung der Schlämme auf wasserlöslichen bzw. leicht verfügbaren Stickstoff und die anderen interessierenden Bestandteile sowie eine ausreichende, laufende Kontrolle der Schlammbeschaffenheit, insbesondere auf die Schwermetallgehalte, liefert dafür die Grundlage. Zeitpunkt der Schlammgabe und Schlammmenge müssen angepaßt werden an den Nährstoffbedarf der jeweiligen Kulturen - Gemüse für Frischverzehr ist von der Abwasserschlammdüngung auszuschließen - sowie an die Bodenart.

Der Forderungen der Seuchenhygiene kann durch Beachtung der diesbezüglichen Regeln (Merkblatt des Bundesgesundheitsamtes der BRD) entsprochen werden. In besonderen Fällen muß pasteurisiert werden. Eine gute standortgerechte Organisation des Ausbringungswesens, unterstützt durch fachliche Beratung von Seiten landwirtschaftlicher Fachleute, ist nötig, wenn die Schlämme laufend auf landwirtschaftlich genutzten Flächen reibungslos untergebracht werden sollen. Unter den wirtschaftlichen Verhältnissen in der BRD wird man nicht mit einer wesentlichen Kostenbeteiligung der Landwirtschaft an der Klärschlambeseitigung rechnen können. Der Klärschlammproduzent tut gut daran, den Transport bis zum Acker hin in seine Kosten einzubeziehen, die

er für die Beseitigung der Schlämme aufwenden muß. Der Sorge um schadlose Beseitigung der Schlämme wird er dadurch jedoch enthoben, d.h. er braucht sich weder um Deponien, noch Verbrennung zu kümmern.

Die Anwendung von Abwasserklärschlämmen in der Landwirtschaft hilft Energie und Rohstoffe sparen!

Schrifttum

1. Kugel, G.: Pasteurisierung von Roh- und Faulschlamm in Gewässerschutz - Wasser - Abwasser. 6, 1971, Aachen, bei Krupinski Mondorf bei Bonn
  
2. Reploh, H.: Gesichtspunkte zur seuchenhygienisch unbedenklichen Klärschlammverwertung im Landbau, in Gewässerschutz - Wasser und Abwasser. 6, 1971, Aachen, bei Krupinski Mondorf bei Bonn
  
3. Peterson, J.R.,  
C. Lue Hing and  
D.R. Zenz: Chemical and biological Quality of municipal sludge, in Conference on Recycling Treated Municipal Waste Water through Forest and Cropland. March 1974, U.S.Environmental Protection Agency, Washington DC 20460
  
4. Kick, H. und  
H.Poletschny: Anbau landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf entwässertem Abwasserschlamm. Landwirtsch.Forsch.27/I. Sonderheft, 67-72, 1972
  
5. Schrader, Th.: Persön.Mittlg. der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau Gartenbau und Landwirtschaft
  
6. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 11, 1970, Sonderheft: "Abwasserschlammverwertung", mehrere Aufsätze
  
7. Landwirtschaftliche Zeitschrift Rheinland, No.27, 1.7.1972, 51254, mehrere Aufsätze "Klärschlammdüngung in der Landwirtschaft, Möglichkeiten und Grenzen

8. El-Bassam, N. und  
C. Tietjen: Untersuchungen zur Auswaschung von  
Nährstoffen und Schwermetallen bei  
Anwendung größerer Klärschlammengen,  
Mitt.dt.BodenkdI.Ges., 16, 156-164,  
1972
9. International Atomic Energy Agency.  
Proceedings Series: Symposium on the  
use of high level radiation in waste  
treatment, 17.-21.3.1975
10. Kugel, G.: Jahresbericht 1975 des Niersverbandes,  
4060 Viersen

Tab. 1 pH-VERSCHIEBUNG DURCH KLÄRSCHLÄMME AUF ACKER- UND GRÜNLAND

GABEN AN BASISCH WIRKSAMEM KALK DZ/HA CAO MIT DEM KLÄR- SCHLAMM	GRÜNLAND		GABEN AN BASISCH WIRKSAMEM KALK DZ/HA CAO MIT DEM KLÄR- SCHLAMM	pH <sub>KCL</sub>			
	pH <sub>KCL</sub> ANFANG	pH NACH 1 JAHR		ANFANG	1. JAHR	2. JAHR	4. JAHR
			OHNE	4,8	4,8	4,4	4,6
			22	4,8	4,9	4,6	4,8
OHNE KALK	5,7	5,6	48	4,8	4,2	4,7	4,9
12	5,8	5,9	65	4,8	5,4	4,9	5,0
30	5,7	6,0		GRÜNLAND			
60	5,8	6,2	OHNE	5,4	5,4	4,9	4,7
26	5,9	6,2	26	5,4	5,7	5,6	5,5
68	5,9	6,7	52	5,4	6,1	6,0	5,8
136	5,6	6,6	78	5,4	6,2	6,1	5,9
TIEFSTALLMIST	5,8	5,7	104	5,4	6,2	6,1	5,8

Tab.2 Schwankungsbreite in den Gehalten an den hauptsächlichsten Bestandteilen des Faulschlammes aus einer Kläranlage im Verlauf eines halben Jahres

30.1. – 29.6. [4]

Angaben in % der Trockenmasse

	Schwankungsbreite	Durchschnitt
Wassergehalt in %	95,8 – 81,8	87,5
Organische Masse	80,6 – 40,1	53,9
N	3,0 – 1,5	2,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,0 – 1,41	2,2
K <sub>2</sub> O	0,29 – 0,09	0,14
CaO	9,9 – 4,4	7,2
pH-Wert	6,6 – 7,2	6,9

TABELLE 3. ZUSAMMENSETZUNG EINIGER AMERIKANISCHER ABWASSER-  
KLÄRSCHLÄMME IN % BZW. IN MG / KG TROCKENMASSE (3)

	1	2	3	4	5
GES. N %	5,84	4,69	5,57	5,20	6,35
NH <sub>4</sub> N %	2,34	1,33	3,63	2,40	SPUR
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	6,34	5,34	6,30	9,4	6,0
K <sub>2</sub> O %	0,32	0,29	0,82	0,66	0,50
CaO %	4,16	3,15	7,1	5,9	2,00
MgO %	0,43	0,66	2,70	1,00	1,23
Zn MG/KG	750	1400	690	3500	-
B MG/KG	13	20	-	-	20-400
FE MG/KG	4500	7600	22200	36800	55300
MN MG/KG	150	390	700	1400	120
AL MG/KG	650	7400	-	11200	-
CD MG/KG	8	360	9	125	280
CL MG/KG	-	-	1200	7400	-
CR MG/KG	3900	670	190	1112	3620
CU MG/KG	1200	650	620	880	1110
NI MG/KG	10	150	320	200	340
PB MG/KG	390	700	830	1180	1140

Tabelle 4

GEHALTE AN WIRKSAMER ORGANISCHER MASSE IN  
VERSCHIEDENEN KLÄRSCHLÄMMEN UND MÜLLKOMPOSTEN

GEHALT AN GES.ORG.  
MASSE IN DER TR.M.

GEHALT AN WIRKSAMER  
ORGANISCHER MASSE

ANTEIL AN WIRKSAMER  
ORGANISCHER MASSE AN DER GESAMTEN ORG.MASSE

KLÄRSCHLÄMM	MÜLLKOMPOSTE	KLÄRSCHLÄMM	MÜLLKOMPOSTE	KLÄRSCHLÄMM	MÜLLKOMPOST
56 %	33,8 %	50,0 %	5,63 %	88 %	16,6 %
49 %	26,6 %	43,7 %	4,5 %	89 %	16,9 %
55,1 %	27 %	40,0 %	5,6 %	72 %	20,7 %
46,4 %	25,3 %	20,1 %	3,7 %	45,5 %	14,6 %
39,3 %	32,8 %	31,8 %	14,6 %	81 %	44,5 %
34,4 %	31,9 %	25,8 %	12,7 %	75 %	39,8 %
86 %	28,4 %	48,2 %	7,3 %	56 %	44 %
-	43,4 %	-	15,4 %	-	28,1 %
-	28,4 %	-	7,3 %	-	25,7 %

Tab.5 DURCH EINE EINMALIGE KLÄRSCHLAMMGASSE VON 300 M<sup>3</sup>/HA  
(7 % TR.M. VERABREICHTE SCHWERMETALLMENGE)

ELEMENT	KG/HA	KG/HA BIS 20 CM VON NATUR AUS HÄUFIG IM BODEN VORHANDEN
VANADIUM	0,84 - 1,8	3 - 300
MANGAN	3,50 - 14,7	BIS > 1000 KG
KOBALT	0,21 - 3,5	3 - 30
NICKEL	1,00 - 30	30 - 150
MOLYBDÄN	0,04 - 0,6	0,6 - 3
CHROM	3,10 - 143	30 - 150
KUPFER	5,2 - 180	15 - 60
ZINK	3,5 - 105	30 - 900
ZINN	2,1 - 7,6	KAUM BEKANNT
WISMUT	0,2 - 1,5	KAUM BEKANNT
BLEI	6,1 - 155	0,3 - 150
CADMIUM	0,08 - 5,7	0,3 - 3
SILBER	1,5 - 9,1	KAUM BEKANNT
QUECKSILBER	0,02 - 0,04	0,3 - 0,3

Tabelle 6

## TOLORIERBARE SCHWERMETALLGEHALT IN BÖDEN

Gesamtgehalte mg/kg Boden

	häufigste Gehalte	Streubereich	im Boden tolerierbar
Cr	10 - 50	1 - 100	100
Ni	10 - 50	1 - 100	100
Co	1 - 10	1 - 50	50
Cu	5 - 20	2 - 100	100
Zn	10 - 50	10 - 300	300
Mo	1 - 5	0,2 - 10	10
Cd	0,1 - 1	0,1 - 1	5
Hg	0,1 - 1	0,1 - 1	5
Pb	0,1 - 50	0,1 - 100	100
As	1 - 20	1 - 50	50
Se	1 - 5	0,1 - 10	10

Tabelle ✕ **Hauptsächlich in Abwässern vorkommende Gruppen  
von Pathogenen, Viren und Parasiten**

1. Bakterien

Salmonella

Shigella

Mycobacterien

2. Protozoen

Entamoeba histolytica

Nägleria

3. Wurmparasiten

Ascaris

Ancylostoma

Necator

Taenia

Trichuris

4. Enterovirus

Polio

Coxsacke

Echo

Reevirus

Adenovirus

Infektiöse Hepatitis Gelbsucht

Gastroenteritis

Polyomyelitis

asept.Meningitis, Myocarditis

asept.Meningitis, Enteritis

Enteritis

Gastroenteritis

Tab. 8

## Seuchenhygienisch unbedenkliche Klärschlammverwertung im Landbau

			I	II	III	IV	V	VI	VII
			Ausweich- flächen <sup>1</sup>	Ackerland	Grünland und Feld- futter- anbau	Rebland	Obst- anlagen ohne Unter- kultur <sup>6</sup>	Baum- schulen	Garten- land und Gemüseanbau
				VR <sup>2</sup>	V	VR	V	VR	VR
5.1.1. Rohschlamm	sb		+	-	-	-	-	-	-
			(bedingt)						
5.1.2. Schlamm aus Kleinkläranlagen und Erdbecken	sb		+	+	- <sup>3</sup>	-	-	-	+
5.2.1. flüssig	} anaerob oder aerob stabilis. Schlamm	sb	+	+	- <sup>3</sup>	+ <sup>4</sup>	- <sup>5</sup>	+	+
5.2.2. entwässert		sb							
5.2.3. natürlich getrocknet		sb							
5.3.1. chemisch	} Kondit. Schlamm	sb							
5.3.2. thermisch									
5.4. thermisch getrockneter Schlamm									
5.5. erhitzter Nassschlamm (roh stabilisiert)			+	+	+	+	+	+	+
5.6. kompostierter Schlamm									

sb = seuchenhygienisch bedenklich

VR = Vegetationsruhe (s. auch Fussnote 2)

V = Vegetationszeit

+ = Anwendung zulässig

- = Anwendung unzulässig

- <sup>1</sup> Ausweichflächen sind Acker ohne Ernteebenutzung, Grenzertragsböden, Grünlandumbruch, Frostneukulturen, Oedland sowie Rekultivierungsflächen.
- <sup>2</sup> Die Vegetationsruhe (VR) umfasst die Wintermonate, ferner den Zeitraum, in dem die Fläche frei ist von Pflanzen und Früchten, die der menschlichen oder tierischen Ernährung dienen. Im letztgenannten, ausserhalb der Wintermonate liegenden Zeitraum ist die Ausbringung so durchzuführen, dass anderweitig landwirtschaftlich genutzte Flächen nicht beeinträchtigt werden.
- <sup>3</sup> Während der Vegetationszeit (V) kann seuchenhygienisch bedenklicher Klärschlamm (sb) nur auf abgeerntetes Ackerland ausgebracht werden, wenn eine alsbaldige Einarbeitung vorgenommen wird und kein Gemüse- oder Feldfutteranbau unmittelbar folgt. Bei Getreide zur Körnergewinnung kann dieser Zeitraum bis spätestens vor dem Schossen und bei Körnermais bis zu einer Pflanzenhöhe von 25 - 30 cm verlängert werden.

- <sup>4</sup> Grünland und Feldfutterflächen können mit bedenklichen Schlammarten (sb) (5.2.1. bis 5.3.1.) frühestens nach Nutzung bzw. Aberntung bis zum Jahresende beschickt werden.
- <sup>5</sup> Die Ausbringung von seuchenhygienisch bedenklichem Klärschlamm auf Grünland und Feldfutterflächen während der Vegetationszeit ist aus human- und veterinärmedizinischen Gesichtspunkten grundsätzlich abzulehnen. In Gebieten, in denen ausschliesslich Grünlandwirtschaft betrieben wird, ist zu prüfen, ob eine Klärschlamm-Ausbringung während der Vegetationszeit auf ständig oder intermittierend genutzten Ausweichflächen ermöglicht werden kann. Ist dies nicht möglich, so ist die Ausbringung nur auf zur Futtergewinnung bestimmten Grünlandflächen zulässig. Dabei ist dafür Sorge zu tragen, dass das dort gewonnene erste Grünfutter siliert wird, während das Grünfutter weiterer Schnitte daneben auch zur Heugewinnung verwendet werden kann.
- <sup>6</sup> Bei Obstanlagen mit Unterkulturen oder Grünlandnutzung gelten die Bestimmungen für die entsprechenden Kulturen.

Tabelle 9

HUMUSGEHALTE NACH 12JÄHRIGER VERSUCHSDAUER BEI EINEM FELD-  
VERSUCH (PARABRAUNERDE) MIT KLÄRSCHLAMM.

KLÄRSCHLAMMGABEN: 1960, 1963, 1966, 1967 UND 1970

(M. III MECKENHEIM)

DÜNGUNG	% GESAMTORGANISCHE MASSE IM BODEN	% HUMIFIZIERTE ORGANISCHE MASSE IM BODEN
1 MINERALISCH	1,60	0,92
2 65 DZ STROH + 915 m <sup>3</sup> KLÄRSCHLAMM	2,05	0,92
3 915 m <sup>3</sup> KLÄRSCHLAMM	1,96	0,98
4 500 DZ STALLMIST	2,05	0,84
5 65 DZ STROH	2,02	0,70
AUSGANGSWERT $\approx$ 1,72		

Botho Wohlrab:

Rekultivierung mit Abfall und Abfallprodukten  
insbesondere mit Müll und Klärschlamm

Das Thema verknüpft zwei Problemkomplexe der Umweltsicherung, die Rekultivierung und das Recycling von Abfall. Der übergeordneten Zielsetzung dieses Seminars gemäß sollen bei der Behandlung dementsprechender gemeinsamer Lösungsmöglichkeiten wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte Berücksichtigung finden.

1. Rekultivierung von Abgrabungen und Anschüttungen

Begrifflich ist "Rekultivierung" während der letzten Jahrzehnte vor allem im Zusammenhang mit dem übertägigen Abbau von Bodenschätzen, Steinen und Erden geprägt und definiert worden (DARMER, 1972; KNABE, 1963; LEHMANN, 1960; WOHLRAB, 1973 u.a.). Unter diesem Bezug läßt sich ihr Ziel - weit gefaßt - wie folgt postulieren:

"Morphologische und ökologische Reintegration von Abtragungsgelände in die umgebende Kulturlandschaft während und nach dem Abbau, einschließlich der Begründung planmäßiger Folgenutzungen von angemessener Leistungsfähigkeit."

Zur Verwirklichung dieses Zieles sind für den Bereich der sog. bergrechtlichen Minerale - in der BRD - entsprechende Rechtsgrundlagen entwickelt worden. Einige Länder haben diese Grundlagen inzwischen auch für die nicht der Bergaufsicht unterstehenden Abgrabungen von Steinen und Erden geschaffen, sei es durch eigenständige Abtragungsgesetze (Niedersachsen, 1972; Nordrhein-Westfalen, 1972), sei es im Rahmen von Landschaftspflegegesetzen (Hessen, 1973; Schleswig-Holstein, 1973 u.a.).

Abgesehen von den rechtlichen Voraussetzungen wurde die Rekultivierung gefördert durch umfangreiche angewandte Forschung (DARMER, 1972) durch weiterentwickelte technische Möglichkeiten, aber auch durch das Aufkommen neuer gesellschaftlicher Ansprüche an den Raum, ver-

bunden mit Ansätzen umweltbezogener Bewußtseinsprozesse (SÖHNGEN, 1975). Die postulierte Zielsetzung, die mit Hilfe des folgenden Planschemas (Abb.1) präzisiert wird, ist also keineswegs utopisch und wurde verschiedentlich bereits im Sinne einer konstruktiven Umweltgestaltung realisiert.

Wie aus dem Schema ersichtlich, wird die Folgesituation nach dem Abbau durch zwangsläufig mehr oder weniger veränderte Standortverhältnisse gekennzeichnet. Wesentlichen Einfluß hat vor allen Dingen das neue Relief des betroffenen Geländes. In der Regel entsteht - und das gilt auch für den in Abb.1 nicht berücksichtigten Untertagebergbau (WOHLRAB, 1972) - aufgrund des Massenverlustes durch hereingewonnene Bodenschätze eine von der Ausgangsmorphologie abweichende künstliche Hohlform. Für die Folgenutzung von wesentlicher Bedeutung sind ferner die Eigenschaften der durch die Umlagerung entstehenden Rohböden. In beiden Fällen bietet sich die Abfallverwertung als Ausgleichsmaßnahme an und zwar

- die Deponie von Abfällen zur formgerechten Herrichtung von Abgrabungsgelände,
- die Verwendung von Abfallprodukten zur Melioration von Rekultivierungsrohböden.

Die an letzter Stelle genannte Verwertung von Abfallstoffen kommt auch im Zusammenhang mit dem Lebendverbau von Halden und sonstigen künstlichen Böschungen, beispielsweise von Verkehrsbauten in Betracht.

## 2. Deponie von Abfällen zur formgerechten Herrichtung von Abgrabungsgelände

Abgrabungsgelände bleibt häufig so ungünstig morphologisch ausgeformt zurück, daß seine Folgenutzungsmöglichkeiten sehr begrenzt sind. Wie die Erfahrungen lehren (SÖHNGEN, 1975), besteht auf derartigem Öd- oder Unland in besonderem Maße die Gefahr unkontrollierter Lagerung von Abfällen. Gleichermassen im Interesse der Rekultivierung, der schadlosen Abfallbeseitigung und letztlich auch des Gewässerschutzes ist deshalb in solchen Abgrabungen eine **g e o r d n e t e** Unterbringung von Füllstoffen anzustreben. Der Abbaube-

# AUSGANGSSITUATION

Bestehendes Wirkungsgefüge der Landschaft

# EINGRIFFSPHASE

ABGRABUNG

REKULTIVIERUNG  
(Herrichtung)

# FOLGESITUATION

Durch Rekultivierung  
erzieltes Wirkungsgefüge der Landschaft

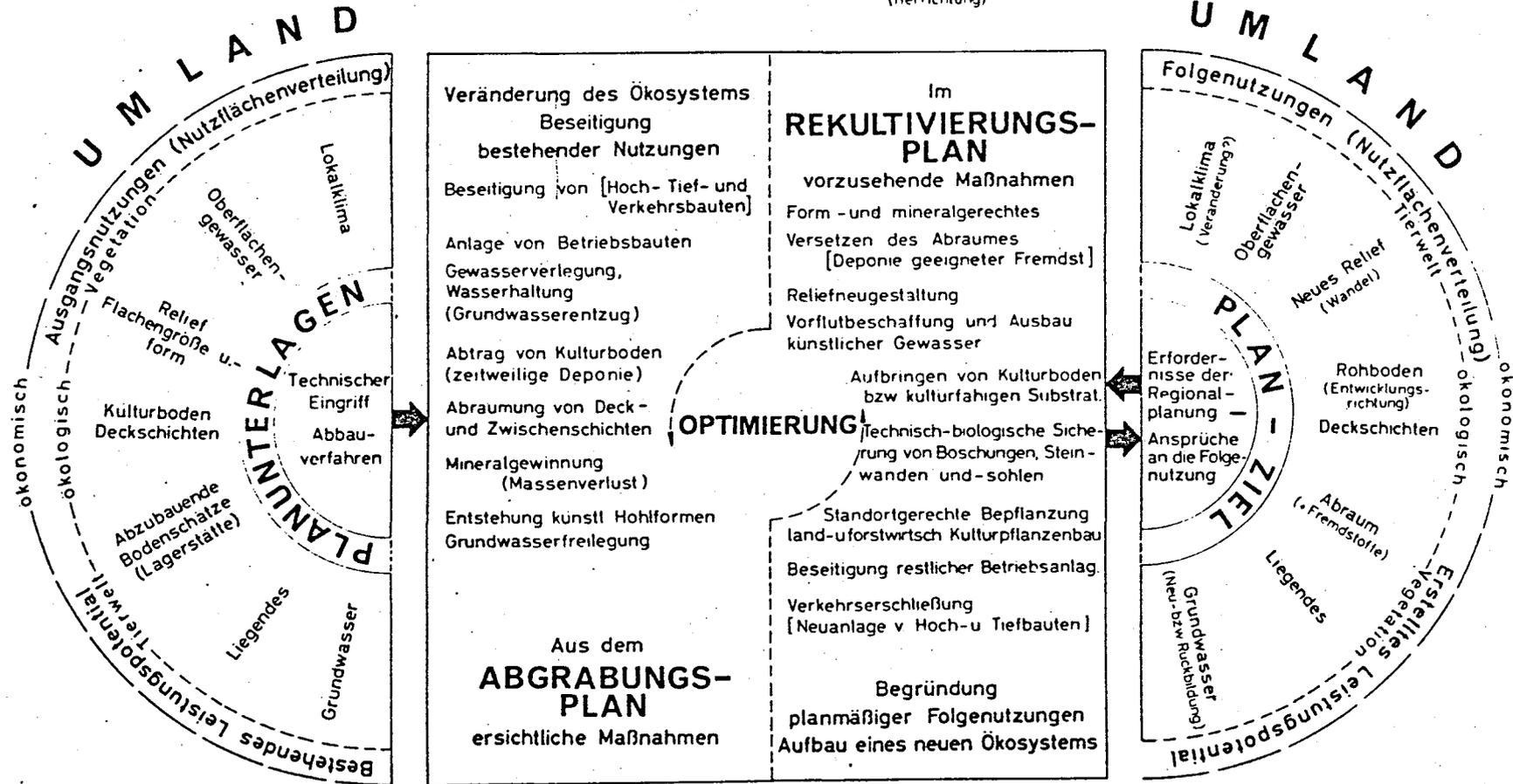


Abb. 1

(WOHLRAB, 1973)

rechtigte oder Unternehmer eines Mineralgewinnungsbetriebes kann im übrigen nach dem Abfallbeseitigungsgesetz (BRD, 1972) dazu verpflichtet werden.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht unbedenklich ist eine Verkipfung von inerten Substanzen wie Bauaushub, Bauschutt ohne wesentliche organische Beimengungen, Abraum und Schlacken ohne nennenswerte Gehalte löslicher Stoffe. Demgegenüber bringt die Verwendung von mehr oder weniger zersetzlichen und löslichen Abfällen zur formgerechten Gestaltung von Abtragungsgelände einige Probleme mit sich. Das Ablagern von Müll auf Halde, also auf unverritztem Gelände, wird daher nach SCHENKEL (1973) dem Verfüllen von Gruben oft vorgezogen. Bei freistehenden Halden läßt sich die Wasserhaltung meist leichter bewerkstelligen. Eine allseitige Durchlüftung unterbindet außerdem nach KEMMERLING (1975) eher die Methan-Entwicklung. Aus diesen Gründen kommen Brüche in klüftigem oder karstartigem Gestein (MERKEL u. VORREYER, 1973) und Gruben in sehr grobporigen Lockersedimenten, beispielsweise Schottern (KEMMERLING, 1975) für eine Mülldeponie nicht in Betracht, oder es müssen - in der Regel aufwendige und zudem fragwürdige - Vorkehrungsmaßnahmen zur Abdichtung getroffen werden. Vorzuziehen sind Abgrabungen mit einer von Natur aus dichten Sohle. Besonders eignen sich in dieser Hinsicht nach einer Seite geöffnete Gruben, aus denen das in einem gut funktionierenden Dränsystem zu fassende Sickerwasser frei abfließen und einer Reinigung zugeführt werden kann. Etwaiger seitlicher Fremdwasserzufluß in den Deponiekörper sollte tunlichst unterbunden werden (KURTH, 1970). Um in geschlossenen Hohlformen mit dichter Sohle den unerwünschten Stau des Sickerwassers in die Mülldeponien zu vermeiden, ist u.U. eine künstliche Wasserhaltung vonnöten. Alle diese Vorkehrungen sind vor allem dann zwingend, wenn die zu Verfüllende Abgrabung im Einzugsgebiet eines zur Trink- und Brauchwasserversorgung in Anspruch genommenen oder nutzbaren Grundwasservorkommens liegt. Wo dies nicht in Betracht kommt, sollten nach KEMMERLING (1975) keine übertriebenen Forderungen an die Abfall-Lagerung gestellt werden.

Neben der Verfüllung von Abgrabungen bietet sich bergbaubedingtes

Senkungsgelände für eine Deponie von Abfällen an. Die Zentraldeponie Emscherbruch in Gelsenkirchen befindet sich beispielsweise in einem solchen Senkungsgebiet (SCHENKEL u.a., 1970). Sie dient dort also gleichzeitig der Sanierung von Landschaftsschäden und der Wiederherstellung einer größeren geschlossenen Grünfläche im Zentrum des Rhein.-Westf. Ballungsgebietes.

Abgesehen von den skizzierten Standortbedingungen, die für die Unterbringung von Abfällen auch oder gerade in derartigen künstlichen Hohlformen erfüllt sein müssen, haben zentrale Mülldeponien - die für die Zukunft erstrebte Form der Abfallablagerung - einen bestimmten Flächenbedarf oder richtiger Volumenbedarf. Für Unter- bis Mittelzentren ländlicher Regionen mit ihrem Umland (20 - 30 000 Einwohner) hat SÖHNGEN (1975) größenordnungsmäßig einen Flächenbedarf von 5 ha berechnet. Er legte dabei eine angestrebte Laufzeit von wenigstens 20 Jahren zur zentralen Unterbringung des Mülls in einer durchschnittlich 15 m tiefen Grube bei Einhaltung einer Flurkippe zugrunde. Falls aus landschaftsökologischer Sicht und aus Gründen einer bestimmten Folgenutzung - beispielsweise Naherholungsgelände mit morphologischer Vielfältigkeit - eine Überflurverkipfung angestrebt wird, läßt sich unter diesen Bedingungen die Laufzeit verlängern. In einer Flächendisposition für die Abfallbeseitigung im Gebiet des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk (DEWEY, 1974) wurde von einer Mindestgröße von 10 ha ausgegangen.

### 3. Verwertung von Abfallprodukten zur Melioration von Rekultivierungsrohböden

Eine land- und forstwirtschaftliche Folgenutzung von Abgrabungsgelände setzt voraus, daß Kulturböden oder kulturfähige Abraummassen separat abgetragen und wieder aufgebracht werden. Dabei hat man längst erkannt, daß es nicht nur um den sog. Mutterboden, d.h. um die wenige Dezimeter mächtige Krume geht. Wenn leistungsfähige Land- und Forstwirtschaft betrieben werden soll, müssen wenigstens rd. 1 m mächtige Decken aus kulturfähigen Substraten

über wasserzügigem Untergrund abgesetzt werden (WOHLRAB, 1970).

Aus technischen Gründen ist außerdem heute in der Regel die Trennung von Krume und übrigen Boden nicht mehr möglich und in Anbetracht des Einsatzes schwerer Planierungsgeräte auch die getrennte Aufbringung dieser Substrate unzweckmäßig. Diese mutterbodenlose Rekultivierung hat aber zwangsläufig zur Folge, daß zunächst sog. Rohböden entstehen. Sie zeichnen sich nach KRÄMER (1975) durch geringe Gehalte organischer Substanz aus. Ihnen fehlt tätiges Bodenleben und stabile Struktur. Ihr Wasser- und Lufthaushalt ist daher meist gestört, d.h. sie besitzen entweder eine geringe Wasserkapazität oder neigen zur Übernässung bzw. Wechselfeuchte. Vielfach ist die Verschlammungsgefahr und damit die Erosionsneigung auf ihnen besonders groß, ihre Sorptionsfähigkeit und ihr bodenbürtiges Angebot an Nährstoffen und Spurenelementen dagegen relativ gering (KICK, 1965).

Es gehört deshalb ebenfalls zu den Aufgaben der Rekultivierung, durch geeignete Maßnahmen eine Bodenentwicklung in Richtung zu einem optimalen Pflanzenstandort einzuleiten. Man nennt diese Phase vielfach meliorative Vor- oder Zwischenbewirtschaftung. Im Mittelpunkt stehen dabei die Anhebung des Humusspiegels und in diesem Zusammenhang eine bodenbiologische Aktivierung sowie der Aufbau und die Stabilisierung des Bodengefüges. Die Anhebung des Humusspiegels innerhalb kürzerer Zeiträume ist nur über die Verabfolgung großer Mengen geeigneter organischer Massen zu bewerkstelligen, die weit über die gewöhnlichen Gaben betriebseigenen organischen Düngers hinausgehen. Hier bietet sich also die Verwertung von Abfallprodukten, in erster Linie von Müllkompost, Klärschlamm und Müllklärschlammkompost (MKK) an.

Es liegen bereits zahlreiche Versuchs- und Untersuchungsergebnisse über eine derartige Anwendung vor. Einige sollen herausgegriffen werden. Rekultivierungsrohboden ist im ersten Fall ein mit einer Mächtigkeit von durchschnittlich 90 cm aufgespülter Löß im Rhein-Braunkohlengebiet westlich von Köln (KRÄMER, 1975b). Der hohe Schluffanteil in der Korngrößenzusammensetzung von über 70 % und ein geringer Ausgangsgehalt an organischer Substanz

von nur rd. 0,3 % bedingen die Gefügelabilität dieses Rohbodens, der sich im übrigen aber durch hohe Ertragspotenz auszeichnet, insbesondere aufgrund seines ph-Wertes von etwas über 7, seines Gehaltes an freiem  $\text{CaCO}_3$  von rd. 5 % und seiner beachtlichen pflanzennutzbaren Wasserkapazität von über 25 % des Bodenvolumens. Mit dem Ziel, durch geeignete Maßnahmen die schon bei mittlerer Niederschlagsdichte auftretenden beträchtlichen Verschlämmungen und Erosionen, verbunden mit mikroreliefartig stärkeren Vernässungen und wesentlich erschwerter Bodenbearbeitung zu beseitigen oder doch stark einzuschränken, wurde von der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz NW ein Humusanreicherungsversuch durchgeführt. Zusätzlich zur Gründüngung kamen verschiedene organische Stoffe zum Einsatz, darunter auch Klärschlamm und Müllklärschlammkompost. In drei Jahren wurden dem Rohboden auf diese Weise nach KRÄMER (1975b) 235 dz organische Trockensubstanz über die Gründüngung und 195 bzw. 390 dz je ha über organische Dünge- oder Abfallstoffe zugeführt (390 dz bei zweifacher MKK-Menge).

Tabelle

Stickstoffgehalt, C/N-Verhältnis und Gehalt des Bodens an org. Subst. nach dreijähriger Zufuhr org. Dünge- und Abfallstoffe (KRÄMER, 1975b)

Nr.	Variante Behandlung	N (%)	C/N- Verhältn.	Org. Substanz % + zu Var. 3
1	NPK	0,03	9,0	0,46
2	NPK + Styromull	0,03	8,0	0,41
3	NPK + Gründüngung	0,04	7,8	0,53
4	NPK + Gründüngung + Stallmist	0,05	7,8	0,66 0,13
5	NPK + Gründüngung + Klärschlamm	0,05	8,0	0,69 0,16
6	NPK + Gründüngung + MK-Kompost	0,04	10,0	0,68 0,15
7	NPK + Gründüngung + 2 x MK-Kompost	0,05	9,8	0,84 0,31
8	NPK + Gründüngung + Strohu. Kalkstickst.	0,04	7,5	0,52 -
9	NPK + Gründüngung + Torf	0,04	10,8	0,73 0,20

Wie sich aus der Tabelle ergibt, hat die organische Substanz im Boden nach drei Jahren zusätzlich um 0,13 % bei Stallmist, um rd. 0,15 % bei Klärschlamm und MKK, um 0,2 % bei Torf sowie rd. 0,3 % bei doppelter MKK-Menge zugenommen. KRÄMER und FRANZ (1973) schließen ferner aus Ergebnissen mikrobiologischer Untersuchungen, daß die mikrobielle Aktivität durch die zusätzliche organische Düngung sehr gefördert wird. Am höchsten lag sie bei der doppelten Menge Müllklärschlammkompost. Die Ergebnisse bodenphysikalischer Untersuchungen - Krümelstabilität, Sonden- und Abscherwiderstandsmessungen - liegen noch nicht vor. Soviel kann aber festgestellt werden: Die Verschlämmungs- und damit die Erosionsneigung hat sich auf den zusätzlich mit organischen Substanzen versorgten Parzellen merklich verringert, die Bodenbearbeitung wurde wesentlich erleichtert und witterungsunabhängiger. Hinsichtlich des Landschaftswasserhaushaltes sind die Wirkungen ebenfalls positiv zu bewerten.

Neben solchen sich noch im Rahmen normaler Zufuhr organischer Stoffe haltenden Gaben, die allerdings erst in langfristigen Zeiträumen zu einer Anhebung des Humusspiegels auf das Niveau gewachsener Böden führen, fehlt es nicht an Versuchen, den gewünschten meliorativen Effekt durch Verabfolgung sehr hoher Mengen möglichst schnell zu erzielen. Gleichmäßige Ausbringung und gute Einarbeitung sind dabei ein technisches Problem. Während KICK (1962) Anfang der 60er Jahre noch Meliorationsgaben bis zu 500 t/ha MKK empfahl, wurden inzwischen an seinem Institut von WEBER (1974) Versuche mit darüber hinausgehenden Gaben von 600, 1200 und 1800 t/ha MKK durchgeführt. Allerdings erwies es sich als notwendig, solche Massen bis zu 50 cm Tiefe mit einer Spatenmaschine einzuarbeiten. Schon die Verabfolgung von 600 t/ha MKK erbrachte in dem als Versuchsboden verwendeten Rekultivierungsrohlöß eine Anhebung der Gesamtkohlenstoffgehalte auf Werte, "wie sie vergleichsweise in den besten Ackerböden dieses Gebietes gefunden werden" (KICK und WEBER, 1973). Auf die in "vieler Hinsicht" günstigen Wirkungen dieser Anreicherungen mit organischer Substanz hat WEBER (1974) hingewiesen und damit

bestätigt, daß der Haupteffekt solcher Verwertung von Abfallstoffen in der Verbesserung der Bodenstruktur - Optimierung der Porengrößenzusammensetzung - und damit des Bodenwasserhaushaltes, insbesondere in der Erhöhung der Wasserleitfähigkeit (Regenverdaulichkeit) und demzufolge der Verhütung von Wassererosionen (BANSE, 1961 und BOSSE, 1969) zu sehen ist, ferner in der Steigerung der Sorptionskapazität der behandelten Böden und in der Anreicherung mit Pflanzennährstoffen, mit Kalk sowie mit möglicherweise biologisch bedeutsamen Wirkstoffen und Spurenelementen (KICK, 1965).

Mit der Anreicherung anorganischer und organischer Schadstoffe bei der Anwendung von Abfallprodukten und mit der Abwehr entsprechender Gefährdungen haben sich KICK (1974), FARKASDI (1974), DITTER (1975), SCHÄFER (1975) u.a. näher auseinandergesetzt. Hinsichtlich der Schwermetalle kann danach festgestellt werden, daß es überwiegend zu ihrer Festlegung im obersten Bodenhorizont kommt, vor allem in Abhängigkeit vom Ton- und insbesondere Humusgehalt.

Die Gefahr einer Kontamination des Grundwassers, wenn es nicht oberflächennahe ansteht - Flurabstand  $> 2$  m -, ist daher relativ gering. In erosionsgefährdeten Lagen, in denen die Abfallverwertung allerdings der Abtragsneigung entgegenwirkt, besteht die Möglichkeit einer Verfrachtung in die Wasserläufe und einer dementsprechenden Anreicherung in deren Sedimenten. Inzwischen wurden in der BRD zur Kontrolle und, um solchen Belastungen vorzubeugen, vorläufige Toleranzwerte für den Gesamtgehalt bestimmter Schadstoffe in Böden aufgestellt (BUNDESGESUNDHEITSAMT, 1974). Außerdem wurden vom VDLUFA (1975) vorläufige Richtlinien zur Beurteilung der Siedlungsabfallkomposte als Produktionsmittel der Landwirtschaft herausgegeben. In seuchenhygienischer Hinsicht bestehen schließlich in der BRD seit einigen Jahren Übergangsvorschriften für die Klärschlammverwertung im Landbau (STRAUCH, 1972). Aufmerksam zu machen ist nach KICK und WEBER (1973) noch auf die hohen Salzgehalte im Müllkompost, die bei den höchsten Gaben zu einer starken Anreicherung löslicher Salze im Boden führen (7 - 8 t/ha bei 1800 t/ha MKK).

Auf sorptionsschwachen, sehr durchlässigen Ausgangssubstraten (Sand) muß also bei derartigen Mengen mit einer merklichen Verlagerung ins Grundwasser gerechnet werden. Standorte mit geringem Grundwasserflurabstand sind daher für die Unterbringung großer Abfallgaben in der Regel nicht geeignet (TIETJEN, 1972).

Zur Melioration von Rohböden eignet sich - wie bereits angedeutet - nicht nur Müllkompost, sondern auch Abwasserklärschlamm. Als Beispiel ist die Anwendung einer relativ hohen Abwasserschlammgabe auf mittelkörnigen Sanden anzuführen. Es handelt sich dabei um besonders wasserkapazitätsschwache, daher trockenempfindliche, sorptionsarme und saure Rohböden. Durch die einmalige Aufbringung von  $2500 \text{ m}^3/\text{ha}$  Klärschlamm ( $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt 95 % d.h. 125 t Trockensubstanz je ha) und seine Einarbeitung mit einem Kreiselflug in die etwa 15 cm mächtige obere Schicht des Mineralbodens, verändert sich nach SAXEN (1967) die Porenverteilung ganz wesentlich (Abb.2).

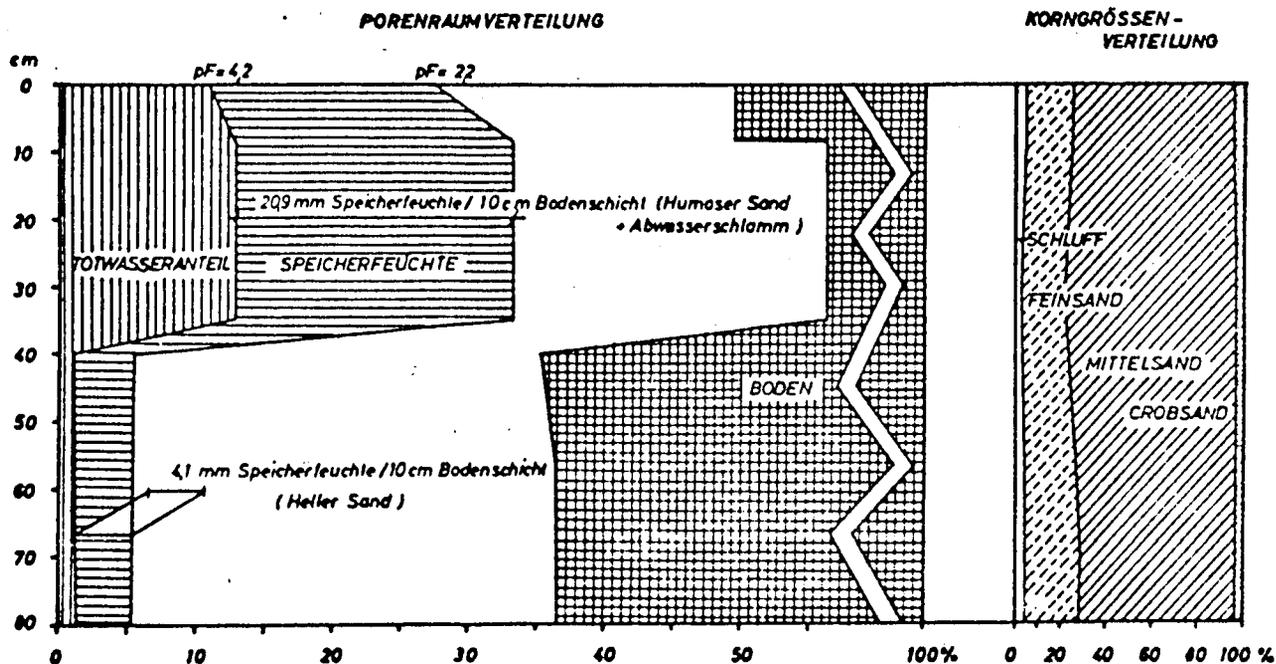


Abb. 2

Veränderung der Porenraumverteilung in einem Mittelsand nach der Abwasserschlammbehandlung:  $2500 \text{ m}^3/\text{ha}$ ; 1250 dz TS/ha (Saxen, 1967)

Aus dem Ausgangssubstrat, das infolge der hohen Sickerleistung nur eine geringe Filterfähigkeit besaß und einen ungünstigen Pflanzenstandort darstellte, entstand auf diese Weise ein wesentlich sorptionsstärkerer Oberboden mit etwa 5-facher nutzbarer Wasserkapazität. Die nutzbare Wasserkapazität im Wurzelraum nahm demgemäß um 60 mm zu. Mit diesem Beispiel sollte der meliorative Effekt bei einem extremen Standort demonstriert werden. Ein zu verallgemeinerndes Rezept kann daraus allerdings nicht abgeleitet werden. Insbesondere ist die Nachhaltigkeit der meliorativen Wirkung je nach dem Gehalt leicht abbaubarer organischer Substanz im verwendeten Klärschlamm mehr oder weniger begrenzt. Zu hohe Gaben engen nach SCHAFFER, 1967 im übrigen wegen der entsprechenden Menge pflanzenausnutzbaren Stickstoffs die Fruchtwahl wesentlich ein. Die Nährstoffnachwirkung hängt von der Behandlung des Klärschlammes ab. VOGEL (1975) wies nach, daß sich Trockenbeet-Schlämme, unter ihnen vor allem solche mit Flockungsmittelzusatz, durch größere Nachwirkung auszeichnen als Flüssigschlämme. Allerdings ist die rationelle Ausbringung von Trockenbeetschlämmen technisch noch nicht befriedigend gelöst (TIETJEN, 1973).

Versuche und Untersuchungen über die meliorative Wirkung von Abfallprodukten auf Rekultivierungsrohböden wurden bisher hauptsächlich im Hinblick auf eine landwirtschaftliche Folgenutzung durchgeführt. Daraus ist jedoch nicht zu schließen, daß für die Begründung von Forstbeständen und ganz allgemein für die Begrünung - insbesondere extremer Standorte - auf diese Weise keine günstigen Startbedingungen zu erzielen wären. Dem stehen auch keineswegs die vorläufigen Richtlinien für die Ausbringung von Klärschlamm (Arbeitskreis "Wald und Siedlungsabfälle", 1975) und die vorläufigen Empfehlungen für die Anwendung von Müll-Klärschlamm-Kompost (SCHWARZ und ZUNDEL, 1975) im Wald entgegen, die kürzlich von der Forstwirtschaftsverwaltung in der BRD herausgegeben wurden, offensichtlich und durchaus begründet, um einer unsachgemäßen und unkontrollierten Abfallbeseitigung vor allem in Forstbeständen zu begegnen. Der zunehmende Absatz von Siedlungsabfallkomposten im Land-

schaftsbau, auf den ERNST (1974) hinwies, läßt darauf schließen, daß sich diese Abfallprodukte mit Erfolg bei Begrüßungsmaßnahmen - auch im Zuge der Rekultivierung - einsetzen lassen. Allerdings wird man sich hier, mehr als bei landwirtschaftlicher Folgenutzung, letztlich auch aus Kostengründen, hinsichtlich der Höhe von Meliorationsgaben Beschränkung auferlegen müssen. Von besonderer Bedeutung ist, um dies abschließend zu erwähnen, die Verwendung von Abfällen und Abfallprodukten zur Verbesserung extremer Standorte - Anschnitte, Kippen und Halden -, wie sie beim Abbau von Bodenschätzen verschiedentlich zurückbleiben. Je nach den Eigenschaften solcher mehr oder weniger vegetationsfeindlichen Standorte - extrem sauer, u.U. mit anhaltender Säureentbindung, steril, hydrophob usw. - kann zur Grundmelioration sogar die Anwendung industrieller Produktionsabfälle zweckmäßig sein. ILLNER und KATZUR (1964) berichteten z.B. über den erfolgreichen Einsatz von basenreicher und schwefelarmer Braunkohlenasche sowie von sogenanntem Bioschlamm aus der Reinigung stark phenolhaltiger Kokereiabwässer auf vegetationsfreien Kippen des mittel- und ostdeutschen Braunkohlengebietes. SKIRDE (1972) setzte bei Begrüßungsversuchen auf dem Dasenberg bei Borken Braunkohlenschlacke zur Verbesserung des Wasserhaushaltes dortiger leicht erodierender Tone ein. In solchen Fällen sind zur Entscheidung, ob und welche Abfälle in Betracht kommen, spezielle Untersuchungen der zu rekultivierenden Substrate und der sich anbietenden Abfallstoffe erforderlich (ILLNER, 1969). Dabei müssen nicht zuletzt auch die positiven oder negativen Wirkungen auf den Wasserhaushalt berücksichtigt werden.

#### 4. Einbeziehung der Rekultivierung in die Flächendisposition des Recycling von Abfall

Im Anschluß an die Behandlung praktikabler Möglichkeiten des Recycling von Abfall im Rahmen der Rekultivierung stellt sich die Frage nach der realen Flächendisposition für derartige Zwecke. Zu ihrer Beantwortung soll beispielhaft von den regionalen Verhältnissen in Nordrhein-Westfalen ausgegangen werden.

Aus diesem Land liegen, abgesehen von Planungsunterlagen für das Rhein. Braunkohlenrevier, neuere Statistiken von Erhebungen über den Abbau von Steinen und Erden vor (BAGNER, 1975; KRÄMER, 1975 a u. c).

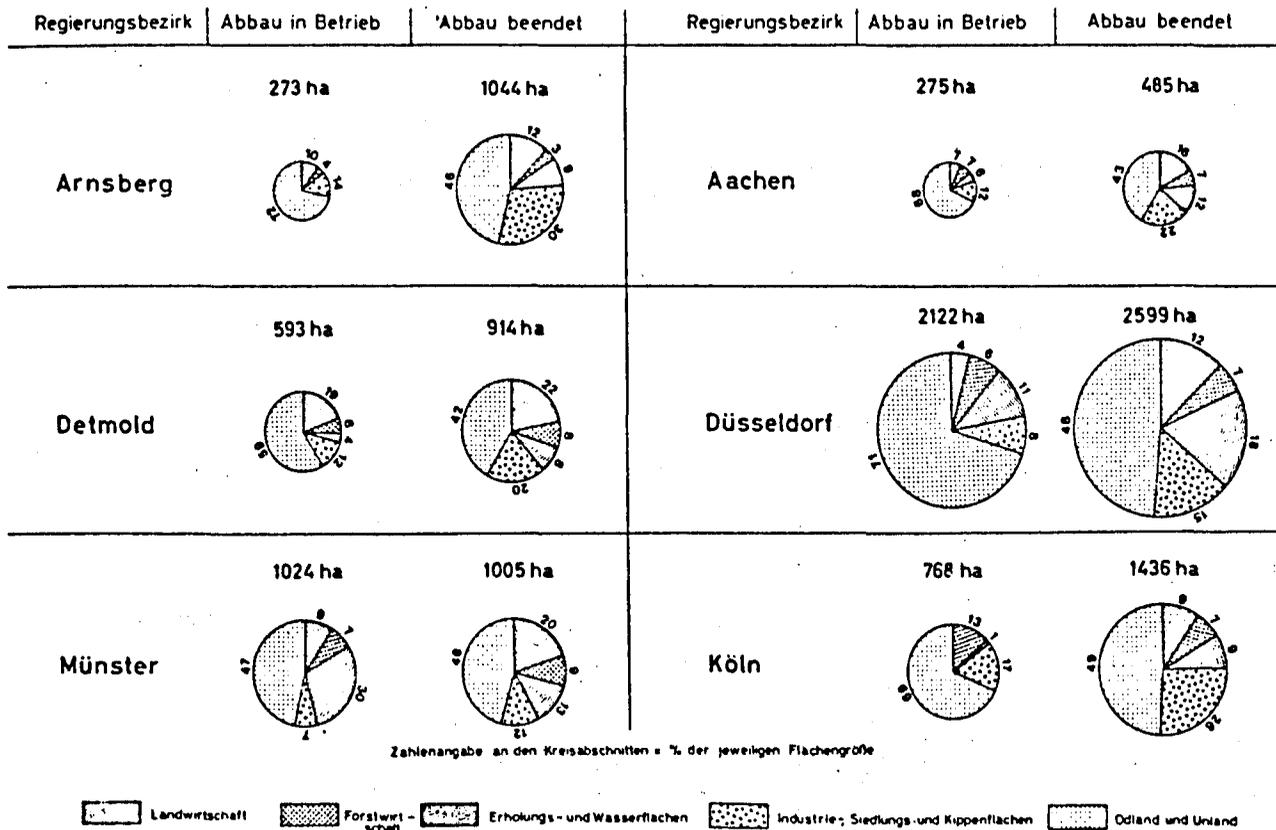


Abb 3

Folgeflächen und -nutzung beim Abbau von Steinen und Erden in den Reg. Bez. Nordrhein-Westfalen (KRÄMER, 1975 c)

Als Gesamtabbaufläche von Steinen und Erden wurden dabei rd. 15.200 ha erfasst (Stand 1970). Größenordnungsmäßig

entsprach diese Flächeninanspruchnahme derjenigen durch den Braunkohlentagebau (KRÄMER, 1975 a).

Einen sehr gestrafften Überblick über weitere Ergebnisse dieser Erhebungen vermitteln die Abb. 3 und 4. In Abb. 3 sind die Abgrabungsflächen (in Betrieb; Abbau beendet) der ehemals sechs Regierungsbezirke, differenziert nach verschiedenen Folgenutzungen sowie nach Öd- und Unland wiedergegeben. Auffällig ist der hohe Anteil nicht rekultivierter Flächen (Öd- und Unland). Die für eine mögliche Abfallbeseitigung bzw. -verwertung in Betracht kommenden Abgrabungsflächen sind demnach insgesamt beachtlich groß. Hinzu kommt, daß der überwiegende Teil der erfaßten Abgrabungsflächen auf Gebiete massierten Abbaus entfällt. Außerdem konzentriert sich dieses Gelände wegen der Transportkostenempfindlichkeit der meisten Massengüter "Steine und Erden", wo es die Lagerstättenverhältnisse irgend zulassen, um die Bedarfszentren, d.h. um die Siedlungs- und Industrieballungen. Diese Situation spiegelt Abb.4 wieder, in der alle wirtschaftsräumlichen Einheiten mit  $> 100$  ha Abgrabungsfläche (nur Steine und Erden) entsprechend kenntlich gemacht sind (BAGNER, 1975). Als Haupt-Abbauregionen treten danach -abgesehen vom Braunkohlenrevier - besonders das Ruhrgebiet - gleichzeitig stark von Bergsenkungen durch Untertagebau betroffen - und die Rheinniederung hervor. Eine weitere Erkenntnis aus diesen Erhebungen ist, daß die Durchschnittsgröße je Abgrabungsbetrieb in letzter Zeit wesentlich zugenommen hat (KRÄMER, 1975 a).

Legt man nachfolgende Größenordnungen zugrunde, dann sind, von der Flächendisposition her gesehen, die Voraussetzungen für komplexe Lösungen von Rekultivierung und Abfall-Recycling in Nordrhein-Westfalen recht günstig zu beurteilen:

- a) Mindestflächenbedarf für geordnete Deponie: 10 ha (DEWEY, 1974)
- b) Flächenbedarf für die Verwertung von 12.000 t/Jahr Müllklärschlammkompost - Erzeugung bei 100000 angeschlossenen Einwohnern im Durchschnitt pro Jahr rd. 15.000 t (WALTER, 1972) - in Meliorationsgaben von 600 t/ha : 20 ha/Jahr.



Es wird in Zukunft darauf ankommen, Rekultivierungspläne und Abfallbeseitigungspläne, die bisher in der Regel völlig unabhängig voneinander aufgestellt wurden, miteinander zu kombinieren, wo die standörtlichen Voraussetzungen dies zulassen bzw. sogar erfordern. Der erste Schritt auf diesem Wege sollten exemplarische Kosten - Nutzen - Analysen sein. Problematisch ist dabei allerdings noch die Meß- und Bewertbarkeit von sog. Sozialkosten und Sozialnutzen (BÖHLE u.a., 1973). Gemeint sind einerseits -vorübergehende oder nachhaltige- Umweltschäden, andererseits Verbesserungen des ökologischen und sozialökonomischen Leistungspotentials des betreffenden Landschaftsteiles. Es ist bisher methodisch noch nicht geklärt, wie diese gegen Realkosten bzw. Realnutzen monetär aufgerechnet werden können.

#### 5. Zusammenfassung

Aufgrund bestehender oder noch zu erlassender gesetzlicher Bestimmungen kann man im Bundesgebiet davon ausgehen, daß Abgrabungen von Bodenschätzen künftig konsequent und planmäßig rekultiviert werden. Für das Recycling von Abfällen und Abfallprodukten ergeben sich dabei im wesentlichen zwei Einsatzmöglichkeiten.

Abtragungsgelände bleibt meist als extreme künstliche Hohlform zurück, dessen morphologische Einbindung in die umgebende Kulturlandschaft mitunter sehr schwierig ist. Die Unterbringung von Abfall als Ersatz für entstandene Massenverluste ist aus diesem Grund oft sehr erwünscht, aber nur bei inerten Stoffen unproblematisch. Sie hat sich im übrigen nach den strengen Prinzipien einer geordneten Deponie zu richten, bei der wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte besondere Berücksichtigung finden. Im übrigen ergibt sich aus dem zentralen Betrieb einer solchen Deponie ein Mindestbedarf an Füllraum bzw. bei vorgegebener Kipphöhe an Fläche.

Es gehört zu den Aufgaben der Rekultivierung, für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung geeignete leistungsfähige

Böden zu erstellen, die Vegetationsentwicklung auf Wiederbegrünungsflächen zu fördern und Böschungen biologisch-technisch zu sichern. Einwandfreie Abfallprodukte - Abwasserklärschlamm, Müllkompost und Müllklärschlammkompost - eignen sich gut zur Grundmelioration und für die Zwischenbewirtschaftung von Rekultivierungsrohböden. Die mit der Zufuhr derartiger Stoffe erzielte Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit wirkt sich auch auf den Landschaftswasserhaushalt günstig aus. Allerdings sind außergewöhnliche Lösungsfrachten in das Grundwasser zu vermeiden. Vegetationsfeindliche Anschüttungen und Anschnitte können vielfach erst nach einer Grundmelioration mit bestimmten Abfällen ordnungsgemäß begrünt bzw. bepflanzt werden. Die in Versuchen und Untersuchungen belegten Meliorationserfolge sind bisher in der Rekultivierungspraxis erst in begrenztem Umfang ausgenutzt worden.

Die komplexe Lösung von Rekultivierung und Abfallrecycling ist, wie am Beispiel von Nordrhein-Westfalen gezeigt wurde, in vielen Regionen auch von der Flächendisposition her realisierbar. Um auf diese Weise in größerem Umfang über eine Minimierung von Umweltbelastungen hinaus sogar konstruktiv zu einer optimalen Umweltgestaltung zu gelangen, sind jedoch noch einige Probleme zu lösen.

Literatur

- Arbeitskreis: Wald und Siedlungsabfälle  
Vorläufige Richtlinien für  
die Ausbringung von Klär-  
schlamm auf Waldflächen,  
Allg.Forstzeitschrift,  
22.471 (1975)
- Bagner, J.: Abbau von Steinen und Erden  
in NRW Regionale Flächenbe-  
anspruchung, Nutzflächen-  
verluste, Sanierungen und  
Folgenutzungen.  
Diss.Univ.Bochum, 1975
- Banse. H.J.: Beeinflussung der physika-  
lischen Bodeneigenschaften  
durch Kompostgaben  
IAM-Informationsblatt  
Nr.13, 30 - 34 (1961)
- Böhle, E.; J.Fiolka; L.Finke; O.Hangen; R.Marks und O.Sporbeck:  
Flächendisposition für  
Abfallbeseitigung im Ver-  
bandsgebiet des SVR; 1973  
(unveröffentl.Manuskript)
- BRD: Gesetz über die Beseitigung  
von Abfällen; Bundesgesetz-  
blatt, Bonn, Nr.49/1972,  
S.873 - 880
- Bosse, J.: Erosionsbekämpfung durch  
Müllkompost; Garten und  
Landschaft, H 8, 1969
- Bundesgesundheitsamt: Fachliche Stellungnahme  
zur Rechtsverordnung des § 15  
Abfallbeseitigungsgesetz  
Berlin, 6.3.1974
- Darmer, G.: Landschaft und Tagebau;  
Patzner-Verlag Hann.-Berlin;  
1972
- Dewey, W.-J.: Standortkriterienkatalog -  
eine Voraussetzung für die  
Erfassung des Deponiepoten-  
tials;  
Müll und Abfall 6.(1974)  
H.8, S. 255 - 258
- Ditter, R.: Schwermetalle im Boden,  
Diplomarbeit, Gießen 1975

- Ernst, A.A.: Anwendung und Verwertung der Kompostierungsprodukte, Gießener Berichte zum Umweltschutz, Heft 4, 41-50 (1974)
- Farkasdi, G.: Die Problematik der organischen Schadstoffe bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen, Gießener Berichte zum Umweltschutz Heft 4 65-72 (1974)
- Hessen: Hessisches Landschaftspflegegesetz v.4.4.73; Ges.u.Verordn. Bl.Hessen, Teil I,Nr.8 (10.4.73), S. 126 - 130
- Illner, K.u.J.Katzur: Über die Verwendung von industriellen Produktionsabfällen bei der Rekultivierung von kulturfeindlichen Tertiärkippen  
Wissenschaftl.Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, JG.XIII (1964) 3, S.485-490
- Illner, K.: Die Wiederurbarmachung durch eine Grundmelioration; Bergbautechnik, 19,H.1, S.37 u. 38, 1969
- Kemmerling, W.: Möglichkeiten und Grenzen der aeroben und anaeroben Deponie,  
Österreichische Gemeindezeitung 41.Jg.H.6 (1975) S.118-124
- Knabe, W.: Die Rekultivierung im Rhein. Braunkohlenrevier;  
Zschr. Braunkohle, H.4,1963, S.134 - 143
- Krämer, F.: Art und Umfang der Abgrabungen von Steinen und Erden in Nordrhein-Westfalen, Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW in Essen, Verlag W.Giradet 43 Essen, Heft 33 Seite 48-57; 1975 (a)

- Krämer, F.: Ergebnisse von Rekultivierungsversuchen im Jahr 1973; Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW in Essen, Verlag W.Giradet, 43 Essen, Heft 33, S.58 - 65; 1975 (b)
- Krämer, F.: Folgenutzungen der Abgrabungen von Steinen und Erden in NRW, Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NRW in Essen, Verlag W.Giradet, 43 Essen, H.34, S.77 - 85; 1975 (c)
- Krämer, F.u.G.Franz Wirkungen organischer Düngung von Lößböden auf den Nährstoffgehalt und die mikrobielle Aktivität des Bodens sowie den Zuckerrübenenertrag 1972. Vortrag Jahrestagung des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. Regensburg 17.-22.9.73 (unveröffentlicht)
- Kick, H.: Erfahrungen über die Kompostverwendung zur Rekultivierung in Bergbaugebieten  
2.Internationaler Kongreß über Beseitigung u.Verwertung fester Siedlungsabfälle v.22.bis 25.5.1962 in Essen
- Kick, H.: Verwertung von Abfällen im Landbau; Beurteilung von Abfällen hinsichtlich ihrer Verwertung im Landbau; Müll-Handbuch; Erich Schmidt-Verlag; Bd.3, Kennzahl 6505; 7.Lfg.1965
- Kick, H.: Die Problematik der anorganischen Schadstoffe bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen  
Gießener Berichte zum Umweltschutz, Heft 4, 51-64 (1974)
- Kick, H. u.P.Weber: Der Einsatz hoher Müllkompost- und Klärschlammengen auf Rekultivierungsflächen des Braunkohlentagebaues; Zschr."Landw.Forschg." Frankf./M, Sonderheft 30,1973; S.201 - 207

- Kurth, F.: Ablagerung fester Abfallstoffe der Stadt Köln im Braunkohlentagebau "Vereinigte Ville"; Mitt.d.Landesstelle f.Naturschutz und Landschaftspflege in NW, Düsseldorf, 8. (1970), Bd.2, H.4. S. 91 - 98
- Lehmann, A.: Die Rekultivierung von Tagebaugebieten aus der Sicht der Landesplanung; Zschr.Hilfe durch Grün, H.9, 1960, S.1-4
- Mach, R.: Herstellung und Absatz von Kompost in der Bundesrepublik, in Holland und in der Schweiz, Diss.Gießen 1973
- Merkel, E. u.E.Vorreyer: Probleme der Ablagerungen von Abfallstoffen in Abgrabungen von Steinen und Erden im Hinblick auf den Gewässerschutz; Forschung und Beratung; Min.f.ELF von NW, Düsseldorf; Reihe C, Heft 22, (1973), S.155 - 172
- Niedersachsen: Gesetz zum Schutz der Landschaft beim Abbau von Steinen und Erden (Bodenabbaugesetz) v.15.3.72 Nieders.Ges.u.Verordn.Bl.26,Nr.12 (20.3.72), S.137-140
- Nordrhein-Westfalen: Gesetz zur Ordnung von Abgrabungen (Abgrabungsgesetz) v.21.11.72; Ges.u.Verordng.Bl.NW,26,Nr.53 (5.12.72), S.372-375.
- Saxen, A.: Grundwasseranreicherung durch Abwasserverrieselung auf Grünland; Wasser und Boden, Heft 9, 271-175 (1967)
- Schäfer, : Zur Beweglichkeit der mit Abwasserfaulschlamm verabreichten Metalle Blei, Chrom, Kupfer und Zink in natürlich gelagerten Böden; Ergebnisse landwirtschaftl.Forschung an der Justus Liebig-Universität Gießen, 1975 (im Druck)
- Schaffer, G.: Die Abwasserschlammverwertung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen; Zschr.f.Acker-und Pflanzenbau 126, 73 - 991 1967.

- Schenkel, W. u.a.: Abfallagerung in einem Ballungsgebiet;  
Mitt.der Landesstelle f.Naturschutz und Landschaftspflege in NW, Düsseldorf, 8 (1970) Bd.2,H. 4, S.79-87
- Schenkel, W.: Theorie der geordneten Deponie in Abgrabungen von Steinen und Erden im Hinblick auf den Gewässerschutz, Forschung u.Beratung, Reihe C, Heft 22, herausgegeben vom Landesausschuß f. landw.Forschung, Erziehung und Wirtschaftsberatung beim Min.f.ELF NW; 1973 S.173-186
- Schleswig-Holstein: Landespflegegesetz (v.14.6.73)  
Ges.u.Verordn.Bl. Schleswig-Holst. Nr.9/1973, S.122-139
- Schwarz,O.u.R.Zundel: Versuche mit Müll-Klärschlamm-Komposten in Kiefern-, Douglasien- und Roteichenkulturen  
Allgem.Forst Zeitschrift, Nr.22, 479 - 481 (1975)
- Skirde, W.: Begrünung extremer Flächen;  
Ergebnisse landwirtsch.Forschung an der Justus Liebig-Universität Gießen, Heft XII 1972
- Söhngen, H.-H.: Die Rekultivierung der Abgrabungen von Steinen und Erden im Sinne einer optimalen Umweltgestaltung,  
Diss.Ruhr-Universität Bochum, 1975 (im Druck)
- Strauch, D.: Gesetzliche und hygienische Grundlagen der Klärschlammbehandlung;  
Gießener Berichte zum Umweltschutz, H.1.(1972), 3-27
- Tietjen, C.: Auswirkungen großer Abfallgaben auf den Nutzwert des Bodens; Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 14 (1972), 80 - 86
- Tietjen, C.: Die Anwendung aufbereiteter Siedlungsabfälle im Landbau; Fortbildungskurs für Ingenieure der Müll-und Abfalltechnik vom 10.-14.9.1973 am Institut f.Siedlungswasserwirtschaft TU Hannover
- VDLUFA: Beurteilung der Siedlungsabfallkomposte (SAK) als Produktionsmittel der Landwirtschaft; Mitt.d.VDLUFA, Darmstadt, H.4/1975; S.657-660

Vogel, Chr.:

Die landwirtschaftliche Verwertung von Abwasserklärslamm auf einen mittelschweren Boden, Diss.Giessen, 1975

Walter, B.:

Erfahrungen bei der Anwendung von Müllklärschlammkompost im Rebanbau; Zschr.Landw.Forschg., Frankfurt, H.27/I.Sonderheft (1972), S.118/119

Weber, P.:

Verwertung hoher Müllklärschlammkompost-, Müllkompost-, Klärschlamm- und Torfgaben bei der Rekultivierung von Lößrohböden im rheinischen Braunkohlenrevier  
Diss.Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1974

Wohlrab, B.:

Die Rekultivierung von Tagebauen aus bodenkundlich-kulturtechnischer Sicht.  
Zeitschr.f.Kulturtechnik und Flurbereinigung, 11.Heft 3, 129-139 (1970)

Wohlrab, B.:

Senkung und Verformung der Erdoberfläche,  
Zeitschr.f.Kulturtechnik und Flurbereinigung 13,65-78, 1972

Wohlrab, B.:

Zusammenfassung d.Kolloquiums (am 4.-6.10.1972 in Essen) über die Rekultivierung der Abgrabungen von Steinen u.Erden im Hinblick auf fachliche Richtlinien; Forschg. u.Beratung, Reihe C, Heft 22, herausgegeben vom Landesausschuß f. landw.Forschung, Erziehung u.Wirtschaftsberatung beim Min.f.ELF NW; 1973, S.223-229

Wohlrab, B.:

Abfallverwertung im Rahmen der Rekultivierung von Abgrabungen; Gießener Berichte zum Umweltschutz, Heft5, S.15 - 30, 1975

Rudolf Braun

## Kompostierung von Hausmüll und Industrieabfällen

### Einleitung

Die steigende Belastung der Gewässer, des Bodens und der Luft mit festen Abfallstoffen, flüssigen und gasförmigen Abgängen der menschlichen Gesellschaft sowie die in einigen Jahrzehnten akut werdende Erschöpfung mancher Rohstoffreserven zwingen dazu, die Lösung des Abfallproblems nicht, wie bisher üblich, unter dem Blickwinkel der "Beseitigung", sondern vielmehr der Bewirtschaftung zu betrachten. Es sind also ökologische und rohstoffökonomische Überlegungen, die den Trend zur Wieder- und Weiterverwendung (Recycling) der Abfälle in neuerer Zeit immer deutlicher werden lassen.

Massgebend für die Frage, ob sich ein Abfallstoff in bezug auf ökologische und rohstoffökonomische Erfordernisse zur Wieder- oder Weiterverwendung eignet, sind die "Lastpakete", die mit der Aufbereitung der Abfälle zu neuen Produkten oder Rohstoffen verbunden sind. Unter dem Begriff Lastpaket verstehen wir die Summe der mit der Aufbereitung verbundenen Umweltbelastungen, also Emissionen/Immissionen, Energieverbrauch, Schädigung von Ökosystemen, ökologische Risiken etc.

Verursacht ein Abfallstoff bei seiner Aufbereitung zur Wieder- oder Weiterverwendung ein zu grosses Lastpaket, so sind die betreffenden Massnahmen fragwürdig oder gar falsch. Sinnvoll sind sie dann, wenn durch die Rückführung der Abfälle in industrielle Rohstoffkreisläufe oder natürliche Stoffkreisläufe die Umweltbelastung gesamthaft gesenkt werden kann.

Unter diesem Blickwinkel sollte auch die Kompostierung von Abfallstoffen als ältestes Recycling-Verfahren betrachtet werden. Der Sinn der Kompostierung besteht ja darin, die dafür geeigneten Abfälle der menschlichen Gesellschaft wieder in den natür-

lichen Stoffkreislauf zu integrieren. Zur Frage der damit verbundenen Lastpakete sei deshalb dieser Stoffkreislauf näher erläutert (s. Abb. 1).

Vor der Existenz der Düngerindustrie gestaltete sich die Integrierung der Abfälle der menschlichen Gesellschaft in natürliche Stoffkreisläufe relativ einfach (rechts der gestrichelten Linie). Die Produkte des Bodens, die Pflanzen, dienen Mensch und Tier als Nahrung und dem Gewerbe als Rohstoff. Der grösste Teil der durch Pflanze, Mensch, Tier und Gewerbe erzeugten biogenen Abfälle gelangten entweder direkt oder nach einem langdauernden Humifizierungsprozess als natürlicher Dünger wieder in den Boden zurück (weisse Pfeile) und ersetzten damit Nähr- und Humusstoffe. Nur ein relativ geringer Teil der Abfälle gelangte somit in den linearen Materialfluss (schwarze Pfeile), d.h. wurde deponiert oder verbrannt.

Nach dem Siegeszug der Düngerindustrie veränderte sich der Materialfluss entscheidend. Die zur Düngerherstellung benötigten Rohstoffe in der Natur werden ausgebeutet, z.T. über weite Strecken transportiert und zu mineralischen und organischen Handelsdüngern aufbereitet. Damit verbunden ist eine Umweltbelastung (Energieverbrauch, Schädigung von Gewässern, Boden und Luft, Zerstörung von Ökosystemen etc), summarisch als Lastpaket LP 1 zusammengefasst. Mineralische und organische Handelsdünger gelangen in steigender Masse in den linearen Materialfluss. Da sie bequem zu handhaben und vielfach wirtschaftlicher sind als die natürlichen Dünger, verdrängten sie diese mehr und mehr. Damit wurden die linearen Materialflüsse entscheidend verstärkt, zugleich aber auch das dabei erzeugte Lastpaket LP 2 (Schädigung von Wasser, Boden und Luft durch Abfalldeponien resp. durch Verbrennung) und das bereits erwähnte LP 1 vergrössert und die Ressourcen angegriffen.

Die naheliegende Schlussfolgerung wäre somit: je mehr biogene und andere geeignete Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Industrie

dem linearen Materialfluss entzogen und in natürliche Stoff - kreisläufe integriert werden können, desto geringer die Umweltbelastung und desto wirksamer die Schonung der Ressourcen.

In dieser Form wäre diese Schlussfolgerung ein Trugschluss. Mit wenigen Ausnahmen bedürfen auch biogene Abfälle einer verfahrenstechnischen Aufbereitung, um sie als Nährstoff- oder Humusdünger im Pflanzenbau einzusetzen (beispielsweise Müllkompostierung, Aufbereitung von Rückständen der Massentierhaltung und von Klärschlämmen zu streubaren Düngern etc). Mit dieser Aufbereitung ist jedoch ebenfalls ein Lastpaket LP 3 verbunden.

Die Rückführung biogener Abfälle in natürliche Stoffkreisläufe ist nur dann sinnvoll, wenn das durch die Aufbereitung verursachte Lastpaket LP 3 kleiner oder höchstens gleich gross ist wie die Summe der Lastpakete LP 1 + LP 2.

Daraus ergeben sich die Entscheidungskriterien, ob eine Kompostierung von Gewerbe- und Industrieabfällen sinnvoll ist oder nicht.

## 1. Die Eignung von Hausmüll und Industrieabfällen zur Kompostierung

### 1.1. Voraussetzungen für den Rotteprozess

Um einen guten Verlauf des Rotteprozesses in einem Abfallgemisch sicherzustellen, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

#### a) Geeignetes Substrat, d.h. chemische Zusammensetzung des Abfallmaterials

Beim Rotteprozess handelt es sich um einen exothermen Prozess, bei welchem u.a. der organisch gebundene Kohlenstoff von den Mikroorganismen mit Hilfe des Luftsaauerstoffs veratmet wird. Der organische Kohlenstoff spielt also eine grosse Rolle als Energiestoff und muss in genügenden Mengen vorhanden sein. Daneben benötigen die Rotteorganismen in erster Linie Stickstoff, Phosphor und Kali als Stoffe für den Aufbau ihrer Körpersubstanz, wobei auch Spurenelemente bei der Ernährung eine wichtige Rolle spielen. Alle diese Stoffe müssen in einem zu kompostierenden Ab -

fallgemisch in ausgewogenen Mengen enthalten sein. Hingegen dürfen darin keine toxisch wirkenden Verbindungen enthalten sein, die eine Mikrobentätigkeit verzögern oder gar verhindern. Auch hohe Salzkonzentrationen und ein zu saures oder zu alkalisches Milieu wirken sich auf den Rotteprozess hemmend aus oder können ihn sogar verunmöglichen. Dieser Tatsache muss namentlich bei der Kompostierung industriell-gewerblicher Abfälle Rechnung getragen werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Rottevorgang am günstigsten verläuft, wenn das Verhältnis von Kohlenstoff : Stickstoff im Abfallgemisch zwischen 20 und 30 liegt. Ist es grösser als 30, so werden die Abbauprozesse verlangsamt. Ist es jedoch zu eng, d.h. unter 10, so wird der nicht als Zellbaustoff benötigte Stickstoff als Ammoniak abgespalten und geht an die Luft verloren.

#### b) Genügend Luftsauerstoff

Bei der Kompostierung wird ein aerober Rotteprozess angestrebt. Ein anaerober Fäulnisprozess hätte nicht nur längere Abbauezeiten und Entwicklung übler Gerüche zur Folge, sondern bietet auch keine Garantie in bezug auf die Entseuchung des Materials, da der anaerobe Abbau nicht mit der Entwicklung hoher Temperaturen verbunden ist. Die Rotteorganismen benötigen daher ein Mindestmass an Sauerstoff. In einem zu kompostierenden Material muss folglich ein Gasaustausch mit der Atmosphäre gesichert sein.

#### c) Optimale Feuchtigkeit

Die Rotteorganismen benötigen wie jedes Lebewesen eine bestimmte Menge Wasser. Sie können ihre Nahrung zur Hauptsache nur in gelöster Form durch die semipermeable Zellwand in sich aufnehmen. Folglich muss die Oberfläche der abzubauenen organischen Stoffe mit einem Wasserfilm umgeben sein.

In der Praxis wird ein Wassergehalt des Abfallgemisches von 40 - 55 % empfohlen. Liegt er zu tief, d.h. ist das Material zu trocken, werden die Abbauvorgänge verlangsamt oder kommen zum

Stillstand. Ist das Material zu feucht (>60 % WG), so schlagen die aeroben Prozesse in anaerobe Fäulnis um, weil der Sauerstoffzutritt erschwert wird.

### 1.2. Eignung des Hausmülls zur Kompostierung

Im Hausmüll sind die erwähnten Voraussetzungen für einen normalen Verlauf der Rotte durchaus erfüllbar. Allerdings wird in neuerer Zeit immer wieder behauptet, der heutige Wohlstandsmüll enthalte zu wenig organische, abbaubare Substanz, mit dem Hinweis, der Siebrest in manchen Kompostwerken betrage 50 oder noch mehr Gew.Prozent des Rohmülls.

Versteht man unter Siebrest wirklich nur die biologisch nicht abbaubaren Stoffe im Müll, dann müsste man angesichts dieser hohen Anteile an Reststoffen allerdings die Kompostierung als fragwürdig bzw. nicht sinnvoll bezeichnen. Wir aber fragen: Ist dieser hohe Anteil an Reststoffen wirklich bedingt durch die Müllzusammensetzung oder etwa durch die Verwendung ungeeigneter Aufbereitungs-Technologien?

Diese Frage hat unseren Mitarbeiter A.v.Hirschheydt dazu bewogen, einige Versuche in dieser Richtung durchzuführen. Er experimentierte mit normalem Hausmüll in einem Kompostwerk, das üblicherweise einen hohen Siebrestanteil (gegen 50 %) aufweist. Die bei den Experimenten ermittelten materialbedingten Rückstände lagen in der Größenordnung von weniger als 20 % !

Man kann sagen, dass sich auch der heutige Hausmüll in den meisten Fällen zur Kompostierung eignet, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass sich die Aufbereitungs-Technologie den veränderten Sammelgewohnheiten anpasst.

### 1.3. Eignung der Industrieabfälle zur Kompostierung

Grundsätzlich sind zur gemeinsamen Kompostierung mit Hausmüll industriell-gewerbliche Abfälle geeignet, wenn sie zur Hauptsache aus organischen, biologisch abbaubaren Stoffen bestehen. Einige Beispiele von Industrieabfällen, die sich insbesondere für eine gemeinsame Verarbeitung mit Hausmüll eignen, sind aus Tab. 1 ersichtlich.

Tabelle 1

Industrieabfälle vorwiegend organischer Natur, die sich zur  
Kompostierung eignen

Industrie	Art der Abfälle
<u>1. Nahrungs- und Genussmittelindustrie</u>	
Zuckerfabriken	Pülpe, Schlempe, Schlamm
Stärkefabriken	Pülpe, Faserstoffe
Konservenfabriken	Pülpe, Abfälle v. Gemüse u. Früchten
Schokoladefabriken	Kakao- und Nusschalen, Fette
Malz- und Hefefabriken	Treber, Pressrückstände
Brauereien	Treber, Pressrückstände, Hopfenabfälle
Brennereien, Mostereien	Schlempen, Kernobststeine, Presskuchen, Filterrückst.
Fleischwarenindustrie	Konfiskate, Fett, Blut, Fleischstücke, Magen- und Darminhalte, Knochen, Klauen, Hörner
<u>2. Pflanzen- und Tierabfälle ver- arbeitende Industrie</u>	
Pektinfabriken	Obsttrester, Filterrückst.
Darmaufbereitungsindustrie	Darmfetzen, Fette
Haare, Borsten u. Federn verar- beitende Industrie	Federn, Haare, Borsten, Fett
Holzverzuckerungsindustrie	Lignin, Schlempen, Filter- rückstände
<u>3. Holz-, Zellstoff- und Papierindustrie</u>	
Holzschleifereien, Sägereien, Hobel- werke, Spanplattenwerke	Holzabfälle, Rinden
Zellstoffindustrie	Fasern, Schlämme
Papier- u. Kartonfabriken	Fasern, Schlämme
<u>4. Textilindustrie</u>	
Wollwäschereien, Tuchfabriken	Wolle, Haare, Fasern
<u>5. Leder-, Leim- und Gelatineindustrie</u>	
Gerbereien, Lederfabriken	Haare, Hautfetzen, Lederab- fälle, Schlämme
Leimfabriken	Haare, Hautfetzen, Fett, Schlämme
Gelatinefabriken	Haare, Hautfetzen, Schlämme
<u>6. Pharmazeutische Industrie</u>	
	Gärtankschlempen, Filter- rückstände, ausgelaugte Pflanzenreste
<u>7. Bioindustrie</u>	
	Gülle

In den meisten Fällen können diese Abfälle nicht für sich allein kompostiert werden, weil durch die einseitige Zusammensetzung selten die für den Rotteprozess erforderlichen Voraussetzungen erfüllt sind. Der erste Schritt wird also sein, zu prüfen, welche Korrekturen bzw. Ergänzungen vorgenommen werden müssen.

Die erste Voraussetzung (günstige chemische Zusammensetzung) ist erfüllt, wenn im Abfallmaterial genügende Mengen an organischer Substanz mit veratembarem Kohlenstoff und wirksamem Stickstoff enthalten sind. Ist der Kohlenstoff nicht veratembare, wie dies beispielsweise in Kunststoffen der Fall ist, so ist eine Kompostierung nicht möglich. Ferner muss wirksamer Stickstoff in genügender Menge vorhanden sein, dass ein C/N-Verhältnis von ca 20-30 erreicht wird. Es gibt Industrieabfälle, die einen sehr hohen N-Gehalt aufweisen, wie z.B. Abfälle der Textilindustrie, der Pflanzen- und Tierabfälle verarbeitenden Industrie und der Schlachthöfe. Es ist daher vorteilhaft, diese Abfälle mit solchen zu vermischen, die ein zu weites C/N-Verhältnis aufweisen, wie Abfälle der Holz-, Zellstoff- und Papierindustrie.

Ein optimaler Wassergehalt (40 - 60 %) kann relativ einfach erreicht werden durch Befeuchtung (ev.mit Klärschlamm) resp. durch vorgängige Entwässerung oder durch Mischung mit trockenem Müll.

Der Gasaustausch mit der Atmosphäre zur Sicherstellung des aeroben Abbauprozesses ist in manchen industriell-gewerblichen Abfällen auf Grund ihrer Struktur nicht gewährleistet und muss gegebenenfalls durch maschinelle Aufbereitung (z.B.durch zerreißen, zerkleinern, homogenisieren) erst ermöglicht werden. In vielen Fällen kann aber durch Mischung solcher Abfälle mit Hausmüll eine für die Sauerstoffversorgung günstige Struktur des Materials erreicht werden.

#### 1.4. Vorversuche zur Abklärung der Eignung der Industrieabfälle zur Kompostierung

Bevor ein bestimmter Industrieabfall im grosstechnischen Massstab kompostiert wird, allein oder mit Hausmüll zusammen, sind Vorversuche zur Abklärung der nachher in der Praxis einzuhaltenen Betriebsbedingungen empfehlenswert.

Bei dieser Prüfung gehen wir folgendermassen vor: In einem Tastversuch mit ca 30 kg Abfallmaterial wird festgestellt, in welchem Verhältnis der betr. Industrieabfall dem Müll beige-mischt werden kann, ohne dass der Rotteprozess gestört wird. Dabei werden zerkleinerter Hausmüll und - in steigenden Mengen - der zu prüfende Abfall gemischt. Diese Mischung wird in kleine Versuchsgärzellen (Plastik-Körbe mit gelochten Seitenwänden, 50-60 l Inhalt) abgefüllt. Aus diesem Abfallgemisch erhält man innert 3-5 Wochen einen Reifkompost, sofern wöchentlich 1-2 mal umgearbeitet und wenn nötig befeuchtet wird. Durch automatische Temperaturregistrierung mit Thermoelementen wird die Verfolgung des Rottevorganges ermöglicht.

Das Ergebnis wird dann in einem praxisnahen Sicherungsversuch in Mieten mit etwa 1 Tonne Abfallmaterial überprüft. Anschliessend werden die Versuchskomposte im Keimpflanzenversuch getestet, um erste Anhaltspunkte in Bezug auf Pflanzenverträglichkeit der betr. Komposte zu gewinnen. Das ist insbesondere dann angebracht, wenn es sich um Industrieabfälle handelt, in denen man phytotoxische Stoffe vermutet. Erst nach diesen Vorversuchen erfolgen die eigentlichen Pflanzversuche im Freiland in grösserem Massstab.

## 2. Beispiele aus der Praxis

### 2.1. Abfälle aus der Nahrungs- und Genussmittelindustrie (s.Tab.1, Gruppe 1)

Die Abfälle dieser Industriegruppe sind auf Grund ihrer Zusammensetzung besonders geeignet zur Kompostierung, denn ihr Gehalt an

abbaubarer organischer Substanz ist sehr hoch, z.T. über 50 %, und das C/N-Verhältnis liegt meistens in einem günstigen Bereich. Manche von diesen Abfällen, wie z.B. diejenigen der Schlachthöfe und der Fleischwarenindustrie, weisen jedoch ein sehr enges C/N-Verhältnis auf, sodass sie mit Vorteil als Zusätze für die Kompostierung von Müll und Abfällen der Papier- und Holzindustrie mit zu weitem C/N-Verhältnis verwendet werden können.

## 2.2. Abgänge aus der Pflanzen- und Tierabfälle verarbeitenden Industrie (s.Tab.1, Gruppe 2)

Auch die Abfälle aus dieser Industriegruppe können im Prinzip ebenso gut kompostiert werden wie diejenigen aus der Gruppe 1. Vereinzelt wurden in der Schweiz in kleineren Betrieben Trester, Federn und Haare zu Kompost verarbeitet.

## 2.3. Abfälle aus der Holz-, Zellstoff- und Papierindustrie (s.Tab.1, Gruppe 3)

Diese Abfälle sind charakterisiert durch ein besonders weites C/N-Verhältnis. Extrem ligninreiches Material (z.B. Waldabfälle, Laub und Reisig) mit einem C/N-Verhältnis von über 60 benötigt für den Rotteprozess 2 - 3 Jahre, falls keine "Korrektur" im Sinne von Kap.1.3. vorgenommen wird. Durch eine Verengung des C/N-Verhältnisses in Form einer Stickstoffzugabe, gegebenenfalls durch Verbesserung der Struktur, können diese langen Rottezeiten auf einen Bruchteil abgekürzt werden. Als Beispiel einer solchen "Korrektur" erwähnen wir einen Versuch, den wir gemeinsam mit der Eidg.Anstalt für das forstliche Versuchswesen durchgeführt haben.

Aus Waldabfällen (Mischung aus Laub und Reisig) erstellten wir 3 Versuchsmieten gleicher Form und Grösse. Die Miete RLo bestand aus gleichen Volumteilen Laub und kurzgeschnittenem Reisig. Beide Materialien wurden nach der in der Forstwirtschaft bisher üblichen Methode lageweise aufgeschichtet, von Zeit zu Zeit umgearbeitet und kompostiert.

Die punktierte Kurve RLo in Abb.2 zeigt den Temperaturverlauf

dieser Miets, wobei zu beachten ist, dass die Höchsttemperaturen kaum  $40^{\circ}\text{C}$  erreichten. Es handelte sich also um eine sehr stark verlangsamte Rotte, die in der Praxis aus den oben genannten Gründen erst nach wenigstens 2 Jahren abgeschlossen wäre.

Eine zweite Miets RL wurde aus dem gleichen Ausgangsmaterial erstellt, mit dem Unterschied, dass die zur Schichtbildung neigenden, damit aber die Durchlüftung hemmenden Laubblätter zerkleinert wurden. Durch diese Verbesserung der physikalischen Struktur wurde eine zwar geringfügige, aber doch deutlich sichtbare Verbesserung des Rotteverlaufes erzielt, wie dies aus der gestrichelten Temperaturkurve RL in Abb.2 hervorgeht. Die Höchsttemperatur erreichte immerhin  $50^{\circ}\text{C}$ . Sie fiel jedoch nach kurzer Zeit wieder ab.

Was eine Verengung des C/N-Verhältnisses, also eine Stickstoffzugabe zur Folge haben kann, zeigt die ausgezogene Kurve RL+N in Abb.2. Das Material dieser Miets war genau dasselbe wie in der Miets RL, aber mit Zusatz von Harnstoff. Schon nach wenigen Tagen erreichte die Mietsentemperatur eine Höhe von  $60^{\circ}\text{C}$ . Der Verlauf dieser Temperaturkurve weist auf einen normalen Ablauf der Rottevorgänge hin, die nach 5 - 6 Monaten abgeschlossen waren. Die Abbildungen 3 und 4 (Durchlichtphotos der Komposte von Miets RL0 und RL+N im Alter von 140 Tagen) dokumentieren das Gesagte noch deutlicher.

#### 2.4. Abfälle aus der Textilindustrie (s.Tab.1, Gruppe 4)

Abgesehen von Paraffinen, Wachsen und einigen mineralischen Rückständen können auch die Abfälle dieser Industrie verwertet werden, indem sie z.B. gemeinsam mit Müll oder Stallmist kompostiert werden. So verwenden seit jeher die Arbeiter von Wollwäschereien solche Abfälle, indem sie sie im Garten kompostieren. Der Schweizer Baumann hat auf seiner berühmten Orangenplantage "Casamas" in Spanien ein Verfahren entwickelt, bei welchem er Wollabfälle mit Stallmist, Müll und anderen Abfällen verarbeitet. Ferner werden dort auch Juteabfälle mit Erfolg kompostiert.

Sie müssen jedoch in Bottichen mit einer Lösung aus 80 % Wasser und 20 % Gülle einige Tage vorbehandelt werden.

## 2.5. Abfälle aus der Bio-Industrie (s.Tab.1, Gruppe 7)

Wir erwähnen die Abfälle aus der Bioindustrie (Zucht- und Mastbetrieb für Schweine, Rindvieh und Geflügel sowie die "Eierfabriken") deshalb eingehender, weil sie erst in neuerer Zeit besonders problematisch geworden sind und für die zukünftige Entwicklung von Bedeutung sein dürften. Es handelt sich dabei um Betriebe, die auf möglichst wenig Land möglichst viele Tiere unter Verwendung von zugekauften Futtermitteln rationell und arbeitssparend halten. Der Nährstoffkreislauf in diesen Betrieben ist im Gegensatz zu den konventionellen Landwirtschaftsbetrieben offen, d.h. Nebenprodukte wie Mist und Jauche werden akkumuliert. Die zum Betrieb gehörenden Landflächen reichen in der Regel nicht aus, um diese Rückstände aufzunehmen.

Es zeichnet sich daher heute eine gewisse Tendenz ab, diese Rückstände zu kanalisieren und sie einer Abwasserreinigung zuzuführen.

Die Exkreme von 1 Stück Grossvieh entsprechen in Bezug auf organische Bestandteile und Phosphate einem Einwohnergleichwert von 15. Auf den gesamten in der Schweiz registrierten Tierbestand bezogen, würde diese Fracht theoretisch einer BSB<sub>5</sub>-Last von ca 35 Millionen Einwohnern entsprechen. Auch wenn für alle diese zusätzlichen Abgänge modernste Reinigungsanlagen erstellt würden, wäre die Restschmutzstoffmenge noch so gross, dass sie von unseren Gewässern nicht mehr verkraftet werden könnte. Unsere Forderung nach einer Aufbereitung dieser Rückstände und deren Verwertung im Pflanzenbau dürfte daher genügend begründet sein. Im Vordergrund des Interesses steht dabei die Aufbereitung der sehr viel Wasser enthaltenden Rückstände zu lagerfähigen, streubaren Düngern. Erschwerend dabei ist jedoch, dass die nur durch Thermik erreichbare Trocknung bedeutende Energiemengen benötigt (Erhöhung von Lastpaket LP 3, Abb.1).

Der Gedanke, zum Wasserentzug, d.h. zur Trocknung der Rückstände

anstelle konventioneller Energieträger die biogene, bei der Müllkompostierung entstehende Wärme zu benützen, ist ebenso faszinierend wie naheliegend.

Erste Versuche in dieser Richtung wurden an der EAWAG durch v.Hirschheydt vorgenommen. Die Versuchsfrage lautete: Ist es möglich, Gülle mittels der Rottewärme während der Kompostierung mit Müll oder anderen Abfällen zu trocknen, sodass ein streubarer, lagerbeständiger Dünger entsteht?

Diese Versuche wurden mit einer Mischung von Gülle und Siebrest aus einem Kompostwerk durchgeführt, der einen relativ hohen Anteil an abbaubaren organischen Stoffen aufwies. Dieser Anteil genügte, um eine Nachrotte mit thermophiler Phase zu erreichen. Im Verlauf von 6 Wochen konnte ein Wasserverlust von 84,9 % des Anfangswertes festgestellt werden oder, anders ausgedrückt: Pro Kilogramm oxydierter Trockenmasse konnten 2,9 Kilogramm Wasser verdampft werden. Gleichzeitig gingen 20 % der Trockenmasse verloren (Rotteverlust). Dieses Ergebnis konnte in einem Sicherungsversuch bestätigt werden. Es gilt nun, durch weitere Versuche in grösserem Massstab abzuklären, ob in Mischung mit anderen Abfällen ev. noch bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Speziell im Zusammenhang mit der Lösung des Abfallproblems in der Massentierhaltung sehen wir in der Kompostierung neue und vielversprechende Möglichkeiten.

Die Rückführung geeigneter biogener Abfallstoffe aus Industrie und Gewerbe in natürliche Stoffkreisläufe mit Hilfe der Kompostierung ist unseres Erachtens nicht nur sinnvoll, sondern notwendig. Aus ökologischen und rohstoffökonomischen Gründen werden wir vermutlich in der Zukunft gezwungen sein, vermehrt dieses Kreislaufprinzip zu verfolgen. Dies darf jedoch nicht vorbehaltlos geschehen. Entscheidungskriterien für die zu treffenden Massnahmen sind nicht in erster Linie wirtschaftliche Ueberlegungen, sondern die anfangs erwähnten Lastpakete:

Die Kompostierung von Abfällen aus Haushalt, Gewerbe und Industrie ist nur dann zu empfehlen, wenn im Vergleich zu andern Möglichkeiten die Belastung der Biosphäre gesamthaft gesenkt werden kann.

---

# NATÜRLICHER STOFFKREISLAUF

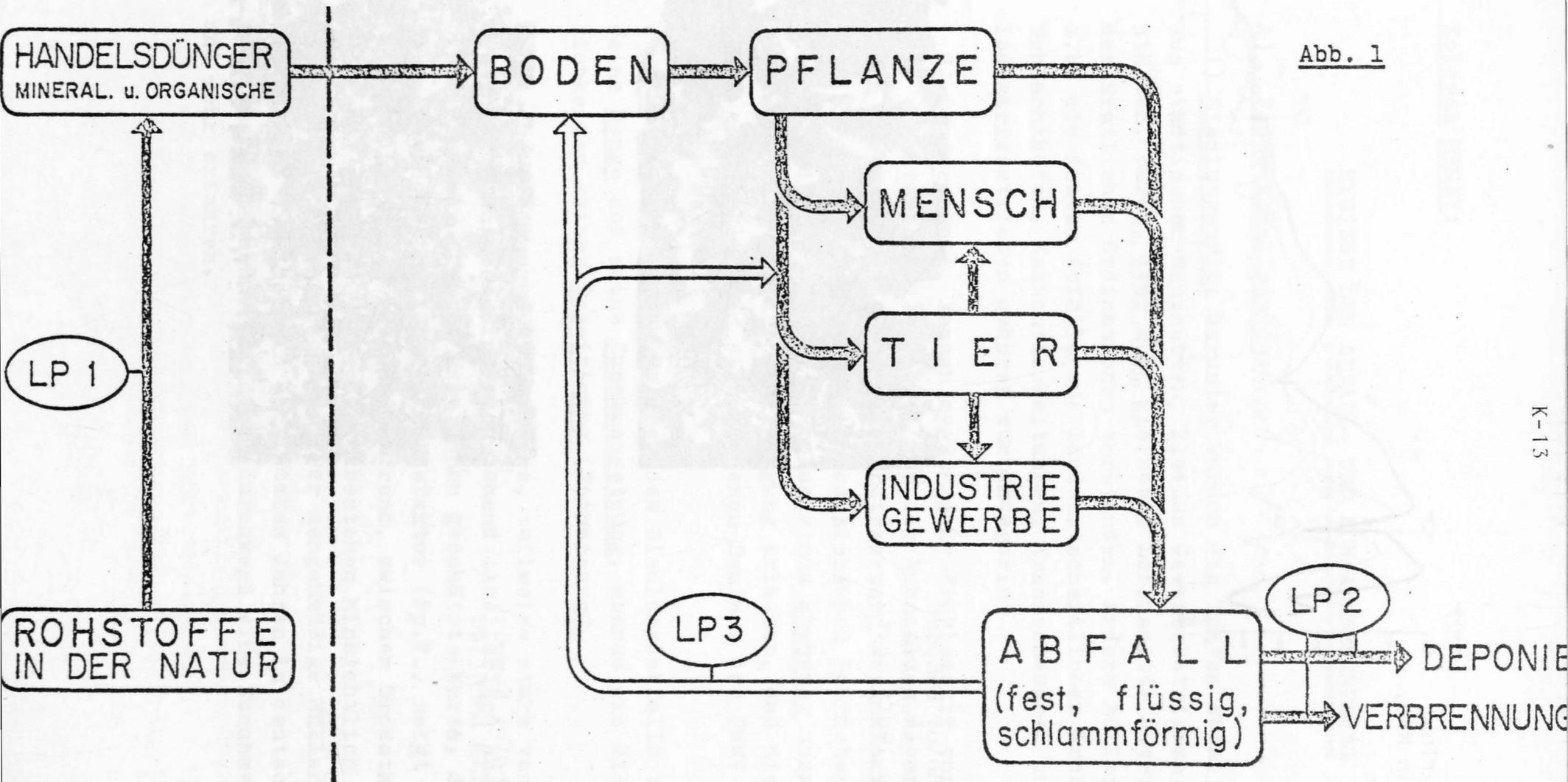
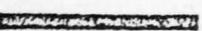
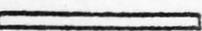


Abb. 1

K-13

 MATERIALFLUSS LINEAR  
 MATERIALFLUSS IM KREISLAUF

LP = Lastpakete, Summe aller Umweltbelastungen  
 (Emissionen, Immissionen, Energieverbrauch,  
 Schädigung von Oekosystemen etc.)

Abb. 2

Temperaturverlauf  
in den Mieten Rlo,  
RL+N und RL.

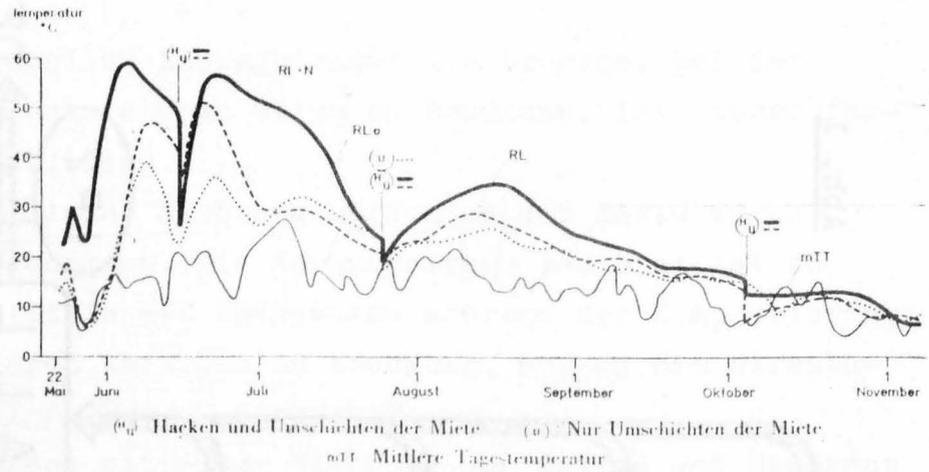


Abb. 3

Durchlichtphoto: Kompost  
der Miete Rlo nach 140  
Tagen. Rote läuft erst  
an.

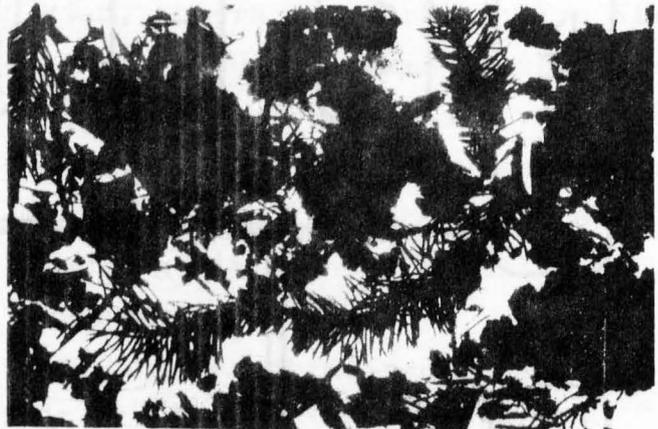
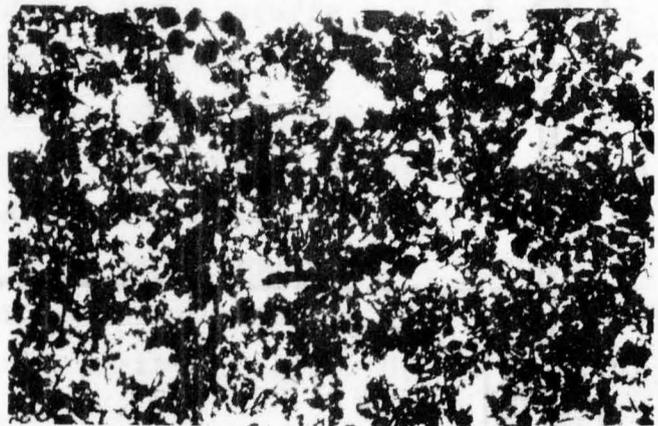


Abb. 4

Durchlichtphoto: Kompost  
der Miete RL+N nach 140  
Tagen. Rote ist abge-  
schlossen.



Koloman MEGAY:

HYGIENE DER ABFALL- UND SCHLAMMBEHANDLUNG

A) Feste Abfallstoffe:

1) Siedlungsmüll; darunter werden die festen Abfallstoffe aus städtischen Haushalten, kleinen Gewerbebetrieben, Gaststätten, Büros, aber auch kleinerer Lebensmittelbetriebe und der ärztlichen Ordinationen verstanden. Andere Müllarten, wie z.B. die festen Abfälle aus landwirtschaftlichen Großbetrieben, Schlachthöfen, Massentierhaltungen, Krankenhäusern und allen Industriebetrieben gehören zur Kategorie

2) Sonderabfall, dessen hygienische Problematik von Fall zu Fall so unterschiedlich ist, daß die Behandlung dieser Müllarten aus der gegenständlichen Betrachtung ausgeklammert werden muß. Da aus den Sonderabfall produzierenden Betrieben zumeist auch besonders schwierig zu behandelnde Abwässer ausgeleitet werden, möchte ich mir die Anregung erlauben, daß diese Thematik gelegentlich in einem eigenen Seminar des ÖWWV zur Diskussion gestellt wird.

Die hygienischen Belange des Siedlungsabfalls betreffen seine Menge und seine Zusammensetzung, ebenso wie die Möglichkeiten seiner Beseitigung (Entsorgung).

Menge des Siedlungsmülls; einige, teilweise stark voneinander abweichende Angaben sind nachstehend tabellarisch ausgewiesen. Die Ziffern in Klammer bezeichnen geschätzte Werte, der in Liter/kp angegebene Sperrigkeitsfaktor (Sp.F.) zeigt seit den 60-er Jahren einen steigenden Trend, zwischen Großstädten und Gemeinden um 20.000 Einwohnern bestehen hinsichtlich der Müllmenge deutliche Unterschiede. Der mengenmäßige Müllanfall hat nach REPLOH<sup>3)</sup> "allein in den letzten Jahren in deutschen und auch ausländischen Großstädten durchwegs eine Zunahme um 100 % und mehr erfahren.

Autor	kp/E.J	kp/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /E.J	Sp.F.	Anmerkung
FERBER et al. <sup>1)</sup>	249	340	0,734	2,95	1961
KAMPSCHULTE <sup>2)</sup>	231	246	0,940	4,07	Großstädte 1952-62
	261	450	0,580	2,22	Kleingemeinden -"-
REPLOH <sup>3)</sup>	(233)	-	0,6-0,8	(3)	1969
MEGAY <sup>4)</sup>	241	170	1,42	5,89	1973
(für Linz, OÖ.	258	170	1,52	5,89	1974
208.000 Einw.)	274	170	1,61	5,88	1975

Gleichzeitig hat sich die Müllzusammensetzung durch eine Reihe von Faktoren stark verändert und ist außerdem überaus unterschiedlich. Abgesehen von den jahreszeitlichen Schwankungen der Müllzusammensetzung wirken sich auf die Müllbeschaffenheit örtliche Gegebenheiten sowie die Tatsache aus, daß mit zunehmender Fernwärmeversorgung der Siedlungen und mit dem Anstieg von Kunststoffen als Verpackungsmaterial immer weniger Abfälle in den Haushalten selbst verbrannt werden können. Von den meisten Autoren wird der Anteil der organischen Substanz im Hausmüll mit etwa 20 - 30 % angegeben<sup>6)</sup>.

Möglichkeiten der Müllentsorgung: Alle derzeit geübten Verfahren der Müllbeseitigung bzw. Abfallverbringung, nämlich

- a) geordnete Deponie,
- b) Rotte bzw. Müllkompostierung und
- c) Müllverbrennung (richtiger: Müllveraschung)

sind mit hygienischen und/oder wirtschaftlichen Nachteilen behaftet, die eine ausschließliche Empfehlung des einen oder des anderen Verfahrens nicht zulassen. Möglicherweise wird in der Zukunft die Pyrolyse bei der Müllentsorgung einen echten Fortschritt bringen. Ich möchte mich an dieser Stelle lediglich auf die hygienischen Belange der drei Verfahren beschränken.

zu a): Die geordnete Deponie ist für die meisten Siedlungen, auch große Städte, bis jetzt die Methode der Wahl, obwohl auch hier die zunehmende Siedlungsdichte, die notwendige Rücksichtnahme auf das Grundwasser (GW) und die steigenden Transport-

kosten erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Dabei ist die Rückwirkung auf das Grundwasser (GW) die hygienische Hauptsorge jeder Mülldeponie, eine Sorge, die mit der Nähe der Deponiesohle zum GW zunimmt. Dabei spielt die allfällige Infektiosität der Siedlungsabfälle für das GW eine weit geringere Rolle, als die Auslaugung der anorganischen Substanzen (Chloride, Sulfate, Nitrate, Härtebildner) und vor allem der Geschmacks- und Geruchstoffe aus Resten von Ölen, Teerstoffen, Gummi, Lösungsmitteln usw. und deren Anreicherung im GW. Da diese Substanzen, vor allem die Mineralstoffe (Salze), je nach Beschaffenheit des Untergrundes, in diesem kilometerweit mit dem GW wandern können, machen sie dieses für die Gewinnung von Trinkwasser unbrauchbar.

Bei eigenen, jahrelangen Untersuchungen an einer absolut vorschriftsmäßig betriebenen und sorgfältig verfestigten großstädtischen Mülldeponie hat sich gezeigt, daß im chemischen Befund der grundwasserstromabwärts aus Sonden entnommenen GW-Proben vor allem ein allmählicher Anstieg des  $\text{KMnO}_4$ -verbrauches und des CSB, sowie der Nichtkarbonathärte eintrat. Die bakteriologische Untersuchung ergab eine zwar deutliche, aber keineswegs alarmierende Zunahme der Gesamtkoloniezahl im GW, während E.coli nur fallweise, pathogene Mikroorganismen aber nicht nachzuweisen waren.

Verglichen mit Abwasser und frischem Klärschlamm sind die Infektionsrisiken aus den Siedlungsabfällen eher gering. Ihr Ausmaß hängt weitgehend vom gewählten Verfahren ab, noch mehr aber von der Sorgfalt bei der Auswahl des Platzes für die geordnete Deponie oder Müllkompostierung sowie von der Intelligenz und Gewissenhaftigkeit des "Platzmeisters". Die Frage nach der Infektiosität des abgelagerten Siedlungsmülls wird von den auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten verschieden beantwortet. Die zum Hauptkontingent von normalem Siedlungsmüll gehörigen Bestandteile sind teilweise fäulnisfähig (Küchenabfälle, Speisereste), aber nicht a priori infektiös, wenn auch einige Autoren im Müll Krankheitskeime nachweisen konnten, vor allem fakultativ-pathogene Mikroorganismen, wie Pseudomonas, Proteusbakterien, Staphylo- und Streptokokken. H.GÖTTSCHING<sup>7)</sup>

hat die Infektionsgefährdung durch Haushaltsmüll unter Berücksichtigung von 90 Veröffentlichungen aus den letzten Jahren zusammenfassend dargestellt, wobei sich diese auch auf eine gezielte Umfrage über das "Müllverhalten" bei 1.061 Arztpraxen und 19 Gesundheitsämtern bezogen haben. Danach scheint sich das Infektionsrisiko bei den Siedlungsabfällen in letzter Zeit gradatim zu erhöhen, was auf verschiedene Faktoren zurückzuführen ist. An der Spitze steht der Umstand, daß durch den zunehmenden Anschluß der Wohnviertel (mit Arztpraxen), Lebensmittelbetriebe und Krankenhäuser an Fernheizwerke keine Möglichkeit zur Verbrennung einzelner verkeimter Gegenstände aus der Hauskrankenpflege, der ärztlichen Praxis usw. an Ort und Stelle besteht, sodaß diese zwangsläufig in den Siedlungsmüll gelangen. Die Menge solchen zumindest potentiell infektiösen Materials wächst außerdem durch den zunehmenden Gebrauch von Wegwerf- bzw. Einmalutensilien, von denen Papiertaschentücher die höchste Keimbelastung aufweisen. Das Infektionsrisiko besteht dabei von der Mülltonne über den Transport bis zur Deponie.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß die ungeordnete Deponie hygienisch völlig untragbar ist. Sie ermöglicht das Eindringen von Krankheitserregern in das GW, aber auch die Verschleppung von Krankheitskeimen durch Ratten, Fliegen und anderes Ungeziefer in benachbarte Siedlungen und führt zu einer unzumutbaren Geruchsbelästigung.

Die geordnete Deponie wird für die Entsorgung von Siedlungsabfällen, ebenso wie die vielfach angestrebte Rotte oder die Müllkompostierung zweifellos auch in Zukunft ein hygienisch durchaus vertretbares Verfahren sein, allerdings nur dort, wo die Gefährdung einer Trinkwasserversorgung auch für die Zukunft mit Sicherheit auszuschließen ist. Bezüglich der bodenkundlichen Kriterien zur Beurteilung potentieller Deponie - Standorte hat erst kürzlich W.FEIGE<sup>8)</sup> einen interessanten Beitrag veröffentlicht, in welchem er die mechanischen, physikochemischen und biologischen Gegebenheiten für die Filterleistung von Böden und Lockersedimenten gegenüber hochbelasteten

Sickerwässern aus Abfalldeponien untersucht. Die den Filterleistungen zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen werden eingehend dargestellt.

zu b): Die Rotte und die Müllkompostierung bewirken bei sorgfältiger Betriebsführung eine relativ schnelle, aerob verlaufende mikrobiell-fermentative Zersetzung (Abbau) der organischen Anteile im Siedlungsmüll, wobei in den Mieten durch die Bakterientätigkeit Temperaturen bis zu 70°C auftreten, wodurch Krankheitserreger (außer Sporen) und Parasiten abgetötet werden. Diese Prozesse erfordern, - nebst Vorbehandlung der Abfälle durch Aussortieren von Metall, Glas und Kunststoffen, - eine entsprechende Feuchtigkeit, eventuell durch Zugabe von Klärschlamm aus Abwasser. Im Idealfall entsteht ein humoses Endprodukt, das ein wertvolles Bodenverbesserungsmittel ist. Da aber auch bei diesen Verfahren eine Einschwemmung von Stoffen in das GW erfolgen kann, gelten für die Standortwahl diesbezüglich die gleichen Voraussetzungen, wie für die geordnete Deponie.

zu c): Auch die Müllverbrennung ist aus der Sicht des Hygienikers keine Ideallösung. Denn wenn auch dieses Verfahren der Abfallentsorgung kaum mit einem Infektionsrisiko belastet ist, so muß doch bedacht werden, daß bei der "Verbrennung" (combustion) von einer Tonne Siedlungsmüll rund 4.000 m<sup>3</sup> Rauchgas mit 20 bis 100 kp Flugasche entstehen<sup>9)</sup>, sodaß man den Vorgang besser als Müllveraschung (incineration) bezeichnet. Erst durch zusätzliche Naß-Entstauber lassen sich bei der Müllveraschung nahezu alle schädlichen Gase und die meisten Stäube bis auf etwa 30 mg/Nm<sup>3</sup> auswaschen<sup>10),11)</sup>. Nur am Rande sei aber bemerkt, daß alle thermischen Verfahren nicht nur energiekonsumierend sind, sondern zwangsläufig zu einer Entropiezunahme, also zu einem irreversibel ungeordneten Energiezustand führen.

B) SCHLAMM :

1) Definition; nachstehend sollen unter "Schlamm" die aus Siedlungsabwasser absetzbaren ungelösten Stoffe verstanden werden, mit deren Beseitigung oder Wiederverwertung nach entsprechender Vorbehandlung sowohl technisch-technologische, als auch seuchenhygienische bzw. allgemein gesundheitliche Probleme verbunden sind. Nur letztere sollen nachstehend kurz erläutert werden. Physikalisch-chemische, biologische und technologische Einzelheiten werden nur soweit gestreift, wie dies zum besseren Verständnis der hygienischen Belange erforderlich ist.

2) Schlammbildung; Die das Abwasser trübenden Stoffteilchen unterscheiden sich durch ihre Größe und Gestalt sowie durch ihr spezifisches Gewicht. Einige sind leichter als das Wasser (Schwimmstoffe) und neigen daher spontan nicht zur Sedimentation. Sinkstoffe, die schwerer sind als das Wasser sedimentieren relativ rasch, während das Absetzen der Schwebstoffe, deren spezifisches Gewicht ähnlich jenem des Wassers ist, von verschiedenen Faktoren abhängt, die in der von STOKES entwickelten Formel für solche Absetzvorgänge aufscheinen. Bezeichnet man den Radius der Teilchen mit (r), ihr spezifisches Gewicht mit (p) und jenes des Wassers mit (d) sowie die Viskosität der Flüssigkeit mit (z), so errechnet sich die Sinkgeschwindigkeit (s) der Teilchen nach STOKES mit:

$$s = \frac{2 r^2 \cdot (p - d)}{z} \cdot K$$

worin K eine Konstante ist und die Werte für (d) und (z) von der Temperatur abhängen. Bezüglich der übrigen, hygienisch relevanten physikochemischen Besonderheiten beim schlammbildenden Absetzvorgang, wie elektrostatische Teilchenladung, Hydratation und Mizellenbildung darf ich auf frühere Ausführungen zu diesem Thema verweisen<sup>12)</sup>. Zur Kategorie der Schwebstoffe gehören selbstverständlich auch alle Mikroorganismen und Viren, weil ihr Durchmesser außerordentlich klein und ihr spezifisches Gewicht nahe jenem des Wassers ist. Die saprophytären und pathogenen Mikroorganismen sind aber teil-

weise beweglich. Soweit sie aerob sind, d.h. den Luftsauerstoff zur Atmung verwenden können, werden solche Keime aktiv zur Wasseroberfläche streben, andere werden im ruhenden Abwasser langsam in das Schlamm sediment absinken. Mit dem Beginn von Flockungsvorgängen ändern sich aber die Bedingungen für die Bakterien und auch für die ultramikroskopisch kleinen Viren schlagartig: sie werden von den entstehenden Flocken eingehüllt, an die Oberfläche der Suspensa adsorbiert und im stehenden Abwasser allmählich absinken. Während der Flockungsphase bleibt die Keimzahl des Abwassers im Ganzen erhalten, aber die Verteilung der Mikroorganismen verschiebt sich. Mit den absinkenden Flocken und suspendierten Teilchen gelangen bei der Sedimentation bis zu  $\frac{2}{3}$  aller Bakterien und Viren in den Abwasserschamm, wo ihr weiteres Schicksal durch die vom Kläranlagen-Techniker gewählte Methode der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung mitentschieden wird. Das gilt naturgemäß auch für pathogene Keime und Viren.

Die zumeist fakultativ aeroben oder fakultativ anaeroben bakteriellen Krankheitserreger scheinen im Allgemeinen anoxibiotische Milieuverhältnisse auch durch längere Zeit, z.B. im Abwasserschamm, besser zu überstehen, als die streng aeroben Bedingungen bei der Abwasserbelüftung. Dieses Verhalten ist vielleicht weniger eine Folge des Sauerstoffeintrages als vielmehr der mikrobiologischen Sonderbedingungen, die im belüfteten System vorliegen: rapide Zunahme der saprophytären mikrobiellen Konkurrenzpopulationen, Tätigkeit der bakterienfressenden Protozoen (Tropfkörper) und Adsorption an die Belebtschlammflocke. Letztere führt selbstverständlich nicht zum Absterben der adsorbierten Bakterien und Viren, das heißt, daß sich bei den extrem oxidativen bzw. aeroben Abwasserreinigungsverfahren (Belebtschlammanlage, Oxidationsgraben) eine Verlagerung der Infektiosität vom Abwasser zum Schlamm hin vollzieht. Vom ausgelagerten Frisch-Schlamm können Krankheitserreger durch Fluginsekten und Ungeziefer in Siedlungen verschleppt und auch auf andere Weise verbreitet werden, z.B. durch Ausschwemmung und Versickerung in das Grundwasser.

3) Schlammarten; Frisch-Schlamm im Sinne der Abwasser-Hygiene sind die in einem Absetzbecken für Abwasser aus diesem innerhalb von 90 bis längstens 120 Minuten sedimentierten Stoffe. Die Zeitangabe ist diesfalls wichtig, weil sie innerhalb der Ruhe-(lag)-phase der logarithmischen Wachstumskurve heterotropher Mikroorganismen liegt. Da das Sediment durch das darüber stehende Abwasser vom Luftsauerstoff abgeschlossen ist, bildet sich nach Ablauf von mehr als 3 Stunden im abgesetzten Schlamm, - dessen ursprüngliche (meist geringe) Sauerstoffbeladung während dieser Zeit durch Aerobiose aufgezehrt ist, - ein anaerobes Milieu aus. Dadurch wird nun auch dem überstehenden Abwasser Sauerstoff entzogen und werden in ihm Fäulnisgase und Fäulnisstoffe (der sogenannten 1. Stufe anaeroben Abbaues) gelöst. Schlamm und Abwasser sind angefault, ein Zustand, der den oxidativ gesteuerten biochemischen Mechanismen einer nachgeschalteten biologischen Abwasserreinigung abträglich ist.

Abgepumpter Frisch-Schlamm hat einen Wassergehalt um 97,5 %, ähnlich wie der aufschwimmende Flotationsschlamm (sekundärer Schwimmschlamm) und der bei der streng oxidativ-aeroben Abwasserreinigung entstehende Belebtschlamm, dessen physikalisch-chemische und biologische Besonderheiten als bekannt vorausgesetzt werden dürfen. Demgegenüber hat der bei der anaeroben, alkalischen (Methan-)-Fäulnis in Faulräumen gewonnene echte Faulschlamm nur mehr einen Wassergehalt von rd. 87 %, der durch die nachfolgende Schlamm Trocknung auf 74 % zurückgeht<sup>13)</sup>. So zufriedenstellend die verschiedenen Belebtschlammverfahren technologisch, wirtschaftlich und gewässerhygienisch für die Abwasserreinigung selbst sind, das im Vergleich zu den älteren, konventionellen Klärverfahren wesentlich größere Schlammvolumen bildet auch seuchenhygienisch eine gewisse Problematik. Dies deshalb, weil auch der gut belüftete Belebtschlamm aus Siedlungsabwasser immer noch Krankheitserreger und Eier oder Larven parasitischer Eingeweidewürmer enthält oder zumindest enthalten kann.

4.) Über die Technologie der weiteren Behandlung von frischem Klärschlamm zu sprechen steht mir nicht zu, denn mit den Fragen der Stabilisierung und Konditionierung von Abwasserschlamm sind seit DUNBAR zu Anfang dieses Jahrhunderts Generationen von Fachleuten befaßt. Die meisten dieser Verfahren haben als Ziel, den Schlamm weitgehend zu entwässern und ihn so zu behandeln, daß er "zu keiner erheblichen Belastigung der Umwelt führt"(BORNEFF)<sup>14)</sup>. Gleichzeitig soll das vom Klärschlamm abgetrennte Abwasser möglichst unschädlich für den Vorfluter sein. Dabei muß man sich vergegenwärtigen, daß alle Veränderungen des Klärschlammes durch mikrobiell-fermentative, also letztendlich durch biologische Vorgänge ausgelöst werden. Aufgabe des Klärtechnikers ist es daher, für diese Prozesse die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen. Die Möglichkeiten dazu wurden schon seinerzeit von W.LENGYEL<sup>15)</sup> übersichtlich dargestellt. Die technischen Fortschritte auf dem Gebiet der Klärschlamm-Konditionierung und Stabilisierung wurden zuletzt bei dem von Professor Dr.Ing.W.von der EMDE im Oktober 1975 in Wien veranstalteten workshop der IAWPR behandelt.

Aus der Sicht des Mikrobiologen soll zur technologischen Seite der Klärschlammbehandlung nur noch abschließend darauf hingewiesen werden, daß von Anfang an eine klare Entscheidung getroffen werden muß, ob für den Abbau der organischen Inhaltsstoffe des Klärschlammes die streng anaerobe, alkalische Faulung mit dem Endziel der Humusierung des Schlammes, oder die extrem aerob-oxidative Prozeßsteuerung mit dem Endziel der Mineralisierung der organischen Substanzen in Abwasser und Schlamm durch Belebungsverfahren gewählt werden soll. Jeder diesbezügliche Kompromiß ist im wahrsten Sinne des Wortes "faul", er führt zu unvollkommenem Abbau unter Bildung übelriechender Gärungsprodukte (Fettsäuren, Methylmerkaptan, Mono- und Dimethylsulfid, H<sub>2</sub>S, Skatol u.a.m.). Wegen seiner starken Hydratation hält ein so gewonnener Schlamm das Wasser fest, neigt zur Blähschlamm-Bildung durch Befall mit den von D.H. EIKELBOOM<sup>16)</sup> beschriebenen Fadenorganismen und leistet der

Persistenz und allfälligen Vermehrung der pathogenen Keime Vorschub; gerade das soll aber vermieden werden.

## 5.) Hygienische Aspekte der Schlammbehandlung

### I) Seuchenhygienische Kriterien für die Wiederverwertung von Klärschlamm aus Siedlungsabwasser:

Dazu sind zunächst grundsätzliche Fragen zu beantworten.

- a) Welche Krankheitserreger sind im Klärschlamm erfahrungsgemäß vorhanden ?
- b) Auf welchen Wegen können die Krankheitserreger vom Schlamm auf den Menschen gelangen ?
- c) Wie groß ist das Infektionsrisiko durch Klärschlamm ?
- d) Ist der Schlamm bestimmter Abwasserarten besonders infektiös ?
- e) Wie lange überleben Krankheitserreger in der Außenwelt, speziell im Klärschlamm und Boden ?
- f) Welche Schlammbehandlungsverfahren sind gegen die Krankheitserreger wirksam ?

zu a): Im unbehandelten, frisch abgesetzten Schlamm sind dieselben Krankheitskeime vorhanden, wie im rohen Siedlungsabwasser. Dieses enthält regelmäßig Eitererreger (Staphylokokken), bedingt pathogene Darmkeime (Enterokokken bzw. Faekalstreptokokken), Salmonellabakterien, Tuberkelbakterien und verschiedene Viren (Echo-Viren, Enteroviren, Coxsackie-Viren, usw.), fallweise auch Leptospiren. Diese Krankheitskeime sind in jeder Bevölkerung latent endemisch und werden in erster Linie mit den Ausscheidungen der sogenannten Keimträger (Kontakt- bzw. Inkubationskeimträger) und der Dauerausscheider in die Umwelt, bevorzugt in das Abwasser verbracht. Man rechnet dabei in Europa hinsichtlich der Salmonella-Dauerausscheider mit einer Frequenz von rd. 0,5 % der Gesamtbevölkerung, so daß nach BORNEFF<sup>17)</sup> mit der Anwesenheit von Salmonellakeimen im Kubikzentimeterbereich von Abwasser gerechnet werden muß und ein mit Abwässern verunreinigtes Flußwasser etwa 1 - 10 Salmonellakeime je 1 ml enthält (BORNEFF, l.c. 14).

Die genannten Krankheitskeime sedimentieren beim

Absetzvorgang rund zu  $2/3$  in den Schlamm, ebenso die Eier und Larven der menschlichen Eingeweidewürmer, die von mehreren Autoren im Abwasser und Klärschlamm gefunden wurden. BORNEFF l.c.<sup>17)</sup> fand im Abwasser bei einer großen Untersuchungsreihe im Raume Mainz-Darmstadt im Abwasser 1 - 2 Eier des Spulwurmes (*Ascaris lumbricoides*) je Liter und hält das Gesundheitsrisiko durch Klärschlamm diesbezüglich für gering.

zu b): Eine unmittelbare Übertragung der genannten Krankheitskeime vom Klärschlamm auf den Menschen ist normalerweise nicht möglich. Eine indirekte Übertragung von Keimen der *Salmonella enteritidis* (Brechdurchfall-Erreger) über infizierte vegetabilische Lebensmittel ist allenfalls möglich, wenn die Keime sich im Schlamm bei geeigneter Temperatur von  $20-30^{\circ}\text{C}$  vermehren können. Dann werden aus einem Keim in 10 - 15 Std. etwa 100.000 virulente, d.h. ansteckungsfähige Erreger. Eine solche Ansteckung würde voraussetzen, daß der Klärschlamm knapp vor der Gemüseernte (z.B. Salat) auf die Felder verbracht wird.

Zweifellos höher zu bewerten ist nach meine eigenen Erfahrungen die Übertragung von Krankheitserregern vom Klärschlamm über Fluginsekten (Fliegen) auf Lebensmittel und mit diesen auf den Menschen. Das eindrucksvollste Beispiel ist mir noch lebhaft in Erinnerung: in einem kleinen Beherbergungsbetrieb mit mangelhaften sanitären Einrichtungen war die Senkgrube entleert und Schlamm auf eine Wiese geworfen worden. Einige Zeit danach traten bei den Urlaubsgästen Krankheitserscheinungen auf, die eindeutig auf Bauchtyphus (*Typhus abdominalis*) hinwiesen. Die Erkrankungen wurden der Sanitätsbehörde zunächst verschwiegen, Reiseautobusse brachten neue Gäste, solange, bis im benachbarten Ausland 16 diagnostizierte Typhusfälle aus diesem Gaststättenbetrieb festgestellt waren. Über sanitätsbehördlichen Auftrag begann ich mit den Untersuchungen in dem Gasthaus, wobei ich u.a. auch Fliegen in Fallen aus Organtingewebe von dem Klärschlammhaufen und von der Wand der Küche fing. Im Laboratorium ließen wir diese Fliegen in Petrischalen über geeignete selektive Nährmedien

laufen. Schon nach 24 Std. Inkubation bei 37°C waren die Laufstraßen der Fliegen am Nährmedium durch aneinandergereihte Kolonien von Salmonella typhi mit freiem Auge zu erkennen; Subkulturen, Serotypie und Phagotypie bestätigten die Identität der Keime mit jenen, die aus Blut bzw. Stuhl der Kranken gezüchtet worden waren. Selbstverständlich kann auch anderes Ungeziefer, z.B. Ratten, Krankheitskeime aus der Kläranlage hinausschleppen und die Infektkette "Klärschlamm-Ungeziefer-Lebensmittel-Mensch" aufbauen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, Abwasserreinigungsanlagen frei von Ungeziefer aller Art zu halten.

zu c): Wie groß ist das Infektionsrisiko durch Klärschlamm ?

Für jede bakterielle oder virale Ansteckung des Menschen ist nicht nur ein geeigneter, virulenter Erreger, sondern auch eine bestimmte Infektionsdosis (Anzahl aufgenommenen Keime) erforderlich. Diese Infektionsdosis ist für jede Keimart verschieden; sie beträgt für eine einigermaßen wahrscheinliche Ansteckung mit Typhus nur etwa 100 Keime, während für das Angehen einer Infektion mit den Keimen des Brechdurchfalles die orale Zufuhr von mehr als 100.000 Keimen je 1 g Lebensmittel erforderlich ist. Bei den Tuberkulosekeimen ist für die Infektionsdosis der Ansteckungsweg maßgeblich: während bei Aufnahme über den Respirationstrakt schon einige wenige Tuberkelbakterien zur Infektion führen können, sind zur intestinalen Infektion mehr als 100.000 Tuberkulosekeime erforderlich.

Unter den pathogenen Viren sind das Poliomyelitisvirus (Kinderlähmung) und die Hepatitisserreger besonders gefürchtet, sie kommen nahezu regelmäßig im Abwasser vor, allerdings in geringerer Zahl, als Salmonellakeime und Tuberkelbakterien; dafür ist ihre Infektiosität viel größer, d.h. die Infektionsdosis geringer. Wesentlich ist die Tatsache, daß sich Viren bekanntlich nur in lebenden Zellen vermehren können, sodaß es weder im Klärschlamm, noch in allenfalls indirekt infizierten Lebensmitteln zu einer Anreicherung pathogener Viren kommen kann. Darauf ist auch die Tatsache zurückzuführen, daß nach BORNEFF (l.c.)<sup>17)</sup> bisher keine durch

Klärschlamm bedingten Viruserkrankungen bekannt geworden sind. Nach diesem Autor ist auch das Risiko einer Ansteckung mit Spulwurmeiern aus Klärschlamm eher unwahrscheinlich, während eine Verbreitung des Rinderbandwurmes (*Taenia saginata*) über den Klärschlamm (Weidedüngung) möglich ist.

zu d): Ist der Schlamm bestimmter Abwasserarten besonders infektiös ?

Außer dem Siedlungsabwasser, in welchem alle Krankheitskeime einer ganzen Bevölkerungsgruppe vorkommen und in den Klärschlamm übertreten, kennt man kein Abwasser von höherer Infektiosität. Bei den Infektionsstationen der Krankenhäuser werden durch die sogenannte laufende Desinfektion am Krankenbett, pathogene Keime und Viren a priori vom Abwasser ferngehalten; allenfalls wird potentiell infektiöses Krankenhausabwasser thermisch desinfiziert. Dies gilt vor allem für die Abwässer von Lungenheilstätten. Das Abwasser bakteriologischer Laboratorien bedarf keiner Desinfektion, weil bei Einhaltung der Grundregeln mikrobiologischen Arbeitens überhaupt keine lebenden Keime in das Abwasser gelangen. Dagegen ist das Abwasser von Prosekturen thermisch zu entkeimen. Es enthält somit kein Klärschlamm ein größeres Infektionsrisiko als jener des Siedlungsabwassers und dieses ist - wie oben erläutert wurde - recht gering.

zu e): Die Überlebenszeit von Krankheitserregern in der Außenwelt, speziell im Klärschlamm und Boden, ist von vielen Faktoren abhängig und daher recht unterschiedlich. Zunächst ist festzuhalten, daß einige Keimarten die spezielle Fähigkeit haben, in "Notzeiten" Dauerformen (Sporen) zu bilden, die in der Außenwelt ohne Stoffwechsellleistung und ohne Vermehrung sogar Jahrzehnte überdauern können; sobald wieder günstigere Lebensbedingungen eintreten (Temperatur, Feuchtigkeit, Nährstoffe) keimen die Sporen wieder zu vegetativen Formen aus, die alle Merkmale der ursprünglichen Keime aufweisen. Die Sporen sind überdies außerordentlich hitzeresistent, sodaß sie weder im Faulschlamm des beheizten Faulraumes, noch bei

der Kompostierung oder bei der thermischen Schlammkonditionierung abgetötet werden. Zu den pathogenen Sporenbildnern gehören die Milzbrandbazillen, das *Clostridium perfringens* (Gasbranderreger) und das *Clostridium tetani*, der Erreger des Wundstarrkrampfes.

Von den nicht Sporenbildnern überleben aber auch einige Keimarten in der Außenwelt beachtlich lange Zeiten. So überdauern Salmonellakeime in Abwasser, Klärschlamm und Erde zwischen wenigen und über 100 Tage, *Salmonella enteritidis* im Klärschlamm über 3 Wochen, aber in trockenem Kot über zwei Jahre, Tuberkelbakterien halten sich einige Wochen bis Monate in Erde und Staub virulent und Viren haben ähnliche Überlebenszeiten.

Nach BERGSTERMANN und Mitarbeitern<sup>18)</sup> persistieren Askarideneier im Erdreich bis zu 5-6 Jahre, gehen aber im "aktiven" Klärschlamm in längstens 2 Jahren zu Grunde. Die Eier des Rinderbandwurmes (*Taenia saginata*) bleiben im Freien (Weideland) 8 Wochen und länger lebensfähig.

zu f): Welche Schlammbehandlungsverfahren sind gegen die Krankheitserreger wirksam ?

i) Im Faulschlamm des beheizten Faulraumes sind nach 10-tägiger thermophiler Faulung Wurmeier nicht mehr entwicklungsfähig, eine Abnahme der Gesamtkeimzahl und damit auch der pathogenen Keime und Viren tritt bei zu Ende geführter, kompletter alkalischer (Methan-) fäulnis im beheizten Faulraum nach 30 - 40 Tagen, im unbeheizten Faulraum nach 60 - 90 Tagen ein (MEGAY l.c.)<sup>12)</sup>.

ii) Die biologische Keimtötung durch Kompostierung erfolgt nach 6-tägiger Rotte bei Selbsterhitzung auf 70°C, der Mechanismus ist aber nicht derselbe, wie bei der Hitzesterilisation, vielmehr brennen die Keime bei der langsamen Aufwärmung durch den enorm gesteigerten intermediären Stoffwechsel ihren Lebensfaden sozusagen von beiden Enden zugleich ab. Bei diesem Verfahren läßt sich Klärschlamm mit Haushaltsmüll zusammen verarbeiten, das Ergebnis ist wertvoller Humus.

iii) Eine chemische Desinfektion des Klärschlammes aus Siedlungsabwasser kommt aus mehrfachen Überlegungen überhaupt nicht in Betracht.

iv) Auch die generelle Pasteurisierung des Klärschlammes durch Erhitzung auf 70°C durch 30 Minuten ist keinesfalls die Methode der Wahl; erstens ist sie ausgesprochen kostspielig und energieaufwendig, zweitens bei richtigem Betrieb der Abwasserbehandlung auch unnötig. BORNEFF l.c.<sup>17)</sup> bezeichnet den Zwang zur generellen Schlammpasteurisierung als eine "pseudohygienische Vorschrift, wie die zur allgemeinen Desinfektion aller Krankenhausabwässer".

v) Vertretbar ist dagegen die Aufbringung ausgefaulten Klärschlammes auf Weideflächen, allerdings mit der Auflage ausreichender Karenzzeit. Im Übrigen sind alle Maßnahmen zur Klärschlamm Entsorgung von Fall zu Fall anders zu beurteilen und erfordern schon im Planungsstadium gründliche Überlegung und Durchrechnung sowie die Zusammenarbeit aller beteiligten Fachdisziplinen.

## II.) Toxikologische Überlegungen bei der Düngung mit Siedlungs-Klärschlamm:

Von verschiedenen Autoren, vor allem aber von BORNEFF, der diesem Problem seine Lebensaufgabe geweiht hat, wurde festgestellt, daß die sogenannten Kanzerogene, polyzyklische Aromate, etwa 3,4-Benzpyren, 3,4-Benzfluoranthren u.a.m. wohl fast überall in unserer Umwelt anzutreffen sind, daß aber doch große mengenmäßige Unterschiede bestehen. So enthält Grundwasser 1 - 10 Mikrogramm/m<sup>3</sup>, mäßig verunreinigtes Oberflächenwasser 50 - 100 Mikrogramm/m<sup>3</sup>, Abwasser aber über das tausendfache, d.h. 100 mg/m<sup>3</sup> dieser krebserregenden Substanzen. Im Abwasser liegen diese kanzerogenen Aromate etwa zu je 1/3 in korpuskulärer, in fein disperser und in echt gelöster Form vor. Eine zweistufige Kläranlage eliminiert daher rund 70 % dieser Stoffe aus dem Abwasser und bringt sie in den Klärschlamm. Nach der von GRÄF 1964 getroffenen Feststellung, daß

Benzpyren und andere polyzyklische Aromate das Pflanzenwachstum fördern, haben weitere Untersuchungen gezeigt, daß diese Substanzen im Stoffwechsel der Grönpflanzen eine Art Auxinwirkung haben, also eine vitaminähnlich Funktion erfüllen dürften. Damit wäre zwar vielleicht eine Erklärung für die gute Düngewirkung von Klärschlamm auf ausgehungerten Böden gegeben, gleichzeitig aber wird man aber gezwungen sein, die weiteren Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet seitens der Abwassertechnologen aufmerksam zu verfolgen. Auch dem Gehalt des Siedlungsklärschlammes an giftigen Metallen (Hg, Cadmium, Blei, Selen) und an Beryllium wird man in Zukunft mehr Beachtung schenken müssen.

In der menschlichen Physiologie, Pathologie, Epidemiologie und Toxikologie, bzw. bei der biologischen Reizbeantwortung überhaupt, spielen Imponderabilien und nicht vorausberechenbare Faktoren eine oft entscheidende Rolle. Das Lebendige, - und dazu gehört nun einmal der Mensch - entzieht sich auf Grund multikausaler Verflechtungen, als eine Summe von Vektoren von verschiedener Größe und Richtung, als eine Gleichung mit sehr vielen Unbekannten, der rechnerischen Erfassbarkeit, der formelmäßigen Vorhersage seines Reaktionsverhaltens. Die den Organismen innewohnende Fähigkeit zur Kompensation, Adaptation und Regeneration verfügt über einen immensen Belastungsspielraum, der den Fortbestand des Lebens gewährleistet.

---ooo00000ooo---

L i t e r a t u r

- 1) FERBER et al., Ges.Ing. 85 (1964) Heft 6, 193 f.;
- 2) KAMPSCHULTE, Ges.Ing. 86 (1965) Heft 2, 42 f.;
- 3) REPLOH, H, Lehrbuch d.Hygiene Prävent.Medizin  
2.Auflg.(1969) Gustav Fischer Verlag  
Stuttgart;
- 4) MEGAY, K, Mittlg.d.Wirtschaftshofes d.Stadt Linz;
- 6) REPLOH, H, l.c.(3)
- 7) GÖTTSCHING, H, Städtehygiene, 23.Jg.(1972), Heft 6;  
derselbe, Städtehygiene, 23.Jg.(1972), Heft 8;  
derselbe, Städtehygiene, 23.Jg.(1972), Heft 10;
- 8) FEIGE, W, GWF (Wasser/Abwasser), 116 (1975)  
Heft 12, 533-537;
- 9) KAUPERT, W, Städtehygiene, 15.Jg.(1964), Heft 5;
- 10) ALBINUS, G, Städtehygiene, 17.Jg.(1966), Heft 4;
- 11) HANSTEDT, W, "Staub", 23 (1963), Nr.3, 218 f.;
- 12) MEGAY, K, Wasser u.Abwasser, Verlag Winkler & Co.  
Band 1963, S. 66 f.(Wien);
- 13) PÖNNINGER, R, Wasser u.Abwasser, Verlag Winkler & Co.  
(Wien), Band 1963, S. 46 f.;
- 14) BORNEFF, J, Hygiene; ein Leitfaden f.Stud.u.Ärzte,  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (1971);
- 15) LENGYEL, W, Wasser u.Abwasser, Verlag Winkler & Co.  
(Wien), Band 1963, S. 92 f.;
- 16) EIKELBOOM, D.H, IAWPR Workshop, Wien, Oktober 1975;
- 17) BORNEFF, J, Hygiene des Klärschlammes, in Berichte  
der ATV, Nr. 25 (1970), S 351-357;
- 18) BERGSTERMANN et al., Die parasitischen Würmer des  
Menschen in Europa, Ferd.Enke  
Verlag, Stuttgart (1951);

O. Tabasaran

## Die pyrolytische Behandlung von kommunalem Müll

### 1. Einleitung

Gegenwärtig werden über ein Fünftel des in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden kommunalen Mülls durch Verbrennen mit anschließender Schlacken- und Flugstaubdeponie beseitigt. Daneben macht als eine neue, zukunftssträchtige Behandlungsmöglichkeit die Pyrolyse von sich reden. Im folgenden soll nun versucht werden, auf die Einzelheiten dieser thermischen Methode einzugehen und zur Abrundung von den Ergebnissen eigener Untersuchungen zu berichten. Vorab sei festgehalten, daß die weitaus bekanntere Verbrennung als Prozeß grundsätzlich auch die Pyrolyse mit einschließt, denn die Verbrennung wird in der Fachsprache gern als ein physikalisch-chemischer Vorgang definiert, bei dem die organischen Stoffe unter Einwirkung höherer Temperaturen von dem festen beziehungsweise flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeleitet und unter gleichzeitiger Zufuhr einer überstöchiometrischen Sauerstoffmenge oxidiert werden. Auch bei der Pyrolyse, wie sie heute verstanden wird, findet eine Spaltung langer Ketten zu kürzeren Verbindungen durch Hitze statt, mit dem Unterschied, daß hier die Oxidation der Gasinhaltsstoffe nicht synchron erfolgen muß, sondern zeitlich verschoben vor sich gehen kann. Verläuft die Pyrolyse unter Luftabschluß, dann liegt nach dem Sprachgebrauch eine Entgasung vor. Von einer Vergasung wird gesprochen, wenn durch Teilreaktionen mit Sauerstoff der Koks

und das Wasser zu Kohlenoxiden und Wasserstoff umgewandelt werden, und die freigesetzte Wärme zu einer weiteren Krackung schwererer Moleküle führt. Das flüssige oder gasförmige Pyrolyse-Zielprodukt ist in jedem Fall als Energieträger verwendbar.

## 2. Hauptparameter zur Steuerung der Pyrolyseprozesse

Die Ergebnisse von Untersuchungen an Labor- und Pilotanlagen lassen erkennen, daß für ein gegebenes Material die Geschwindigkeit und der Umfang der Entgasungsvorgänge in erster Linie von der Heizrate und der Höhe der Reaktionstemperatur abhängig sind. Bei Temperaturen um  $200^{\circ}\text{C}$  fängt die Zersetzung der organischen Verbindungen an. Zuerst werden leicht flüchtige Stoffe abgegeben. Die Abspaltung von öligen Produkten kann bis  $500^{\circ}\text{C}$  beobachtet werden. Die Hauptmenge der brennbaren Gase entsteht zwischen  $350^{\circ}$  und  $450^{\circ}\text{C}$ . Über  $500^{\circ}\text{C}$  findet keine Teerbildung mehr statt, aber eine Umwandlung des Koks-kohlenstoffes in Gase (1).

Die Heizrate beeinflusst die Gaszusammensetzung. In Versuchen zur Pyrolyse von Zeitungspapier zum Beispiel, bei denen die Endtemperatur von  $800^{\circ}\text{C}$  in verschieden langen Zeiten erreicht wurde, war festzustellen, daß der Anteil an Kohlenmonoxid mit steigender Heizrate ab, der von Kohlendioxid dagegen zunahm (2). Bei Heizraten von einer Minute enthielt das Pyrolysegas 42,6 Vol.-%  $\text{CO}$ , bei einundsiebzig Minuten aber nur noch 26,9 Vol.-%. Die Gesamtergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 1 und Bild 1 wiedergegeben. Es fällt auf, daß die Länge der Heizrate bezüglich des Gasheizwertes keine signifikanten Änderungen hervorruft.

Tabelle 1 : Einfluß der Heizrate auf die Gaszusammensetzung und den Heizwert bei der Entgasung von Zeitungspapier bei 800°C (2)

Gas (Vol.-%)	Heizrate (min.)								
	1	6	10	21	30	40	60	60	71
CO <sub>2</sub>	15,01	19,16	23,11	25,1	24,7	25,7	22,9	21,2	24,01
CO	42,60	39,59	35,20	36,3	31,3	30,4	30,1	29,5	26,87
O <sub>2</sub>	0,92	1,61	1,80	2,5	2,3	2,1	1,3	1,1	1,91
H <sub>2</sub>	17,93	9,85	12,15	10,0	15,0	13,7	15,9	22,0	14,48
CH <sub>4</sub>	17,54	21,70	19,95	20,1	20,1	19,9	21,5	20,8	22,18
N <sub>2</sub>	6,00	8,09	7,79	6,0	6,6	8,2	8,3	5,4	10,55
kcal/m <sup>3</sup>	3314	3385	3162	3153	3153	3064	3269	3367	3189

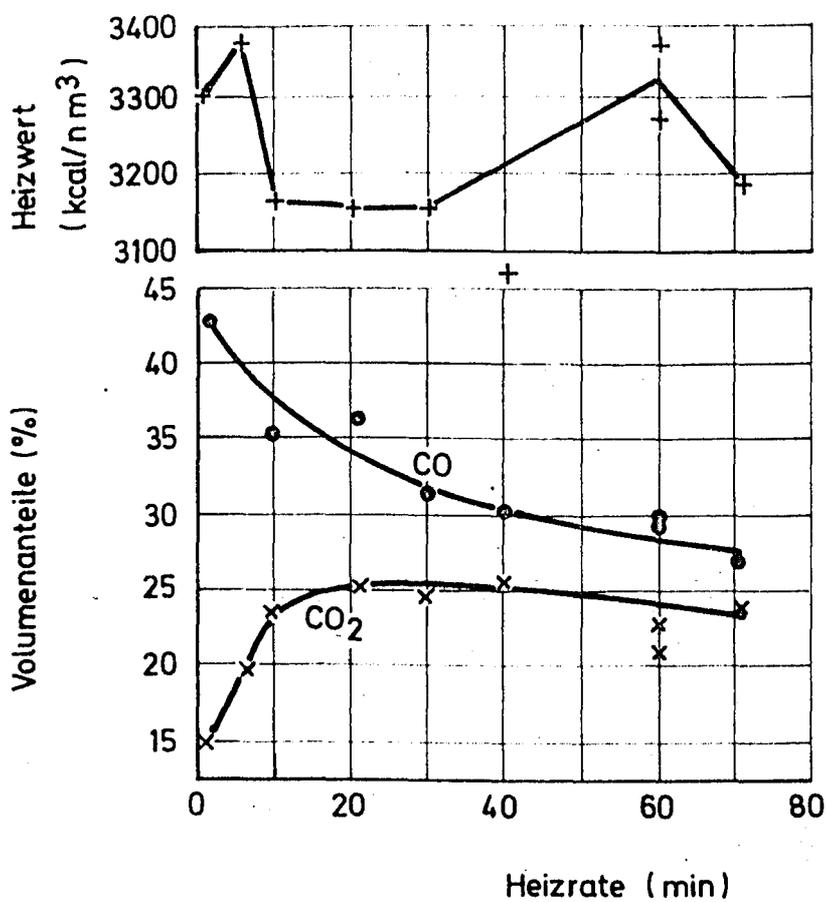
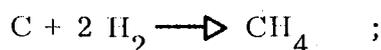
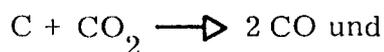


Bild 1 : Einfluß der Heizrate auf den Gehalt an CO und CO<sub>2</sub> im Pyrolysegas und den Heizwert (aus (2) ).

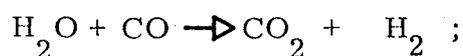
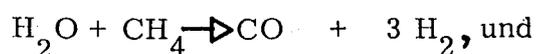
Die Beeinflussung der Menge und Zusammensetzung der Pyrolyseprodukte durch die Höhe der Reaktionstemperatur kann wie folgt zusammengefaßt werden (3):

Mit steigender Temperatur

- a) nimmt der Gehalt an Kohlenstoff in den Rückständen ab, weil dieser bei höheren Temperaturen Verbindungen mit Wasser und Kohlenmonoxid eingeht, gemäß

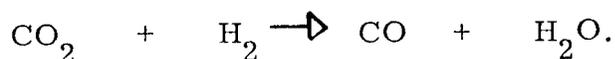


- b) sinkt die Menge an Restwasser, weil dieses zur Bildung von Kohlenoxiden und Wasserstoff herangezogen wird, gemäß



- c) wird die Menge an organischen Verbindungen im Kondensat reduziert, weil bei den Crack-Prozessen organische Produkte mit niedrigem Molekulargewicht gebildet werden wie Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan. In der Zone von 600<sup>o</sup> bis 1000<sup>o</sup> C sind außer Benzene kaum andere organische Substanzen anwesend ;
- d) wächst die Gasproduktion und die Bildung von Kohlenwasserstoffen gewinnt an Intensität. Temperaturen über 800<sup>o</sup> C haben dank der niedrigen Wasser- und der hohen Wasserstoff-Konzentration im System die Umwandlung von Kohlendioxid

zu Kohlenmonoxid zufolge, gemäß



Die Erhöhung der Pyrolysetemperatur verursacht also eine Abnahme der Mengen an festen Rückständen und an flüssigen organischen Stoffen. Außerdem wird der Heizwert fester und flüssiger Pyrolyseprodukte herabgesetzt. Dafür steigt die Menge und der Heizwert des Gases.

Zur Demonstration der Steuerbarkeit der Pyrolysevorgänge durch die Wahl der Reaktionstemperatur können die Resultate der von der Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten (EPA) initiierten Untersuchungen von Mc. Farland u. a. herangezogen werden, die in den Bildern 2, 3 und 4 dargestellt sind (4).

Bild 2 zeigt, wie mit zunehmender Temperatur die Menge an Gas zu, und die an Koks und an organischem Kondensat abnimmt, während der Aschegehalt fast konstant bleibt, weil die mineralischen Stoffe sich an den Reaktionen nicht beteiligen können.

Aus Bild 3 geht hervor, daß im Temperaturbereich von 800°C bis 900°C das Gas den höchsten Heizwert aufweist.

Bild 4 kann die Zunahme des Anteils an Kohlenmonoxid auf Kosten des an Kohlendioxid mit wachsender Temperatur entnommen werden. Bei höheren Temperaturen enthält das Gas mehr Methan und Wasserstoff als bei niedrigen Temperaturen.

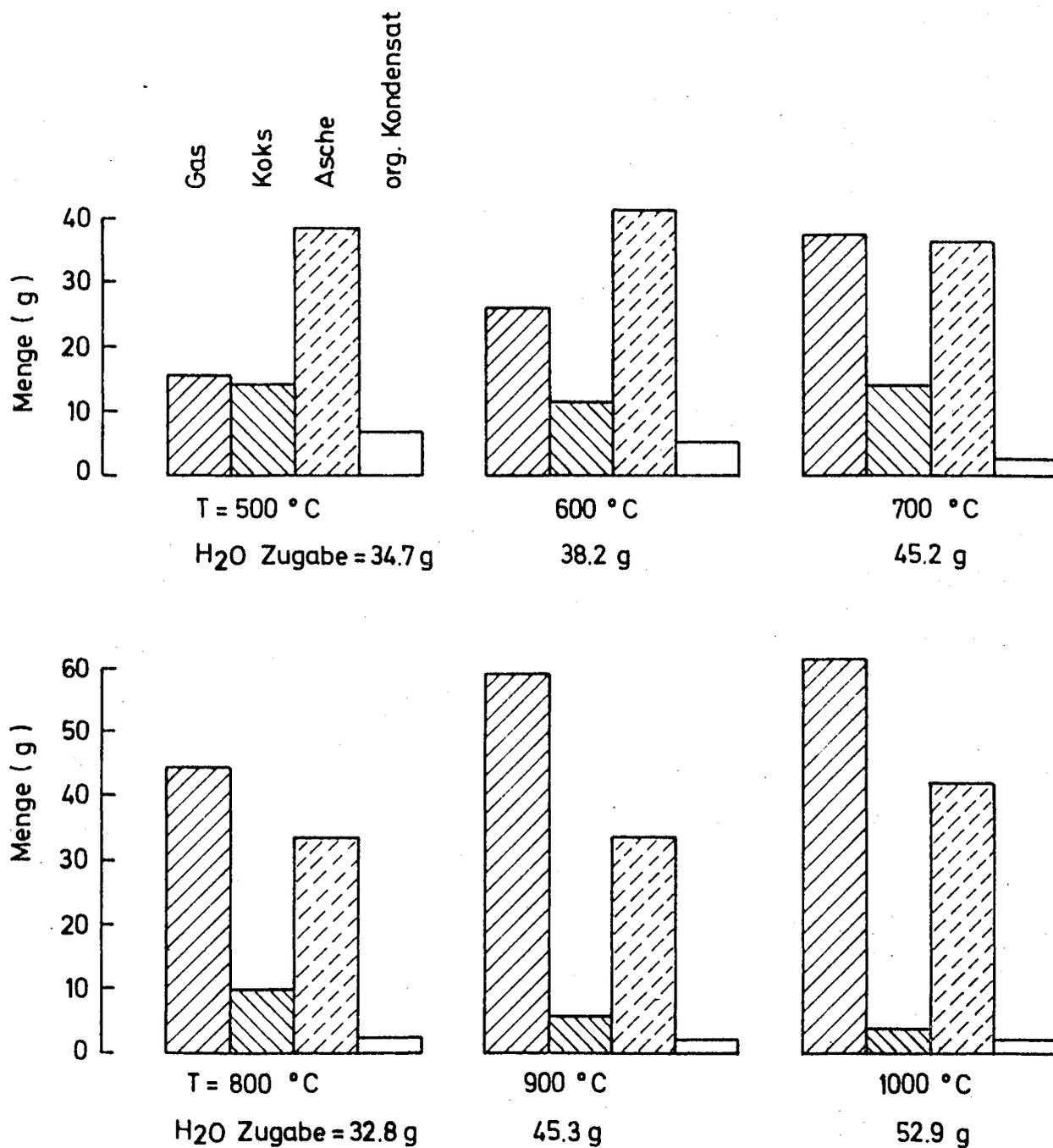


Bild 2: Einfluß der Temperatur auf die Menge der Reaktionsprodukte bei der Pyrolyse von 100 g getrocknetem Abfall plus Wasser (aus (4)).

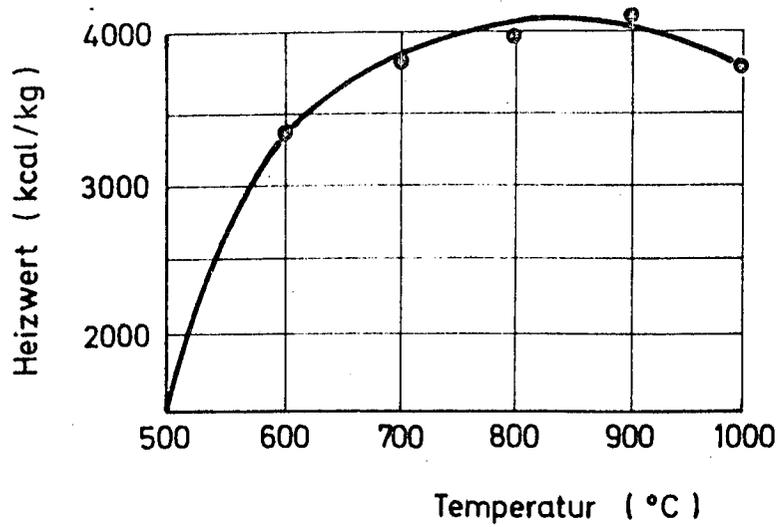


Bild 3: Einfluß der Reaktionstemperatur auf den Heizwert des Pyrolysegases ( aus (4) ).

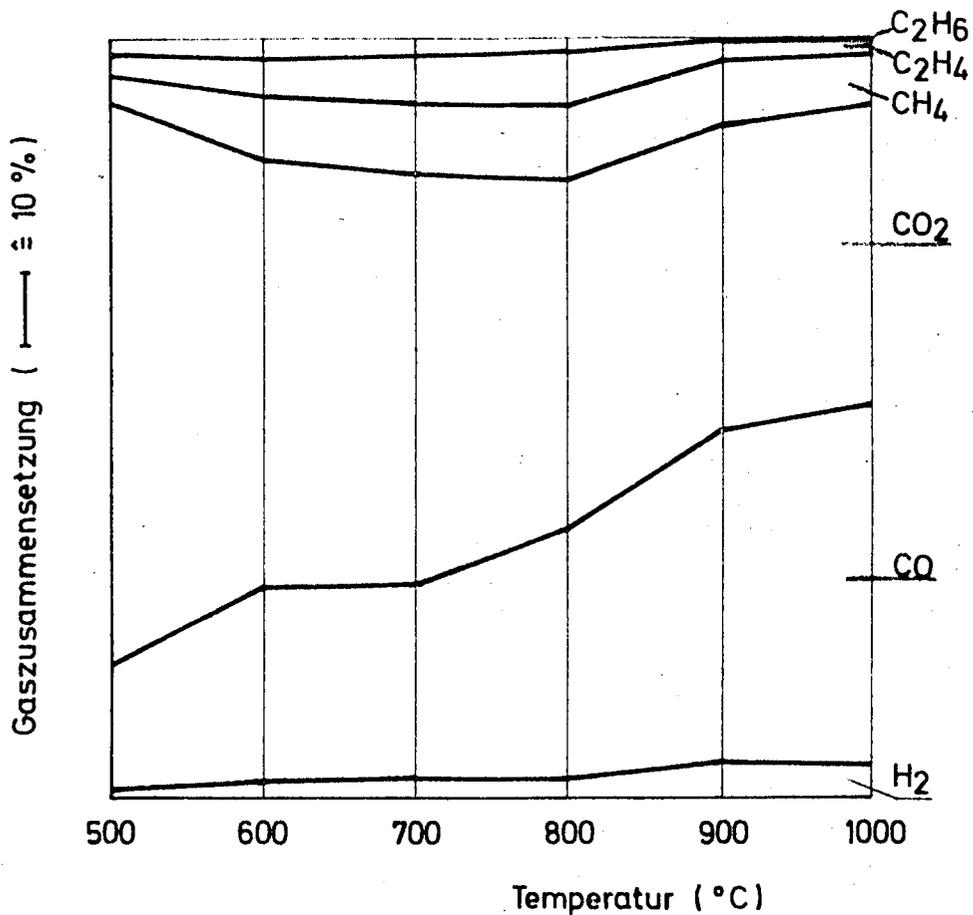


Bild 4 : Einfluß der Reaktionstemperatur auf die Zusammensetzung des Pyrolysegases ( aus (4) ).

### 3. Verfahren

Zur Gewinnung einer ersten Übersicht können die Pyrolysesysteme in die Verfahrensgruppen

- a) Entgasung ;
  - a.a mit Aufbereitung des Zugabematerials
  - a.b ohne Aufbereitung des Zugabematerials
 und
- b) Entgasung plus Vergasung;
  - b.a mit Aufbereitung des Zugabematerials
  - b.b ohne Aufbereitung des Zugabematerials

eingeteilt werden. Je nach Art der wirkenden Kraft zur Materialbewegung wird unter den Reaktortypen

- a) Vertikalretorten ,
- b) Drehtrommeln und
- c) Wirbelbettkonvertern

unterschieden.

Bei der ersten Variante gewährleistet die Schwerkraft, bei der zweiten die Drehung und der letzten der Gasstrom den Stoffvorschub.

In den Entgasungssystemen werden die Reaktoren meist von außen beheizt mittels Gas- beziehungsweise Ölbrenner, elektrischer Elemente oder Induktionsvorrichtungen, selten direkt durch Überleiten von heißen Gasen. Die Vergasungsreaktoren hingegen verwenden fast ausschließlich die Innenbeheizung durch strömende Heißluft und/oder überhitzten Wasserdampf. Die direkte Heizung kann im Gleichstrom, wo Heizgas und Abfall in gleicher Richtung fließen, oder im Gegenstrom erfolgen, bei dem die wärmeabgebenden und die wärmeaufnehmenden

Medien entgegengesetzte Bewegungsrichtungen aufweisen.

Als Typenmerkmal kann auch die Beschaffenheit der erzeugten festen Nebenprodukte gelten. Während die Hochtemperatur-Verfahren geschmolzene, wasserunlösliche Schlacken liefern, enthalten die Rückstände der sonstigen Pyrolysesysteme organische und mineralische Verbindungen in löslicher Form.

Derzeitig existieren über zwei Dutzend verschiedene Vorschläge zur pyrolytischen Behandlung von kommunalem Müll.

In Tabelle 2 sind einige von ihnen, nämlich die Verfahren

G a r r e t t ,  
D e s t r u g a s ,  
L a n d g a r d ,  
U n i v e r s i t y   o f   W e s t   V i r g i n i a ,  
G o l d s h ö f e ,  
U n i o n   C a r b i d e ,  
U r b a n   R e s e a r c h   u n d  
T o r r a x ,

über die in der Literatur einigermaßen gesichertes Datenmaterial vorliegt, unter Angabe ihrer Eigenheiten zusammengefaßt, während die Bilder 5 bis 12 die zugehörigen Fließschemen wiedergeben.

Es fällt auf, daß die meisten Systeme aus den Vereinigten Staaten von Amerika stammen, wo seit fast fünfunddreißig Jahren systematische Arbeiten auf diesem Gebiet getrieben und nach beendeten Untersuchungen an Anlagen im Labor- und Technikumsmaßstab nun Demonstrationssysteme in echter Entsorgungsgröße zur Erprobung erstellt werden.

Tabelle 2: Daten von einigen Systemen zur Abfallpyrolyse (3) (7) (8) (19) (20) (22)

Verfahren	Gruppe	vorhandene Pilotanlage t/d	geplante oder vorhandene Großanlage t/d	Zielprodukt		Zusammensetzung		Heizwert kcal/m <sup>3</sup>	Feste Rückstände		Bemerkungen
				Art	spez. Menge kg/t Müll	Gew.-%	kg/t Müll		kg/t Müll		
Garret (USA)	a.a	4 (San Diego)	180 (San Diego)	Brennöl	289	C 57,5 H 7,6 N 0,9 S 0,1 Cl 0,3 O 33,4 Asche 0,2		5330 kcal/kg	382	60 Metalle 51 Glas 140 gebrauchsfähig 131 Koks	Einstufige Pyrolyse bei 430°C nach weitgehender Aufbereitung der Abfälle mit Öl- und Gaserzeugung und Aussortierung der Wertstoffe aus den Rückständen
				Brenngas	195	Vol.-% CO 42,0 CO <sub>2</sub> 27,0 H <sub>2</sub> 11,5 C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 19,3 Sonst. 0,2	4900				
Destrugas (DK)	a.a	5 (Kalundborg)	-	Brenngas	370	Vol.-% H 39,5 CO <sub>2</sub> 17,6 CO 12,1 C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 12,2 H <sub>2</sub> O 18,6		2790	310	260 Koks u. Reste 20 Metalle 30 Teere	Entgasung in einem Vertikal-schacht bei 1000°C; Entnahme der festen Rückstände über einen Wassertrog
Landgard (USA)	b.a	35 (St. Louis)	907 (Baltimore)	Schwachgas	5500 (nach Zufuhr von 5000 kg Luft)	N 69,3 CO <sub>2</sub> 11,4 CO 6,6 H <sub>2</sub> 6,6 CH <sub>4</sub> 2,8 Sonst. 3,3			380	73 Koks 181 Reste 63 Glas 63 Metalle	Oxidation und Entgasung bei 1000°C in einer Rotations-trommel, Erzeugung von Satt-dampf, anschließend Wertstoff-gewinnung aus den festen Rückständen
University of West Virginia (USA)	b.a		400	Schwachgas	0,58 m <sup>3</sup> /kg	CO 27,1 CO <sub>2</sub> 14,7 H <sub>2</sub> 41,7 CH <sub>4</sub> 7,7 C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 8,8		3560			2 Wirbelbettreaktoren, 1 zur Entgasung bei 800°C 1 zur Oxidation bei 950°C
Goldshöhe (D)	b.a	(62 kg/Charge); 10 t/d (Aalen)	-	Brenn-gas	1070 (nach Zufuhr von 776 kg Luft)	N 51 H 20 CO 14 CO <sub>2</sub> 8 O 3 CH <sub>4</sub> 3 C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 1		1400	568		2-stufige Pyrolyse, Entgasung in einer Trommel bei 500°C, Vergasung im Generator bei 1200°C
Union Carbide (USA)	b.b	5	180 (Charleston)	Brenn-gas	600 (nach Zufuhr von 200 kg O)	CO 50 H <sub>2</sub> 30 CO <sub>2</sub> 14 CH <sub>4</sub> 4 C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> 1 N <sub>2</sub> 1		2650	200		Hochtemperaturpyrolyse in einer Schachtretorte durch Teiloxidation nach Zufuhr von 95%-igem Sauerstoff in einer Menge von 200 kg/t Müll.
Urban Research (USA)	b.b	22 (University of Hartford)	109	Brenn-gas							Vergasung in einstufiger Schachtretorte bei maximal 1200°C
Torrax (USA)	b.b	68 (Orchard Park, New York)	(Frankfurt), (Luxembourg), 200 (Graesse)	Schwach-gas		CO <sub>2</sub> 4,2 N <sub>2</sub> 73,5 O <sub>2</sub> 12,9 CO 6,3 H <sub>2</sub> 2,2 CH <sub>4</sub> 0,8			227		Hochtemperaturvergasung in ein-stufiger Vertikalretorte um 1400°C mit nachgeschalteter Teiloxidation bei 1100°C, Erzeugung von Sattdampf

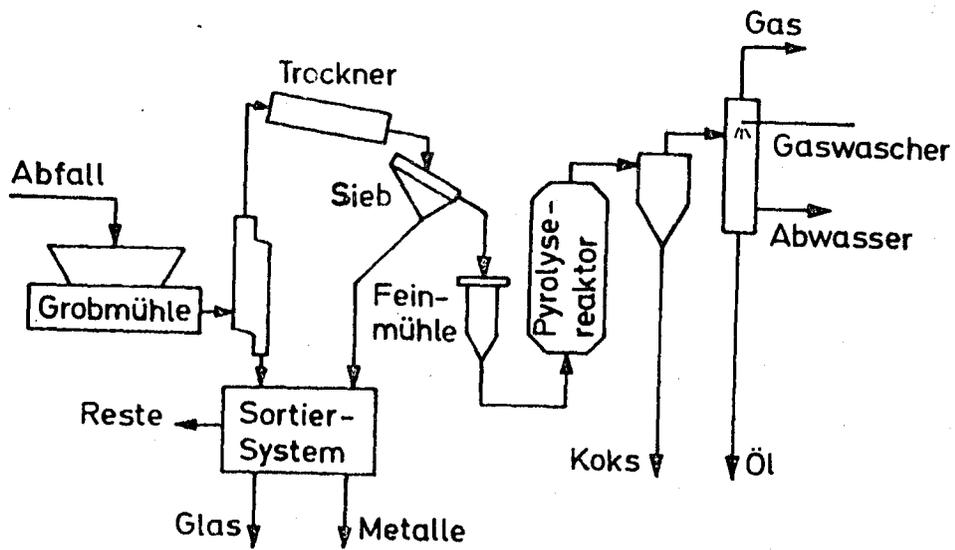


Bild 5: Fließschema Pyrolysesystem Garrett

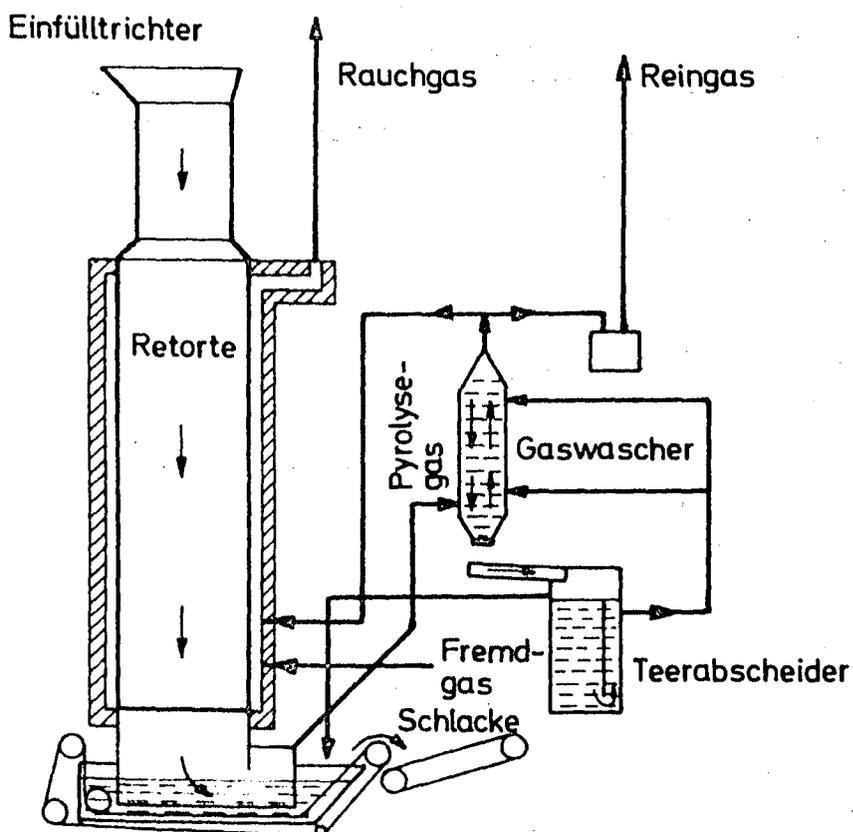


Bild 6: Fließschema Pyrolysesystem Destrugas

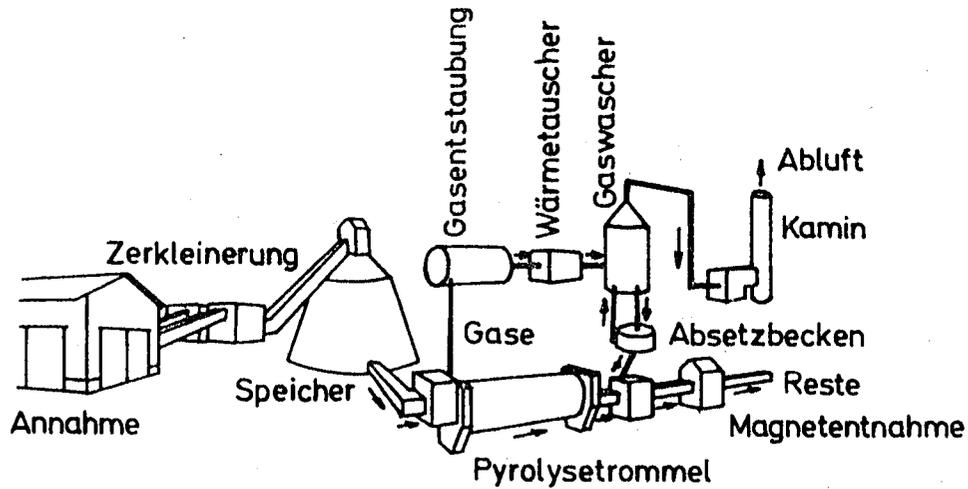


Bild 7: Fließschema Pyrolysesystem Landgard

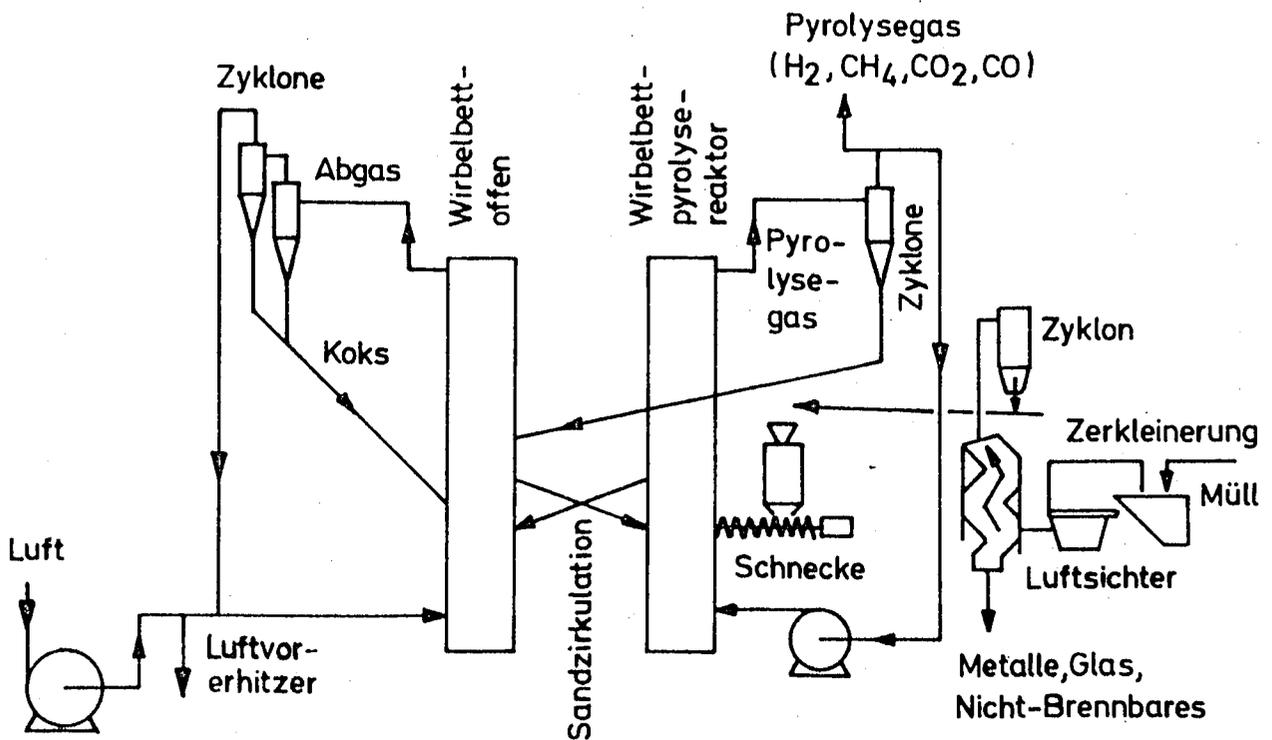


Bild 8: Fließschema Pyrolysesystem University of West Virginia

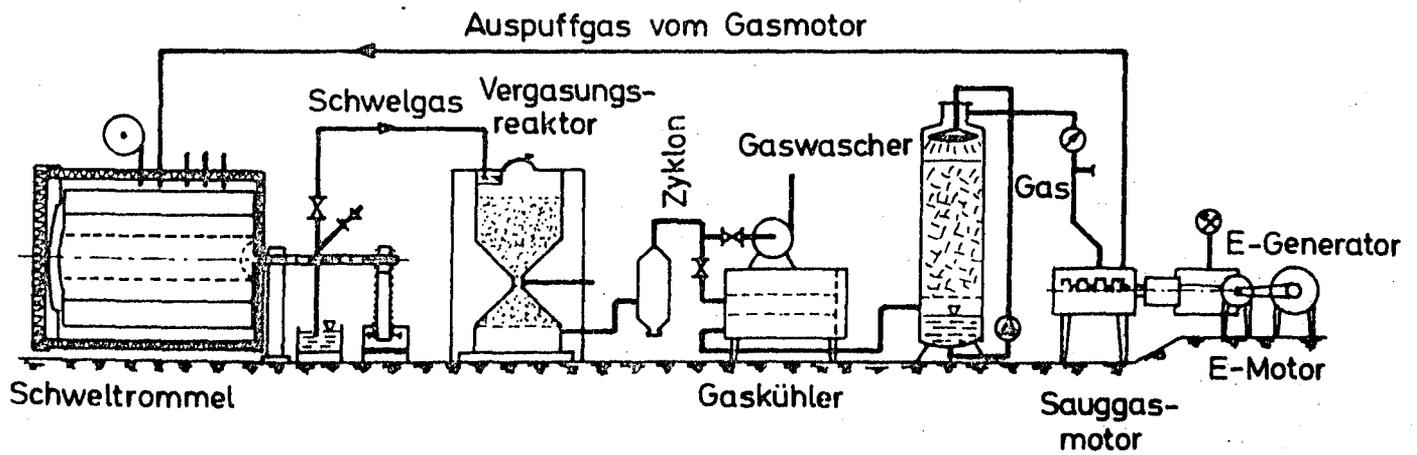


Bild 9 : Fließschema Pyrolysesystem Goldshöfe.

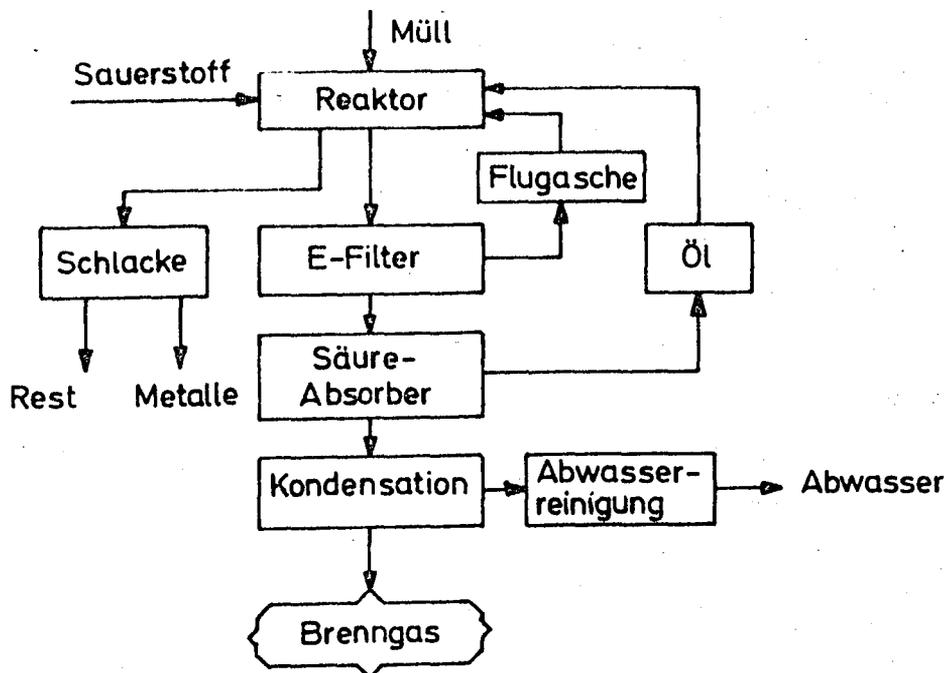


Bild 10: Fließschema Pyrolysesystem Union Carbide (USA).

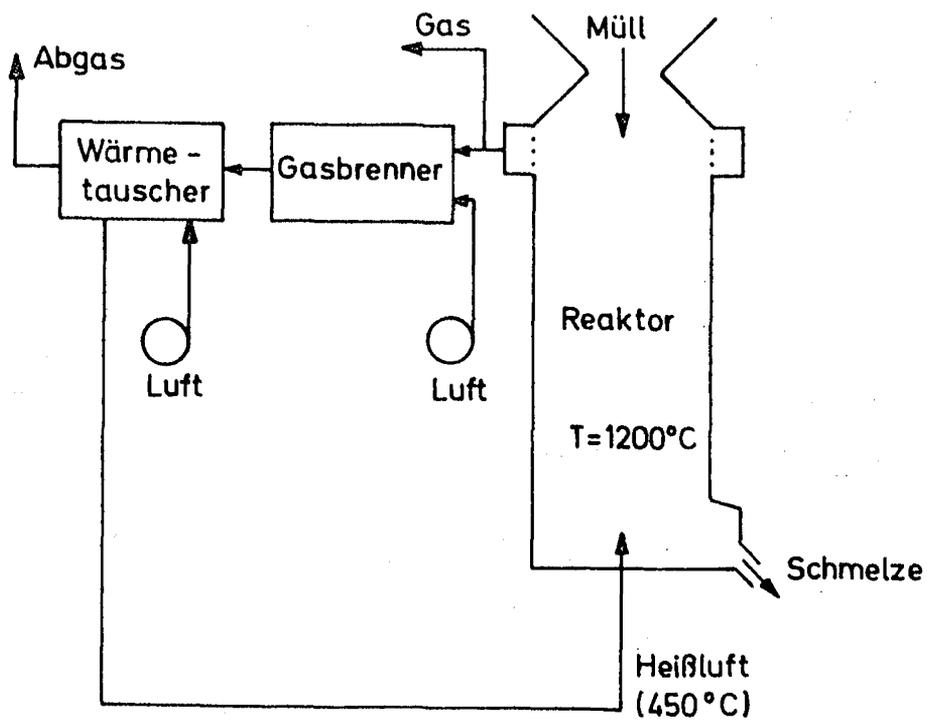


Bild 11: Fließschema Pyrolysesystem Urban Research (USA)

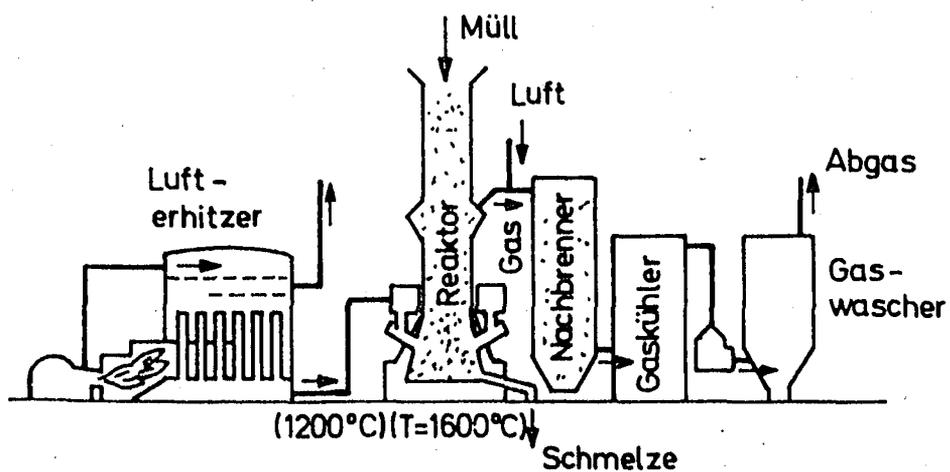


Bild 12: Fließschema Pyrolysesystem Torrax.

In Europa existieren zur Zeit nur zwei Pilotanlagen in technischem Maßstab; die Abfallentgasungsanlage System Destrugas in Kalundborg (DK) mit einem Durchsatz von 5 t/24 h und die Pyrolyseanlage System Goldshöfe in Aalen (D) mit einer Kapazität von etwa 10 t/24 h. Die erstgenannte wurde im Auftrag des Bundesinnenministers und die letztere, allerdings in einer kleineren Version, im Auftrag des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Baden-Württemberg vom Institut für Siedlungswasserbau und Wassergütwirtschaft der Universität Stuttgart insbesondere bezüglich umweltrelevanter Daten eingehend untersucht. Nachstehend werden die Ergebnisse der Arbeiten an der Anlage System Goldshöfe vorgestellt und diskutiert.

4. Stoff- und Energiebilanzen, dargestellt am Pyrolysesystem Goldshöfe

Die Pyrolyseanlage System Goldshöfe, deren Fließschema Bild 9 entnommen werden kann, wird chargenweise betrieben. Die Abfälle werden manuell in die Schweltrommel, die die erste Stufe der Pyrolyse darstellt und ein Fassungsvermögen von ca. 300 l besitzt, eingebracht. Zum Anheizen sowie Nachheizen und zur Aufrechterhaltung der erwünschten Betriebstemperatur von etwa 450 bis 500<sup>o</sup>C in der Trommel kommt ein handelsüblicher Ölbrenner zum Einsatz. Die Anheizdauer beträgt zirca eine halbe Stunde. Gleichzeitig mit der Inbetriebnahme der Anheizvorrichtung wird auch der nachgeschaltete Generator, der die zweite Pyrolysestufe bildet, angefacht, was mittels eines kleinen Sauggebläses erfolgt, wobei die erforderliche Temperatur von 1100 bis 1200<sup>o</sup>C in der heißesten Zone des Generators vorhanden sein sollte, bevor das verunreinigte, teer- und ölhaltige Schwelgas diesem zugegeben wird. Das Schwelgas strömt zusammen mit Luft in unterstöchiometrischer Menge im Generator von oben

nach unten durch, wird dabei über das in der heißesten Zone glühende Füllmaterial aus Holzkohle vercrackt, anschließend der Reihe nach über einen Zyklon zur Abscheidung feiner Feststoffteilchen, über einen Gaskühler zur Temperaturreduzierung, über einen Gaswascher zur Reinigung, geleitet und danach unter Luftbeimischung dem Gasmotor zugeführt.

Unmittelbar an den Gasmotor ist ein elektrischer Generator gekoppelt. Nach Erreichen einer gleichmäßigen Drehzahl kann die eingestellte Betriebstemperatur in der Schweltrommel mit Hilfe der heißen Auspuffgase aus dem Gasmotor aufrecht erhalten werden.

Nach Ablauf des etwa 30 bis 45 Minuten anhaltenden Pyrolyseprozesses, der in die drei Hauptphasen

- Trocknung mit überwiegend Wasserdampf-anfall,
- Entgasung und Vergasung bei überwiegend gleichmäßiger Gasproduktion mit etwa konstantem Wasserdampfanteil und
- Entgasung und Vergasung bei nachlassender Gasproduktion mit geringem Wasserdampfanteil,

eingeteilt werden kann, werden die festen Rückstände aus der Trommel manuell entnommen.

Mit Hausmüll wurden im Rahmen der vorgesehenen Untersuchungen drei Versuchsreihen gefahren. Erwähnt werden muß, daß der diskontinuierliche Betrieb der Pilotanlage bezüglich repräsentativer Gasprobeentnahmen dabei einige Unsicherheiten verursachte. Die Hauptphase des Prozesses konnte nur über den konstanten Motorlauf und die

gute Brennbarkeit des stichprobenhaft aus einer Düse abgefackelten Gases definiert werden. Außerdem war der Gaswascher knapp bemessen. Das Wasser darin wurde von 10°C bis auf 45°C aufgeheizt, wodurch die Reinigungs-Effektivität zurückging. Unter Berücksichtigung dieser Unzulänglichkeiten können die Versuchsergebnisse aber als ausreichend genau zur Charakterisierung des Systems und zur Beurteilung der von ihm ausgehenden Umwelteinflüsse eingestuft werden.

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte der während der Meßperiode "Zugabe kommunaler Müll" festgestellten Daten des Ausgangsstoffes und der Reaktionsprodukte und in Tabelle 4 die Zusammensetzung der Eluate der festen Rückstände aufgeführt. Die Tabelle 5 gibt die Schwermetallanteile in Pyrolyserückständen, in Müllverbrennungsschlacken, in Komposten sowie in deren Eluaten, und die Tabelle 6 den Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (paK) in Pyrolyserückständen, deren Eluaten, in Komposten und im Boden vergleichend an. Auf den Bildern 13 und 14 sind die Stoff- und Energiebilanzen dargestellt.

In Kurzfassung kann ausgesagt werden, daß durch die Pyrolyse von 100 kg auf 18 Gew.-% Wassergehalt vorgetrockneten Hausmülls mit einem Heizwert von 2000 kcal/kg, nach Zusatz von 77,6 kg Luft im Mittel

106,9 kg Reingas und

56,8 kg feste Rückstände

entstehen, wobei die Differenz von 13,9 kg durch nicht erfaßbare Gas- und Wasserverluste bedingt wird. Stoffe wie Glas und Metalle lassen sich relativ leicht aussortieren. Falls die Rückstände geordnet abgelagert werden, wird durch das Verfahren gegenüber der Deponie von rohem Müll eine Raumersparnis von ca. 60 % erzielt.

Tabelle 3: Mittelwerte über die während der Meßperiode "Zugabe kommunaler Müll" festgestellte Beschaffenheit des Ausgangsstoffes und der Reaktionsprodukte

<u>Rohmüll</u>			
Wassergehalt nach Vortrocknung	18	Gew. -%	
Glühverlust	44	Gew. -%	
Organischer Kohlenstoffgehalt	40	Gew. -%	
Heizwert ( $H_u$ )	2000	kcal/kg	
<u>Reingas</u>			
Heizwert ( $H_u$ )	1400	kcal/nm <sup>3</sup>	
Dichte	1,1	kg/nm <sup>3</sup>	
H <sub>2</sub>	20	Vol. -%	
CO	14	Vol. -%	
CH <sub>4</sub>	3	Vol. -%	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	1	Vol. -%	
O <sub>2</sub>	3	Vol. -%	
CO <sub>2</sub>	8	Vol. -%	
N <sub>2</sub>	51	Vol. -%	
H <sub>2</sub> S	10	ppm	
SO <sub>2</sub>	20	ppm	
HCN	30	ppm	
NO <sub>x</sub>		n.n.	
HCl		n.n.	
Hg		n.n.	
NH <sub>3</sub>	120	ppm	
Staubgehalt		n.b.	
<u>Feste Rückstände</u>			
Glühverlust	15	Gew. -%	
Organischer Kohlenstoffgehalt	12	Gew. -%	
Schüttdichte	1,00	kg/dm <sup>3</sup>	
Rütteldichte	1,15	kg/dm <sup>3</sup>	
Heizwert ( $H_u$ )	600	kcal/kg	
Schwermetalle :			
Cr	2,9	ppm	
Mn	8,0	ppm	
Ni	1,6	ppm	
Co	2,2	ppm	
Zn	41,0	ppm	
Cd	0,2	ppm	
Cu	5,4	ppm	
Pb	20,0	ppm	
Hg	1,0	ppm	
<u>Gaswaschwasser</u>			
Trockensubstanz	8	g/l	
Glühverlust	35	Gew. -%	
COD	1700	mg/l	
BSB <sub>5</sub>	160	mg/l	
N <sub>Ges</sub>	700	mg/l	
N <sub>NH<sub>3</sub></sub>	650	mg/l	
NO <sub>x</sub>	3,2	mg/l	
Chloride Cl <sup>-</sup>	290	mg/l	
Cyanide CN <sup>-</sup>	7,4	mg/l	
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	400	mg/l	
Sulfide S <sup>--</sup>	14	mg/l	
P <sub>Ges</sub>	4	mg/l	
Gesamtphenole	22,5	mg/l	
Teere	5,2	mg/l	
pH-Wert:	7,7		
n. b. = nicht bestimmt			
n. n. = nicht nachweisbar			

Tabelle 4

Zusammensetzung der Eluate der Pyrolyseschlacke aus Goldshöfe.

Stoffart		Eluat aus der Pyrolyseschlacke
N <sub>Ges</sub>	mg/l	3
BSB <sub>5</sub>	mg/l	10
COD	mg/l	450
CN <sup>-</sup>	mg/l	0,06
Cl <sup>-</sup>	mg/l	900
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	mg/l	650
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup>	mg/l	0,50
Teere	mg/l	1
Phenole	mg/l	Spuren
pH-Wert		7,1

Tabelle 5: Schwermetallanteile in festen Pyrolyserückständen, Müllverbrennungsschlacken und in Komposten sowie in deren Eluaten

Stoffart	Pyrolyse- schlacke Goldshöfe	Müllver- (11) brennungs- schlacke	K o m p o s t (12)		Eluat Goldshöfer Schlacke	Eluat (13) Müllverbr.- Schlacke	Eluat(14) Kompos.	In Böden tolerier- bar (15)
			Frisch- kompost	Reif- 1) kompost				
Cr ppm	2,9	+ <sup>2)</sup>	302	285	n. n.	1,1	0,39 <sup>3)</sup>	100
Mn ppm	8,0	+	132	243	n. n.	0,02	40,38	n. b.
Ni ppm	1,6	+	n. b.	n. b.	n. n.	n. b.	n. b.	100
Co ppm	2,2	-	n. b.	n. b.	n. n.	n. b.	n. b.	50
Zn ppm	41,0	+	488	644	1,0	7	19,50	300
Cd ppm	0,2	-	1,73	1,69	n. n.	7	0,22	5
Cu ppm	5,4	++	152	126	n. n.	20	14,60	100
Pb ppm	20	++	233	281	0,8	5	16,00	100
Hg ppm	< 1,0	n. b.	0,58	0,19	n. n.	0,20	n. b.	5

1) Nach ca. 8 Wochen Nachrotte

2) Bisher liegen nur qualitative Analysenergebnisse vor. Es bedeuten:

- Unter Nachweisgrenze
- + Nachweis (Spurenbereich)
- ++ Nachweis deutlich

3) Quantitative Analysenergebnisse von den aus Komposten extrahierbaren Schwermetallmengen liegen bisher noch nicht vor. Die aus (14) entnommenen Werte sind mit Vorbehalt zu betrachten.

n. b. = nicht bestimmt

n. n. = nicht nachweisbar



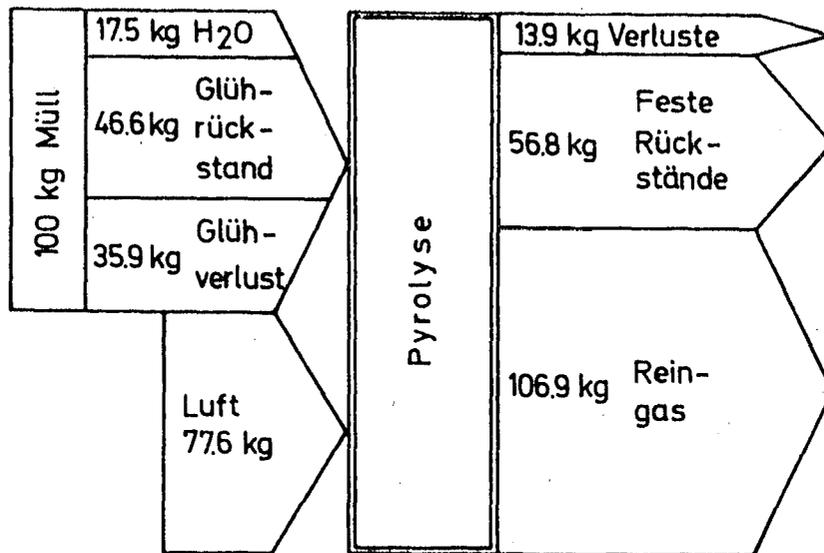


Bild 13: Übersicht über die Stoffbilanz bei der Pyrolyse von kommunalem Müll, System Goldshöfe

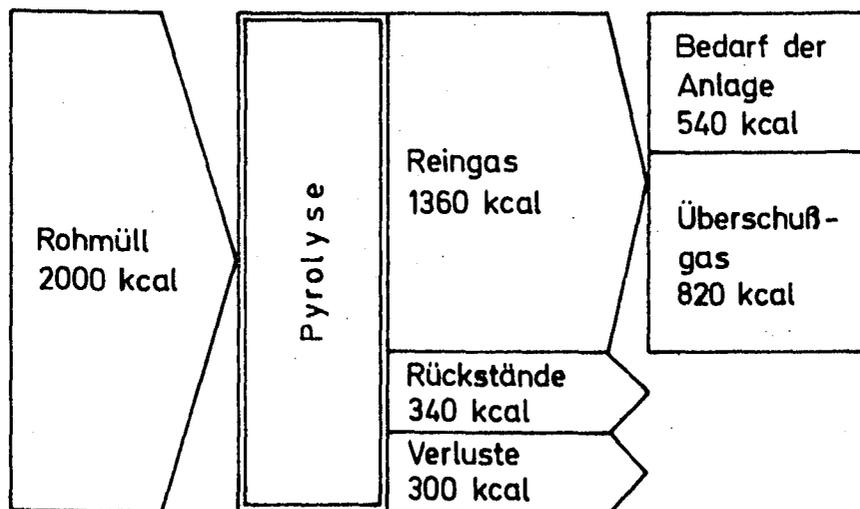


Bild 14: Vereinfachte Energiebilanz bei der Pyrolyse von kommunalem Müll, System Goldshöfe.

Die festen Rückstände beinhalten etwa 12 % organischen Kohlenstoff. Im Institut mit diesem Material durchgeführte Versuche haben jedoch erkennen lassen, daß eine Verwendung als Aktivkohleersatz sich nicht lohnen würde. Der Heizwert der festen Rückstände beträgt etwa 600 kcal/kg. Der Frage, ob ihre Vergasung im Generator vorteilhaft wäre, müßte noch nachgegangen werden. Die Schwermetallkonzentrationen liegen niedrig, was wahrscheinlich hauptsächlich auf die geringen Mengen an solchen Stoffen im Zugabemüll zurückzuführen sein dürfte. Bei Auslaugversuchen stellte sich heraus, daß aus den Schweltrommelrückständen vorwiegend Chloride und Sulfate herausgelöst werden. Der chemische Sauerstoffbedarf ist im Gegensatz zum biochemischen relativ hoch, der pH-Wert fast neutral. Phenole konnten im Wasser nur in Spuren nachgewiesen werden. Im Vergleich zu Müll läßt sich eine deutliche Reduzierung der paK-Konzentrationen nachweisen. Die in den festen Rückständen ermittelten Werte wurden in ähnlicher Größenordnung auch im Obst, in oberirdischen Teilen von Gemüse und im Stalldünger gefunden. Sie liegen weit unter den im Müllkompost vorhandenen Werten. Der Gehalt der Eluate an kanzerogenen Stoffen ist nicht höher als der des Trinkwassers.

Der Gaswaschwasseranfall kann, bezogen auf 1 Tonne Rohmüllzugabe, zu 0,2 m<sup>3</sup>/t angenommen werden. Der pH-Wert des Wassers bewegt sich im schwach alkalischen Bereich, die Chloridkonzentration um 300 mg Cl<sup>-</sup>/l, und die an Gesamtphenolen um 23 mg/l. Der Glühverlust erreicht 2800 mg/l, und der Glührückstand 8000 mg/l.

Der überwiegende Teil des Schwefels tritt in oxidierter Form auf. Ergebnisse orientierender Untersuchungen im Sapromat lassen vermuten, daß ein ungestörter biochemischer Abbau der organischen Komponenten erzielt werden kann.

Das Reingas hat bei einer spezifischen Dichte von  $1,1 \text{ kg/nm}^3$  einen unteren Heizwert von  $1400 \text{ kcal/nm}^3$  oder  $1275 \text{ kcal/kg}$ . Wird der Verbrennung des Reingases bei einem theoretischen Luftbedarf von  $1,5 \text{ nm}^3 \text{ Luft/nm}^3 \text{ Gas}$  ein Überschußfaktor von  $n = 1,5$  zugrunde gelegt, so kann mit einem spezifischen Abluftanfall von  $2700 \text{ nm}^3/\text{t Müll}$  gerechnet werden. Die geringen Schadstoffkonzentrationen im Reingas lassen niedrige Emissionswerte erwarten, so daß die Anforderungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft in der Fassung vom September 1974 ohne weiteres erfüllt werden können.

Die Aufstellung einer exakten Energiebilanz der Versuchsanlage ist nicht möglich, weil Funktionen wie Zugabe, Entnahme, Transport u.ä. manuell durchgeführt werden. Überschlägig ist aber feststellbar, daß durch die pyrolytische Behandlung von der verfügbaren Müllenergie

68 % in das Gas und

17 % in die festen Rückstände

transferiert werden. Etwa 29 % der im Reingas enthaltenen Energie wird zur Heizung der Schweltrommel verbraucht. Wird aufgrund von Erfahrungswerten angenommen, daß bei einer Anlage im technischen Maßstab für den Betrieb der Nebenaggregate etwa  $150 \text{ kcal/kg Müll}$  benötigt werden, so kann davon ausgegangen werden, daß 60 % der Reingasproduktion als überschüssige, verwertbare Gasmenge zur Verfügung steht.

Abschließend ist auszuführen, daß das System Goldshöhe zur Abfallpyrolyse verschiedene Vorteile bietet, von denen einige als spezifische Eigenschaften der Methode "Pyrolyse" anzusehen sind :

- a) Das Volumen des Hausmülls wird so weit reduziert, daß bei einer Ablagerung der Rückstände eine Ersparnis von 60 % an Deponieraum ermöglicht wird.
- b) Die Aussortierung wiedergewinnbarer Stoffe aus den Rückständen ist einfach.
- c) Die Reinigung des Pyrolysegases kann mittels eines einfacheren Gaswaschers erfolgen. Die Menge an zu reinigendem Gas ist im Vergleich zu der bei der überstöchiometrischen Verbrennung entstehenden Abluft rund 5 Mal geringer. Das Gas ist staubarm. Die Konzentration an Halogenen liegt schon im gereinigten Reingas niedriger als die für derartige Emissionen in der Abluft festgelegten Grenzwerte.
- d) Das Waschwasser ist organisch und anorganisch kontaminiert und muß vor Ableitung in den Vorfluter in der Regel behandelt werden.
- e) Das Verfahren ist gegenüber Schwankungen der Art und des Heizwertes des Zugabematerials wenig empfindlich.
- f) Die Reaktoren benötigen keinen hohen konstruktiven Aufwand.

- g) Dank der Aufteilung der Pyrolyse in eine Entgasungs- und eine Vergasungsstufe ist der Gehalt an organischen Verunreinigungen in den Rückständen relativ niedrig, und weil die festen Rückstände nicht auf die volle Kracktemperatur von  $1200^{\circ}\text{C}$ , sondern nur auf die Schweltemperatur von ca.  $450^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt werden, die Energiebilanz vergleichsweise günstig.
- h) Im Pyrolysegas ist etwa  $2/3$  der Energie des Zugabemülls enthalten. Davon werden circa 40 % für den Betrieb der Anlage benötigt. Der Rest steht als speicherbare Energie zur Verfügung.

## 5. Schlußbemerkungen

Die Pyrolyse als Abfallbehandlungsmethode hat in den letzten Jahren rasche Fortschritte erzielt. Nach Erprobung im Labor- und Technikums-Maßstab sind inzwischen mehrere Anlagen in echter Entsorgungsgröße entstanden; weitere befinden sich im Planungs- bzw. Baustadium.

Über die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Systeme liegen gegenwärtig nur theoretische Überlegungen vor, die zwar Anlaß zu einer optimistischen Einstellung geben, aber unbedingt noch durch in der Praxis zu gewinnende Erkenntnisse überprüft werden müssen. Daneben stehen noch verschiedene Fragen im Zusammenhang mit der Technologie, der Betriebstechnik und -Sicherheit offen. Bevor diese ohne Zweifel noch vorhandenen Wissenslücken zufriedenstellend ausgefüllt sind, kann keinem Beseitigungspflichtigen zugemutet werden, in eigener Verantwortung eine Abfallpyrolyseanlage zu errichten.

Angesichts der bisher erarbeiteten , ermutigenden Untersuchungsergebnisse muß aber im Interesse einer positiven Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft den zuständigen öffentlichen Stellen empfohlen werden, die Bemühungen zum Bau und Betrieb von Forschungs- und Demonstrationsanlagen voll zu unterstützen.

## Quellen

- (1) R. Rasch Müllbehandlung durch Entgasung, Vergasung und Verbrennung, Chem.Rundschau, Nr. 44, 1975, S. 17
- (2) Kaiser, E.R.  
Friedman, S.B. The Pyrolysis of Refuse Components Combustion, May 1968, p.31
- (3) Hofman, D.A.  
Fitz, R.A. Batch Retort Pyrolysis of Solid Municipal Wastes Environmental Science and Technologie, Vol.2, Nr.11, 1968, p.1023
- (4) Mc. Farland, J.M.  
u. a. Comprehensive Studies on Solid Waste Management NERC - Contract NO.2R01-EC00250-01, SERL-Report, Nr. 72-3, EPA, May 1972, p. 107
- (5) General Electric Co Solid Waste Management, Technology Assesment, General Electric Company, New York, 1975
- (6) Mallan, G.M.  
Finney, C.S. New Techniques in the Pyrolysis of Solid Wastes National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, Aug.29, 1972
- (7) Monsanto Co Landgard Solid Waste Disposal System, Pull. Nr. IGI-LRA 572/SM/CID, Monsanto Co, St. Louis
- (8) Institut für Siedlungswasserbau der Universität Stuttgart Stuttgarter Berichte, Heft 5, Anlagen zur Pyrolyse und Recycling von Hausmüll in den Vereinigten Staaten von Amerika, E. Schmidt Verlag, Berlin, 1975

- (9) Institut für Siedlungswasserbau  
der Universität Stuttgart  
Bericht über die Ergebnisse der  
Untersuchungen an der  
Pilotanlage zur Abfallentgasung  
System Destrugas in Kalundborg/  
Dänemark, erstellt im Auftrag  
des Bundesinnenministers,  
Mai 1975
- (10) Institut für Siedlungswasserbau  
der Universität Stuttgart  
Gutachtliche Stellungnahme  
zur Frage der Pyrolyse von Ab-  
fällen in der Pilotanlage der  
Firma K.Kiener, System Goldshöfe,  
erstellt im Auftrag des Ministeriums  
für Wirtschaft, Mittelstand und Ver-  
kehr in Baden-Württemberg, 1975
- (11) P. Davids  
Mülltechnisches Kolloquium  
an der Universität Stuttgart,  
März 1973, Vortrag
- (12) G. Goosmann  
1. Vertieferlehrgang für Müll-  
und Abfallbehandlung an der  
TU Berlin, Januar 1975, Vortrag
- (13) Chemisches Untersuchungsamt  
Stuttgart  
Untersuchungsergebnisse ver-  
schiedener Schlackenextrakte,  
September 1973, pers. Mitteilung
- (14) O. Siegel  
Vor- und Nachteile der Verbrennung  
und Kompostierung von kommunalen  
Abfällen,  
Stuttgarter Berichte zur Abfall-  
wirtschaft, Band 6, Teil II,  
E. Schmidt Verlag, 1975, Berlin
- (15) C. Tietjen  
1. Vertieferlehrgang für Müll-  
und Abfallbehandlung an der  
TU Berlin, Januar 1975, Vortrag
- (16) K.H. Wagner  
Analysenergebnisse von den  
Untersuchungen der Pyrolyse-  
produkte aus der Pilotanlage der  
Firma Karl Kiener, Goldshöfe,  
Gutachten, 1975

- (17) Gießener Berichte zum  
Umweltschutz, Heft 2, 1972,
- (18) D. Strauch Verfahren der Kompostierung  
in hygienischer Sicht unter  
Berücksichtigung der Schad-  
stoffe wie Schwermetalle und  
Benzpyrene ( s. (12) )
- (19) O. Tabasaran Stand der Abfallpyrolyse,  
G. Besemer Stuttgarter Berichte zur  
Abfallwirtschaft, Band 3, 1975,  
E. Schmidt Verlag, Berlin
- (20) O. Tabasaran Umweltbilanzen bei der  
Abfallpyrolyse,  
Müll und Abfall, 5/1975,  
E. Schmidt Verlag, Berlin
- (21) B.J. Flanagan Pyrolysis of Domestic Refuse  
with Mineral Recovery  
CRE Konferenz, Nov. 1975,  
Montreux,  
IEEE Catalog Nr. 75 CH 1008-2 CRE
- (22) E. Legille A Slagging Pyrolysis Solid  
F.A. Berczynski Waste Conversion System  
K.C. Heiss ( s. (21) ).

---

Bemerkung: 1 kcal entspricht 4,1868 kJ

Rudolf Braun

## Auslaugungsversuche mit Schlacken

### aus der Müllverbrennung

#### Einleitung

Die Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) an der ETH Zürich/Dübendorf, führt seit Jahren Untersuchungen durch im Zusammenhang mit der Frage der Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch Sickerwässer aus abgelagerten Abfallstoffen. Es soll hier kurz über einige Ergebnisse von Versuchen im halbtechnischen Massstab in Form von Auslaugungsbeeten mit verschiedenen Abfallstoffen sowie von Untersuchungen an einer grösseren Versuchsdeponie mit Verbrennungsrückständen berichtet werden.

Auslaugungsversuche im Labormassstab mit verschieden dimensionierten Kolonnen sowie Schüttelversuche, aber auch Lysimeterversuche ergaben keine repräsentativen und reproduzierbaren Werte. Mit solchen Untersuchungen können wohl die Mechanismen der einzelnen chemischen und physikalischen Prozesse erforscht werden, sofern sie unter streng kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden. Die Resultate können jedoch nicht, oder wenigstens nicht ohne Vorbehalt, in die Praxis übertragen werden, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Abfälle, wie Hausmüll, Verbrennungsrückstände, sind denkbar heterogen zusammengesetzt. Die Ergebnisse von Auslaugungsversuchen im Labormassstab sind daher zufallsabhängig.
2. Die biochemischen Prozesse, die sich in einer Deponie unter natürlichen Verhältnissen abspielen, können im Laborversuch nicht simuliert werden. Aber gerade sie sind von grösster Bedeutung für die Qualität der Sickerwässer.

3. Die Verdichtung der in einer Deponie lagernden Abfälle sowie die Grössenordnung der Randbedingungen (Frost-Tau-Zyklus, Verwitterung, Setzung) können in Versuchen im Labormassstab nicht erfasst werden. Ein Versuchsmodell einer Abfalldéponie kann daher für die Praxis nur dann eine einigermaßen gesicherte Aussage liefern, wenn die Auslaugungsbedingungen den natürlichen Verhältnissen in ihrer Grössenordnung sowie dem spezifischen Anteil der Randeinflüsse pro Volumeneinheit entsprechen.

In der Versuchsanlage Tüffenwies der EAWAG wurden vorerst 3 Auslaugungsbeete im halbtechnischen Massstab erstellt und diese mit unzerkleinertem Hausmüll, Frischkompost und Schlacke beschickt. In einer grösseren Versuchsdeponie in einer offenen Kiesgrube in der Nähe der Gemeinde Weiningen (Kt. Zürich) wurden Untersuchungen nur mit Verbrennungsrückständen durchgeführt.

Beide Versuchsanlagen wurden konzipiert, gebaut und betrieben von Herrn Dipl. Ing. B. Novak. Die chemischen Untersuchungen der Sickerwässer wurden von Herrn Dr. H.R. Hegi und seinen Mitarbeitern durchgeführt. Wir stützen uns in unserer Berichterstattung auf die Arbeiten und Ausführungen dieser Herren sowie auf diejenigen unseres Mitarbeiters G. Rollé.

#### 1. Auslaugungsbeete in der Versuchsanlage Tüffenwies

Die erste Versuchsanlage der EAWAG bestand aus drei Auslaugungsbeeten von je 20 m<sup>2</sup> Grundriss (siehe Abb. 1 und 2). Als Schutz gegen Temperaturschwankungen wurden seitliche Böschungen angebracht und die aus vorgefertigten Betonelementen erstellten Behälterwände isoliert. Boden- und Wandflächen wurden mit Kunststoff-Folien abgedeckt. Um die Randeffekte möglichst niedrig zu halten, wurden die Folienstreifen mit Ueberlappungen von 20 - 40 cm versehen und diese an den Wänden in den Filterkies in Form einer 20 cm breiten Randabflusssperre eingelegt.

Die Entwässerungsrinnen der Beete mündeten in Rohre, die ihrerseits in einen Probenahmeschacht entwässerten.

Die Bodenfläche der drei Beete wurde mit einheitlichem Kiesmaterial von 30 mm Korngrösse in einer Schichtstärke von 25 cm abgedeckt. Diese Schicht diente als Träger der eigentlichen Filterschicht und ermöglichte den Abfluss des Sickerwassers in die Entwässerungsrinnen.

Um die Verhältnisse in der Praxis, beispielsweise in einer offenen Kiesgrube, möglichst nachzuahmen, wurden die Beete vorerst mit einer 1,5 - 2 m hohen Filterschicht aus Wandkies aufgefüllt. Diese Auffüllung erfolgte in 5 Etappen, sodass die Entmischung und Trennung der einzelnen Korngrössen auf ein Minimum reduziert werden konnte.

Vor der Beschickung der Beete mit Abfallmaterial wurden die Sickergeschwindigkeiten der eindringenden Niederschläge in allen 3 Beeten gemessen, wobei identische Intervalle der Abflussverzögerung und der Wasseraufnahmekapazität festgestellt wurden.

Die im Probenahmeschacht mündenden Entwässerungsrohre wurden mit Blindkupplungen verschlossen. Um zu verhindern, dass sich infolge der vertikalen Luftströmung die "Tropfkörperwirkung" in der Filterschicht nachteilig auf die Sickervorgänge auswirken, erfolgte die Entwässerung der Eluate im Probenahmeschacht durch einen Siphon. Die Sickerwassermengen konnten intermittierend registriert werden.

Die 3 Beete wurden mit folgenden Abfallmaterialien beschickt:

Beet 1: Hausmüll, unzerkleinert, aus einem Wohnquartier ohne gewerbliche und industrielle Abfälle, in einer Menge von 7,5 Tonnen. Die Beschickung erfolgte ohne Verdichtung in einer Schichthöhe von 2,2 m.

Beet 2: Frischkompost mit Klärschlamm (hergestellt aus gemahlenem Müll und Klärschlamm mit 94 % WG) in einer Gesamtmenge von 23 Tonnen. Die Beschickung erfolgte ohne Verdichtung in einer Schichthöhe von 1,8 m.

Beet 3: Müllschlacke (inkl. Löschwasser) aus einer gut funktionierenden Müllverbrennungsanlage. Der Wassergehalt des Materials betrug im Mittel 18 %. Die Gesamtmenge von 25,8 Tonnen wurde in einer Schicht von 1,6 m Höhe aufgetragen.

Es zeigte sich im Laufe der Untersuchungen, dass mit diesen relativ klein dimensionierten Auslaugungsbeeten die Randbedingungen (auch die Randeffekte) eine kritische Grösse erreichen können, welche die Aussagekraft der Resultate in Frage stellen. So konnte beispielsweise keine lineare Beziehung zwischen Sickerwasser und Niederschlag festgestellt werden, was vermutlich auf Oberflächenänderung, Pflanzendecke und mikroklimatische Einflüsse zurückzuführen ist. Auch dem Einfluss der Oberflächentemperatur scheint eine massgebliche Bedeutung zuzukommen, weil sich je nach Nord- oder Südlage oder Neigung der Oberfläche verschiedene Sickerflächen bilden können.

Es drängten sich daher Versuche in einer grösser dimensionierten Anlage auf.

## 2. Grossversuch in der Kiesgrube Weiningen

Die zweite Versuchsanlage wurde nach dem gleichen technischen Prinzip aufgebaut wie diejenige in der Tüffenwies, jedoch mit einer Oberfläche von 600 m<sup>2</sup> und einer Schichthöhe von 10 m (siehe Abb. 3 und 4). Als Abfallmaterial wurden nur Verbrennungsrückstände verwendet. Zwischen Deponiematerial und Untergrund wurde keine Kiesschicht eingebaut.

Die Umgebung des Deponiebehälters wurde mit demselben Schlackenmaterial aufgefüllt, nicht nur, um thermisch gleiche Bedingungen aufrecht zu erhalten, sondern auch, um die seitliche Belastung der Behälterwände gleichmässiger verteilen zu können.

Die in diesem Grossbehälter eingebrachte Menge von Verbrennungsrückständen betrug  $6000 \text{ m}^3$ . Es handelte sich dabei nicht um dieselbe sehr gut ausgebrannte "Modellschlacke", wie sie bei den Versuchen in der Tüffenwies verwendet wurde, sondern um mässig, z.T. sogar schlecht ausgebrannte Verbrennungsrückstände. Da die Beschickung des Behälters auf 10 Monate verteilt wurde, konnte auch den saisonbedingten Qualitätsschwankungen, wie sie in der Praxis zu erwarten sind, Rechnung getragen werden.

### 3. Die chemischen Untersuchungen der Sickerwässer

#### 3.1. Versuche Tüffenwies

Von allen Deponiematerialien (Müll, Frischkompost, Schlacke) wurden je zu Beginn und nach Beendigung des mehrere Jahre dauernden Versuches chemische Analysen vorgenommen. Die Probenahmen für die Analyse der Sickerwässer erfolgten anfänglich in kürzeren, später in längeren Zeitabständen (1 - 3 Wochen). Die Untersuchungen beschränkten sich auf die bei der Trinkwasser- und Abwasseranalyse üblicherweise bestimmten Komponenten. In grösseren Zeitabständen erfolgte die Bestimmung einiger Schwermetalle.

An Hand dieser Untersuchungen sollten u.a. folgende Fragen beantwortet werden:

- a) Welche Stoffkonzentrationen treten in den Eluatzen auf und welche Stoffmengen, bezogen auf die Gewichtseinheit der betr. Deponiematerialien werden im Verlaufe einzelner Zeitperioden und während der ganzen Versuchsdauer eluiert?

- b) Lassen sich im zeitlichen Auftreten von Stoffen in den verschiedenen Eluaten charakteristische Änderungen erkennen? Treten einzelne Stoffe in Abhängigkeit von physikalischen oder chemischen Veränderungen (Alterungs- und Verwitterungsvorgänge) sowie von mikrobiellen Abbauprozessen in bestimmten Phasen der Umwandlung der Deponiematerialien auf? Tritt im Verlaufe der Versuchsdauer ein eindeutiger Rückgang der Stoffkonzentrationen und damit auch der Frachten ein und lässt er sich entweder als Folge einfacher Auslaugungsprozesse oder von Veränderungen der Deponiematerialien erklären?

### Ergebnisse:

Zur Frage a:

Die maximalen Stoffkonzentrationen sowie die Stoffmengen sind in den Tabellen 1 - 3 zusammengestellt. Der Vergleich der Eluate aus den 3 Deponiematerialien zeigt sehr deutliche Unterschiede. Die Eluate aus Hausmüll und Kompost enthalten neben gelösten anorganischen auch organische Stoffe in beträchtlichen Mengen. Im Gegensatz dazu enthielten die Eluate aus dem gut ausgebrannten Schlackenmaterial praktisch nur anorganische Komponenten (in erster Linie Na, K, Sulfate, Chloride). Der organische Anteil war relativ gering.

Zur Frage b:

Im zeitlichen Verlauf zeigten sich kurzfristig etwas stärkere Konzentrationsänderungen in den Eluaten. Im Verlauf der ganzen Versuchsperiode jedoch bewegten sich die Schwankungen in relativ engen Grenzen. Dies gilt vor allem für diejenigen Stoffe, die ursprünglich in löslicher Form im Deponiematerial enthalten waren und durch direkte Auslaugung ins Eluat gelangten (z.B. Na, K, Chlorid).

Die übrigen im Eluat festgestellten Verbindungen werden jedoch durch die im Deponiekörper ablaufenden Umwandlungsprozesse ganz entscheidend beeinflusst, und zwar in erster Linie durch aerobe und anaerobe Abbauprozesse der organischen Substanz. Dadurch erfolgte eine Anreicherung der Eluate mit schwer abbaubaren bzw. erst teilweise abgebauten organischen Verbindungen.

Aber auch die Bildung von löslichen anorganischen Verbindungen wurde gefördert. So wurden in den Eluaten aus der Kompostparzelle Eisen und Mangan in Mengen bis zu 47 mg Fe/l und 35 mg Mn/l festgestellt. Es wird vermutet, dass beide Metalle unter reduzierenden Bedingungen aus der unter dem Deponiematerial liegenden Kiesschicht herausgelöst worden sind.

Ebenfalls im Zusammenhang mit Abbauvorgängen in der organischen Substanz stehen die hohen Härtegrade in den Eluaten aus der Parzelle Hausmüll (bis 238 frz.  $H^{\circ}$ ) und der Parzelle Kompost (bis 640 frz.  $H^{\circ}$ ), was durch Einwirkung der beim Abbauprozess entstandenen Kohlensäure (und evtl. organischen Säuren) erklärt werden kann. Bedeutend niedriger war die Gesamthärte im Eluat der Schlacke (max. 120 frz.  $H^{\circ}$ ).

Was die Stickstoffverbindungen anbetrifft, so sind diese stark abhängig von den Redoxverhältnissen. Die insbesondere in der Kompostparzelle vorherrschenden reduzierenden Bedingungen führten zu hohen Ammoniumgehalten (bis zu 308 mg N/l).

Der Gehalt der Eluate an organischen Verbindungen, gesamthaft als  $BSB_5$ ,  $KMnO_4$ -Verbrauch und COD ermittelt, war erwartungsgemäss in der Kompostparzelle am höchsten, insbesondere zur Zeit der stark vorherrschenden reduzierenden Bedingungen. In der Müllparzelle war er deutlich geringer und änderte sich während der Versuchsdauer nicht stark. In den Eluaten der Schlackenparzellen war er sehr gering.

Die gelegentlich ermittelten Schwermetalle lagen bei allen Eluaten weit unter 1 mg/l.

### 3.2. Versuche Weiningen

Probenahme und chemische Untersuchungen der Eluate erfolgten weitgehend in derselben Weise wie in der Tüffenwies. Bei diesen Untersuchungen, die noch eine Reihe von Jahren weitergeführt werden, konnten bisher in den meisten bestimmten Komponenten im Eluat keine charakteristischen Veränderungen festgestellt werden. Die höchsten während der bisherigen Dauer der Versuche (1971 - 1974) ermittelten Konzentrationen an einzelnen Komponenten sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

An den Spitze lagen bisher Natrium (9'800 mg Na/l), Kalium (3'200 mg/ k/l) und Chloride (9'300 mg/l). Ueberraschenderweise waren auch die organischen Komponenten sehr hoch. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff lagen bei 400 mg/l, der COD erreichte Spitzen von 3'500 mg O<sub>2</sub>/l und der BSB<sub>5</sub> von 1'700 mg O<sub>2</sub>/l. Weitere Untersuchungen (Quotienten BSB<sub>5</sub>/COD und BSB<sub>5</sub>/TOC) weisen darauf hin, dass diese beträchtlichen Mengen an gelösten organischen Substanzen im Eluat zum grössten Teil biochemisch nicht leicht abbaubar sind.

Die Werte für Ammonium erreichten Spitzen von 190 mg N/l, fielen dann allmählich ab, während die Nitratgehalte anstiegen.

In der ersten Untersuchungsphase zeigten die Eluate einen deutlichen Geruch nach Schwefelwasserstoff. Die stichprobenweise ermittelten Gehalte an Sulfidschwefel waren entsprechend hoch und die Sulfatgehalte niedrig. Im Laufe der Zeit stiegen die Sulfatgehalte bis zu 2'900 mg SO<sub>4</sub>/l, ein Anzeichen dafür, dass sich im Deponiekörper allmählich eine Umstellung in den Redoxverhältnissen vollzieht.

Die Gehalte an Eisen und Mangan sowie die Härtegrade waren bis jetzt auffallend niedrig, was darauf zurückzuführen ist, dass im Gegensatz zu den Versuchen Tüffenwies in der Deponie Weiningen sich keine Kiesschicht unter dem Deponiematerial befindet.

Was die Stoff-Frachten anbetrifft, kann zur Zeit noch wenig ausgesagt werden, da bis heute ein eindeutiges Absinken der Konzentration und damit der eluierten Frachten noch nicht erkennbar ist.

#### 4. Bemerkungen und Schlussfolgerungen

Die Eluate aus der 6'000 m<sup>3</sup> Inhalt umfassenden Schlackendeponie Weiningen unterscheiden sich grundlegend von denjenigen aus der nur 30 m<sup>3</sup> enthaltenden Schlackenparzelle Tüffenwies. Die Konzentrationen in den Eluaten Weiningen liegen bei den meisten Komponenten viel höher als bei den Eluaten Tüffenwies. In bezug auf Aussehen, Geruch, Gehalt an Ammonium, insbesondere aber an organischen Komponenten, gleicht das Schlackeneluat Weiningen eher dem Eluat aus der Kompostparzelle Tüffenwies!

Dieser grundlegende Unterschied liegt, abgesehen von den ungleichen Mengen des Deponiematerials, darin begründet, dass das im Versuche Weiningen verwendete Schlackenmaterial bedeutend weniger gut ausgebrannt war als dasjenige im Versuch Tüffenwies.

Wir könnten daher folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Aus einer Deponie von gut ausgebrannten Verbrennungsrückständen treten Sickerwässer aus mit einem relativ hohen Anteil an anorganischen Salzen (in erster Linie Härtebildner) und einem geringen Anteil an organischen Stoffen. Solche Sickerwässer könnten gegebenenfalls im Grundwasser eine Erhöhung des Härtegrades bewirken.

Aus einer Deponie von ungenügend ausgebrannten Verbrennungsrückständen treten Sickerwässer aus, die zusätzlich zum anorganischen

Anteil bedeutende Mengen an organischen Verbindungen enthalten. Es liegt in der Natur der Sache, dass keine Müllverbrennungsanlage die Garantie übernehmen kann, immer und jederzeit nur gut ausgebranntes Schlackenmaterial zu liefern.

Wir empfehlen daher, bei Schlackendeponien grundsätzlich dieselben Vorsichtsmassnahmen zu treffen wie bei Mülldeponien.

Eine Reihe von wichtigen Fragen lassen sich jedoch auf Grund der beschriebenen Versuche nicht eindeutig beantworten. So können beispielsweise keine genügenden Informationen gewonnen werden über die Schadwirkung der eluierten Stoffe auf das Grundwasser. Dazu sind Untersuchungen im Gelände notwendig, d.h. Untersuchungen an Grundwasservorkommen unter bzw. im Einflussgebiet von Deponien.

Es sei auch festgehalten, dass sich mit unseren eher praxisnahen Versuchen keine grundlegenden theoretischen Erkenntnisse über die Auslaugungsphänomene gewinnen lassen. Dazu eignen sich nur Versuche im Laboratorium. Sie haben aber den Nachteil, wie einleitend schon erwähnt, dass die dabei herrschenden Bedingungen derart stark abweichen von denjenigen in einem Deponiekörper in der Natur, dass das Zusammenspiel, resp. die summierende und synergistische Wirkung der Auslaugungsvorgänge nicht erfasst werden kann.

Ferner ist darauf hinzuweisen, dass die in den beschriebenen Versuchen ermittelten Konzentrationen und Frachten an Eluatkomponenten nicht vorbehaltlos auf gleichartige, aber in anderen Mengen und unter Verwendung anderer Deponietechniken abgelagertes Abfallmaterial übertragbar sind.

Beilagen: 4 Tabellen und 4 Abbildungen

Tabelle 1

Auslaugungsversuche Tüffenwies

Eluate: Höchste Gehalte, die innert der gesamten Versuchsperiode (1968 - 1971) gemessen wurden

		Müll	Frischkompost + Klärschlamm	Schlacke
Trockenrückstand	mg/l	4'200	15'100	2'000
Gesamthärte	frz. H°	238	640	120
Natrium	mg Na/l	240	870	300
Kalium	mg K/l	300	620	100
Eisen	mg Fe/l	0,7	47	0,5
Mangan	mg Mn/l	0,07	35	0,06
Sulfat	mg SO <sub>4</sub> /l	2'600	3'400	1'400
Chlorid	mg Cl/l	390	1'430	290
Nitrat	mg N/l	281	660	25
Ammonium	mg N/l	0,7	308	0,3
Phosphat (ortho)	mg P/l	0,06	0,16	0,20
K-permanganat-V.	mg KMnO <sub>4</sub> /l	160	2'900	100
BSB <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	41	8'300	17
COD*	mg O <sub>2</sub> /l	140	2'000	79

\* COD erst seit 1969 bestimmt

Tabelle 2

Auslaugungsversuche Tüffenwies

Stoffmengen, ausgelaugt während der ganzen Versuchsperiode (1968 - 1971) in Gramm, umgerechnet auf je 1 Tonne Deponiematerial:

		Müll	Frischkompost + Klärschlamm	Schlacke
Trockenrückstand		14'400	9'300	2'200
Natrium	Na	830	850	300
Kalium	K	680	620	60
Eisen	Fe	0,7	2,7	0,3
Mangan	Mn	0,03	3,5	0,02
Sulfat	SO <sub>4</sub>	4'600	1'700	900
Chlorid	Cl	1'100	1'200	200
Nitrat	N	500	420	40
Ammonium	N	0,7	30	0,1

Tabelle 3

Auslaugungsversuche Tiffenwies

Stoffmengen, ausgelaugt während der ganzen Versuchsperiode (1968 - 1971). Angegeben sind die Mengen in Gramm, bezogen auf die Gesamtmengen der Deponiematerialien (Müll: 7,5 t/Frischkompost + Klärschlamm: 22,8 t/Schlacke: 25,8 t.

	Müll	Frischkompost + Klärschlamm	Schlacke
Trockenrückstand	106'600	212'500	57'900
Natrium Na	6'200	19'400	7'800
Kalium K	5'100	14'100	1'600
Eisen Fe	5	65	7
Mangan Mn	<1	102	<1
Sulfat SO <sub>4</sub>	34'500	38'300	23'800
Chlorid Cl	8'500	27'800	5'300
Nitrat N	3'800	9'600	1'000
Ammonium N	5	663	3

Tabelle 4

Auslaugungsversuche Weiningen

Schlackendeponie-Eluate: Höchste bisher (1971 - 1974) ermittelte Gehalte

Trockenrückstand	mg/l	29'000
Gesamthärte	frz. H <sup>o</sup>	54
Natrium	mg Na/l	9'800
Kalium	mg K/l	3'200
Eisen	mg Fe/l	1,0
Mangan	mg Mn/l	0,05
Sulfat	mg SO <sub>4</sub> /l	2'900
Chlorid	mg Cl/l	9'300
Nitrat	mg N/l	90
Ammonium	mg N/l	190
Phosphat (ortho)	mg P/l	6
BSB <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	1'700
COD	mg O <sub>2</sub> /l	3'500

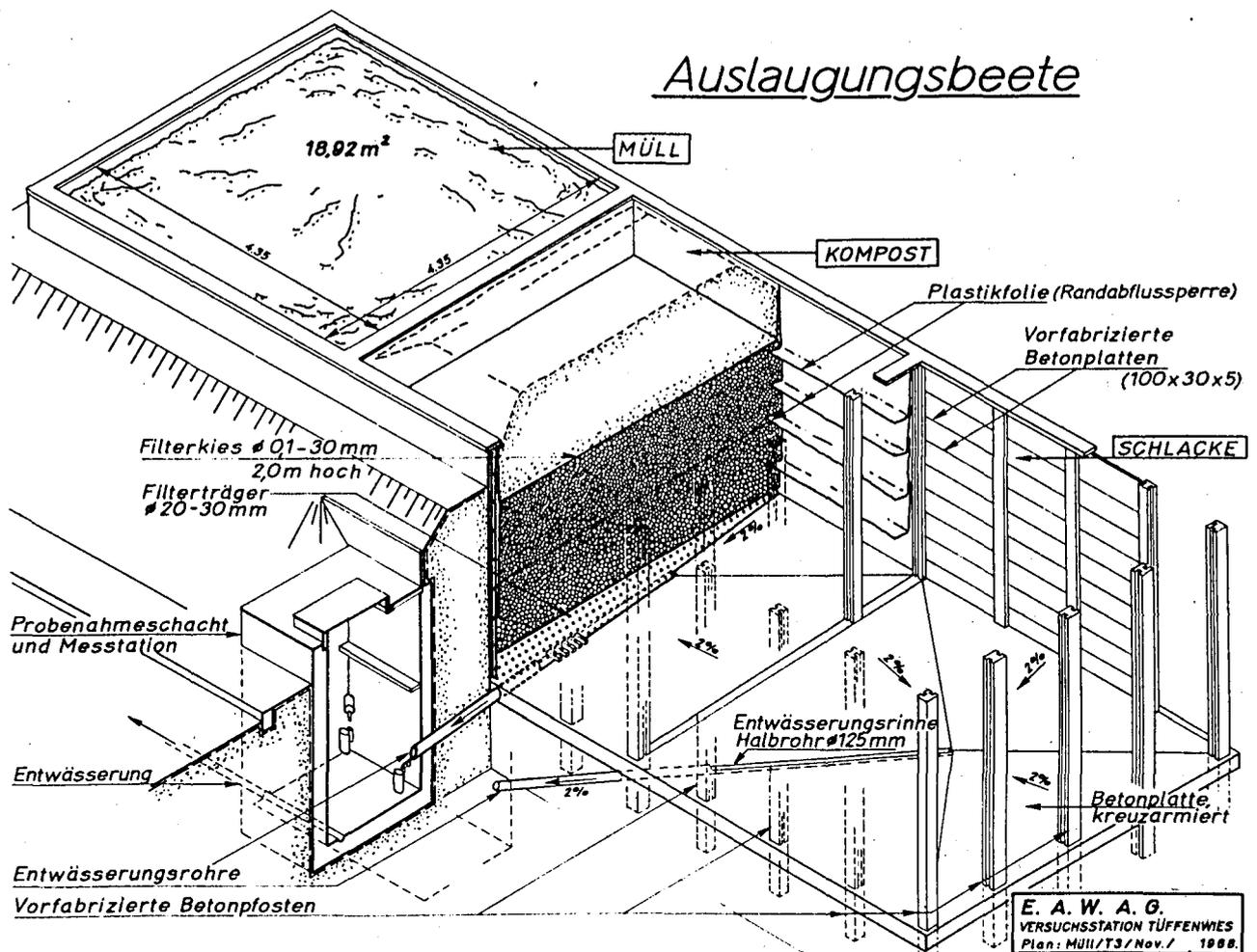


Abb. 1: Schematische Darstellung der Auslaugungsbeete aus vorfabrizierten Betonelementen in der Versuchsanlage Tüffenwies der EAWAG.

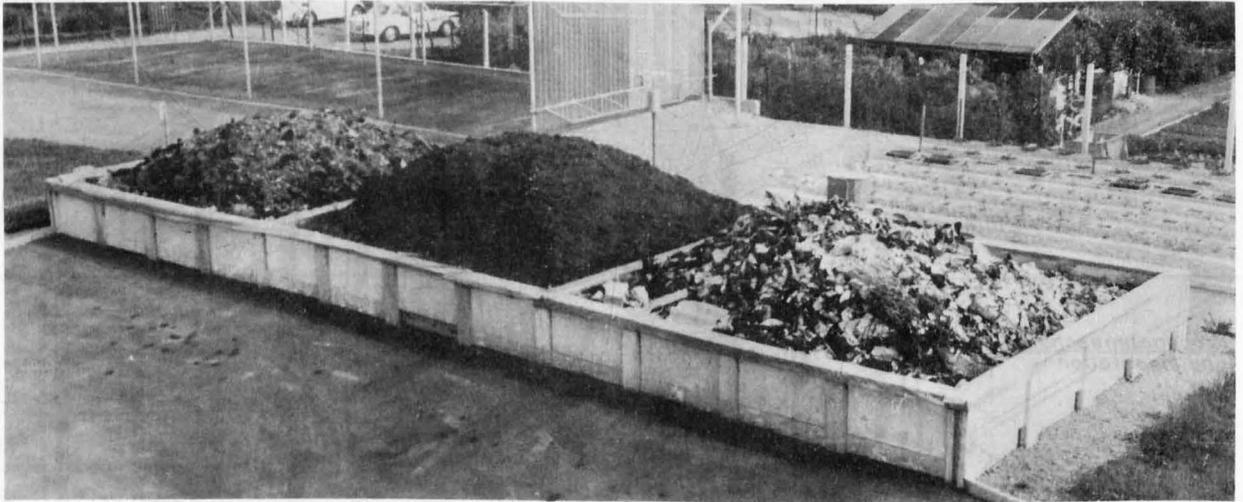


Abb. 2: Auslaugungsbeete Tiffenwies nach 5-jähriger  
Versuchsdauer.  
Links: Schlacken, mitte: Kompost, rechts: Müll.

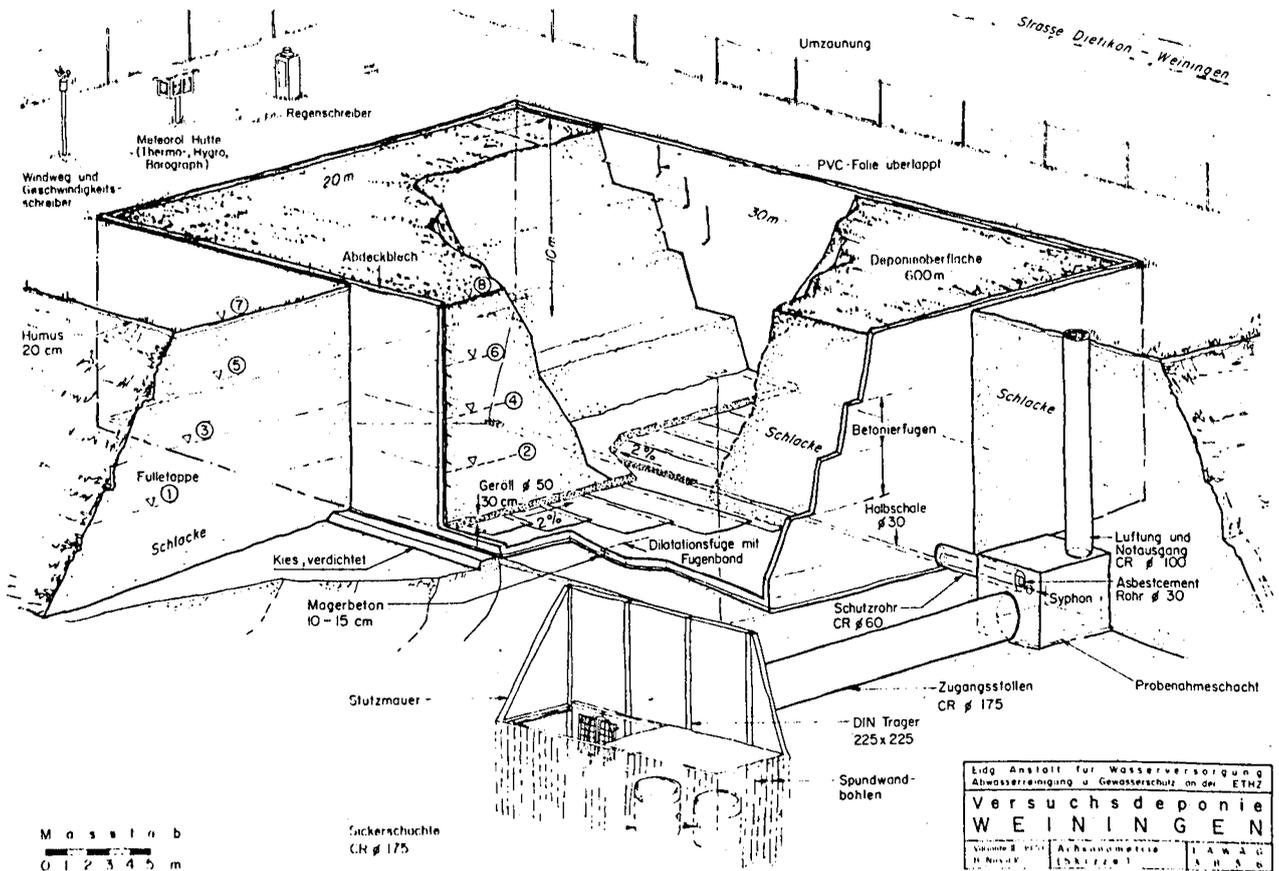


Abb. 3: Schematische Darstellung der Versuchsanlage (Schlackendeponie) in der Kiesgrube Weiningen.

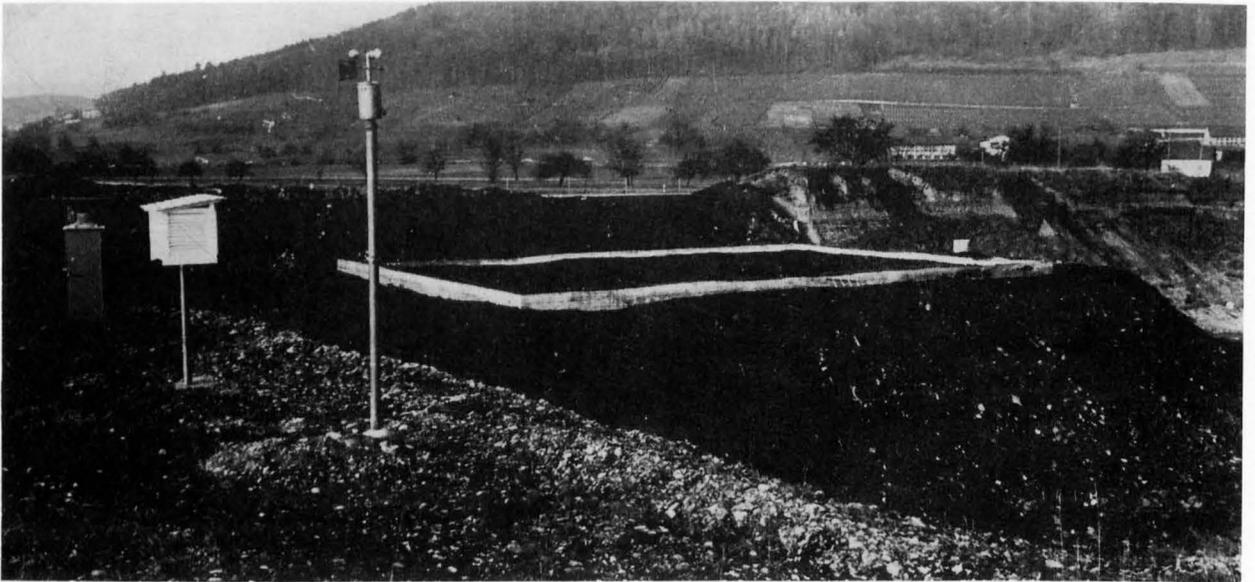


Abb. 4: Versuchsanlage (Schlackendeponie) in der Kiesgrube Weiningen, nach Abschluss der 3. Auffülletappe, Schichthöhe 7,5 m.

O. Tabasaran

ÜBER VERSUCHE ZUR KOMPOSTIERUNG  
VON HAUSMÜLL UND ABWASSERSCHLAMM +)

1. Einführung

Im September 1974 erstellte die Firma Ecologie GmbH & Co KG auf dem Gelände der Universität Stuttgart-Hohenheim eine Pilot-Anlage zur gelenkten Verrottung von Abfallstoffen. Im Oktober wurden die ersten Versuche gestartet. Sie galten einer Überprüfung der Mechanik und der Dosiereinrichtungen. Im November begann die Durchführung der eigentlichen Versuchsläufe, u.a. auch mit dem Ziel, durch Kompostierung von Hausmüll Rohstoffe für die Produktion von Faserplatten zu gewinnen. Die nächsten, Mitte Dezember gefahrenen Untersuchungen beschäftigten sich dann mit der Frage, in welchem Maße nicht entwässerter Faulschlamm gemeinsam mit Hausmüll verrottet werden kann, worüber im folgenden in Kurzform berichtet wird.

---

+) Auszug aus dem Bericht über "Ergebnisse der Versuche zur Kompostierung von Hausmüll und Abwasserschlamm an der Pilotanlage System Dr. Varro in Stuttgart-Hohenheim" erstellt im Juni 1975 von O. Tabasaran und W. Bidlingmaier im Auftrag der Firma Ecologie GmbH & Co KG Stuttgart.

## 2. Beschreibung der Pilotanlage

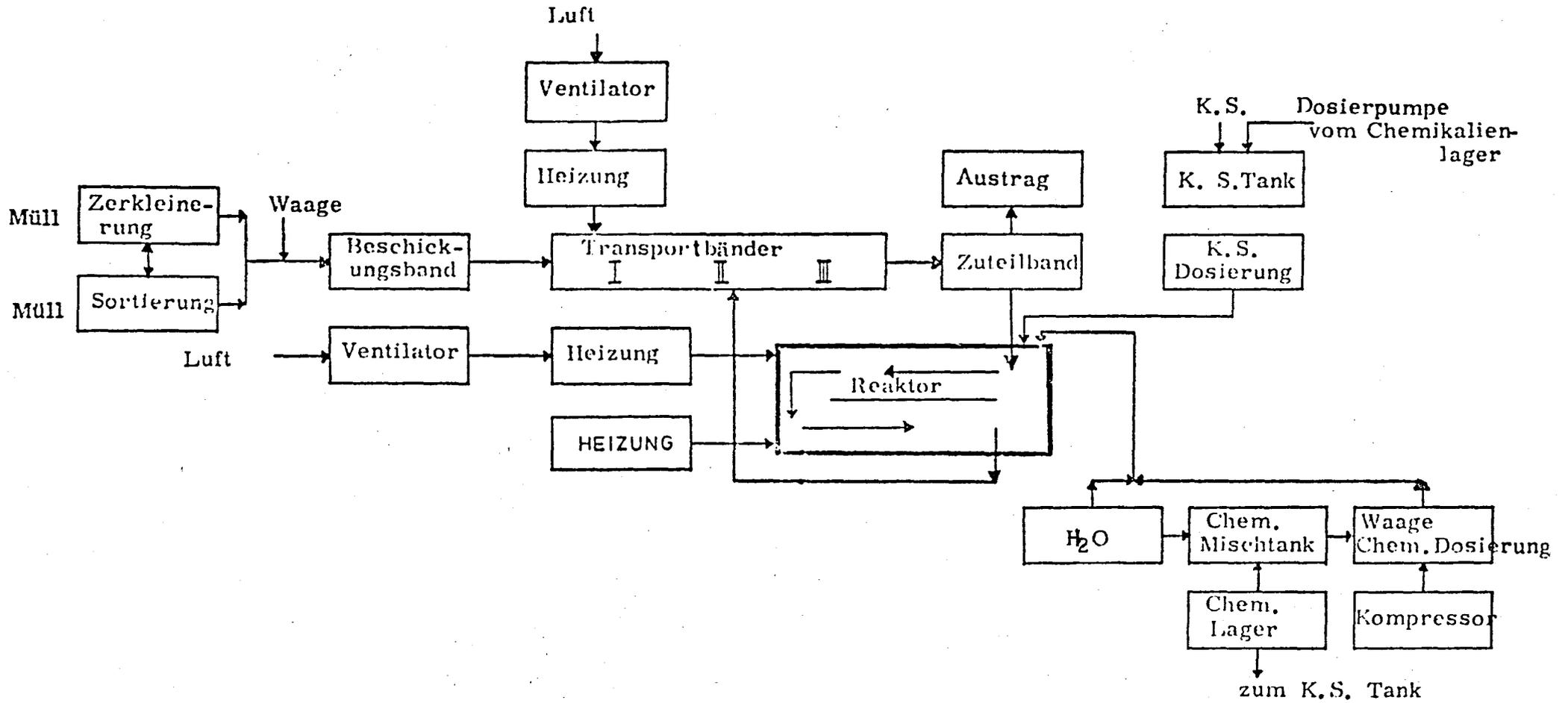
Die untersuchte Pilotanlage besitzt 2 Etagen bzw. Rottekammern, durch die das Zugabematerial im Kreislauf wiederholt geführt wird. Das Fließschema kann Bild 1 entnommen werden. Das vorzerkleinerte Material gelangt nach der Wiegung auf die Transportbänder, die es auf die oberste Etage der Rottekammer aufgeben, und wo es mittels Pflugscharen an unendlichen Ketten horizontal über das Deck befördert wird. Der longitudinale Transport bietet gegenüber einem spiralförmigen den Vorteil gleicher Fortbewegungsgeschwindigkeit und somit gleicher Aufenthaltszeit und gleichmäßiger Rotte aller organischen Teilchen. Die Pflugscharen, je 2 an einer Stange, sind so versetzt angeordnet, daß die gesamte Breite der Kammer von 1,22 m bestrichen wird. Während des Transportvorganges werden nicht nur die Materialteile vorwärts bewegt, sondern die 30 cm hoch liegende Masse wird auch aufgebrochen und umgewälzt. Der Grad des Lufteintrages ist neben der bestrichenen Breite auch von der Transportgeschwindigkeit abhängig.

Die obere Etage der Pilotanlage ist 2,44 m, die untere Etage 3,05 m lang.

Den Vertikaltransport übernimmt die Schwerkraft. Am Ende der oberen Etage fällt das Rottegut durch eine Öffnung auf die untere und wird über diese, wieder mittels Pflüge, in entgegengesetzter Richtung horizontal bewegt. Am Ende der zweiten Etage wird das Rottegut auf Transportbänder gegeben und auf die obere Etage angehoben. Das Material passiert also wiederholt die beiden Etagen, bis der gewünschte Abbaugrad erreicht ist.

Um Wärmeverluste durch Abstrahlung zu reduzieren, wurden Boden und Decke der Rottekammer mit Glaswolle isoliert. Zur seitlichen Abdeckung wurde durchsichtiges Acrylglas verwendet, das eine Beobachtung der Vorgänge in den Etagen erlaubt.

Bild 1 : Fließschema der Pilot-Kompostanlage



Abgedeckt waren auch alle Transportbänder.

Die Zufuhr von Luftsauerstoff geschieht durch Gebläse. 3 Stück versorgen den Reaktor mit Frischluft, und 3 andere die Transportbänder. Es ist möglich, die Luft zu temperieren. Auch die Rottekammern selbst können beheizt werden.

Abwasserschlämme wird über ein Dosierventil auf die obere Etage aufgesprüht. Für die Zugabe von warmem oder kaltem Wasser und Nährstofflösungen steht eine Sprünkeleinrichtung zur Verfügung.

### 3. Beschreibung der durchgeführten Versuche

Die jeweilige Versuchsdauer betrug im Durchschnitt 2 Tage für den Rotteprozeß, und 12 - 20 Stunden für die anschließende Trocknungsphase, bei der das Produkt endgültig entseucht und auf einen Wassergehalt von ca. 17 % gebracht wurde.

Wie im Abschnitt 2 beschrieben, arbeitet die Anlage semikontinuierlich, so daß sich mit jedem neuen Versuch auch die Mikro-Flora und -Fauna erneut erst bilden müßte, und daher relativ lange Lag-Phasen in Kauf zu nehmen gewesen wären. Um dies zu umgehen, wurde beim Anfang eines jeden Laufes ca. 100 kg Impfmateriale in die Rottekammer gegeben, das aus Rottegut des vorangegangenen Versuches bestand, welches während der Phase größter mikrobieller Tätigkeit entnommen und bei + 2°C gelagert worden war.

Über den gesamten Rotteprozeß hin wurde die Temperatur der Luft im Reaktor thermostatgesteuert 5°C über dem des Materials gehalten, um Wärmeabstrahlungen zu verhindern. Desgleichen wurden alle Nährlösungen mit temperiertem Wasser zugesetzt.

### 3.1.2 Versuchsanordnung

Der Abwasserschläm wurde nicht auf einmal, sondern unter Anpassung an den Rottefortschritt und den eintretenden Wasserverlust stufenweise zugesetzt. Dem Müll wurde zu Beginn nur soviel Abwasserschläm zugegeben, daß sich ein Mischwassergehalt von ca. 60 % einstellte. Wegen der Verdunstung unter der Einwirkung der darüberstreichenden warmen und trockenen Luft und der aeroben Abbau- und Synthesvorgänge traten Wasserverluste auf, die durch erneute Zufuhr von Abwasserschläm ausgeglichen wurden. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis die Prozesse in die thermophile Phase eintraten. Ab diesem Zeitpunkt wurde kein Schläm mehr zugegeben, um eine volle Kompostierung zu gewährleisten. Anaerobe Verhältnisse traten nicht auf. Die schematische Skizze in Bild 2 soll das Vorgehen verdeutlichen.

## 4. Menge, Zusammensetzung und Beschaffenheit der Ausgangsmaterialien

### 4.1 Menge der Ausgangsmaterialien

Volumenmäßig ist die Zugabemenge von dem Fassungsvermögen der beiden Rotte-Etagen abhängig. Wird die mittlere Material-Schütthöhe mit 0,30 m angesetzt, so stehen bei einer Gesamtlänge der Etagen von 5,49 m etwa  $2,00 \text{ m}^3$  zur Verfügung. Das entspricht, ein Schüttgewicht von  $0,5 \text{ t/m}^3$  vorausgesetzt, einer Tonne Abfall. Diese Größe schwankt selbstverständlich stark in Abhängigkeit von dem Korndurchmesser der Zugabematerialien sowie deren Schüttgewicht.

Wassergehalt im Rottegemisch (%)

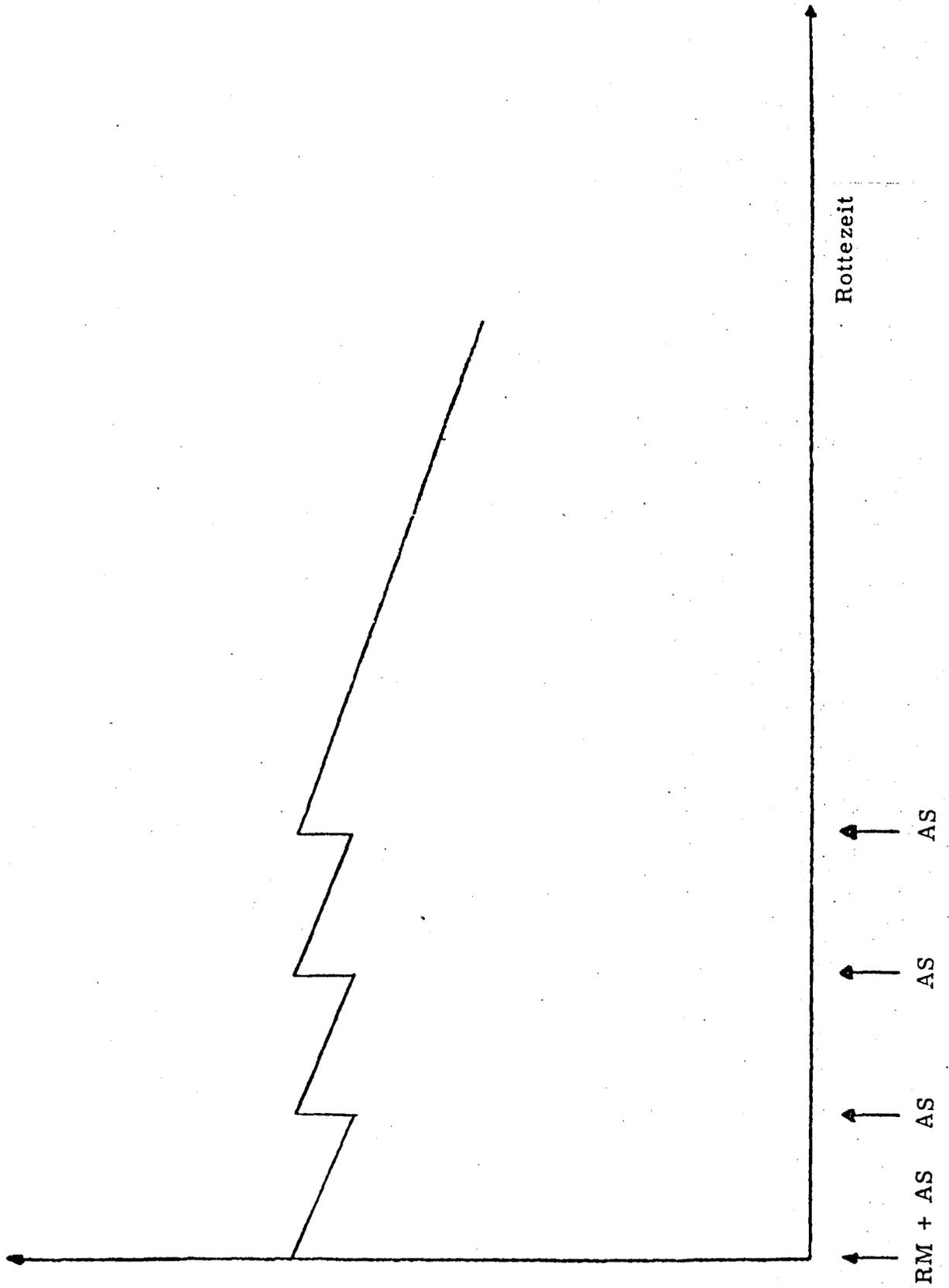


Bild 2: Zugabe von Abwasserschläm

Feinkörnige Stoffe lagern dichter als grobkörnige, so daß bei den ersteren mit zunehmender Schütthöhe der Sauerstoffeintrag schwieriger wird. Treten dann noch hohe Wassergehalte auf, wie sie durch die Beimischung von Abwasserschlämme erreicht werden, und die Feinkornanteile verkleben und schmieren, so kann eine einwandfreie Belüftung nicht mehr gewährleistet werden. Aus diesen Gründen wurde bei den Versuchen im Mittel insgesamt ca. 500 kg Müll und 320 kg Abwasserschlämme zugegeben.

#### 4.2 Zusammensetzung und Beschaffenheit der Ausgangsmaterialien

Die Beurteilung eines Verfahrens zur Behandlung von Abfallstoffen muß neben der Umweltverträglichkeit auch eine Betrachtung der Veränderung des Inputs beinhalten. Dafür ist es notwendig, die Zusammensetzung und die chemisch-physikalischen Kenngrößen der Ausgangsstoffe zu kennen. Im vorliegenden Fall bilden der Hausmüll und der Abwasserschlämme die Ausgangsmaterialien. Der Hausmüll wurde vor der Verrottung im Kompostwerk der Stadt Stuttgart in Stuttgart-Möhringen in einer Sieblochraspel mit dem Lochdurchmesser von 30 mm zerkleinert. Der Raspelvorgang sortierte ebenfalls größere Textilstücke, Plastikbahnen und Bänder als Raspelrückstand aus. Eisenteile wurden durch ein Überbandmagnet abgeschieden. Nach der Raspel passierte das Material eine Hammerschleuder, die kleine Hartteile wie Kronkorken, Steine usw. abtrennte. Die Daten in Tabelle 1 geben die Korngrößenverteilung im Hausmüll vor und nach der Raspel an. Die Zusammensetzung des Materials nach Stoffgruppen und die chemischen Kenndaten sind aus den Tabellen 2 und 3 ersichtlich.

Tabelle 1: Mittlere Korngrößen-Verteilung des verwendeten Mülls  
vor und nach der Raspel

---

A vor der Raspel

Feinmüll	( 0 - 8 mm )	6,3 %
Mittelmüll	( 8 - 40 mm )	25,0 %
Grobmüll	( 40 - 120 mm )	45,9 %
Siebreste	( > 120 mm )	22,8 %

B nach der Raspel

Feinmüll	( 0 - 8 mm )	11,6 %
Mittelmüll	( 8 - 30 mm )	88,4 %

---

Tabelle 2 : Mittlere Zusammensetzung des verwendeten Mülls  
vor der Sortierung

Stoff	Gew.-%
Eisen	4,1
NE-Metalle	0,2
Glas	9,8
Porzellan	0,6
Schlacke	0,3
Feinmüll	7,4
Papier	13,3
Kunststoffe	5,2
+ Organisch I	54,3
++ Organisch II	4,8

Bemerkung:

+ Org. I besteht aus organischen Stoffen, die sowohl verbrannt als auch kompostiert werden können.

++  
Org. II besteht aus organischen Stoffen, die nur verbrannt werden können.

Tabelle 3 : Chemische Beschaffenheit des verwendeten Mülls

	Gew. -%
Glühverlust	64,50
org. Kohlenstoffgehalt	34,55
Stickstoffgehalt	0,83
Wassergehalt im Mittel	40,00

Eine Elementaranalyse zur Bestimmung des Aufbaues der organischen Substanz wurde nicht durchgeführt. Statt dessen wurde die in Tabelle 4 wiedergegebene Analyse von Waksman den Überlegungen zugrunde gelegt. Aus diesen Werten wurde unter Zuhilfenahme der Daten aus Tabelle 5 über die Anteile der diversen Elemente in der Trockensubstanz der organischen Stoffe die prozentuale Häufigkeit der Stoffgruppen im organischen Anteil des Hausmülls in Tabelle 6 errechnet.

Tabelle 4: Anteil der organischen Stoffe des Hausmülls an den verschiedenen Stoffgruppen nach Waksman (1)

Stoffgruppe	Gew. -%
Pentosane und Pektine	8
Hemizellulose, Zellulose	44
Lignine	13
Fette, Harze, Wachse	2
Eiweißstoffe	3
Aschen	15
unbekannter Rest	15

Tabelle 5 : Zusammensetzung der Trockensubstanz  
organischer Stoffe (1)

Stoffgruppe	Anteile (in Gew.-%)				
	C	H	O	N	S
Kohlenhydrate Zucker Stärke Pektine	40 - 45	6	51 - 54		
Hemi-Zellulose	45,4	6,1	48,5		
Zellulose	44,4	6,2	49,4		
Lignine	61 - 69	5 - 6,5	26 - 33,5		
Fette	70 - 78	10 - 13	9 - 16		
Eiweißstoffe	50 - 55	6,9- 7,3	20 - 25	15,4 - 17	9,8 - 2

Tabelle 6: Anteil der Elemente in der Trockensubstanz  
organischer Stoffe im Hausmüll (in Gew.-%)

Stoffgruppe	C	H	O	N	S
Pentosane und Pektine	4,2	0,48	4,2		
Hemizellulose, Zellulose	19,8	2,68	21,3		
Lignine	8,4	0,74	3,8		
Fette, Harze, Wachse	1,5	0,23	0,3		
Eiweiß- stoffe	1,6	0,21	0,8	0,5	0,4
Summe:	35,5	4,34	30,4	0,5	0,4

Die theoretischen Berechnungen ergeben 35,5 % organischen Kohlenstoff in der Trockensubstanz. Die im Labor durchgeführten Analysen erbrachten im Mittel einen Wert von 34,55 %.

Der Abwasserschlamm wurde vom Klärwerk Stuttgart-Möhringen angeliefert. Er war ausgefault und hatte einen Wassergehalt von 93 %. Der Anteil an organischem Kohlenstoff bezogen auf die Trockensubstanz betrug 36 Gew.-%.

#### 4.3 Zuschlagstoffe

Im ersten Versuch, bei dem noch kein Impfmateriale zur Verfügung stand, wurde zur Verkürzung der Anfangsphase dem Material Dextrose zugesetzt. Der Stickstoffgehalt wurde über die Zugabe von Lösungen aus Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ ) und Diammoniumphosphat ( $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ ) reguliert. Verwendet wurden technisch reine Qualitäten.

#### 5. Durchgeführte Messungen und Laboranalysen

Zur Erfassung der Rottevorgänge wurde der Prozeß laufend durch begleitende Messungen überwacht. Jede Stunde wurden vorort Wassergehalt, pH-Wert, Redoxpotential und die Temperatur des Materials bestimmt. Damit war auch die Möglichkeit gegeben, wenn nötig, sofort korrigierend in den Prozeß einzugreifen.

Jede dritte Stunde wurde dort, wo das Rottegut die untere Etage verläßt, eine Probe entnommen, die eingefroren und dann an das Labor zur Analyse weitergeleitet wurde. Die Probenahme war nicht ohne Problematik, die darin lag, aus 800 kg Material 200 g zu bekommen, welche den Zustand der Gesamtmasse repräsentieren.

### 5.1 Wassergehalt

Zur Wassergehaltbestimmung konnte nicht gemäß Merkblatt M 3 (2) vorgegangen werden, da ein wesentliches Element der Steuerung der Anlage, speziell bei den Versuchen mit Abwasserschlamm, der jeweilige Wassergehalt war. Es mußte daher eine Methode angewandt werden, die vor allem schnell und trotzdem zuverlässige Ergebnisse ergab.

Hier bot sich der Einsatz des Mikrowellenofens an. Die Trockenzeit konnte so bei Materialien mit etwa 60 % TS auf 8 bis 10 Minuten reduziert werden. Die durchschnittliche Abweichung gegenüber der Trocknung im Trockenschrank betrug maximal nur 0,5 %.

### 5.2 Temperaturmessungen

Die Materialtemperatur wurde auf der unteren Etage mittels Thermofühlern gemessen und aufgezeichnet. Die Lufttemperatur wurde ebenfalls mit Thermoelementen gemessen, aber nicht automatisch aufgeschrieben.

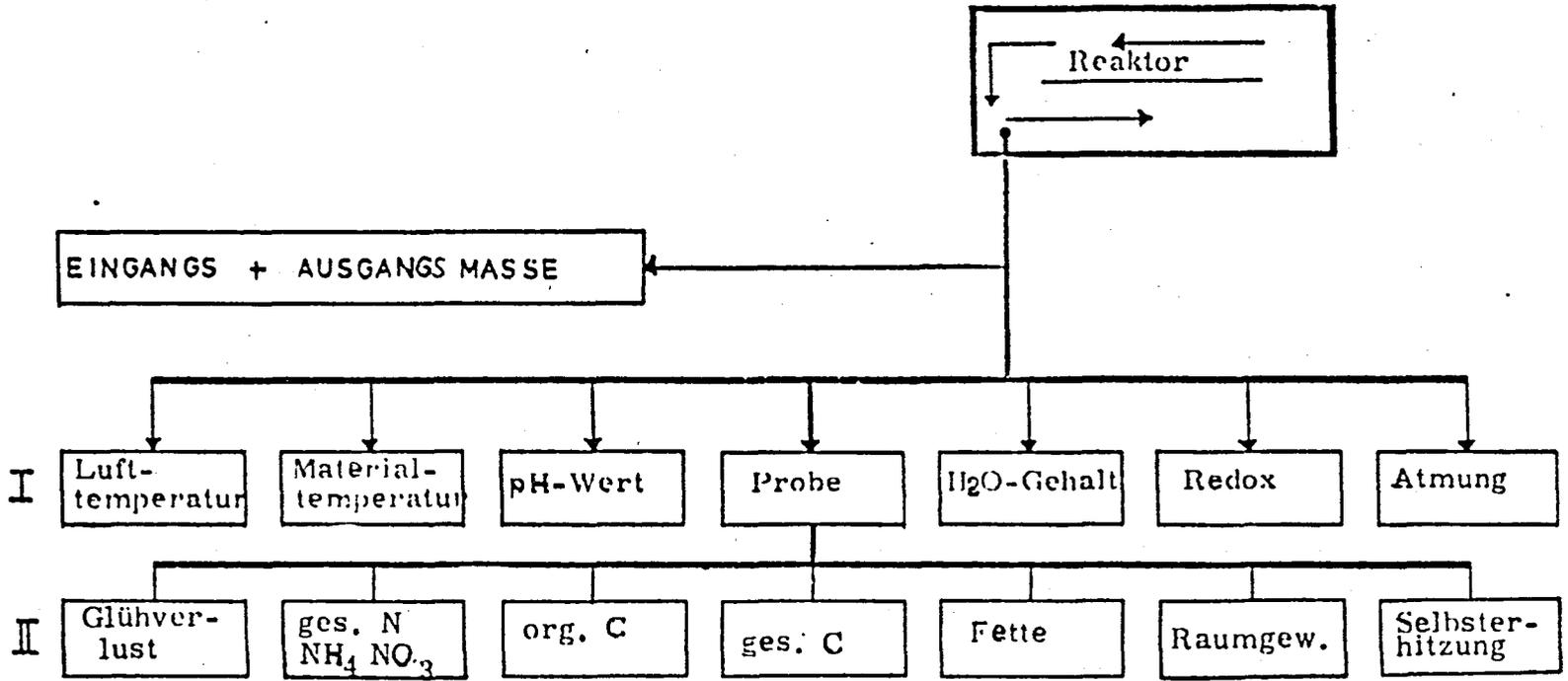
### 5.3 pH-Wert und Redoxpotential

Die Messungen wurden gemäß Merkblatt M 3 durchgeführt. Der Müll wurde vorher nicht gemahlen (2).

### 5.4 Stickstoffgehalt

Der Gesamtstickstoff wurde nach der Methode von Kjeldahl analysiert.

Bild 3: Durchgeführte Messungen und Analysen



### 5.5 Extrahierbare Stoffe

Die Öle, Fette und Wachse wurden als in Petroläther extrahierbare Substanzen ermittelt.

### 5.6 Glühverlust

Der Glühverlust, der definitionsgemäß den Anteil der organischen Stoffe in der Trockensubstanz wiedergibt, wurde bei + 750°C im Muffelofen bestimmt.

### 5.7 Organischer Kohlenstoff

Zur Analyse des organischen Kohlenstoffes wurde die Methode nach Merkblatt M 6 angewandt (2).

### 5.8 Reifetest mit der Geisenheimer Wasserzange

Als Reifekriterien wurden der qualitative Nachweis nach der angegebenen Methode auf  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , und  $\text{H}_2\text{S}$  durchgeführt.

### 5.9 Kressetest

In sämtliche Endprodukte wurde in den Mischverhältnissen (Kompost zur Einheitserde) 1 : 10, 1 : 4, 1 : 1 und 1 : 0 Kresse gesät und die Wurzelbildung wie auch das Pflanzenwachstum mit den Resultaten einer Vergleichserde beobachtet.

## 6. Zusammenstellung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Das Hauptinteresse bei der Sichtung und Auswertung des umfangreichen Datenmaterials galt der Aufstellung von Abbauraten bezüglich der organischen Substanz und des organischen Kohlenstoffes. Außerdem wurde eine möglichst genaue Bilanzierung angestrebt. Hierbei traten gewisse Schwierigkeiten auf, da ein Teil des Materials an den Übergabestellen der Bänder und in den Rottekammern in den toten Winkeln der Pflüge abhanden kam. Dieses Material wird im folgenden als "abhandengekommenes" bezeichnet. Es enthält einen hohen mineralischen Anteil von über 60 %.

Für den Abbau des organischen Kohlenstoffes wurde unter der Annahme des Vorliegens einer Exponentialfunktion eine Regressionsanalyse durchgeführt.

### 6.1 Versuche der Periode Müll plus Schlamm

Diese Versuchsperiode sollte zur Klärung der Fragen im Zusammenhang mit der gemeinsamen Kompostierung von Hausmüll und nicht entwässertem Abwasserschlamm in einwohneräquivalenten Mengen dienen.

Es wurden insgesamt 6 Versuchsreihen gefahren, von denen, auch stellvertretend für die anderen, der Versuch EH 11 im folgenden besprochen wird.

6.1.1 Versuch EH 11

Der Versuch EH 11 wurde ohne die Beimischung von Chemikalien mit einem anfänglichen C/N-Verhältnis von 11 gefahren. Der nicht entwässerte Abwasserschläm wurde über einen längeren Zeitraum dem rottenden Material in Raten zugegeben. Insgesamt wurden 330 kg Schlamm mit einem H<sub>2</sub>O-Gehalt von 93 % zusammen mit 564,8 kg Hausmüll mit einem H<sub>2</sub>O-Gehalt von 41 % verrottet (siehe auch Tabelle 7). Der Wassergehalt im Gemisch lag im Schnitt während der Rotte bei 50 %. Die Temperaturentwicklung wurde durch die ständige Materialneuaufgabe beeinflusst und bewegte sich um T = + 40°C. Das Redoxpotential war über den ganzen Versuch hin eindeutig positiv und der pH-Wert im neutralen Bereich.

Tabelle 7: Verhältnisse Müll - Abwasserschläm (in TS)

Versuch	Hausmüll HS (kg)	Abwasserschläm AS (kg)	HM / AS
EH 11	333,2	23,1	14,4

Die Regressionsgerade, gerechnet für den organischen Kohlenstoff, wies einen k-Wert von - 0,001 auf. Auf die absoluten Mengen bezogen konnte eine Verminderung des organischen Kohlenstoffes um 31,2 kg, und auf die Rottemasse bezogen eine Abbaurate von 36,5 % errechnet werden (s. Bild 7).

Die Massenbilanz zeigt, daß die mechanisch verursachten Verluste mittlerweile eindeutig unter 50 % der Kompostmenge liegen. In diesem Versuch betrugen sie 33 % bezogen auf die Trockensubstanz. Verdunstet wurden insgesamt 430,4 kg Wasser. Die  $\text{CO}_2$ -Bindung berechnet aus den 31,2 kg abgebauten Kohlenstoffs ergibt sich zu 114,4 kg. Gefahren wurde mit einer Luftüberschußzahl von 2,8.

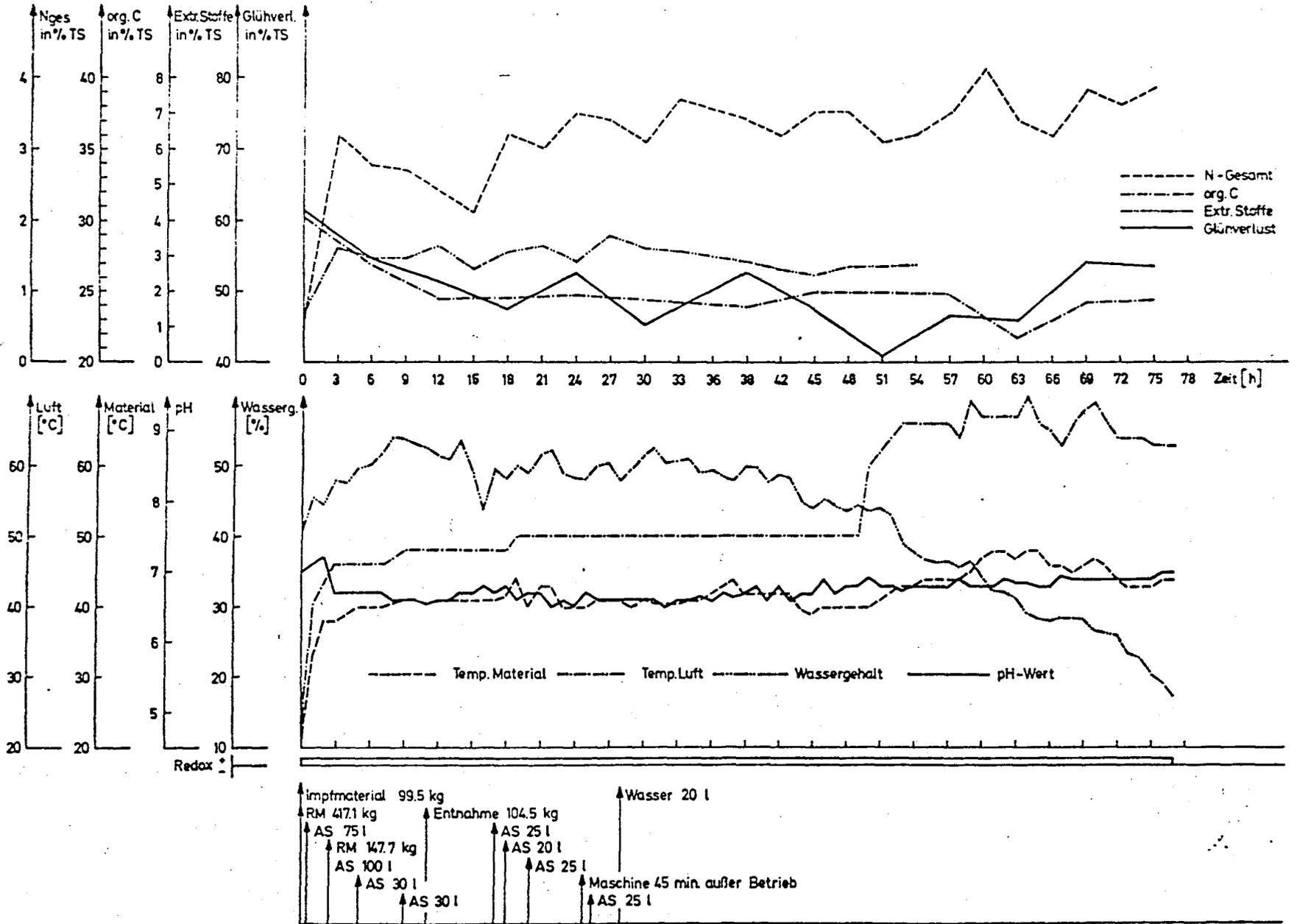
Die Versuchszeit setzt sich aus der Rottezeit und der Trocknungszeit zusammen. Die Rottezeit war der in den Versuchen mit reinem Hausmüll adäquat, die Trockenzeit jedoch stieg merklich an, da die Voraussetzungen für eine Verdunstung, bedingt durch die verschiedenartige Struktur, die bindigeren Anteile des Schlammes u. a. ungünstiger waren.

## 7. Reifetests

Die Reifetests wurden zunächst mit der Geisenheimer Wasserzange und dann anhand von Wachstumsversuchen durchgeführt. Es zeigte sich bald, daß die qualitativen Testverfahren mit der Wasserzange hier nur bedingt anwendbar sind, weil durch die Anwesenheit von Ammoniumnitrat und Diammoniumphosphat im Rottematerial die Ergebnisse verfälscht wurden. Schwefelwasserstoff jedoch konnte in keinem der Endprodukte nachgewiesen werden.

Der Kressetest wurde in Gemischen Pflanzenerde zu Kompost, mit 10, 25 und 50 % Kompostanteil angesetzt. In allen Fällen konnte gleiches Wachstum wie in der Vergleichserde beobachtet werden. Die Wurzeln waren gut ausgebildet.

Bild 4: Die gemessenen Größen in Abhängigkeit von der Zeit (EH 11)



0 • X  
 30 • 2L9  
 1•480006943  
 1•480006943 Y  
 6 • X  
 26 • 9L9  
 1•42975229  
 1•42975228 Y  
 12 • X  
 24 • 5L9  
 1•389166084  
 1•389166084 Y  
 18 • X  
 24 • 5L9  
 1•389166084  
 1•389166084 Y  
 24 • X  
 24 • 7L9  
 1•392696953  
 1•392696953 Y  
 30 • X  
 24 • 4L9  
 1•387389326  
 1•387389326 Y  
 39 • X  
 23 • 9L9  
 1•378397901  
 1•378397901 Y  
 45 • X  
 24 • 9L9  
 1•396199347  
 1•396199347 Y  
 51 • X  
 19 • 9L9  
 1•299853076  
 1•299853075 Y  
 57 • X  
 24 • 8L9  
 1•394451681  
 1•394451681 Y  
 63 • X  
 21 • 8L9  
 1•338456494  
 1•338456494 Y  
 69 • X  
 24 • 3L9  
 1•385606274  
 1•385606274 Y  
 75 • X  
 24 • 4L9  
 1•387389826  
 1•387389826 Y

1•42550  
 -0•00100

Gleichung der Regressionsgeraden

$\log(\text{org. C}) = -0.0010 t + 1.4255$

Auswertung für t = 0 bis 78 Stunden

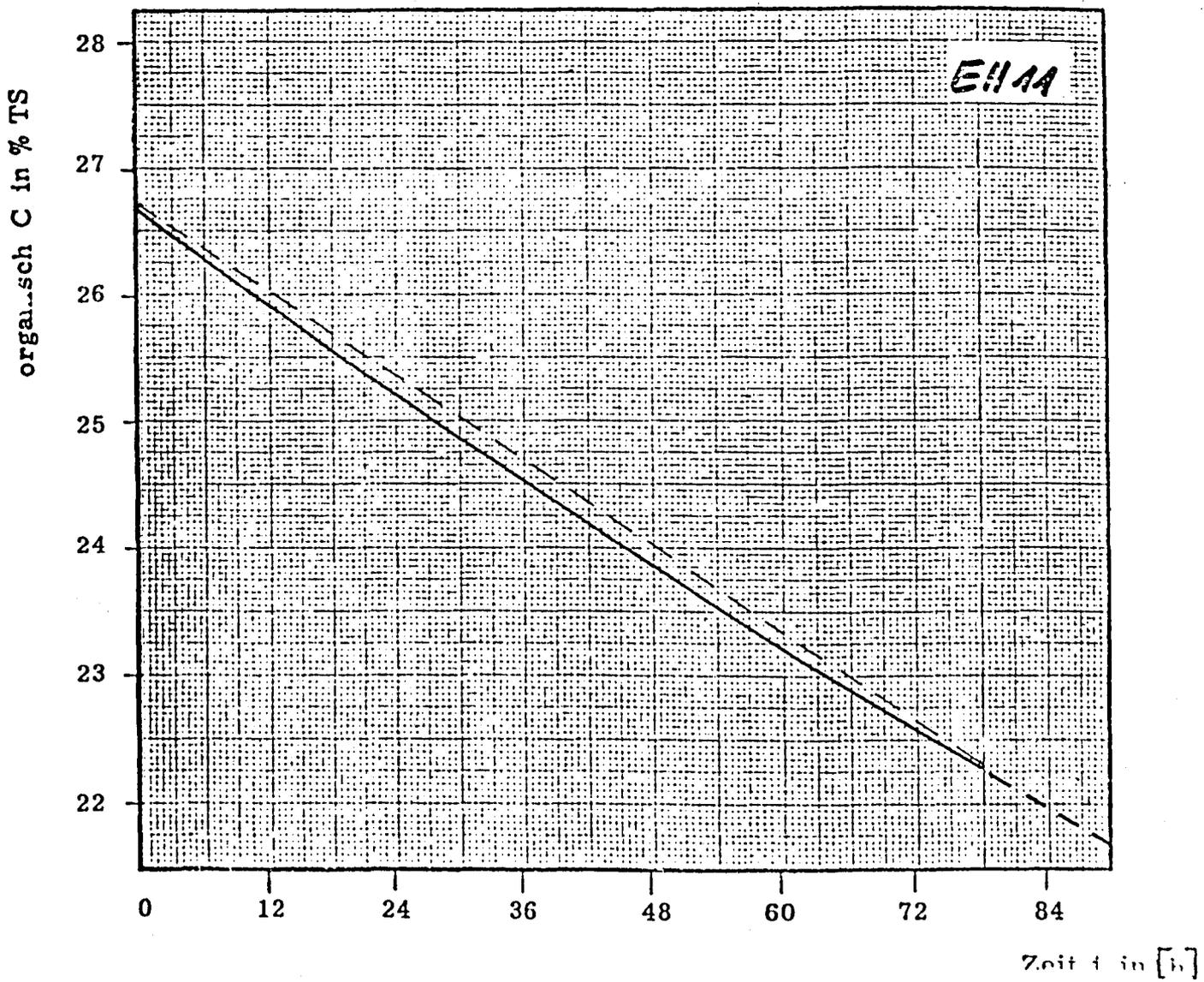
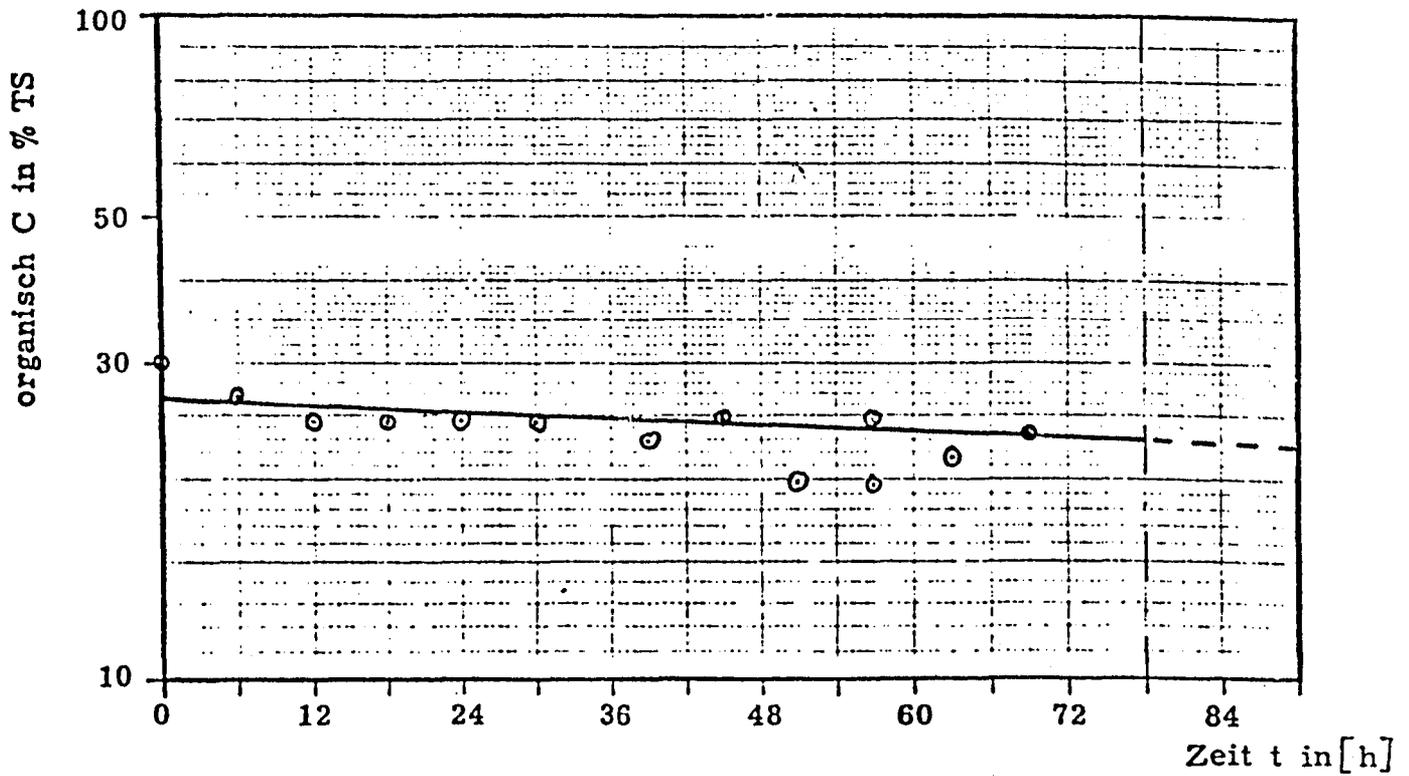
0•L 1•4255	42•L 1•3839
10•GX 1•4255GX 26•63790097 25•6379= 26•6379 *	10•GX 1•3839GX 24•20471648 24•2047= 24•2047 *
6•L 1•4196	48•L 1•3780
10•GX 1•4196GX 26•27846541 26•2784= 26•2784 *	10•GX 1•3780GX 23•87811283 23•8781= 23•8781 *
12•L 1•4137	54•L 1•3720
10•GX 1•4137GX 25•92387955 25•9238= 25•9238 *	10•GX 1•3720GX 23•55049284 23•5504= 23•5504 *
18•L 1•4077	60•L 1•3661
10•GX 1•4077GX 25•56819089 25•5681= 25•5681 *	10•GX 1•3661GX 23•23271629 23•2327= 23•2327 *
24•L 1•4018	66•L 1•3601
10•GX 1•4018GX 25•22319934 25•2231= 25•2231 *	10•GX 1•3601GX 22•91395205 22•9139= 22•9139 *
30•L 1•3958	72•L 1•3542
10•GX 1•3958GX 24•87711421 24•8771= 24•8771 *	10•GX 1•3542GX 22•60476518 22•6047= 22•6047 *
35•L 1•3899	78•L 1•3483
10•GX 1•3899GX 24•54143763 24•5414= 24•5414 *	10•GX 1•3483GX 22•2997503 22•2997= 22•2997 *

— Zeit t in h  
 — organisch C in % TS

EH 11

Auswertung der Meßdaten für  
 den organischen Kohlenstoff

Bild 5: Regressionsanalyse für den Abbau des organischen Kohlenstoffes  
( in % TS)





## 8. Selbsterhitzungsversuche mit dem erzeugten Kompost

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen hervorgeht, wird das Endprodukt nach Ablauf der Rotteprozesse auf einen Endwassergehalt von etwa 17 % heruntergetrocknet.

Zur Feststellung der Frage, inwiefern die organischen Verbindungen im lagerfähigen Kompost bei der Wiederbefeuchtung erneut biochemisch angreifbar sind, wurden verschiedene Selbsterhitzungsversuche durchgeführt. Circa 11 kg des Endproduktes wurde dabei auf einen Wassergehalt von 40 % angefeuchtet und in einen 80 l Siebbodenbehälter gegeben. Durch den Siebboden wurde intermittierend Luft eingeblasen.

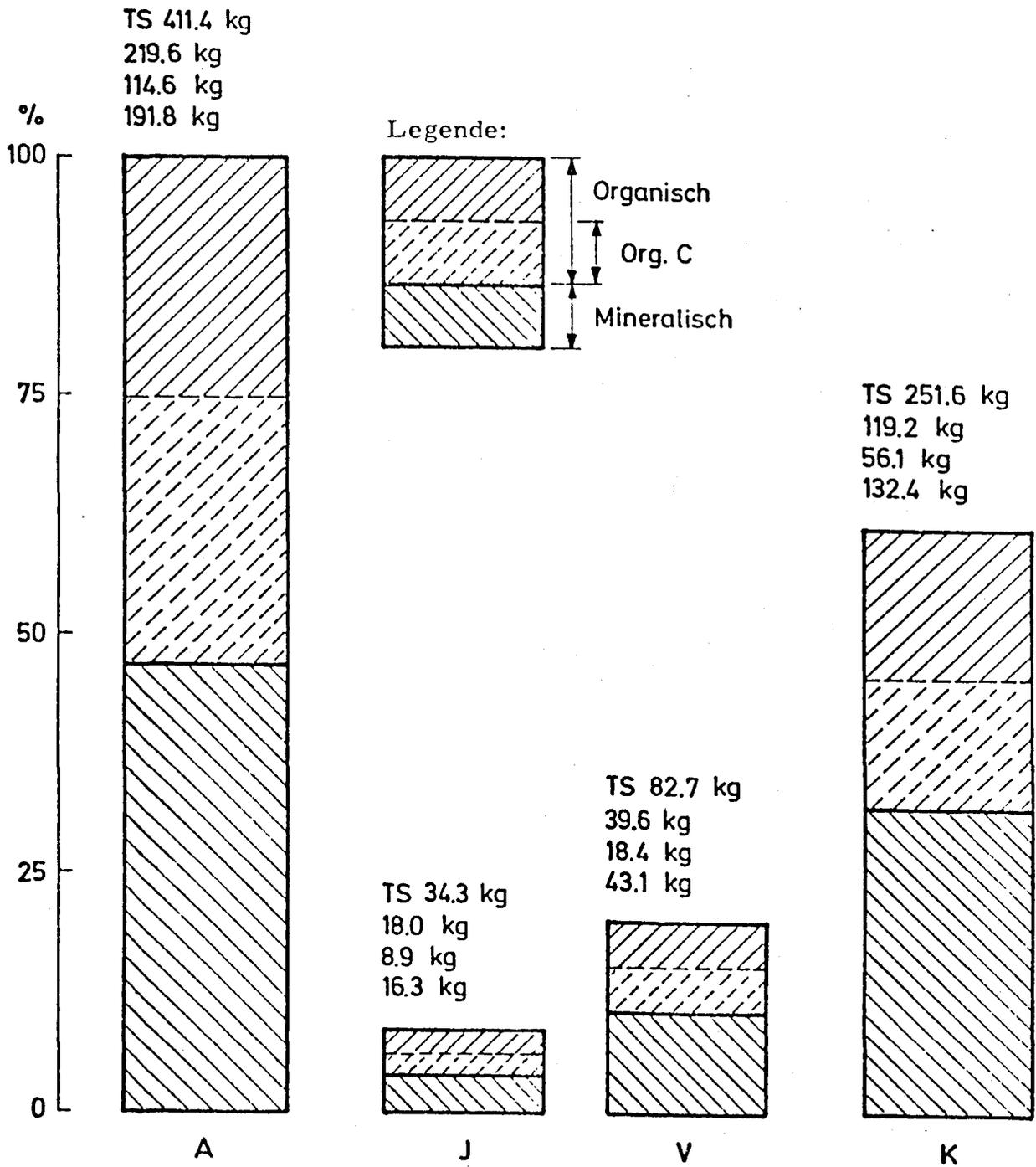
Zum Vergleich wurde in einem Parallelversuch 11 kg des auf eine Korngröße von 30 mm zerkleinerten Rohmülls mit einem Wassergehalt von 50 % verrottet. Als Kenngröße zur Feststellung der biologischen Aktivität wurde in allen Fällen der Temperaturverlauf gewählt. Die Ergebnisse können wie untenstehend zusammengefaßt werden :

- a) Rohmüll und Kompost aus einem Versuchslauf, bei dem Hausmüll allein verrottet wurde : Die Wärmeentwicklung in beiden Gefäßen gestaltete sich sehr unterschiedlich. Während im Rohmüll die intensive Rotte gleich einsetzte und sich am 4. Tag schon die maximale Temperatur von  $54^{\circ}\text{C}$  einstellte, blieb im Kompost die Temperatur zunächst konstant bei ca.  $14^{\circ}\text{C}$  und begann erst am 4. Tag zuzunehmen. Der Anstieg hielt in der folgenden Zeit an und erreichte am 10. Tag  $34^{\circ}\text{C}$ . Hier wurde der Versuch abgebrochen (Bild 9).

- b) Rohmüll und Kompost aus den Versuchsläufen EH 6, EH 12 und EH 11, bei denen Hausmüll und Abwasserschlamm gemeinsam kompostiert wurden :

Ähnlich wie in der ersten Versuchsperiode verlief die Temperaturentwicklung im Rohmüll verschieden von der im Kompost. Im Rohmüll stieg die Temperatur schon am 2. Tag auf den Wert von  $50^{\circ}\text{C}$  an und erreichte am 7. Tag ihren Tiefpunkt von  $7^{\circ}\text{C}$ , um erneut auf  $16^{\circ}\text{C}$  anzusteigen und dann langsam abzuklingen. Die Temperatur im Kompost jedoch nahm, egal ob das Material mit oder ohne Zusatz von Klärschlamm erzeugt worden war, in den ersten Tagen nur leicht auf Werte um  $14^{\circ}\text{C}$  zu und stieg dann erst nach einem kurzen Knick langsam auf maximale Temperaturen von  $26^{\circ}\text{C}$  bis  $33^{\circ}\text{C}$  am 10. Tag an, und klang nach ca. 4 Tagen wieder ab (Bild 10).

Wie zu erwarten war, zeigte es sich deutlich, daß das Endprodukt noch biologisch aktiv war; durch die vorausgegangene intensive Rotte, die Änderung der Substratverhältnisse und die anschließende Trocknung aber eine längere Anlaufphase entstand. Die maximal erreichbare Temperatur betrug ca. 63 % der bei der Rotte von Rohmüll erzielten Temperatur. Werden die Temperaturverläufe mit den Temperaturkurven von 18 bis 30 Wochen alten Mietenkomposten verglichen, so kann eine Übereinstimmung festgestellt werden.



Abbaurrate, Basis organische Substanz

$A - J - V = C_1 = 162,0\text{kg}$        $OS = C_1 - K = 42,8\text{kg}$

$ABR = \frac{OS}{C_1} \cdot 100\% = 26,4\%$

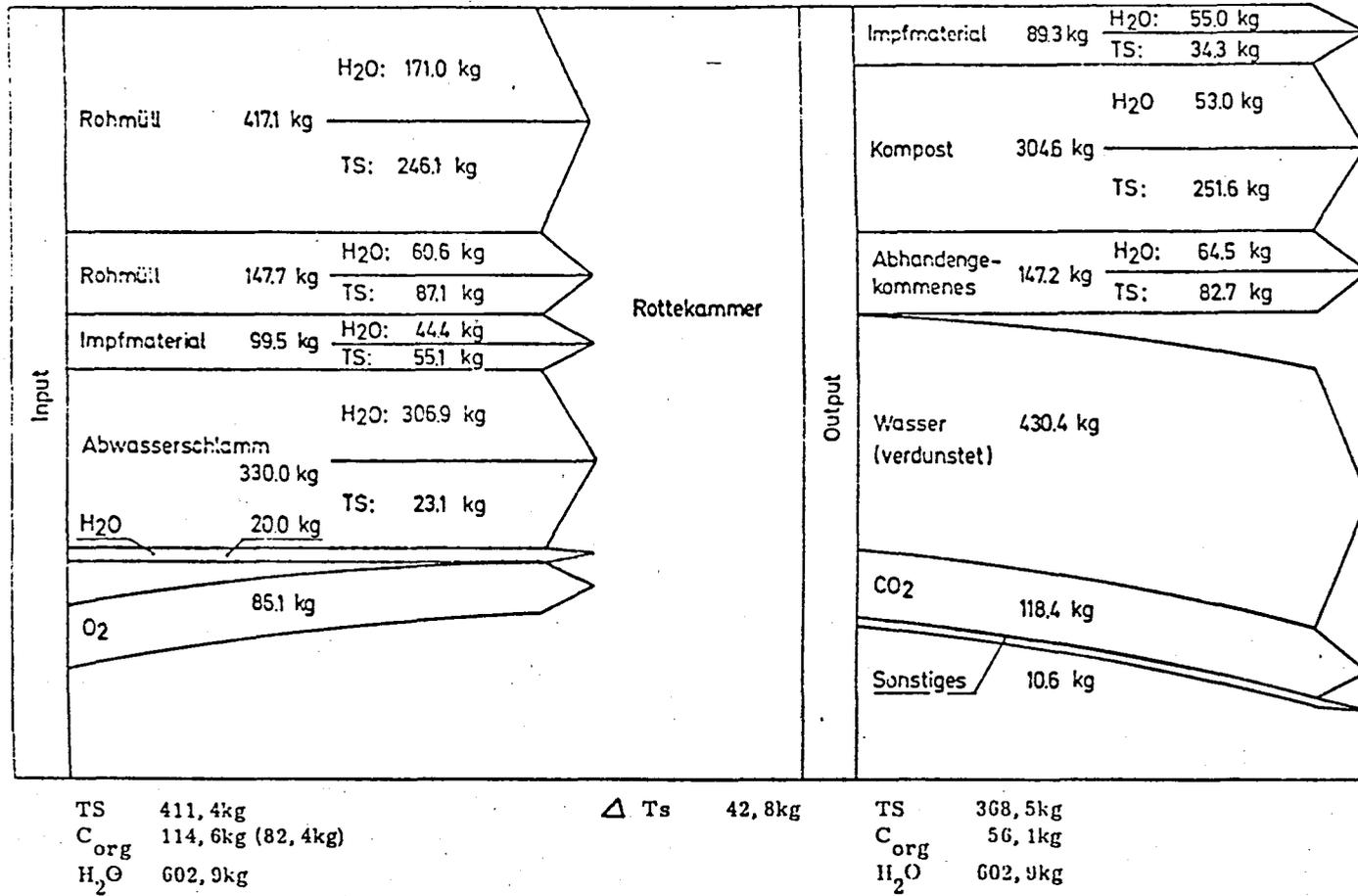
Abbaurrate, Basis organischer Kohlenstoff

$A - J - V = C_2 = 87,3\text{kg}$        $C = C_2 - K = 31,2\text{kg}$

$ABR = \frac{C}{C_2} \cdot 100\% = 36,5\%$

Bild 7: Stoffbilanz und Abbauraten (EH 11)

Bild 8 : Massenbilanz vom Versuchslauf EH 11



## 9. Vergleichende Betrachtung der Versuchsläufe

An der Verrottung von organischen Stoffen sind aerobe mesophile und thermophile Mikroorganismen beteiligt. Ihr Vorhandensein ist unter anderem abhängig von dem C/N-Verhältnis des Ausgangsmaterials. Mit wachsendem C/N-Verhältnis nimmt die Länge der Lag-Phase zu, die Wärmeentwicklung setzt später ein, es werden aber höhere Temperaturen erreicht. Kleine C/N-Verhältnisse regen zu sofortiger Rotte an, die Selbsterhitzung beginnt gleich, es entstehen jedoch keine sehr hohen Temperaturen. Bei den durchgeführten Versuchen bewegten sich die Maximal-Temperaturen zwischen + 40°C und + 55°C, das C/N-Verhältnis lag nahe um 10. In einem der Versuche, bei dem das C/N-Verhältnis mit 24 eingestellt war, gingen die Temperaturhöchstwerte bis auf + 60°C. Bei allen Versuchen wurde durch Zugabe von Wasser oder Schlamm während des Rotteprozesses der Feuchtigkeitsgrad des Materials mit etwa 55 % fast konstant gehalten.

Der pH-Wert als Indikator für den Fortschritt der Rottevorgänge bewährte sich gut.

Konnten die Ergebnisse der Redoxmessungen auch nicht quantitativ ausgewertet werden, so gaben sie qualitativ eine gute Anzeige für aerobe oder anaerobe Verhältnisse ab.

Bei der Bestimmung der Abbauraten über die organische Substanz traten gewisse Schwierigkeiten auf. Infolge der an den Übergabestellen der Bänder eingetretenen Materialverluste gaben die Proben nicht den wirklichen Rotteverlust an Trockensubstanz an. Durch die Umrechnung der Prozentwerte in absolute Zahlen konnte aber weiter gerechnet werden. In den Rotteversuchen mit Abwasserschlammszugabe wurde weniger organische Substanz ab-

gebaut als bei der reinen Müllkompostierung. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei der gemeinsamen Schlamm-Müll-Kompostierung während der Rotte laufend neue organische Substanz zugeführt wurde, so daß die Abnahme durch die Zugabe teilweise kompensiert wurde. Die gleichen Zusammenhänge treffen für den Abbau an organischem Kohlenstoff zu.

Mit der Annahme, daß in gleichen Zeiträumen gleiche Anteile des im System vorhandenen Substrates biochemisch angegriffen werden, konnte der Rotteprozeß mit Hilfe einer Gleichung, die zur Beschreibung von biochemischen Reaktionen erster Ordnung herangezogen wird, dargestellt werden. Es gilt :

$$C_o^t = C_o^A \cdot e^{-k \cdot t} \quad (\text{kg})$$

Mit :  $C_o^t$  = Gehalt an organischem Kohlenstoff  
im Substrat zur Zeit t (kg)

$C_o^A$  = Gehalt an organischem Kohlenstoff  
im Substrat am Anfang des Versuches (kg)

k = Abbaukoeffizient ( $\text{h}^{-1}$ )

t = Rottezeit (h)

Die bei den Versuchsläufen ermittelte Größe der Abbaukoeffizienten schwankte von - 0,009 bis - 0,018, und kann im Mittel mit - 0,013 ( $\text{h}^{-1}$ ) angegeben werden und liegt somit relativ hoch. Bei Vergleichsmieten wurden Maximal-Werte um 0,0003 ( $\text{h}^{-1}$ ) erreicht.

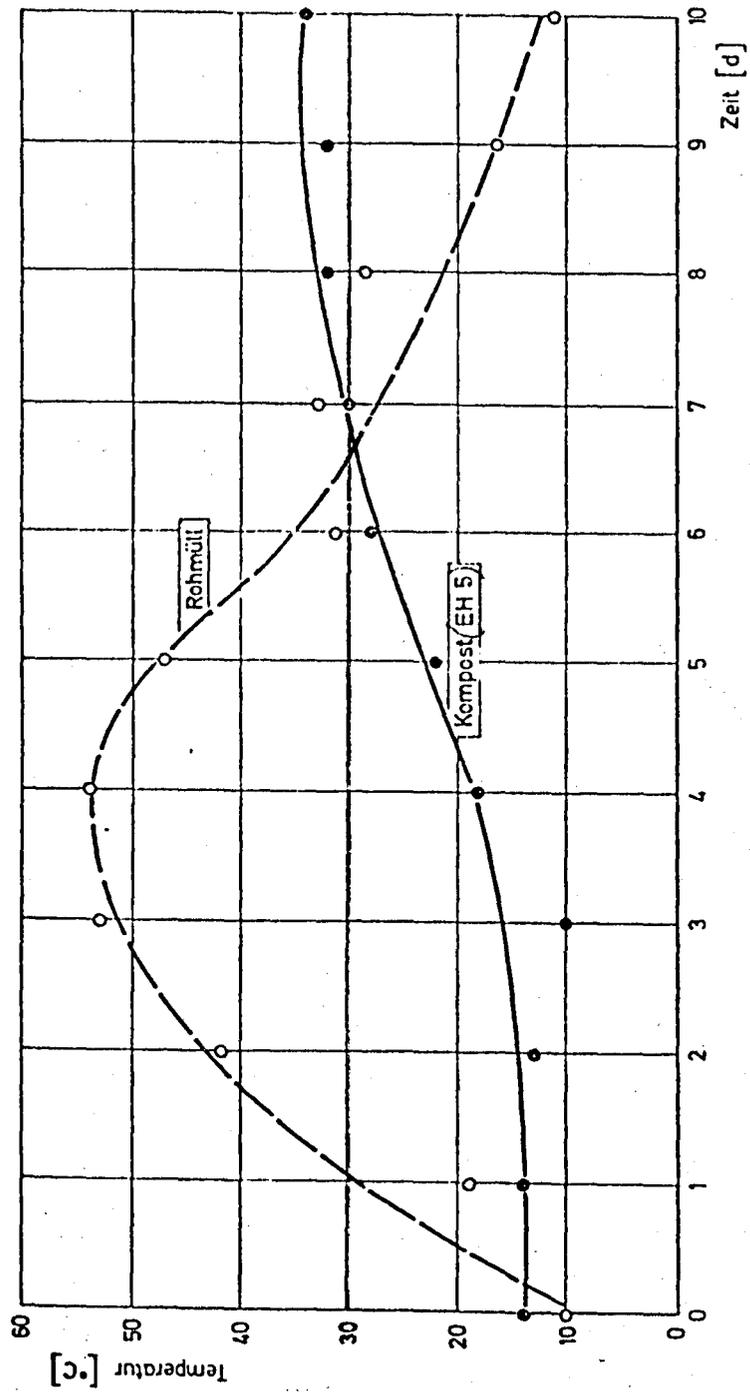
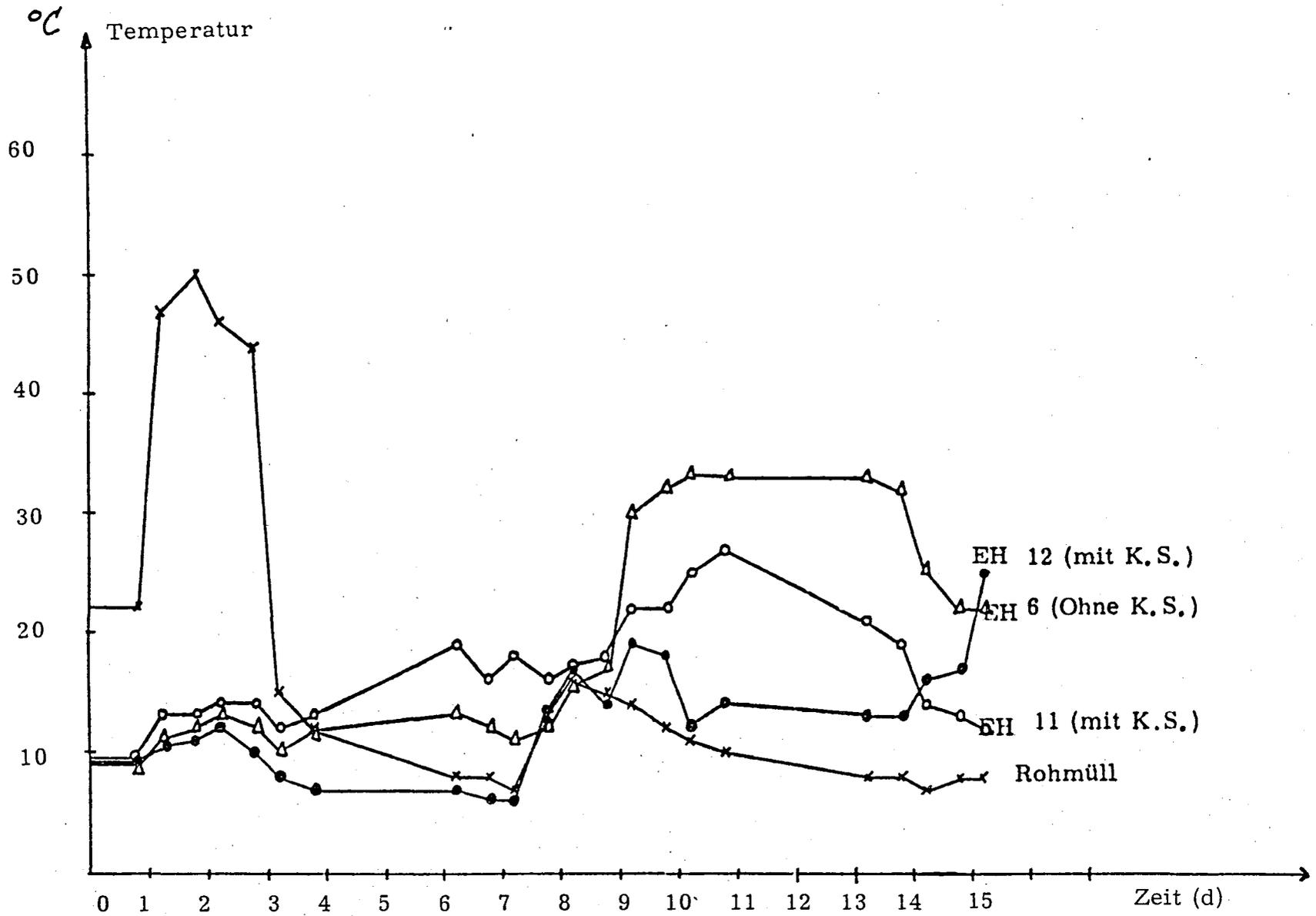


Bild 9 : Temperaturentwicklung bei Rohmüll und bei Müllkompost im Selbsterhitzungsversuch

Bild 10 : Selbsterhitzungstests



Stickstoff wird von den Mikroorganismen hauptsächlich zum Aufbau von körpereigenem Eiweiß benötigt. Darüber hinausgehende Stickstoffverluste während der Kompostierung müssen vermieden werden, um zum einen den Stickstoffgehalt des Endproduktes nicht zu vermindern, zum anderen um Geruchsbelästigungen zu vermeiden. In allen untersuchten Versuchsperioden blieb der Stickstoffgehalt im Material über die gesamte Rotte hin fast konstant. Die mit Petroläther extrahierbaren Stoffe wie Fette, Öle, Harze und Wachse konnten in den Versuchen ohne Abwasserschlämme im Mittel zu 10 % biochemisch zersetzt werden. Wurde dem Hausmüllschlamm zugemischt, blieb die Konzentration konstant oder stieg leicht an. Blieb sie konstant, so muß ein Abbau stattgefunden haben, der durch die Nährstoffe im stets neu zugeführten Schlamm kompensiert wurde. Stieg sie an, so lag die abgebaute Menge unter der neu zugeführten Menge.

Die Reifetests und die Selbsterhitzungsversuche zeigten, daß es sich bei den erzeugten Endprodukten um weitgehend stabilisiertes Material handelte, das beinahe so weit zersetzt war wie 2,5 bis 5 Monate alter Mietenkompost.

#### 10. Energieaufwand

Der Energiebedarf eines Abfallbehandlungsverfahrens ist insofern von wesentlicher Bedeutung, als die Verwendung von Energie sowohl Kosten als auch Umweltbelastungen verursacht. Daher sollen die folgenden Zeilen sich kurz mit diesem Problem beschäftigen, wobei jedoch gleich darauf hingewiesen wird, daß die

unten angegebenen Werte der Pilotanlage nicht auf ein Betriebskompostwerk durch einfaches Hochrechnen übertragen werden können, da die Versuchsanlage wesentlich ungünstigere wärmetechnische Bedingungen aufweist als eine Großanlage. Die Rottekammer ist mit einer Heizung ausgestattet, die ständig eine Grundlast von 6,75 kW fährt. Die gleiche Last schaltet sich dann zu, wenn die Temperatur in der Rottekammer sinkt. Die eingeblasene Luftmenge wird während dem Abbauprozess mit 1,0 kW während der Trocknung mit 1,5 kW je Gebläse vorgewärmt. 6 Gebläse sind installiert, so daß der Gesamtaufwand 12,75 kW bzw. 15,75 kW beträgt.

#### 11. Schlußbemerkungen

An der Pilotanlage System Dr. Varro der Firma Ecologie in Stuttgart-Hohenheim wurden vom Institut für Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft der Universität Stuttgart u.a. Untersuchungen zur Kompostierung von Hausmüll zusammen mit ausgefaultem Abwasserschlamm vorgenommen, deren Ergebnisse in Kurzform wie folgt wiedergegeben werden können :

- a) Die semikontinuierliche Anlage im technischen Maßstab kann ohne Schwierigkeiten eine Abfallmenge von etwa 800 kg behandeln.
- b) Die verschiedenen den Verlauf und den Umfang der aeroben Vorgänge steuernden Faktoren können unabhängig voneinander je nach Bedarf eingestellt werden, so daß die Pilotanlage ausgezeichnete Voraussetzungen zur Durchführung von grundlegenden Versuchen bietet, deren Resultate anders als bei Laborversuchen fast ohne Vorbehalte auf die Praxis übertragen werden können.

- c) Ausgefaulter, nicht entwässerter Abwasserschlämme mit einem Wassergehalt von 93 Gew.-% kann zusammen mit Hausmüll in einwohneräquivalenten Mengen innerhalb von achtundvierzig Stunden soweit kompostiert werden, daß der Gehalt des Materials an organischer Trockensubstanz um durchschnittlich 28 Gew.-%, und der an organischem Kohlenstoff um etwa 36 Gew.-% abnimmt.
- d) Der über den gesamten Rotteprozeß nahezu konstant bleibende Stickstoffgehalt des Materials und das durch künstliche Stickstoffgaben einstellbare niedrige Kohlenstoff- zu Stickstoffverhältnis deuten auf eine gute Eignung des Endproduktes zur Verwendung als Bodenverbesserer, weil nach Einbringung in den Boden keine Stickstoff-Festlegung eintreten kann, vielmehr eine Stickstoff-Freisetzung erfolgen muß.
- e) Kressetests zeigen selbst bei hohen Zugabemengen eine gute Pflanzenverträglichkeit des Müll-Abwasserschlämmekompostes.
- f) Versuche zur Feststellung der Selbsterhitzungsfähigkeit des Endproduktes machen deutlich, daß der während einer Rotte von zwei Tagen erzeugte Kompost hinsichtlich Temperaturentwicklung sich wie 4,5 bis 7,5 Monate alter Mietenkompost verhält.
- g) Der spezifische Gesamtenergieaufwand der Pilotanlage ohne den Energiebedarf zur Rohmüllzerkleinerung aber mit dem zur Trocknung des Kompostes auf einen Wassergehalt von etwa 17 Gew.-% ist relativ hoch und beträgt bei der

gemeinsamen Verrottung von Abwasserschlämme mit Müll ca. 1.200 kWh/t Zugabematerial.

- h) Hygieneversuche wurden von Herrn Prof. Dr. Strauch, Universität Hohenheim, vorgenommen.

Danach findet eine endgültige Entseuchung hauptsächlich dann statt, wenn in dem Rottematerial während der Trocknungsphase über 10 Stunden eine Mindesttemperatur von 65°C aufrecht erhalten wird (3).



Dr. Franz Starzer

Rechtsfragen der Abfall- und Schlammbehandlung - Ländergesetze  
 =====

1) Zum Begriff "Abfall"

In der Gesetzgebung sowohl des Bundes als auch der Länder wurde das Wort "Abfall" bis in die letzten Jahre nicht gebraucht. Die nahe-  
 liegendste Antwort auf die Frage: warum? ist die, daß eben kein Be-  
 dürfnis der Allgemeinheit danach bestanden hat. Es kann außer Zweifel  
 gestellt werden, daß die Tatbestände "Umweltschutz" und "Abfall" ver-  
 läßlich im Jahre 1925 in die Kompetenzverteilung des Bundes-Verfas-  
 sungsgesetzes aufgenommen worden wären, wenn diesen aktuelle Bedeutung  
 zugekommen wäre, wie dies z. B. im Art. 10 Abs. 1 Z. 6 B-VG. für  
 "... Einrichtungen zum Schutze der Gesellschaft gegen verbrecherische,  
 verwahrloste oder sonstige gefährliche Personen, wie Zwangsarbeits-  
 und ähnliche Anstalten", oder in Z. 11 für den "... Arbeiter- und An-  
 gestellenschutz ..." oder im Art. 12 Abs. 1 Z. 6 B-VG. "... für den  
 Schutz der Pflanzen gegen Krankheiten und Schädlinge..." geschehen ist.

Es ist Tatsache, daß weder im B-VG. noch in den L-VG. das Wort "Ab-  
 fall" vorhanden ist. Es gibt wohl vereinzelte Bundesgesetze, die  
 z. B. Vorschriften über das Verbot der "Ablagerung von Mist oder Un-  
 rat" im Wald (§ 81 des Forstrechtsbereinigungsgesetzes, BGBI. Nr.  
 372/1971, nunmehr abgelöst durch § 16 Forstgesetz, BGBI. Nr. 440/1975,  
 das am 1. 1. 1976 in Kraft getreten ist) oder über die Entfernung von  
 "Schutt", "Baumaterialien" oder "Hausrat" von den öffentlichen Straßen  
 (§ 89 a StVO 1960) enthalten. Aber das Wort "Abfall" wird nicht ver-  
 wendet. Erst die in den letzten Jahren erlassenen Landesgesetze  
 über die Sammlung, Abfuhr und Beseitigung von "Abfällen" (oder von  
 "Müll") bringen Definitionen dieser synonym zu wertenden Ausdrücke  
 "Abfall" oder "Müll":

Burgenland ..... Müllgesetz, LGBI. Nr. 3/1975

Kärnten ..... Müllabfuhrgesetz, LGBI. Nr. 158/1962, 31/1971

Niederösterreich ... Müllbeseitigungsgesetz, LGBI. Nr. 43/1972

Oberösterreich .....	Abfallgesetz, LGB1. Nr. 1/1975
Salzburg .....	Müllabfuhrgesetz, LGB1. Nr. 99/1974
Steiermark .....	Abfallbeseitigungsgesetz, LGB1. Nr. 118/1974
Tirol .....	Abfallbeseitigungsgesetz, LGB1. Nr. 50/1972
Vorarlberg .....	Abfallgesetz, LGB1. Nr. 19/1974
Wien .....	Müllabfuhrgesetz, LGB. Nr. 19/1965

In fünf Bundesländern wird also dem Wort "Müll" und in vier Bundesländern dem Ausdruck "Abfall" der Vorzug gegeben. Die in diesen Landesgesetzen enthaltenen Definitionen lassen jedoch eine gewisse Gemeinsamkeit an Begriffsmerkmalen erkennen, und zwar handelt es sich hierbei im wesentlichen

- a) um bewegliche Sachen,
- b) deren sich der Eigentümer (Inhaber) entledigen will oder bereits entledigt hat, oder
- c) deren geordnete Sammlung, Abfuhr und Beseitigung aus Gründen des Umweltschutzes (d. i. in der Hauptsache der Schutz der Gesundheit, der Gewässer, der Luft, des Bodens, der Natur, der Brandverhütung usf.) geboten ist.

Soweit Abweichungen in den einzelnen Legaldefinitionen vorhanden sind, können diese als geringfügig und unwesentlich in den weiteren Ausführungen außer Acht gelassen werden. Erwähnt soll jedoch werden, daß im O. Ö. Abfallgesetz der Entledigungswille des Inhabers nicht als Begriffsmerkmal festgelegt ist.

Als weitere Gemeinsamkeit läßt sich die Einteilung des "Abfalls" (Mülls) feststellen, und zwar hauptsächlich in

- a) Hausmüll:  
Feste Abfallstoffe, die üblicherweise im Haushalt anfallen.
- b) Sperrmüll:  
Feste Abfallstoffe, die wegen ihrer Form (Sperrigkeit) nicht mit dem Hausmüll gemeinsam gesammelt und abgeführt werden können.

c) Sondermüll:

Das sind Abfallstoffe, die wegen ihrer besonderen Beschaffenheit (Gefährlichkeit!) einer gesonderten und sorgfältigen Behandlung bedürfen.

d) Sonderabfälle:

(nur in dem steiermärk. Abfallbeseitigungsgesetz enthalten) sind jene, deren Abfuhr und Beseitigung durch die bestehende Gemeindeeinrichtung oder -anlage nicht möglich ist, sondern Sondereinrichtungen erfordern.

Aus diesen erwähnten Verschiedenheiten im Titel der einzelnen Landesgesetze und in der Einteilung der Abfälle läßt sich - bei uneingeschränkter Anerkennung der Selbständigkeit der einzelnen Länder - doch eine gewisse Unsicherheit oder Uneinheitlichkeit in den sachbezogenen Grundlagen und Auffassungen erkennen, wie dieses Ding "Abfall" gesetzlich zu definieren und dessen Beseitigung in einer ohne besondere Schwierigkeiten auslösenden Weise gesetzlich zu regeln ist. Die Aktualität und Bedeutung des "Abfalles" für den Umweltschutz ließen jedoch die Ansicht vertreten, daß eine bundeseinheitliche Definition des Begriffes "Abfall" und Einteilung in die einzelnen Arten durchaus zweckmäßig sein könnte. Ein diesbezüglich vielfach geäußerter Wunsch nach einem Grundsatzgesetz im Sinne des Art. 12 B-VG. blieb bisher ohne ernsthafte Erörterung.

2) Zur "öffentlichen Müllabfuhr"

In allen Landesgesetzen ist festgelegt, daß die Sammlung und Abfuhr des Hausmülls Aufgabe der Gemeinde im eigenen Wirkungsbereiche ist und die Gemeinde die diesbezüglichen Einzelheiten (wie Müllbehälter, Abfuhrtermine usw.) in Müllabfuhrordnungen im Rahmen der gesetzlichen Ermächtigung zu regeln hat.

Die Gemeinden können sich auch zu Verbänden zusammenschließen. Im O. Ö. Abfallgesetz ist zusätzlich ausdrücklich festgelegt, daß sich die Gemeinden zur öffentlichen Müllabfuhr auch privater Unternehmungen bedienen können. Diese Vorschrift hat sich in der Praxis als sehr zweckmäßig erwiesen.

### 3) Zur "Beseitigung des Haus- und Sperrmülls"

Die Landesgesetze übertragen die Errichtung und den Betrieb der für die Beseitigung des Haus- und Sperrmülls erforderlichen Anlagen ebenfalls den Gemeinden. Diese Anlagen werden in den meisten Gesetzen einer gesonderten Bewilligung unterworfen. Hinsichtlich der Behörde, die für diese Bewilligung zuständig ist, gibt es wieder unterschiedliche Regelungen. In Burgenland, Tirol und Vorarlberg ist der Bürgermeister, in Oberösterreich und Salzburg die Bezirksverwaltungsbehörde als Bewilligungsbehörde berufen.

In keinem Landesgesetz ist eine bestimmte Form der Beseitigung festgelegt. Die meisten Abfall/Müllgesetze enthalten lediglich eine Aufzählung der möglichen Beseitigungsformen wie:

- a) Geordnete Deponien,
- b) Rotte-Anlagen, Kompostierungsanlagen,
- c) Verbrennungsanlagen.

In einigen Gesetzen wird auch die Verwertung (Verarbeitung) als Beseitigungsform namentlich angeführt.

In diesem Zusammenhange ist auch die Frage nach der Zweckmäßigkeit oder Zulässigkeit von Einzelanlagen oder von zentralen Anlagen für die Abfallbeseitigung zu stellen. Nach den Gesetzen ist jede der beiden Anlage-Arten möglich. Die diesbezügliche Entscheidung wurde den Gemeinden überlassen. Diese gesetzliche Regelung ergibt sich aus der Struktur der Rechtsordnung, die einerseits auf dem bundesstaatlichen Prinzip beruht und andererseits den eigenen Wirkungsbereich der Gemeinden berücksichtigt.

In der Praxis werden sich allerdings die Lösungen in Richtung gemeinsamer Anlagen - also eine zentrale Anlage für ein bestimmtes Einzugsgebiet - aus Gründen der Standortvoraussetzungen und der Kosten entwickeln. Allerdings sind als nicht zu übersehende Momente in diesem Bereiche die Raumordnungsgrundsätze der in den einzelnen Ländern bestehenden Raumordnungsgesetze zu erwähnen. Die Standorte der Abfallbeseitigungsanlagen müssen nämlich als solche in den Flächenwidmungs- und Bebauungsplänen ausgewiesen werden.

#### 4) Zur "Beseitigung von Sondermüll"

Die meisten Landesgesetze enthalten gesonderte Vorschriften für die Beseitigung von Sondermüll. Diese Regelung ergibt sich aus der Besonderheit, die eine ordnungsgemäße Beseitigung des Sondermülls erfordert. Als Besonderheit ist auch zu erwähnen, daß der Sondermüll üblicherweise nicht in den Haushalten anfällt. Daraus ist auch verständlich, daß für die Beseitigung des Sondermülls der Eigentümer des Grundstückes, auf dem der Sondermüll anfällt, verpflichtet ist.

Die umweltschützende Form der Sondermüllbeseitigung ist in der Tat eine Sachfrage, die von den Sachverständigen im Einzelfall zu prüfen und zu beurteilen ist. Hier werden es wiederum die Standortvoraussetzungen und die Kosten sein, die für leistungsstarke Zentralanlagen für bestimmte Einzugsgebiete und Sondermüllarten sprechen. Diesbezüglich beschränken sich die Landesgesetze auf generelle Vorschriften. Das Land Wien hat ein eigenes Sondermüllgesetz konzipiert und den Verfassungsgerichtshof um die Entscheidung in der Zuständigkeit angerufen. Dieses Erkenntnis wird mit großem Interesse erwartet.

Auf dem Gebiete des Sondermülls wird auch die Frage nach der Verwertbarkeit und Verwertung zumindest einzelner Sondermüllarten - wie Wracks, Öle, Chemikalien etc. - eine stärkere Beachtung finden müssen. Jedenfalls ist keine gesetzliche Vorschrift vorhanden, die eine Verwertung der Abfallstoffe nicht zulassen würde. Die Verwertung von Abfallstoffen ist vordergründig, also kein rechtliches Anliegen. Die wirtschaftlichen, technischen oder organisatorischen Fragen der Verwertung von Abfallstoffen gehören nicht zum Thema dieses Vortrages.

Daß die gewerblich geführten Anlagen zur Abfallverwertung auch der Bewilligung der Gewerbebehörde nach den Vorschriften der Gewerbeordnung 1973 bedürfen, sei der Vollständigkeit halber erwähnt. Wird eine Verwertungsanlage von einer Gebietskörperschaft als nicht gewerblich betrieben werden, ist hierfür die im Abfall/Müllgesetz allenfalls vorgeschriebene Bewilligung erforderlich.

5) Zum "Abfall in gewerblichen Betrieben"

Der in den gewerblichen/industriellen Betrieben anfallende Abfall wird in den Landesgesetzen als Sondermüll erklärt, dessen ordnungsgemäße Beseitigung dem Betriebseigentümer obliegt. Diese Verpflichtung kann im Verträge auch dem Pächter übertragen werden.

Die ordnungsgemäße Beseitigung dieses Gewerbe-/Industrieabfalles kann auch von der Gewerbebehörde im Rahmen des Anlagen-Genehmigungsverfahrens miterfaßt werden, weil der Abfall aus dem Betriebe der Anlage stammt.

6) Zum "Abfall in landwirtschaftlichen Betrieben"

Als solcher Abfall ist vor allem der in den Viehstallungen anfallende Mist zu verstehen, der üblicherweise in eigenen Anlagen gesammelt (kompostiert) und für Düngezwecke auf den Grundflächen aufgebracht wird. Diese ausschließlich der landwirtschaftlichen Verwertung dienende Sammlung und Verwertung des Mistes ist vom Standpunkt des Abfallrechtes nicht zu erfassen und daher wird dieser Mist in den Landesgesetzen auch nicht als Abfall erklärt. Selbstredend darf die Düngersammelstätte nicht den Vorschriften des WRG. hinsichtlich des Gewässerschutzes widersprechen.

Anders stellt sich die Mistfrage für Stallungen, die nicht mit der Landwirtschaft in Verbindung stehen, z. B. Reitpferdställe, Tierhaltungsställe usw. Der in diesen Stallungen anfallende Mist wird daher als Sondermüll qualifiziert, dessen ordnungsgemäße Beseitigung dem Eigentümer obliegt.

7) Zum "Abfall aus Schlachthäusern usw."

Kadaver, Konfiskate sowie Schlacht- und Metzgereiabfälle werden in den Abfallgesetzen nicht als "Abfälle" erklärt, weil für deren ordnungsgemäße Beseitigung die einschlägigen Vorschriften des Tierseuchengesetzes, der Vollzugsanweisung für die Verwertung von Gegenständen animalischer Herkunft in Tierkörperverwertungsanstalten (Tierkörperverwertung), StGBI. Nr. 241/1919, maßgebend sind und der Abdecker weiterhin als konzessioniertes Gewerbe nach § 254 GewO 1973 besteht.

8) Zum "Schlamm aus Abwasserkläranlagen und Senkgrubeninhalt"

Die den häuslichen Abwässern entnommenen Stoffe, die nach Trocknung nicht mehr flüssig sind, werden in den Abfall/Müllgesetzen der Länder als Sondermüll eingestuft, dessen Beseitigung dem Liegenschaftseigentümer obliegt.

Es ist durchaus möglich, daß die Wasserrechtsbehörde anlässlich des Bewilligungsverfahrens für Abwasserbeseitigungsanlagen Vorschreibungen zur Behandlung und Verwertung des abgesonderten Schlammes macht. Dieser verfahrensrechtlich durchaus möglichen Vorgangsweise standen und stehen praktische Schwierigkeiten, wohin der Schlamm tatsächlich in unschädlicher Weise gegeben werden kann, entgegen.

Die in letzter Zeit von der Sachverständigenseite aufgezeigte Möglichkeit, den Schlamm und die Senkgrubeninhalte - wenn auch nach entsprechender Aufbereitung - gemeinsam mit dem Hausmüll verarbeiten zu können, kann nur als willkommene Lösung dieser komplexen Abfallmaterie begrüßt werden.

9) Zu den "Verboten", "Pflichten" und "Zwangsrechten" im Abfallrecht

Die Durchführung der Abfall/Müllgesetze erfordert auch bestimmte behördliche Maßnahmen. Als solche sind insbesondere zu erwähnen:

a) Das Ablagerungsverbot für Abfälle:

Die meisten Abfallgesetze sprechen ein Verbot für die Ablagerung von Abfällen außerhalb der öffentlichen Müllbeseitigungsanlagen aus und die Übertretung dieses Verbotes ist unter Strafe gestellt.

b) Abfall/Müllbeseitigungsverpflichtungen:

Die Abfallgesetze verpflichten jede Person, den von ihr verursachten oder erzeugten Abfall/Müll nach den Vorschriften dieser Gesetze abzugeben und zu beseitigen. Die Gemeinden werden verpflichtet, die öffentliche Müllabfuhr und Beseitigungsanlagen zu errichten, zu erhalten und zu betreiben.

c) Pflichtbereich:

Die Abfallgesetze sehen einen Pflichtbereich vor, dessen Ausdehnung

die Gemeinde festzulegen hat. Die in diesem Pflichtbereich gelegenen Liegenschaften sind bezüglich der Haus- und Sperrmüllabfuhr an die "öffentliche Müllabfuhr" zwangsweise angeschlossen, d. h. die Bewohner dieser Liegenschaften sind verpflichtet, den Haus- und Sperrmüll im Wege der öffentlichen Müllabfuhr beseitigen zu lassen.

Die Liegenschaftseigentümer bzw. Personen außerhalb des Pflichtbereiches haben ihre Abfälle im Sinne der gesetzlichen Vorschriften selbst ordnungsgemäß zu sammeln und auf ihre Kosten zum öffentlichen Müllbeseitigungsplatz zu bringen.

d) Enteignung:

Einige Landesgesetze haben die Enteignung der für die öffentliche Abfallbeseitigungsanlage erforderlichen Grundflächen vorgesehen und das hiefür notwendige Verfahren geregelt.

e) Kosten- und Gebührenpflichten:

Die Aufbringung der Entgelte für die Kosten der öffentlichen Müllabfuhr und der öffentlichen Abfallbeseitigung ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. Die meisten Regelungen sind nach den Vorschriften des Bundes-Finanzverfassungsgesetzes 1948 und des Finanzausgleichsgesetzes ausgerichtet, das heißt, daß die Gemeinden die Müllbeseitigungsgebühren mit eigenen Gebührenordnungen festlegen können.

f) Anzeigepflicht:

Die Eigentümer der im Pflichtbereich gelegenen Grundstücke haben innerhalb einer bestimmten Frist einen allfälligen Eigentumswechsel der Gemeinde anzuzeigen.

10) Zum "Eigentum am Abfall/Müll"

- a) Werden bewegliche Gegenstände (Abfälle) in der Absicht und mit dem Willen weggeworfen (abgelagert), diese nicht mehr haben zu wollen, werden diese als "herrenlose Güter" für die Aneignung durch jede Person frei (§ 386 ABGB.). Über diese "freistehenden" Sachen kann also der Eigentümer des Grundstückes, auf dem diese Sachen (Abfälle) abgelagert werden, verfügen. In den meisten Fällen heißt dies: weg-schaffen.

- b) In den Abfall/Müllgesetzen ist geregelt, daß der abgegebene Abfall (Müll) mit der Übernahme von der öffentlichen Müllabfuhr oder von der Beseitigungsanlage in das Eigentum der Gemeinde übergeht. Ausgenommen sind Wertgegenstände, die der Eigentümer (Inhaber) nicht in den Mülleimer werfen wollte.
- c) Das Eigentumsrecht an Abfällen kann auch durch Vertrag (Kauf, Tausch, Schenkung) weitergegeben werden.

11) Zu den "Beseitigungsplänen für Abfälle"

Aus vielerlei Gründen, insbesondere der Standortvoraussetzungen und Kosten, sind die einzelnen Gemeinden nicht in der Lage, für eine ordnungsgemäße Einrichtung der Müllabfuhr und der Müllbeseitigung aufzukommen. Für diese Fälle können Gemeindeverbände gegründet werden.

Neben dieser organisatorischen Frage der Trägerschaft sind es auch sachliche und wirtschaftliche Überlegungen, die zur Erstellung von Konzepten für die Erfassung und Beseitigung des in einem Lande anfallenden Haus-, Sperr- oder Sondermülls führen.

Diese Konzepte für die Beseitigungspläne erfolgen wegen der überörtlichen Bedeutung derselben meist auf Länderebene in Abstimmung auf die sonstigen raumbedeutsamen Maßnahmen. Diese Pläne sind Hilfeleistungen an die Gemeinden, die von jenen Gemeinden auch widerspruchlos angenommen werden, die nicht als Standortgemeinde in Betracht kommen. Für die Standortgemeinde selbst ergeben sich fast immer Schwierigkeiten, weil den sog. Bürgerinitiativen mit den Sachfragen alleine nicht immer entgegengetreten werden kann.

Ein wirksamer Umweltschutz erfordert seine gesetzlichen Regelungen. Für den Sachbereich der Abfälle konnte ich nur einige Rechtsfragen nach den genannten Landesgesetzen aufzeigen. Die tägliche Befassung mit den Abfallfragen bringt immer wieder konkrete rechtliche Detailfragen hervor, deren Lösungen auch nur bescheidene Beiträge zum Schutze der Umwelt sein können.

Dr. Erich Schäfer

## Konzept einer geordneten Abfallwirtschaft in Österreich

### Müllerhebung 1973

Das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen hat bald nach seiner Gründung im Jahre 1973 mit den Arbeiten an einer Studie begonnen, die am 6. August 1974 unter dem Titel "Müllerhebung 1973" anlässlich einer Pressekonferenz im Bundeskanzleramt der Öffentlichkeit übergeben wurde. Grundlage für diese Studie waren Erhebungsbogen, die der Österreichische Städtebund und der Österreichische Gemeindebund im Frühjahr 1973 an alle im Kennziffernschlüssel des Statistischen Zentralamtes enthaltenen Gemeinden ausgesendet hatte. Es mußte eine Nachfaßaktion durchgeführt werden, so daß die Erhebungen erst im Dezember 1973 abgeschlossen werden konnten:

Erhoben wurden insbesondere:

- o allgemeine Daten, wie etwa Gemeindegröße und Einwohnerzahl;
- o der Müllanfall;
- o die Organisation der Müllabfuhr, die Art der benutzten Müllgefäße und Müllfahrzeuge, Anschlußzwang, Gebühreneinhebung, Kostendeckung;
- o die Art der Müllbeseitigung und
- o die Dauer der Benutzbarkeit der vorhandenen Anlagen.

Die Ergebnisse dieser Erhebungsaktion und deren Auswertung sind aus der erwähnten Studie des Österreichischen Bundesinstitutes für Gesundheitswesen bekannt. Ich will aber doch einige Zahlen ins Gedächtnis rufen:

- o Von insgesamt 2.414 Gemeinden konnten 2.041 erfaßt werden, das entspricht einer Rate von 84,6 %.
- o Von den 2.041 erfaßten Gemeinden hatten zum Zeitpunkt der Erhebung 1.238 eine Müllabfuhr, das entspricht einem Prozentsatz von 60,7 %; fast 40 % der Gemeinden hatten also keine Müllabfuhr.

- o Rund 18 % der Wohnbevölkerung hatten überhaupt keinen Anschluß an eine organisierte Müllabfuhr.
- o Rund 43 % der Gemeinden mit Müllabfuhr führten Müllsammlung und -transport selbst durch. Nur 7 % der Gemeinden hatten sich zur Müllabfuhr zu einem Gemeindeverband zusammengeschlossen. Der Rest der Gemeinden hatte Privatunternehmen mit der Müllabfuhr betraut.
- o In den Gemeinden mit Müllabfuhr (ohne Wien) wurden zu 56 % offene Wagen für die Abfuhr eingesetzt.
- o Der durchschnittliche Müllanfall pro Einwohner, der stark von der Gemeindegröße abhängig ist, betrug - auf ganz Österreich bezogen - 179,3 kg im Jahr. Er betrug ca. 110 kg in Kleinstgemeinden und 244 kg in Wien.
- o Vom gesamten Hausmüllanfall in Österreich wurden rund 74 % deponiert, rund 24 % verbrannt und rund 2 % kompostiert.
- o Wenn man von Wien absieht, benutzten 99,3 % der Gemeinden zur Müllbeseitigung Deponien.
- o Nach den Angaben der Gemeinden hatten rund 45 % unregelmäßige Deponien, rund 43 % geringfügig geregelte Deponien und rund 10 % weitgehend geregelte Deponien.
- o Nur 1,3 % der Gemeinden betrieben Deponien, die den Anforderungen des Umweltschutzes entsprechen.
- o Nur in etwa der Hälfte der Gemeinden (48,8 %) ist das Deponiegelände behördlich genehmigt.
- o Nur in rund der Hälfte der Gemeinden (49 %) war der Grundwasserspiegel bekannt.
- o Rund 13 % der Gemeinden bezeichneten den Abstand der Deponiefläche zum Grundwasserspiegel mit weniger als 2 m.
- o Die Frage nach dem Vorhandensein eines Kontrollbrunnens wurde nur von rund 6 % der Gemeinden mit Deponien positiv beantwortet.

Die Müllhebung 1973 erfaßte ausschließlich den Haus- und Siedlungsmüll. Der steigende Anfall von Sonderabfall war nicht Gegenstand dieser Erhebung. Dennoch gibt die Müllhebung 1973 auch heute noch den besten Überblick über die Situation der Müllabfuhr und Müllbeseitigung in Österreich. Sie hat der Öffent-

lichkeit erstmals durch Zahlen vor Augen geführt, daß der Haus- und Siedlungsmüll zum weitaus überwiegenden Teil ohne besondere hygienischen Vorkehrungen im Sinne des Umweltschutzes und ohne Rücksicht auf die Erfordernisse des Landschaftsschutzes meist völlig ungeordnet abgelagert wird.

Gewiß werden die Anstrengungen, die insbesondere die Gemeinden und die Länder seither unternommen haben, zu einer leichten Besserung der auf Grund der Müllhebung 1973 dargestellten Verhältnisse geführt haben. Nicht alle der zitierten Zahlen bezüglich der Einrichtungen der Müllabfuhr und Müllbeseitigung werden heute noch stimmen. Andererseits ist aber auch der Müllanfall gestiegen, so daß das Bild, das die Müllhebung 1973 vermittelt, im wesentlichen auch heute noch der Situation entspricht.

Jeder Planung muß eine Bestandsaufnahme vorausgehen. Mit der Müllhebung 1973 wurde der gegenwärtige Stand der Müllabfuhr und Müllbeseitigung im gesamten Bundesgebiet analysiert. Schon in dieser Studie wurde zum Ausdruck gebracht, daß der nächste Schritt konsequenterweise die Erarbeitung eines gesamtösterreichischen Müllkonzeptes wäre. Dabei wurde auch der Gedanke geäußert, Grundlagen für einen Müllbeseitigungsfonds zu schaffen, an dem sowohl die Länder als auch der Bund beteiligt sein sollen. Dieser Fonds sollte durch gezielte Investitionsförderung einen rascheren Ausbau zentraler und umweltfreundlicher Abfallbeseitigungsanlagen herbeiführen und dazu beitragen, die unzähligen ungeordneten Müllgruben zum Verschwinden zu bringen. Daß sich das Gesundheits- und Umweltschutzressort dieser Fragen angenommen hat, ist angesichts der Gesundheitsbedrohung, die von solchen Gruben ausgeht, begründet und erfreulich. Darüber, wie weit dem Bund und insbesondere dem Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz auf diesem Gebiet eine Kompetenz zukommt, will ich heute noch reden.

#### Nächster Schritt - Rahmenkonzept

Am 17. Juli 1975 erteilte das Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz dem Österreichischen Bundesinstitut für Gesund-

heitswesen den Auftrag, ein "Gesamtösterreichisches Rahmenkonzept für die Abfallbeseitigung" auszuarbeiten. Dieses Konzept sollte sich insbesondere mit folgenden Angelegenheiten befassen:

- o Müllanfall nach Art und Menge,
- o Prognose über den künftigen Müllanfall,
- o Müllsammlung und Mülltransport,
- o Feststellung bestehender, geplanter oder zu planender Müllsammel- und Müllbeseitigungsbereiche,
- o Arten der Abfallbeseitigung,
- o Abfallbeseitigungsanlagen und -einrichtungen in Österreich,
- o künftige Entwicklung der Abfallbeseitigung,
- o Feststellung bestehender, geplanter oder zu planender Standorte für Beseitigungsanlagen
- o Anlagenkonzept für Sonderabfallbeseitigung,
- o Abstimmung der Planungen,
- o Kostenschätzung zur Durchführung des Planungskonzeptes
- o Folgerungen.

Das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen hat inzwischen die erste Fassung eines solchen gesamtösterreichischen Rahmenkonzeptes für die Abfallbeseitigung im wesentlichen fertiggestellt. Derzeit wird dieses Konzept für den bevorstehenden Druck überarbeitet. Es soll noch im Frühjahr dieses Jahres dem Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz übergeben und veröffentlicht werden. Ich bitte um Verständnis dafür, daß ich heute Einzelheiten dieses Konzeptes nicht vortragen kann, zumal sich das Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz die Veröffentlichung vorbehalten hat. Es gibt zu diesem Thema dennoch genug zu sagen.

### Rechtslage

Zunächst ist festzuhalten, daß jedes Konzept für die Abfallbeseitigung von der bestehenden Rechtslage, insbesondere von der gegenwärtigen Kompetenzverteilung, ausgehen muß, selbst wenn es deren Änderung anstreben sollte. Vorwegnehmen möchte ich, daß das von uns erarbeitete Konzept nicht auf eine Änderung der

Kompetenzverteilung abzielt. Die aus unserer Arbeit zu ziehenden Konsequenzen bleiben den nach der gegenwärtigen Rechtslage zuständigen Entscheidungsträgern überlassen. Zu diesen Konsequenzen gehört allerdings auch die Beantwortung aller Fragen, die dahin zielen, ob angesichts aufgezeigter Unzulänglichkeiten Rechtsvorschriften geändert werden sollen.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich bitte zunächst etwas zur Verfassungsrechtslage sagen:

### Kompetenzverteilung

Dem Kompetenzkatalog der Artikel 10 bis 12 B-VG ist ein Tatbestand "Abfallbeseitigung" fremd. Im Sinne der vom Verfassungsgerichtshof entwickelten Rechtssprechung kann daraus jedoch nicht von vornherein abgeleitet werden, daß die Angelegenheiten der Abfallbeseitigung gemäß Artikel 15 Abs. 1 B-VG in die Zuständigkeit der Länder fallen würden. Vom kompetenzrechtlichen Standpunkt handelt es sich dabei - ähnlich wie das der Verfassungsgerichtshof hinsichtlich des Begriffes "Raumordnung" festgelegt hat und ähnlich wie das nach herrschender Auffassung auch für den Begriff "Umweltschutz" gilt - um einen sogenannten "komplexen" Begriff, der eine Summe verschiedenartiger normativer Festlegungen umfaßt, die auf verschiedenen Verwaltungsgebieten wirksam sind. Die Zuständigkeit zu diesen normativen Festlegungen ergibt sich demgemäß als Ausfluß der Zuständigkeit zur Regelung der jeweiligen Verwaltungsmaterie. Innerhalb der solcherart abgesteckten Grenzen sind sowohl der Bund als auch die Länder zuständig, Regelungen auf dem Gebiet der Abfallbeseitigung zu erlassen.

Für die Zuständigkeit des Bundes auf dem Gebiet der Abfallbeseitigung kommen insbesondere folgende Kompetenztatbestände in Betracht:

- o Angelegenheiten des Gewerbes und der Industrie
- o Wasserrecht
- o Gesundheitswesen
- o Veterinärwesen
- o Bergbauwesen
- o Waffen-, Munition- und Sprengmittelwesen.

Für die Interpretation der Kompetenztatbestände gilt die Versteinerungstheorie. Das heißt, daß für den Inhalt der Kompetenzbegriffe der Inhalt der Rechtsordnung nach dem Stand vom 1. Oktober 1925 bestimmend ist. An diesem Versteinerungstichtag fielen "alle gewerbsmäßig betriebenen Beschäftigungen" in den Anwendungsbereich der damaligen Gewerbeordnung. Daher ist die gewerbsmäßig betriebene Abfuhr und Beseitigung von Abfällen grundsätzlich dem Tatbestand "Angelegenheiten des Gewerbes und der Industrie" zuzuordnen.

Soweit im Rahmen eines Gewerbeunternehmens Abfälle entstehen, besteht zwischen deren Anfall und der gewerblichen Tätigkeit ein untrennbarer Zusammenhang. Die Bundesgesetzgebung kann daher - nach Auffassung des Verfassungsdienstes des Bundeskanzleramtes - im Hinblick auf den Kompetenztatbestand "Angelegenheiten des Gewerbes und der Industrie" im Sinne des Art. 10 Abs. 1 Z.8. B-VG gewerbepolizeiliche Regelungen über die Abfuhr und die Beseitigung solcher Abfallstoffe treffen.

Was den Tatbestand "Wasser" anbelangt, so sei auf das Kompetenzfeststellungserkenntnis des Verfassungsgerichtshofes SLG Nr. 4387/1963 hingewiesen, nach dem der für die Subsumtion unter den Kompetenztatbestand "Wasserrecht" maßgebende Gesichtspunkt in der Einwirkung von Maßnahmen auf fremde Privatgewässer und auf öffentliche Gewässer liegt.

Für die Auslegung des Kompetenztatbestandes "Gesundheitswesen" sind im Sinne der "Versteinerungstheorie" vor allem die Kundmachung des Gesamtministeriums betreffend die Errichtung des Ministeriums für Volksgesundheit vom 8. August 1918, RGBl. Nr. 297 sowie der § 1 des Reichssanitätsgesetzes, RGBl. Nr. 68/1870 heranzuziehen. Demnach fallen unter den Kompetenztatbestand "Gesundheitswesen" die unter dem Gesichtspunkt der Abwehr von Gefahren für den allgemeinen Gesundheitszustand der Bevölkerung getroffenen Regelungen. Näheres geht aus dem Kompetenzfeststellungserkenntnis des Verfassungsgerichtshofes SLG. Nr. 3650/1959 betreffend die Zuständigkeit auf dem Gebiet des Strahlenschutzes und dem Kompetenzfeststellungserkenntnis betreffend Wohnhygiene hervor.

Die Erlassung von Bestimmungen, die die Abfuhr und die Beseitigung von Abfallstoffen betreffen und mit denen Maßnahmen zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten angeordnet werden, fallen sohin im Hinblick auf den Kompetenztatbestand "Gesundheitswesen" in die Zuständigkeit des Bundes.

Nach Punkt III der Anlage zu der erwähnten Kundmachung RGBl. Nr. 297/1918 fielen in den Wirkungskreis des Ministeriums für Volksgesundheit Maßnahmen auf dem Gebiet der Hygiene der Städte (Gemeinden) und zwar insbesondere auf dem Gebiet der Beseitigung der Abwässer und Abfallstoffe sowie der Müllbeseitigung. Demnach gehören Regelungen, die sich auf die Beseitigung der Abwässer und Abfallstoffe sowie auf die Müllbeseitigung beziehen, zum Kompetenztatbestand "Gesundheitswesen", wenn bei solchen Regelungen der Gesichtspunkt der Volksgesundheit inhaltlich bestimmend im Vordergrund steht.

Gleiche Überlegungen gelten im Hinblick auf den Punkt X der Anlage zu der erwähnten Kundmachung RGBl. Nr. 297/1918 für die Regelung der Beseitigung von Gift.

Inwieweit die Regelung der Abfuhr und Beseitigung von Schlachtabfällen zum selbständigen Wirkungsbereich der Länder oder zum Kompetenztatbestand "Veterinärwesen" gehört, ist im Sinne der "Versteinerungstheorie" nach dem Tierseuchengesetz StGBI. 241/1919 zu beurteilen. Insbesondere der Betrieb von Tierkörperverwertungsanstalten, dessen Überwachung sowie Regelungen, die sich auf die Verpflichtung zur Beseitigung und deren veterinärpolizeiliche Überwachung beziehen, gehören demnach zum Kompetenztatbestand "Veterinärwesen" und sind von der Kompetenz der Landesgesetzgebung und -vollziehung ausgenommen.

Zum Kompetenztatbestand "Bergbauwesen" gehören insbesondere die Regelungen, die sich mit den im Rahmen des Bergbaubetriebes anfallenden Abfällen befassen. Die Regelung der Beseitigung von Sprengmitteln gehört zum Kompetenztatbestand "Waffen-, Munition- und Sprengmittelwesen".

Nur soweit eine Zuordnung zu Kompetenztatbeständen des Artikel 10 B-VG nicht möglich ist, fällt die Abfuhr und Beseitigung von Abfallstoffen in die Landeskompetenz. Behördliche Aufgaben in

Regelungen, die unter dem Gesichtspunkt der Müllabfuhr stehen, haben nach herkömmlicher Auffassung im Hinblick auf die Kriterien der Interessenslage und der Eignung im Sinne des Art. 118 Abs. 2 örtlichen Charakter. Sie fallen sohin in den eigenen Wirkungsbereich der Gemeinde. Ob die herkömmliche Auffassung heute noch zutreffend ist, sollte meines Erachtens überprüft werden.

Was zeigt dieser Überblick über die Verfassungsrechtslage hinsichtlich der Möglichkeit, zu einem gesamtösterreichischen Rahmenkonzept für die Abfallbeseitigung zu gelangen?

Zunächst ist festzuhalten, daß es keine einheitliche Kompetenz für die Abfallbeseitigung gibt und daß der Schwerpunkt der Zuständigkeit zur Regelung der Müllabfuhr und Müllbeseitigung zweifellos bei den Ländern liegt. Der Überblick zeigt aber auch, wie schwierig die Kompetenzabgrenzung ist. Diese Schwierigkeit hat unter anderem dazu geführt, daß das Amt der Wiener Landesregierung an den Verfassungsgerichtshof den Antrag gerichtet hat, festzustellen, ob der Entwurf eines Gesetzes über die unschädliche Beseitigung gefährlicher Abfälle (Wiener Sonderabfallgesetz) in die Gesetzgebungszuständigkeit des Bundes oder der Länder fällt. Dieses Kompetenzfeststellungsverfahren ist derzeit noch anhängig. Von seinem Ausgang wird es abhängen, von wem und wie künftig schon heute anstehende Probleme der Sammlung, Abfuhr und Beseitigung von Sonderabfällen geregelt werden.

Die Zersplitterung der Kompetenzen, die Schwierigkeiten der Kompetenzabgrenzung und die in diesem Zusammenhang noch anhängigen Fragen erschweren zweifellos eine auf das gesamte Bundesgebiet gerichtete Planung. Erstellung und Verwirklichung eines gesamtösterreichischen Rahmenkonzeptes für die Abfallbeseitigung werden dadurch aber nicht unmöglich. Aus der dargelegten Verfassungsrechtslage ergab sich allerdings die Notwendigkeit, zunächst die einzelnen Landesgesetze, die sich mit der Sammlung, Abfuhr und Beseitigung von Abfällen (Müll) befassen, zu sichten und die darauf beruhenden Planungsvorhaben der Länder zu studieren. Zu diesem Zweck wurde im Österreichischen Bundesinstitut für Ge-

sundheitswesen eine komparative Studie über die einschlägigen geltenden Landesgesetze erstellt, die gleichfalls im Frühjahr dieses Jahres veröffentlicht werden soll. Sodann sind wir nach Gesprächen mit den zuständigen Landesbeamten aller Bundesländer und nach dem Studium der im Auftrag der Landesregierungen oft von Zivilingenieurbüros oder anderen Experten ausgearbeiteten Planungsgrundlagen darangegangen, das wesentliche der vorhandenen Abfuhr- und Beseitigungspläne der Länder in unserer Studie darzustellen. Bevor ich nun etwas zu den Planungen der Länder sage, möchte ich doch noch kurz über den Stand der Landesgesetzgebung auf dem Gebiet der Müllabfuhr und Müllbeseitigung sprechen.

### Landesgesetze

Seit mit Beginn der siebziger Jahre auch in Österreich ein neues starkes Umweltbewußtsein entstand, haben sieben von den neun Bundesländern neue Abfallgesetze erlassen. In fünf Bundesländern erfolgte die Erlassung dieser Gesetze nach der vom Österreichischen Städtebund und Österreichischen Gemeindebund eingeleiteten Erhebungsaktion, deren Ergebnisse vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen ausgewertet und als Müllhebung 1973 veröffentlicht wurden. Nur die geltenden Abfallgesetze von Kärnten und Wien stammen aus den sechziger Jahren.

Obwohl die Landesgesetze zum größten Teil ungefähr zur selben Zeit erlassen wurden, unterscheiden sie sich sehr wesentlich voneinander. Das gilt insbesondere für ihre Terminologie. Begriffe wie Abfall, Müll, Hausmüll, Sperrmüll, Gewerbe-, Industrie- und Sondermüll, Sonderabfall werden oft in sehr unterschiedlicher Bedeutung verwendet.

Aber auch der sachliche Geltungsbereich der Landesgesetze ist sehr unterschiedlich. Die "Müllbeseitigung" wird im Wiener "Müllabfuhrgesetz 1965" nicht einmal erwähnt und ist auch im Kärntner "Müllabfuhrgesetz" nicht geregelt. Einzelne Gesetze, wie die von Wien und Niederösterreich, kennen nur den Hausmüll, die übrigen Abfallarten werden nicht angeführt. Sperrige

Gegenstände gelten in Wien, Niederösterreich und Kärnten nicht als Müll. Die Gesetze dieser Länder kennen auch nicht den Begriff "Sondermüll" oder "Sonderabfall".

Rückstände flüssiger Brenn- und Kraftstoffe auf Mineralölbasis sowie Rückstände von Rohöl und alle mit diesen Abfällen durchsetzten Stoffe sind in Salzburg, Wien und Niederösterreich nicht Müll, gehören jedoch in Vorarlberg, Burgenland, Oberösterreich und Tirol zumindest teilweise (Altöl) zum Sondermüll. In Salzburg und Tirol zählen zum Sondermüll auch "Erde, Schlamm, Schnee und Eis". Bauschutt ist Sondermüll in Vorarlberg, Burgenland und Oberösterreich, aber nicht Müll im Sinne des Gesetzes in Kärnten und Niederösterreich.

Eine Verpflichtung der Gemeinden, den Müll abzuführen, enthalten alle Landesgesetze, bis auf das Landesgesetz von Kärnten. Im "NÖ Müllbeseitigungsgesetz" ist die Verpflichtung der Gemeinde, für die Abfuhr des Mülls zu sorgen, allerdings so formuliert, daß sie nur Gemeinden trifft, in denen schon eine Müllabfuhr eingerichtet ist. Die Verpflichtung zur Müllabfuhr besteht in Wien, Kärnten und Niederösterreich nur für den Hausmüll, nicht aber für Sperrmüll und Sondermüll. In Vorarlberg besteht hingegen diese Verpflichtung für Hausmüll, Sperrmüll und Sondermüll. In den Gesetzen von Oberösterreich, Burgenland, Vorarlberg, Steiermark und Tirol erstreckt sich die Verpflichtung zur Abfuhr auf Hausmüll und Sperrmüll, also nicht auf Sonderabfall.

Der Anschlußzwang an die öffentliche Müllabfuhr ist zwar grundsätzlich in allen Landesgesetzen vorgesehen, doch werden die Ausnahmen vom Anschlußzwang sehr unterschiedlich festgelegt.

In einer Reihe von Landesgesetzen wird davon ausgegangen, daß die Termine für die Abholung des Mülls so zu erstellen sind, daß eine Überfüllung der Gefäße vermieden wird (z.B. Tirol, Steiermark, Oberösterreich). Das ist vom hygienischen Standpunkt nicht ausreichend. Lediglich das Oberösterreichische Landesgesetz enthält in diesem Zusammenhang einen Hinweis auf hygienische Aspekte. Das Wiener Gesetz sieht als einziges der Landesgesetze einen genauen Abholturnus vor. Danach erfolgt die Abholung des Mülls 52mal im

Jahr, also wöchentlich einmal. Auch hinsichtlich der Sammelgefäße bestehen in den einzelnen Ländern unterschiedliche Regelungen. Verschiedene Auffassungen haben die Landesgesetze über den Müll, der neben den Müllbehältern abgelagert wird. Das Oberösterreichische Landesgesetz verbietet das ausdrücklich, andere gestatten es unter bestimmten, aber unterschiedlich geregelten Voraussetzungen.

Nach manchen modernen Landesgesetzen (z.B. die von Steiermark und Vorarlberg) darf die Einrichtung von Beseitigungsanlagen nur auf Grund von Müllbeseitigungsplänen erfolgen, die auf Landesebene zu erstellen sind. Nach dem Kärntner Landesgesetz ist aber die Gemeinde verpflichtet, "vorzusorgen, daß für jedes Siedlungsgebiet geeignete Ablagerungsplätze in genügender Zahl und in erreichbarer Nähe bereitstehen".

Aber nicht nur das alte Kärntner Müllabfuhrgesetz aus dem Jahre 1962 sondern auch das moderne Niederösterreichische Müllbeseitigungsgesetz aus dem Jahr 1972 sieht keinen Plan für eine überörtliche Abfallbeseitigung vor.

Schon dieser kurze Streifzug durch die Rechtslandschaft der einschlägigen Landesgesetze zeigt deutlich, daß die Erstellung eines gesamtösterreichischen Konzeptes für die Abfallbeseitigung ein mühsames Unterfangen ist. Die Verwirklichung eines solchen Konzeptes wird aber zweifellos eine Vereinheitlichung der recht unterschiedlichen landesgesetzlichen Regelungen zur Voraussetzung haben. Dabei sollten die jeweils fortschrittlichsten Regelungen Vorbild sein.

### Kompetenzverschiebung oder Koordination

In der Bundesrepublik Deutschland ist man zu modernen, einheitlichen Regelungen der Abfallbeseitigung durch eine im Jahre 1972 vorgenommene Änderung des Grundgesetzes gekommen, die die Abfallbeseitigung in die Bundeskompetenz übertragen hat. Das Deutsche Abfallbeseitigungsgesetz vom 7. Juni 1972 hat für die gesamte Bundesrepublik Deutschland eine Neuordnung der Abfallbeseitigung gebracht. Nach dem Grundsatz, daß Abfall schadlos beseitigt werden muß, ist Abfallbeseitigung nur noch in besonderen genehmigten

Anlagen gestattet. Die Beseitigung obliegt grundsätzlich den von den Ländern zu bestimmenden Körperschaften, in der Regel Landkreisen und kreisfreien Städten. Mit Hilfe überörtlicher Abfallbeseitigungspläne sollen über die Gemeindegrenzen hinweg optimale Standorte für die Abfallbeseitigung gefunden werden. Damit will man unter Berücksichtigung des regionalen Abfallaufkommens zu wirtschaftlichen Anlagegrößen gelangen. Das Genehmigungsverfahren und die Überwachung der Abfallbeseitigung sollen die schadlose Beseitigung, die Verhütung nachwirkender Schäden und die "Rekultivierung", d.h. eine Wiedereinordnung der benützten Flächen in die Kulturlandschaft gewährleisten ("Umwelt" Nr. 24/1973). Das Bundesdeutsche Gesetz über Maßnahmen zur Sicherung der Altölbeseitigung (Altölgesetz vom 23. Dezember 1968) regelt die wirtschaftliche Sicherung der Altölbeseitigung durch einen "Rückstellfonds" des Bundes und die Überwachung des Verbleibens des Altöls.

In Österreich wurde zwar manchmal davon gesprochen, daß zur Regelung bestimmter Bereiche oder Probleme der Abfallbeseitigung eine Verfassungsänderung denkbar und wünschenswert wäre. Das Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz hat aber eine solche Verfassungsänderung bisher nicht angestrebt. Meines Erachtens wäre zwar eine Bundeskompetenz zur Regelung der Abfallbeseitigung vorteilhaft, doch nicht unbedingt erforderlich. Eine moderne, möglichst einheitliche Neuordnung der Abfallbeseitigung in Österreich ließe sich auch anders als durch eine Kompetenzverschiebung erreichen. So könnten beispielsweise die Bundesländer auf Grund des neuen Artikels 15a des Bundes-Verfassungsgesetzes untereinander Vereinbarungen zur Koordinierung der in ihren Wirkungsbereich fallenden Angelegenheiten der Abfallbeseitigung abschließen. Aber auch ohne Vereinbarungen nach Artikel 15a B-VG könnten die Länder durch Novellierung ihrer Abfallbeseitigungsgesetze und durch Schaffung aufeinander abgestimmter Abfallbeseitigungspläne dem Ziel einer den Erfordernissen des Umweltschutzes entsprechenden Neuordnung der Abfallbeseitigung näherkommen. Im Verhältnis zwischen den Ländern einerseits und dem Bund andererseits könnte gleichfalls der Abschluß von

Vereinbarungen dazu beitragen, ein gesamtösterreichisches Abfallbeseitigungskonzept zu verwirklichen, das sowohl neuzeitliche Pläne zur überörtlichen Beseitigung von Haus- und Sperrmüll als auch solche zur Beseitigung des Industrie- und Sonderabfalls enthält. Ich möchte nicht verschweigen, daß ich kein bedingungsloser Freund des Rechtsinstrumentes der Vereinbarung nach Artikel 15a B-VG bin. Insbesondere halte ich solche Vereinbarungen nach Artikel 15a B-VG zum Zweck der Begrenzung von Emissionen und Immissionen, wie sie von den Ländern im Zusammenhang mit dem vom Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz ausgearbeiteten Entwurf eines Umweltschutzgesetzes vorgeschlagen wurden, für völlig untauglich. Die zur Lärmbekämpfung, zur Bekämpfung von Luftverunreinigungen und zur Gewässerreinigung notwendigen Emissionslimitierungen müssen dem jeweiligen Stand der Technik entsprechen und erfordern daher eine Flexibilität, die nur gewährleistet ist, wenn eine solche Regelung auf Verordnungsebene erfolgt. Die an der Gesundheit und dem Wohlbefinden des Menschen orientierte Immissionslimitierung steht in einem untrennbaren Zusammenhang mit der Emissionsbegrenzung, auf die sie im Falle der Erreichung von Immissionsschwellwerten Rückwirkungen haben muß. Für einen solchen Regelungsmechanismus sind Vereinbarungen nach Artikel 15a B-VG, die wie politische Staatsverträge der Genehmigung des Nationalrates bedürfen und auf die die Grundsätze des Völkerrechtes Anwendung finden, ein zu schwerfälliges Instrument. Dazu kommt noch, daß - abgesehen von der Bundeskompetenz zur Festlegung von Normen - die Kompetenzen auf dem Gebiet des Wasserrechtes zur Gänze und auf den Gebieten der Luftreinigung und der Lärmbekämpfung zu einem großen Teil, sowohl hinsichtlich der Gesetzgebung als auch hinsichtlich der Vollziehung beim Bund liegen, und daher auch aus diesem Grund eine Bereitschaft des Bundes, zum Zwecke der Emissions- und Immissionslimitierung Vereinbarungen nach Artikel 15a B-VG abzuschließen, nicht zu erwarten ist. Anders sieht das aber auf dem Gebiet der Abfallbeseitigung aus, wo zwischen den Ländern einerseits und dem Bund andererseits nicht detaillierte, einer raschen Veränderung unterworfenen Regelungen zu treffen sind, sondern wo

eine Koordination von Begriffen, Zielen und Plänen erforderlich ist.

Bevor aber eine solche Koordination erfolgen kann, ist es erforderlich, nach einem Überblick über die Landesgesetze auch einen solchen über die Ziele, Vorstellungen und Planungen der Länder auf dem Gebiet der Abfallbeseitigung zu gewinnen.

### Abfallbeseitigungspläne der Länder

In den meisten Bundesländern existieren heute Müllbeseitigungspläne, die für das gesamte Land Bereiche für Müllsammlung und Müllbeseitigung vorsehen, wobei meist auch die Art der Beseitigung des Mülls festgelegt wird. Einige Müllbeseitigungspläne sehen bereits die Standorte für künftige Müllbeseitigungsanlagen und Umladestationen vor. Der Grad der Planung ist aber sehr unterschiedlich. Vielfach handelt es sich dabei mehr um theoretische Planvorstellungen, die ohne Rücksicht auf erforderliche Verhandlungen mit den Gemeinden und ohne Bedachtnahme auf notwendige wasserrechtliche Genehmigungsverfahren festgelegt wurden. In anderen Bundesländern hingegen, insbesondere in Oberösterreich, sind nach Absprachen mit Bürgermeistern schon sehr konkrete Planungen erarbeitet worden. Aber nicht nur in Oberösterreich, sondern in fast allen Bundesländern, werden heute Beseitigungsanlagen auf Grund eines überregionalen Konzeptes geplant oder gebaut.

In der Wahl der Beseitigungsart, der in Aussicht genommenen Transportentfernungen, der Müllfahrzeuge und der Zahl der Umladestationen kommen allerdings recht unterschiedliche Auffassungen zum Ausdruck. Soweit die Bundesländer Abfallbeseitigungspläne entwickelt haben, halten sich diese im allgemeinen genau an die Grenzen des betreffenden Bundeslandes, obwohl es eine Reihe von Gebieten gibt, die vom benachbarten Bundesland günstiger zu entsorgen wären. Die Wahl der Methoden der Müllbeseitigung erfolgt nicht immer mit der gebotenen Unvoreingenommenheit und ist oft einseitig ausgerichtet.

## Arten der Abfallbeseitigung

Zumindest für die nächsten fünf Jahre kommen im wesentlichen nur drei Methoden der Müllbeseitigung in Betracht: die Deponie, die Müllkompostierung und die Müllverbrennung. Dabei ist zu beachten, daß es zwei Arten einer geordneten Deponie gibt, die Verdichtungsdeponie und die Rottedeponie. Die aus der Verkokung in Gaswerken hervorgegangene Pyrolyse kann als Verfahren zur Reduktion des Abfallvolumens eingesetzt werden. Obwohl bereits Versuchsanlagen mit Siedlungsabfällen betrieben werden, kommt dieses Verfahren für die in den nächsten Jahren zu verwirklichenden Abfallbeseitigungskonzepte wohl noch nicht in Betracht.

### Deponie

In einem Problemerkatalog des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz, der den Mitgliedern der Eidgenössischen Kommission für Abfallwirtschaft ausgehändigt wurde, finden sich zwei Sätze, die Fachleuten als Binsenweisheit erscheinen werden. Dennoch will ich sie zitieren, weil eben diese Binsenweisheit in Vergessenheit zu geraten scheint: "Die geordnete Deponie ist ein unerläßlicher Bestandteil in jedem Beseitigungskonzept für Siedlungsabfälle, unabhängig davon, welche Verfahren der Abfallbehandlung gewählt werden. Wieviel Deponievolumen verbraucht wird, hängt vom gewählten Behandlungsverfahren ab (Verbrennung, Kompostierung)". Der Bedarf an Deponievolumen ist am größten, wenn die Abfälle ohne vorhergehende Behandlung abgelagert werden. Direktes Deponieren gilt aber heute durchaus als taugliches Mittel zur schadlosen Beseitigung von Siedlungsabfällen. Wo geeignetes Gelände zur Verfügung steht, ist dieses Verfahren meist die billigste Alternative. Doch werden die Kosten für eine Verdichtungsdeponie oft zu gering geschätzt. Prof. Schenkel vom Umweltbundesamt in Berlin hat am 15. Dezember 1975 in einem Vortrag an der Technischen Universität Wien sehr eindrucksvoll dargelegt, welcher technische und finanzielle Aufwand für die Errichtung einer Verdichtungsdeponie erforderlich ist, wenn diese Deponie den Erfordernissen des Umweltschutzes gerecht werden soll.

Die Frage, ob unvermeidbares Sickerwasser dem natürlichen Abflußregime überlassen werden darf, oder ob es über eine Drainage einer Abwasserreinigungsanlage zugeführt werden muß, stand wohl lange zur Diskussion, scheint aber immer mehr zugunsten der strengeren Umweltschutzanforderungen beantwortet zu werden. Abgesehen von Sickerwässern liegt die wesentliche Umweltbelastung der Deponien in der Beeinträchtigung der Landschaft und im Raumbedarf. Geeignete Deponieflächen werden ein immer knapperes Gut, zumal die hydrogeologischen Bedingungen bei der Wahl des Deponiegeländes künftig stärkere Beachtung finden müssen. Es wäre daher zweckmäßig, wenn in den diversen Raumordnungsplänen die für eine Mülldeponie geeigneten Flächen festgelegt würden.

Verdichtungsdeponien sind insbesondere in den bisherigen Planungen der Bundesländern Kärnten und Niederösterreich vorgesehen. Die Festlegung der Standorte für solche Verdichtungsdeponien erfolgt allerdings sehr unterschiedlich. Manchmal wird eine Stadt oder Gemeinde als Standort bestimmt, ohne daß ein geeignetes Gelände für eine Verdichtungsdeponie nachgewiesen wird.

### Rottedeponie

Eine besondere Form der Deponie stellt die Rottedeponie dar, die auch als Müllhumusierungsanlage oder Müllhygienisierungsanlage bezeichnet wird. Die Rottedeponien, vorwiegend in ihrer weiterentwickelten Form, werden vor allem in Planungen der Bundesländer Tirol, Salzburg und Oberösterreich bevorzugt. Der große Vorteil dieses Beseitigungsverfahrens ist in der Möglichkeit der Klärschlammbeimengung zu sehen. Manche Fachleute gehen so weit, daß sie eine Rottedeponie überhaupt nur dann als gerechtfertigt ansehen, wenn der Klärschlamm nicht anders beseitigt werden kann. Ein weiterer Vorteil der Rottedeponie ist die Verringerung des Müllvolumens. Ursprünglich galt die Meinung, daß sich durch die Verrottung der Wasserhaushalt der Deponie so steuern lasse, daß kein Sickerwasser auftritt. Tatsächlich besteht das Sickerwasserproblem aber sowohl auf den Mieten als

auf den Ablagerungsplätzen. Eine geregelte Ableitung der Sickerwässer muß daher als unbedingt notwendig angesehen werden. Ein Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß die technischen Einrichtungen zur Müllzerkleinerung einen hohen Energieaufwand erfordern und störanfällig sind.

### Kompostierung

Eine Weiterentwicklung des Rotteverfahrens ist die Kompostierung. Darunter versteht man bekanntlich ein Beseitigungsverfahren, bei dem die organischen Stoffe des Mülls durch vorwiegend aerob verlaufende Prozesse in ein Produkt mit einem hohen Humusgehalt umgewandelt werden. Der Vorteil der Müllkompostierung liegt darin, daß neben der schadlosen Beseitigung des Mülls eine Wiederverwertung (Recycling) in Form von Humusdünger stattfindet. Durch die Kompostierung wird eine Volumensreduktion des Mülls von 25 bis 50 % erreicht. Wird dem Müll bei der Aufbereitung Klärschlamm beigegeben, kann man auf eine zusätzliche Befeuchtung des Materials zur Förderung des Rotteprozesses verzichten. Im Zusammenhang mit der Hygienisierung des Klärschlammes durch die Selbsterhitzung beim Rottevorgang sind offenbar noch einige Fragen zu klären. Das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen ist derzeit bestrebt, in Zusammenarbeit mit dem Hygiene-Institut und einem Kompostwerk eine einschlägige Untersuchung durchzuführen.

Müllkompostwerke haben trotz ihrer Vorteile im Ausland nur eine beschränkte Verbreitung gefunden. Der Grund liegt in erster Linie in den Schwierigkeiten, das erzeugte Produkt auch abzusetzen. In Holland ist die Zahl der Kompostwerke aus diesem Grund stark zurückgegangen. Auch aus der BRD hört man von wirtschaftlichen Schwierigkeiten.

In der Schweiz stehen heute für rund 12 % der Bevölkerung Kompostierungsanlagen zur Verfügung. Praktisch alle stehen aber in Verbindung mit Verbrennungsanlagen etwa gleicher Kapazität.

Der schon erwähnte Problemerkatalog des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz weist darauf hin, daß - soweit Siedlungsabfälle vegetabiler Herkunft sind - durch die Kompostierung ein natürlicher Kreislauf geschlossen werden könne. In dieser Beziehung sei die Kompostierung im Sinne des Umweltschutzes ein weitaus vollkommeneres Verfahren als die Verbrennung. Durch den zunehmenden Anteil von Stoffen, die dem natürlichen Kreislauf entzogen sind (Kunststoffe, Glas, Metalle, Keramik), seien aber - nach Ansicht des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz - diesem umweltfreundlichen Verfahren enge Grenzen gesetzt. Dieser Ansicht schließe ich mich an.

### Müllverbrennung

Wenden wir uns nun noch der Müllverbrennung zu. Die Müllverbrennungsanlagen haben einen geringen Platzbedarf und kommen vor allem für Ballungsgebiete in Betracht. Die Verwertung der Wärme in Form von Heizwärme und elektrischer Energie wirkt sich auf der Betriebskostenseite günstig aus, so daß trotz des hohen Investitionsaufwandes Verbrennungsanlagen mit anderen Müllbeseitigungsanlagen wirtschaftlich konkurrieren können. Zur Verringerung der Abgase wird heute in der BRD für neue Anlagen die Ausstattung mit Gaswäschern verlangt, die zu einer wesentlichen Verteuerung der Verbrennungskosten führen. Man spricht von 25 %. Verteuernd wirkt u.a., daß die ausgewaschene Salzfracht gesondert beseitigt werden muß. Ältere Anlagen werden aus Kostengründen meistens nicht umgerüstet. Die Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit der Umrüstung von Elektrofiltern auf Gaswäscher ist umstritten. Derzeit werden in der BRD im Auftrag der Landesanstalt für Immission und Bodennutzungsschutz in Essen Untersuchungen über den Wirkungsgrad von Gaswäschern durchgeführt. Jedenfalls muß aber vermieden werden, daß eine schädliche Emission in die Atmosphäre in eine schädliche Emission ins Gewässer umgewandelt wird.

Bei der Müllverbrennung erfolgt eine Volumensreduktion auf etwa ein Achtel bis ein Zehntel der ursprünglichen Menge. Gewichtsmäßig fallen 30 - 40 % des Ausgangsmaterials an Rückständen an.

Die Errichtung von Verbrennungsanlagen ist nur für Abfallmengen einer bestimmten Größenordnung zweckmäßig, zumal die Störanfälligkeit der Anlage geringer ist, wenn sie kontinuierlich gefahren werden kann, und mit zunehmender Größe die fixen Kosten, insbesondere die Personalkosten, abnehmen. Die Meinungen über den Mindestdurchsatz gehen auseinander. Jedenfalls sollten nur Müllverbrennungsanlagen für Leistungen von mehr als drei Tonnen pro Stunde errichtet werden. Das ergibt einen Mindestdurchsatz von 25.000 Tonnen pro Jahr, was einem Einzugsbereich von rund 100.000 Einwohnern entspricht. Nach Ansicht von Prof. Schenkel ist die Errichtung von Verbrennungsanlagen jedoch erst für Abfallmengen zwischen 80.000 und 120.000 Tonnen pro Jahr sinnvoll.

In Österreich gibt es bekanntlich zwei große Verbrennungsanlagen in Wien, in der Spittelau und am Flötzersteig, und Kleinanlagen in Wels, Zeltweg, Ansfelden und Kapfenberg. Abgesehen von den Wiener Anlagen entsprechen die österreichischen Verbrennungsanlagen im allgemeinen nicht den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen, die heute an Müllverbrennungsanlagen gestellt werden müssen. Die Müllverbrennungsanlage Wels wurde zwar nach dem gleichen System wie die Müllverbrennungsanlage Flötzersteig gebaut, doch handelt es sich um eine wesentlich kleinere Anlage, deren bisherige Verbrennungsleistung zu gering ist und bei der eine Wärmeverwertung fehlt, die wegen des Standortes der Anlage schwierig ist.

In der Schweiz werden die Siedlungsabfälle von etwa einem Drittel der Gesamtbevölkerung in Verbrennungsanlagen mit Wärmeverwertung (meist Großanlagen) behandelt. Weitere 18 % der Bevölkerung verfügen über Verbrennungsanlagen ohne Wärmeverwertung, ca. 11 % sind an Verbrennungsanlagen angeschlossen, die in Verbindung mit Kompostieranlagen betrieben werden.

In der BRD bestehen derzeit 31 Müllverbrennungsanlagen, vorwiegend Großanlagen. Die Ballungsräume der Bundesrepublik wurden in den sechziger Jahren ausreichend mit Verbrennungsanlagen versorgt, die so konzipiert sind, daß ohne großen bautechnischen Aufwand den steigenden Abfallmengen Rechnung getragen werden kann.

### Wahl der Beseitigungsart

Was hat nun dieser Überblick über die gebräuchlichen Müllbeseitigungsarten aus dem Munde eines Juristen, also eines Laien, mit dem Thema des Vortrages zu tun?

Ich bin zunächst der Ansicht, daß ein Konzept einer geordneten Abfallwirtschaft Österreichs nicht an den Planungsvorstellungen der Entscheidungsträger vorübergehen kann. Wenn man aber solche Planungsvorstellungen untersucht, so gewinnt man nicht selten den Eindruck, daß am Anfang eines überregionalen Beseitigungsplanes die Wahl einer Beseitigungsart für das gesamte Planungsgebiet steht, daß also der gesamte Beseitigungsplan von dieser Wahl bestimmt wird. Dafür gibt es nach meiner Ansicht eine Ursache, die zumindest transparent gemacht werden sollte. Oft müssen Entscheidungsträger Experten heranziehen, die schon allein im Hinblick auf die heute übliche starke Spezialisierung in der Wissenschaft ein größeres Naheverhältnis zu der einen oder anderen Beseitigungsart haben. Es ist nun naheliegend, daß Experten bei der Ausarbeitung von Abfallbeseitigungsplänen meist jene Zielvorstellungen möglichst rein verwirklicht sehen wollen, die ihrem fachlichen Naheverhältnis zu einer Beseitigungsart entsprechen. Die so beeinflussten Planungsvorstellungen der Entscheidungsträger erscheinen dann manchmal einseitig, selbst wenn sie um Objektivität bemüht sind. Auch bei Betrachtung der Abfallbeseitigungspläne der Bundesländer gewinnt man manchmal den Eindruck, daß die Entscheidung für eine bestimmte Beseitigungsanlage nicht immer optimal nach jenen Kriterien erfolgt, die für die Beurteilung des Bedarfes, der Eignung des Standortes, der Wirtschaftlichkeit, der Betriebssicherheit und der Umweltrelevanz maßgebend sein sollten. Nun mag dieser subjektive Eindruck falsch sein, aber weil bekannt ist, daß Entscheidungen für bestimmte Beseitigungsanlagen oft von Ansichten diktiert werden, die ähnlich fest geprägt sind wie Weltanschauungen, muß ein Konzept einer geordneten Abfallwirtschaft bemüht sein, alle Aspekte - die positiven wie die negativen - der in Betracht kommenden Beseitigungsarten zu analysieren, um die Entscheidungsfreiheit der Entscheidungsträger nicht von vornherein einzuschränken.

Nachdem ich glaube, dieser Forderung durch den gegebenen Überblick über die Abfallbeseitigungsarten entsprochen zu haben, möchte ich mir erlauben, kurz einige persönliche Ansichten zu äußern: Ich meine, daß man heute in Österreich für Ballungsgebiete die Müllverbrennungsgroßanlage mit Wärmeverwertung und Abgaswäsche zu wenig in Betracht zieht. Ich meine weiters, daß man auf die Möglichkeit, den gesamten Müll eines Landes durch Mühlen laufen zu lassen, zu große Hoffnungen setzt. Ich bin der Ansicht, daß der Errichtung an sich begrüßenswerter Kompostwerke natürliche und wirtschaftliche Grenzen gesetzt sind. Die wirtschaftlichen Grenzen könnten durch Förderungsmaßnahmen versetzt werden; die schon erwähnten natürlichen Grenzen erfordern eine Ablagerung oder Verbrennung des immer größer werdenden Anteiles nicht kompostfähigen Mülls und daher kombinierte Anlagen. Deponien, auch Verdichtungsdeponien, werden schon im Hinblick auf Aushub- und Abbruchmaterial, Straßenkehrschutt, Schlacke, Staub und Rauchabfall immer nötig sein. Wenn man eher als in zehn oder fünfzehn Jahren die zahlreichen wilden Ablagerungen, die ungeordneten und nicht den Erfordernissen des Umweltschutzes entsprechend geführten Deponien zum Verschwinden bringen will, wird das nur möglich sein, wenn jeweils auch die Errichtung von großen Verdichtungsdeponien in Betracht gezogen wird. Allerdings müssen an solche Deponien vom Standpunkt des Umweltschutzes aus hohe Anforderungen gestellt werden: Die Deponien müssen nach unten und allenfalls zur Seite hin abgedichtet werden; für die schadlose Ableitung bzw. Klärung der Sickerwässer ist zu sorgen; ebenso für die Abdeckung mit geeignetem Abdeckmaterial in ausreichender Menge. Damit sei nur einiges angeführt. Im übrigen möchte ich auf die "Richtlinien für geordnete Deponien im Interesse des Gewässerschutzes" verweisen, die im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft von Prof. Dr. Kemmerling und Dipl. Ing. Lechner erstellt wurden. Ein im allgemeinen zu wenig beachtetes Problem stellen die Folgekosten für eine Deponie dar, zu denen auch die Kosten für die langfristige Pflege nach ihrer Schließung gehören.

## Wiederverwertung und Vermeidung von Müll

Ein Konzept für eine geordnete Abfallwirtschaft muß sich sowohl mit der Wiederverwertung als auch der Vermeidung von Müll befassen. Die Abfallbeseitigungspläne der Länder nehmen im allgemeinen darauf zu wenig Bedacht. Die Aussortierung des Großmülls nach verwertbaren Stoffen kann vor der Sammlung händisch oder nach der Sammlung maschinell erfolgen. Der Erfolg der händischen Auslese ist von der diesbezüglichen Bereitschaft der Haushalte abhängig und setzt eine getrennte Einsammlung voraus.

Hier gibt es noch viel zu leisten. Auch hinsichtlich der maschinellen Aussortierung des Mülls ist man im Ausland, insbesondere in den USA aber auch in Rom, viel weiter. Für eine Abfall-Auslese kommen in Österreich in erster Linie Papier, Pappe, Glas, Metalle und allenfalls Kunststoffe in Frage. Der erste Tätigkeitsbericht der Eidgenössischen Kommission für Abfallwirtschaft aus dem Jahre 1974 befaßt sich vorwiegend mit Maßnahmen, die den Anfall von Siedlungsabfällen reduzieren sollen, insbesondere mit der

- o Vermeidung von Überverpackung
- o Förderung der Mehrwegverpackung
- o Sammelpackung für mehrere Kaufseinheiten (Kunststoff-Container)

Auch in Österreich wird man sich mit diesen Problemen auseinandersetzen müssen.

### Sonderabfall

Die vorliegenden Abfallbeseitigungspläne der Länder befassen sich vorwiegend mit der Beseitigung von Hausmüll, doch beschäftigt man sich in den Bundesländern durchaus auch mit den Problemen der Beseitigung der Sonderabfälle. In Österreich fallen jährlich rund 300.000 t Sonderabfälle an, für deren geordnete Beseitigung bisher keine geeignete Lösung gefunden werden konnte. Das von der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft unter Mitwirkung von Prof. Wogroly erarbeitete und kürzlich der Öffentlichkeit übergebene Konzept ist daher als begrüßenswerter Bei-

trag zur Diskussion über eine Regelung aus gesamtstaatlicher Sicht anzusehen. Auch das vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen ausgearbeitete Rahmenkonzept für die Abfallbeseitigung befaßt sich mit dem Sonderabfall und geht insbesondere auf Fragen ein, die sich im Zusammenhang mit dem Anfall von primären und sekundären Industrieabfall, Kraftfahrzeugwracks, Altreifen, Mineralölrückständen in flüssiger, pastöser oder fester Form, Tierkörpern, Konfiskaten, Schlachthausabfällen, Fäkalien, Senkgrubeninhalten, Krankenhausabfällen und besonders gefährlichen Abfällen ergeben.

Die Industrie- und Gewerbeabfälle, die wegen ihrer Art und Menge nicht zusammen mit dem Hausmüll beseitigt werden können, müssen in speziellen Beseitigungsanlagen behandelt werden. Die hohen Investitionskosten für Anlagen zur Behandlung und Beseitigung von Sonderabfall, erfordert Anlagekapazitäten mit hohen Durchsatzleistungen und somit einen überregionalen Einzugsbereich mit mehreren Annahme- und Sammelstellen, die auch der Vorbehandlung dienen. Die Einzugsbereiche sowie die Kapazität der Annahme- und Sammelstellen werden so zu bemessen sein, daß sie gemeinsam mit den Beseitigungsanlagen das gesamte Bundesgebiet überspannen. Für das gesamte Bundesgebiet sind zwei oder drei spezielle Beseitigungsanlagen für Sonderabfälle ausreichend. Spitalsabfälle werden gemeinsam mit Abfällen aus Apotheken, Ambulatorien und Ordinationen in eigenen Verbrennungsanlagen zu beseitigen sein. Die heute noch übliche Beseitigung derartiger Abfälle ist wegen der Gefahr von Unzulänglichkeiten und der Umweltbeeinträchtigung nicht länger zu dulden. Das gilt vielfach auch für die Verbrennung von Spitalsabfällen in anstaltseigenen Anlagen.

### Finanzierung

Eine für das gesamte Bundesgebiet geltende Planung der Beseitigung von Sonderabfällen wird im Hinblick auf das Verursacherprinzip, die verfassungsrechtliche Kompetenzverteilung und -verpflichtung ein gemeinsames Vorgehen des Bundes, der Länder und der Interessensvertretungen der Unternehmer erforderlich machen.

Damit könnte auch ein Anlaß gegeben sein, die derzeitige finanzielle Förderung der Abfallbeseitigung durch den Bund zu überdenken.

Das vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen ausgearbeitete Rahmenkonzept für die Abfallbeseitigung kann in seiner ersten Fassung nicht mehr sein, als ein Anstoß und eine Diskussionsgrundlage für ein Konzept, auf das sich jeweils im Rahmen ihrer Zuständigkeit einerseits die Länder untereinander und andererseits die Länder und der Bund einigen, um damit die Voraussetzungen für eine gezielte Investitionsförderung zu schaffen. Die Parallelen zur Investitionsförderung der Krankenanstalten durch den Bund liegen auf der Hand. Erst der vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen erarbeitete und nach Diskussion mit den Ländern revidierte Krankenanstaltenplan hat eine den Intentionen des Krankenanstaltengesetzes entsprechende Investitionsförderung der Krankenanstalten durch den Bund ermöglicht. Wir hoffen, daß auch dem gesamtösterreichischen Rahmenkonzept für die Abfallbeseitigung schließlich ein ähnlicher Erfolg beschieden sein wird.

# WIENER MITTEILUNGEN

Wasser - Abwasser - Gewässer

- Band 1: W.Kresser  
Das Wasser (1968)
- Band 2: H. Breiner  
Die Gesetzmäßigkeiten der stationären Flüssigkeitsströmung durch gleichförmig rotierende zylindrische Rohre (1968)
- Band 3: W.v.d.Emde  
Abwasserreinigung - Grundkurs (1969)
- Band 4: Abwasserreinigungsanlagen  
Entwurf - Bau - Betrieb  
Vorträge des 4. ÖWWV-Seminars, Raach (1969)
- Band 5: Zukunftsprobleme der Trinkwasserversorgung  
Vorträge des 5. ÖWWV-Seminars, Raach (1970)
- Band 6: Industrieabwässer  
Vorträge des 6. ÖWWV-Seminars, Raach (1971)
- Band 7: Wasser und Abfallwirtschaft  
Vorträge des 7. ÖWWV-Seminars, Raach (1972)
- Band 8: F. Schmidt  
Das vollkommene Peilrohr (Zur Methodik der Grundwasserbeobachtung) (1972)
- Band 9: M. Doleisch  
Über die Auswertung von Abflußmessungen auf elektronischen Rechenanlagen  
W. Pruzsinsky  
Über die Anwendung von radioaktiven Tracern in der Hydrologie (1972)
- Band 10: 1. Hydrologie-Fortbildungskurs  
Hochschule für Bodenkultur (1972)
- Band 11: D. Gutknecht  
Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von Hochwasserabflüssen aus kleinen Einzugsgebieten (1972)
- Band 12: Uferfiltrat und Grundwasseranreicherung  
Vorträge des 8. ÖWWV-Seminars, Raach (1973)

- Band 13: W.v.d.Emde, H. Fleckseder, L. Huber, K. Viehl  
Zellstoffabwässer - Anfall und Reinigung (1973)
- Band 14: Hydrologie-Fortbildungskurs 1973  
Hochschule für Bodenkultur (1973)
- Band 15: Neue Entwicklungen in der Abwassertechnik  
Vorträge des 9. ÖWWV-Seminars, Raach (1974)
- Band 16: W.v.d.Emde, R. Bucksch, H. Fleckseder, H. Kroiss,  
N. Matsché, W. Stalzer  
Praktikum der Kläranlagentechnik
- Band 17: O. Behr  
Stabilitätsuntersuchung von Abflußprofilen mittels  
hydraulischer Methoden und Trendanalyse
- Band 18: Hydrologie-Fortbildungskurs 1975  
Universität für Bodenkultur, 1975
- Band 19: 1. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1976  
Universität für Bodenkultur 1976
- Band 20: Abfall- und Schlammbehandlung aus wasserwirtschaftlicher Sicht  
Vorträge des 11. ÖWWV-Seminars, Raach 1976

Zu beziehen durch:

Band 1, 2, 8, 9, 11, 12, 17:

Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft  
Technische Universität Wien

Band 3, 4, 5, 6, 13, 15, 16:

Institut für Wasserversorgung, Abwasserreinigung  
und Gewässerschutz, Technische Universität Wien

Band 7, 20:

Institut für Gewässerregulierung, landwirtschaftlichen Wasserbau  
und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien

Band 10, 14, 18, 19:

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und allgem.  
Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien