Werner Schenkel

<u> Behandlung und Beseitigung von kommunalen und industriellen</u> Schlämmen – Situation in der Bundesrepublik Deutschland

#### 1. Einleitung

Verfolgt man die Meldungen über neue Erfolge bei der Luft- oder der Wasserreinhaltung, dann wird die Freude an geschonter Umwelt getrübt durch die Frage: Wohin mit den nicht in die Umwelt entlassenen Stoffen? Sie sind zwar dem unmittelbaren Schadstoffstrom entzogen worden, es bleibt aber die Frage offen, wie diese ausgeschleußten Stoffe entweder wieder in einen industriellen bzw. natürlichen Stoffkreislauf einbezogen oder alternativ umweltfreundlich festgelegt werden können. Nirgends wird die Folge konsequenten Umweltschutzes so deutlich wie beim Problem der Abwasserreinigung und der dabei erzeuqten Schlammengen. Je höher die Reinhalteansprüche hinsichtlich der Umweltbelastung an Produktions-, Varteilungsund Verbrauchsprozesse werden, umso mehr Reststoffe fallen als Folge des Bemühens an. Welche Probleme diese Schlämme bereiten und welche zukünftigen Lösungen sich dafür anbieten, soll Gegenstand des vorliegenden Schwerpunktheftes sein: Wohin mit den Schlämmen? Bei der Antwort zuf diese Fragen wollen sich die beiden Autoren mehr mit generellen Zielen auseinandersetzen und Strategien zu ihrer Erreichung entwickeln.

## 2. Schlämme – woher und wieviel?

Die Projektionen des Umweltprogrammes 1971 der Bundesregierung sehen vor, daß bis 1985 die anfallenden Abwässer zu 90 % vollbiologisch gereinigt werden. Nach der letzten Erhebung über das Abwasserwesen, Stand 1978, werden gegenwärtig 65 % vollbiologisch gereinigt. Mit der verstärkten Abwasserreinigung nimmt der Klärschlamm zu. Die Mengen haben in den vergleichbaren Zeiträumen stärker zugenommen, als es die prozentuale Zunahme der Abwasserreinigung ausweist, da mit steigender Reinigungsintensität die Schlammengen überproportional steigen. Gegenwärtig fallen 34 Mio m³ kommunaler Klärschlamm an mit 5 % TS d.h. 1,7 Mio to Trockenmasse. 1985 sollen es 50 Mio m³ Klärschlamm sein. Jährlich kommen noch 9,3 Mio m³ Fäkalschlamm von 9,8 Mio Einwohner hinzu, deren Abwässer in Haus- und Kleinklärgruben gesammelt und gereinigt werden. Diese Mengen wird sich bis 1985 nicht wesentlich verändern. Weitgehend im Dunkel ist die Menge der Kanal-, Sinkkasten-, Regenrückhaltebecken-, Benzin- und Fettabscheiderschlämme, sowie der Fluß- und Saggerschlämme. Es wäre eine wichtige Aufgabe

hier die statistischen Unterlagen zu vervollständigen.

Dazu fallen Klärschlämme aus der Reinigung industriellen Abwassers an. Sie wurden nach dem Ergebnis der Bundesstatistik über die Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung der Wirtschaft 1975 mit ca. 20.0 Mio  $\mathrm{m}^3$  (Tabelle 1) ermittelt. Heute wird der Anfall auf 25 Mio  $\mathrm{m}^3$ geschätzt, wobei für 1985 ein Wert von 30 Mio m<sup>3</sup> angenommen wird. Wie fraglich solch eine Zahl ist, mögen zwei mögliche Entwicklungen andeuten. Wird zur Energiegewinnung verstärkt Steinkohle eingesetzt und muß diese entschwefelt werden, dann werden schätzungsweise 1990 ca. 2,0 Mio to Gipsschlämme anfallen. Wird in verstärktem Maße aus Gründen der Energie- und Rohstoffeinsparung auf abwasserarme Galvanik umgerüstet, dann werden die Mengen von z.Zt. ca. 300.000t/a Galvanikschlämme um 5 – 10 % zurückgehen. Im Gegensatz zu den kommunalen Schlämmen gehen wir bei den industriellen Schlämmen davon aus, daß sie trotz verstärkter Reinigungsleistung nicht wesentlich zunehmen werden, weil die anfallenden Schlammmengen durch Ein- oder Umstellen der Produktion reduziert werden. Außerdem betrachten wir hier alle die Schlämme nicht, die üblicherweise in Sonderabfallbehandlungsanlagen direkt verarbeitet werden bzw. der Meldepflicht nach Abfallbeseitigungsgesetz unterliegen. Trotzdem seien einige davon kurz in Erinnerung gerufen (Stand 1975 – Quelle: Materialienbände Abfallwirtschaftsprogramm)

|   | t/a_                                      |
|---|---|
| Ölschlämme aus der Mineralölverarbeitung<br>Schlämme aus der eisenschaffenden Industrie<br>Tank-, Absetzschlämme aus der chemischen Industrie | 30.000<br>1.000.000<br>100.000<br>300.000 |
| Galvanikschlämme<br>Organische und anorganische Schlämme aus der  | 1.150.000                                 |
| Produktion Sonstige ölhaltige Schlämme Lösungsmittelhaltige Schlämme  | 2.400.000                                 |
| Schlämme aus Wasseraufbereitung und<br>Abfallbeseitigung  | 1.770.000                                 |

Die genaue Erfassung dieser Schlämme wird dadurch erschwert, daß, wie bekannt, ein enger Zusammenhang zwischen Rückstand-, Abfallund Wertstoff besteht. Außerdem ist die Verschiebung der physikalischen Erscheinungsform von der festen zur flüssigen Phase und umgekehrt, je nach verfolgtem Ziel, möglich.

Die Klagen der Sondermüllgesellschaften über Schlämme, die durch die Kanalisation weggeschwemmt werden, seien nur als Stichwort vermerkt.

Nach dieser kurzen Istbeschreibung gilt es, die Frage zu beantworten: Was geschieht heute mit diesen Schlämmen?

Nach einer Umfrage von 1974, die allerdings nur 16 Mio Einwohner umfaßte, wurden die Klärschlammengen folgendermaßen beseitigt:

| Landwirtschaftliche Verwertung                           | 30  | % |
|--|-----|---|
| Wahlweise landwirtschaftliche Verwertung<br>oder Deponie | 13  | % |
| Ausschließlich Deponie                                   | 43  | % |
| Verbrennung  | 9   | % |
| Verklappung auf Hoher See                                | 2   | % |
| Kompostierung allein oder mit Hausmüll                   | 2   | % |
| Sonstiges  | 2   | % |
| oniorthea  | 100 | % |

Interessant dabei ist, daß bei etwa 20 % der Kläranlagen mehr als 10.000 EW (E+EGW) angeschlossen sind, während 80 % der Kläranlagen eine Ausbaugröße von weniger als 10.000 EW ausweisen.

Man kann feststellen, daß in Kläranlagen bis zu 20.000 EW die land-wirtschaftliche Verwertung, in Anlagen größer als 20.000 EW die Ablagerung der Klärschlämme in Deponien als Beseitigungsverfahren überwiegt. In vielen Fällen bis zu Anlagen mit 100.000 EW wird eine Kombination aus landwirtschaftlicher Verwertung und Ablagerung praktiziert. Allerdings fällt in den Gemeinden der Größenklasse größer als 100.000 EW etwa 50 % der zu beseitigenden Schlammengen an. Auch in dieser Größenklasse überwiegt die Deponie mit 53 %, während die landwirtschaftliche Verwertung nur 25 % der zu beseitigenden Mengen beträgt.

Für einzelne Bundesländer wird die Beseitigung wie folgt angegeben:

|                     | Landw.Verwertung | Landw.Verwertung | Deponie<br>nicht bekannt |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| Bayern              | 70 %             | nicht bekannt    | nicht Ben                |
| Hessen              | 45 %             | 26 %             | 69 %                     |
| Nordrhein-Westfalen | 3.1 %            |                  |                          |

Welche technischen Möglichkeiten der Schlammbehandlung und -beseitig<sup>ung</sup> stehen heute zur Verfügung und welche zukünftige Entwicklung werden diese Methoden haben?

## Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten

"Wohin mit dem Klärschlamm?" Diese Frage hat für alle 8etreiber von Klärwerken zunehmend eine besondere praktische Bedeutung. Sie beinhaltet eines der Schlüsselprobleme für die Gestaltung und den 8etrieb von Abwasserreinigungsanlagen.

Die Beseitigung der Rückstände aus der Abwasserreinigung, insbesondere der Schlämme, ist bereits jetzt häufig spürbar schwieriger zu verwirklichen als die Abwasserreinigung. Obwohl der Schutz der Gewässer durch eine ausreichende Abwasserbehandlung die primäre Aufgabe der Wassergütewirtschaft bleibt, bestimmt die Lösung des Schlammproblems mehr und mehr die Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung.

Wo immer erreichbar sollte es daher das Ziel sein, das Entstehen kritischer Abfälle, hier: das Entstehen kritischer Schlämme, zu vermeiden. Aus dem häuslichen Bereich gehören zu den kritischen Schlämmen nicht zuletzt die Fäkalschlämme. Unter den genannten Aspekten ist auch das unnötige Verflüssigen sonst fester Abfälle zu unterlassen. Darüberhinaus sind dem Grundsatz des Vermeidens im häuslichen Bereich enge Grenzen gesetzt. Im gewerblichen Sektor bietet sich dazu jedoch mit der entsprechenden Auswahl der Produktionsverfahren manche Möglichkeit. In diesem Zusammenhang ist es besonders wichtig, Lösungen zu finden, die Kontaminationen von Schlämmen mit Schadstoffen so weit wie möglich vermeiden.

3.1 Die Jehandlung der Schlämme als Voraussetzung für ihre Beseitigung

Aufgrund ihrer kritischen Eigenschaften können Schlämme nicht unmittelbar als Rohschlamm "beseitigt" werden. Ihre schadlose Beseitigung ist nur nach einer entsprechenden vorausgehenden Behandlung möglich. Sie richtet sich in ihrer Art, in Umfang und Ergebnis nach den Erfordernissen für die jeweilige Beseitigung der Schlämme.

Hinsichtlich der Anforderungen, die bei der Beseitigung der Schlämme, aber auch schon bei ihrer vorausgehenden Behandlung einzuhalten sind, zeichnet sich generell eine weitere nachhaltige Verschärfung der Situation ab. Die Freiheitsgrade für mögliche Aktivitäten nehmen spürbar ab, die Zwänge deutlich zu. Die wachsenden Zwänge sind insbesondere gekennzeichnet.

- durch die Zunahme der Abwasserschlamm-Mengen vor allem aus dem verstärkten Einsatz hochwertigerer, in Umfang und Leistung der Abwasserreinigung weiterführenderer Prozesse und Verfahren (s. Abb. 1) und durch die damit gleichzeitig verbundene Veränderung in der Beschaffenheit der Schlämme, die ihre Behandlung in vielen Prozessen erschwert (5) (6);
- durch verschärfende norminierende Regelungen für die Beseitigung von Abfällen, u.a. auch von Abwasserschlämmen;
- sowie durch eingehende Veränderungen sowohl in den Kosten als auch in den Sozialstrukturen und in der Energieversorgung. Es kann nicht übersehen werden, welcher Einfluß von den auch künftig zu erwartenden Veränderungen in den Kostenstrukturen (insbesondere von den bedeutenden Steigerungen der Personal-, Unterhaltungs- und Energie-Kosten) sowie welcher Einfluß von Veränderungen in der Sozialstruktur (Verminderung der regelmäßigen Arbeitszeit, zunehmend mangelnde Bereitschaft zum Schicht- und Wochenenddienst) ausgehen. Auch Veränderungen in der Energieversorgung dürften nicht ohne Wirkung bleiben.

# 3.2 Möglichkeiten für eine schadlose "Beseitigung" von Schlämmen und anderen Rückständen

Aufgrund des Gesetzes von der Erhaltung der Energie und der Materie können Klärschlämme ebenso wie alle anderen Abfälle nicht im eigentlichen Sinne vernichtet, sondern nur in andere feste, flüssige und/oder gasförmige Stoffe umgewandelt werden. Irgendwo müssen sie verbleiben.

Wie bekannt erschöpfen sich die Möglichkeiten für eine schadlose "Beseitigung" der anfallenden Schlämme dementsprechend

- in ihrer Wiederverwendung, dem natürlichen Stoffkreislauf, und
- in der Deponie = geordneter Ablagerung (s. Abb. 2).

So sagt Dr. K. Imhoff schon 1951 in seinem "Taschenbuch der Stadtentwässerung" (14. Auflage): "Alle Ausführungen über die Behandlung und Verwertung der Schlamme können nicht darüber hinwegtäuschen, daß man bei der Abwasserreinigung den Schlamm unbedingt und endgültig loswerden muß. Ein Klärwerk, bei dem das nicht gelingt, ist nichts wert. Sogar wenn der Schlamm verbrannt oder vergast wird, bleibt die Asche, die beseitigt werden muß. Endgültig beseitigen kann man den Schlamm nur entweder in der Landwirtschaft oder im Meer oder auf Füllgelände ... ".

# 3.2.1 Recycling von Schlämmen im natürlichen Stoffkreislauf

Lediglich die Wiederverwendung von Abfallstoffen führt demgemäß zu einer echten Lösung bei der "Beseitigung". Daher sollte – wo immer vertretbar – der Grundsatz gelten:

## Recycling first!

Auf die bei der Abwasserreinigung anfallenden Rückstände bezogen heißt das: Die ihrer Zusammensetzung nach dafür geeigneten Abwasserschlämme sollten möglichst in den natürlichen Stoffkreislauf einbezogen werden. Für kleinere Kläranlagen in ländlichen Gebieten ist der natürliche Stoffkreislauf nach wie vor die vorrangig anzusteuernde Lösung. Das gilt um so mehr, wenn man sich der technologischen Schwierigkeiten und der hohen Kosten für andere Wege gerade bei kleineren Anlagen bewußt ist.

# 3.2.2 Praktische Bedeutung des natürlichen Stoffkreislaufes für die Schlamm-Beseitigung

Im Abschnitt 2 wurden verschiedene Erhebungen (1) (2) (7) angesprochen die zeigen, welche große praktische Bedeutung der Unterbringung von Abwasserschlämmen im Landbau nach wie vor zukommt. Auch das Abfallwirtschaftsprogramm '75 der Bundesregierung (8) geht von der weitgehenden Nutzung des natürlichen Stoffkreislaufes bei der Klärschlammbeseitigung aus. Der Wert des Klärschlamms als Phosphat- und Stickstoff-Dünger ist hinreichend bekannt und hat dazu geführt, daß der Klärschlamm z.B. in der Schweiz behördlich generell als Düngemittel eingestuft ist.

Inzwischen gelten auch für die Verwertung von Schlämmen in der Landwirtschaft verschärfte Maßstäbe. Grundlage dieser neuen Beurteilung sind vertiefte Erkenntnisse über mögliche Schadwirkungen durch Schwermetalle, die ggf. mit Schlämmen aus Kläranlagen dem Landbau zugeführt werden. Für eine eindeutige Beurteilung der Schadwirkungen von Schwermetallen fehlt es zwar z.Z. noch an den notwendigen Kenntnissen, auf der Grundlage der bisher vorliegenden Untersuchungen müssen jedoch jetzt schon vorbeugend Regelungen gefunden werden, die einerseits auch künftig eine landwirtschaftliche Verwertung von Schlämmen so weit wie möglich sichern, andererseits auch in einer langfristigen Entwicklung Schadwirkungen durch toxische Schwermetalle ausschließen soll. Solche Schadwirkungen werden vor allem bei der irreversiblen Anreicherung von Schwermetallen im Boden über eine gewisse Toleranzkonzentration hinaus befürchtet. Vorläufige, orientierende Informationsschriften bieten dabei eine erste Hilfe, eine sog. Aufbringungsverordnung zu § 15 (2) Abfallbeseitigungsgesetz wird eine bundeseinheitliche Regelung bringen. Der Entwurf dieser Aufbringungsverordnung wird z.Zt. intensiv diskutiert. Nach dem derzeitigen Stand der Erörterung ist davon auszugehen, daß der Anteil der dann noch im Landbau verwertbaren Schlammengen spürbar, in Teilbereichen sogar drastisch, zurückgehen wird. Das gilt auch unter der Voraussetzung, daß schwermetallbelastetes Abwasser generell nur nach einer Vorbehandlung abgeleitet werden darf, die den Anforderungen nach § 7a WHG entspricht. Das bedeutet, daß weiterreichende Maßnahmen erforderlich sein können

#### 3.3 Beseitigung von Schlämmen/Rechengut/Sandfanggut durch Deponie

Sofern Abfälle also nicht als Rohstoff wiederverwendet oder in den natürlichen Stoffkreislauf einbezogen werden, ist deren Beseitigung nur noch mit Hilfe der Deponie möglich. Das gilt vor allem für Schlämme kritischer Beschaffenheit sowie für die anderen, neben Klärschlamm auf den Kläranlagen anfallenden Rückstände wie Rechengut, Sandfanggut, Öle und Fette u.a..

## 3.4 Verfügbare Technologien zur Abwasserschlammbehandlung/-aufbereitung

Als verfügbare technische Operationen für die Abwasserschlammbehandlung haben weiterhin eine zentrale Bedeutung (s.Abb. 2):

- die aerobe oder anaerobe Stabilisation
   (durch Langzeit-Belüftung oder Faulung, auch durch Kompostierung oder Veraschung).
- die Wasserabtrennung durch Eindicken, Entwässern und/oder Trocknen einschließlich des Konditionierens (zur Verbesserung der Eindickfähigkeit und der Entwässerbarkeit der Abwasserschlämme),
- das Entseuchen (entweder thermisch: bei Temperaturen von mindestens 65° C und einer Einwirkzeit von mindestens 30 Minuten durch "Pasteurisieren", Heißtrocknung oder thermische Konditionieren; oder mit Hilfe ordnungsgemäßer Kompostierung, oder durch Bestrahlen, oder durch Zusatz von Branntkalk u.ä.).

### 3.4.1 Die aerobe oder anaerobe Stabilisation

Sie hat das Ziel, die Schlamminhaltsstoffe in eine Form zu überführen, die weder durch Bildung von Geruchsstoffen noch durch
andere Einwirkungen auf die Umgebung hygienische oder ästhetische
Mißstände hervorrufen, dabei sind die Schlamminhaltsatoffe in
der Regel aus höhermolekularen, energiereichen, instabilen in
niedermolekulare, energiearme, stabile, indifferente Formen zu
überführen.

Abwasserschlämme sind dann ausreichend stabilisiert, wenn sie bei ihrer Ablagerung nicht mehr in die saure Gärung übergehen. Für die biologischen Prozesse der aeroben und anaeroben Schlammstabilisation hat in diesem Zusammenhang deren bekannt Temperaturabhängigkeit große Bedeutung. Diese Abhängigkeit des erreichten Stabilisationsgrades von der Prozeßtemperatur ist in letzter Zeit in Anbetracht der erheblich gestiegenen Anforderungen an den Immissionsschutz für die Anwendbarkeit der einzelnen Verfahren ein entscheidendes Kriterium geworden. Das gilt besonders für die aerobe Stabilisation ohne signifikante Selbsterwärmung sowie für offene unbeheizte Faulbehälter.

#### 3.4.2 Die Abtrennung des Ballastwassers

Sie führt nicht nur zu einer Volumenverminderung, sondern gleichzeitig auch zu einer Veränderung der äußeren Beschaffenheit (s. Tabelle 2) (9) (10) (1 ) (12).

Mit weitergehender Verringerung des Wassergehaltes nimmt der jeweils zugehörige spezifische Energieaufwand zu (10) (13) (s.Tabelle 3). Das führt zu einem abgestuften Verfahrensaufbau, zum Beispiel von der Eindickung über die Entwässerung und Trocknung bis zur Veraschung der organischen Bestandteile (9) (11) (s.Abb.2).

Die Überführung der Abwasserschlämme aus dem flüssigen in einen zunächst plastischen und dann festen Zustand ist häufig Voraussetzung für die endgültige Beseitigung der Schlämme durch Ablagerung oder bei weitergehender Behandlung.

Bevor eine Entscheidung über die Wahl des vorzusehenden Entwässerungssystems getroffen werden kann, muß der weitere Verfahrensgang bekannt
sein, d.h. alle weiteren Schritte bis zur Beseitigung hin müssen festgelegt sein (s. Abb. 2). Davon hängt u.a. ab, welcher Restwassergehalt
bzw. welcher Endfeststoffgehalt in der Entwässerungsstufe zu erreichen
ist. Mit dieser Frage fällt eine wesentliche Vorentscheidung (s.Tabellen 4 und 5).

Wird zum Beispiel für eine Veraschung von Rohschlamm nur eine Entwässerung mit einer Anreicherung der Feststoffe bis auf etwa 30 % gefordert so reicht für diese Aufgabe im Regelfall – also bei mittelmäßig entwässerbarem Abwasserschlamm – der Einsatz von Unterdruckfiltern (sog. Vakuumfiltern), Bandfilterpressen oder Zentrifugen/ Dekantern (deren ausreichende Trennschäffe vorausgesetzt) aus.

Auch mit einer natürlichen Entwässerung stabiliderter Schlämme in Beeten, Plätzen oder Teichen kann man ja bekanntlich ein vergleichbares Ergebnis erzielen (s. Tabelle 6). Sind dagegen in der Entwässerungsstufe möglichst geringe Endwassergehalte zu erreichen, sind in der Regel Überdruckfilter wie zum Seispiel Filterpressen einzusetzen. Solche erhöhten Anforderungen an einen möglichst geringen Wassergehalt bzw. an einen möglichst hohen Feststoffgehalt des entwässerten Schlammes gelten z.8., wenn anschließend eine Trocknung ohne nachgeschaltete Veraschung folgt, wenn bereits aerob oder anaerob stabilisierter Schlamm zu veraschen ist oder wenn für eine Deponie des entwässerten Schlammes besondere Anforderungen erhoben werden.

In verschiedenen Ländern der Bundesrepublik Deutschland werden für eine Deponie entwässerten Schlammes in Mischdeponien Feststoffgehalte von mindestens 30 %, 35 % oder manchmal sogar 40 % gefordert. Solche Forderungen müssen naturgemäß im Verhältnis zu ihrer technischen wie im Verhältnis zu ihrer technisch-wirtschaftlichen Realisierbarkeit gesehen werden. Mit anderen Worten: solche weitergehenden Forderungen sollten nur erhoben werden, wenn sie aus technisch-sachlichen Gründen wirklich geboten und wenn sie außerdem mit sinnvollen Mitteln zu erreichen sind.

Von allgemeiner Bedeutung ist auch, daß nichtstabilisierter Rohschlamm aufgrund hygienisch-ästhetischer Gesichtspunkte nicht mit natürlichen Verfahren entwässert werden darf (s.Abb. 2).

In Abb. 3 ist die Volumenverminderung und Zustandsänderung am Beispiel eines ausgefaulten Schlammes häuslichen Ursprunges unter technisch- und wirtschaftlich-optimaler Zuordnung verschiedener Verfahren zur Schlammbehandlung schematisch mit dargestellt.

Die jeweils gewählte Lösung muß gewährleisten, daß man die bei der Abwasserreinigung anfallenden Rückstände wie Rohschlamm, Rechengut, Sandfanggut u.a.

> unbedingt, endgültig, jederzeit sowie mit der ständig gebotenen Sicherheit

los wird.

4.0 Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Schlammbehandlung und Schlammbeseitigung

Schon seit geraumer Zeit sind Tendenzen zu nachhaltig verschärften Anforderungen an die Schlammbehandlung und Schlammbeseitigung deutlich zu erkennen. Anforderungen mit Wirkungen von außen resultierenden aus der Zunahme der Schlammengen und aus den Veränderungen der Schlammeigenschaften, die überwiegend die Behandlung und Beseitigung der Schlämme erschweren, sei es aufgrund der notwendigen erhöhten Reinhalteleistungen in der Abwasserreinigung, sei es aufgrund hinzukommender Abwasser- bzw. Schlamminhaltsstoffe. Erhöhte Anforderungen mit Wirkungen nach außen resultieren aus den verschärften Maßstäben des Immissionsschutzes insbesondere gegenüber Geräusch, Geruch und Schadstoffen. Das gilt sowohl für den Bereich der Schlammbehandlung als auch für die Schlammbeseitigung. Anforderungen von innen ergeben sich aus der Notwendigkeit, den Konsequenzen der Veränderungen in den Kosten- und Sozialstrukturen Rechnung zu tragen.

Diese Entwicklung wird getragen durch den Einsatz technisch immer höherwertigerer Prozesse und Verfahren, die ihrerseits im allgemeinen einen deutlich gesteigerten Energieeinsatz zur Folge haben (vergl. z.8. Tabelle 3). Parallel zu solchen Steigerungen der technischen Leistungen verlaufen die Tendenzen zur Verminderung des Personaleinsatzes und andere Maßnahmen einer Rationalisierung; auch sie lösen einen deutlich erhöhten Energieeinsatz aus, der vor allem durch die Substiution menschlicher Arbeitskraft bedingt ist. Angesichts der entscheidend veränderten Möglichkeiten für eine immer größere Ausweitung der Energieversorgung stellt sich die Frage, wie weit und wie lange sich diese Entwicklung noch durchhalten läßt. Nach eigener Einschätzung sind daher schon in absehbarer Zeit ganz erhebliche Abstriche von den einen erhöhten Energieeinsatz verursachenden Wünschen und Forderungen notwendig, soweit diese nicht wirklich zwingend sind.

Kann hier die Nutzung der in den Schlamminhaltsstoffen enthaltenen Energie nicht weiterhelfen? Eine Gewinnung von Energie und deren Nutzung aus dem Stoffsystem Schlamm ist so weit und so lange möglich, wie die Schlammbehandlung und -beseitigung die gewinnbare Energie nicht aufzehren. Beispiele: Ist es möglich, die Schlammbehandlung auf die anaerobe Stabilisation (Faulung), auf die energieextensive natürliche Entwässerung und auf die Schlammverwertung im Landbau zu beschränken, kann ein gewisser Energieüberschuß aus dem Faulgas erwartet werden. Schon der Übergang von der energieextensiven zu der energie- und wartungsintensiveren maschinellen Schlammentwässerung dürfte die aus dem System Schlamm gewinnbare Energie aufzehren. Das gilt bei Verfahren mit höherem technischen Niveau (z.8. mit Schlammeindickung/maschineller Schlammentwässerung/Schlammveraschung) um so mehr: die Heizenergie der Schlamminhaltsstoffe wird in diesem Fall mit gutem Wirkungsgrad zweckmäßig zur Verdampfung des Schlammwassers unter selbstgängiger Veraschung als optimalen Betriebspunkt eingesetzt (s.Abb. 4).

Aufgrund ihres hohen Wassergehaltes sind Schlämme relativ energiearme Stoffsysteme. Es liegt daher nahe, für ihre 8ehandlung und

## 3.4.3 Maßnahmen der Entseuchung/Desinfektion

Sie haben das Ziel, einer möglichen Infektkette vorzubeugen. Für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland sind die Regelungen für eine seuchenhygienisch unbedenkliche Klärschlammverwertung im Landbau in einem besonderen Merkblatt (14) zusammengestellt (s.Tabelle 7). Dieses Merkblatt orientiert sich einerseits nach den wohl unvermeidlichen seuchenhygienischen Mindestforderungen, andererseits nach der technischen, organisatorischen und kostenmäßigen Praktikabilität der Maßnahmen.

Seuchenhygienisch unbedenkliche Schlämme unterliegen keiner Einschränkung bei ihrer Unterbringung im Landbau. Für die Unterbringung aerob oder anaerob (durch Faulung) stabilisierter Schlämme im Landbau gelten daher je nach Art der Kultur darauf abgestimmte einschränkende Regelungen. Rohschlämme dürfen lediglich in Ausnahmefällen, bei Setriebsstörungen, auf sogenannten Ausweichflächen untergebracht werden (siehe Tabelle7).

3.5 Wahl, Zuordnung und Kombination der Grundoperationen und der verschiedenen Verfahren zur Schlammbehandlung im Hinblick auf die Schlammbeseitigung

Alle Verfahren und Systeme zur Sehandlung und Beseitigung von Schlämmen haben die genannten Grundoperationen entsprechend zu berücksichtigen. In der Reihenfolge und Abstufung sind dabei die vielfältigsten Möglichkeiten und Lösungen denkbar, wie das zum Beispiel im Schema von Abb. 2 allgemein aufgezeigt ist.

Einige Verfahren führen gleichzeitig zu einer Stabilisierung und einer Volumenverminderung. Das ist beispielsweise bei der Verbrennung/Veraschung und der Kompostierung der Fall. Die Verbrennung/Veraschung hat gleichzeitig zum Ergebnis: eine vollständige Mineralisierung der organischen Inhaltsstoffe = maximale Stabilisierung, eine vollständige Abtrennung des Ballastwassers und in Verbindung mit beiden eine maximale Volumenverminderung (s.Abb.3).

Beseitigung Energieüberschüsse anderer Stoffsysteme, z.B. von Müll, Hausmüll oder auch von speziellen Sondermüll, zu nutzen. Das ist grundsätzlich dann sinnvoll, wenn eine Schlammwasserabtrennung durch Verdampfen ansteht, z.B. bei einer Verbrennung/Veraschung. Eine Kombination von in ihrem Stoffsystemen her so unterschiedlichen Materialien wie Schlämme und Müll läßt sich jedoch nur unter bestimmten technischen Voraussetzungen erreichen. Das zeigen die Lösungen in Essen, Krefeld, Ingolstadt und Wien. Alternativ zu diesen Lösungen wäre es denkbar, daß in den nächsten Jahren Kläranlagen gebaut werden, die nicht nur nach der Reinigungsleistung optimiert sind, sonder nach der jeweils zu wählenden Lösung für die Schlammbehandlung und -beseitigung einschließlich der Aspekte der Energiegewinnung aus Klärschlamm.

Aus technischen und technisch-wirtschaftlichen Gründen ist die direkte Nutzung der im Schlamm enthaltenen Energie z.Z. meistens begrenzt auf die Nutzung des Faulgases als Heizenergie zur Beheizung der Faulbehälter und auf die Nutzung des Heizwertes des Schlamms zur Schlammwasserabtrennung (s.Abb.4). Bisher ist der hier die Lösung primär bestimmende Faktor noch die Kostenfrage. Wird es in absehbarer Zeit möglicherweise die Frage nach der Verfügbarkeit der Energie sein?

Die Probleme der Schlammbehandlung und Schlammbeseitigung drängen immer stärker zu einer systemanalytischen Betrachtung unserer Klärtechnik. Lassen Sie dazu einige weitere Fragen stellen. Wir zentralisieren Kläranlagen um durch höhere Reinhalteleistungen den notwendigen Ge-wässerschutz zu sichern, aus Gründen der Betriebssicherheit, der Standortfindung, der Personalrationalisierung, der Kostenreduzierung und aus vielen anderen Gründen mehr. Es sollte dabei auch kritisch geprüft werden, ob durch solche Dispositionen der Zentralisierung vermeidbare Vermischungen von mit Schadstoffen kontaminierten und nicht kontaminierten Schlämmen erfolgen, so daß als Folge daraus unnötige Probleme bei der Behandlung und Beseitigung dieser Schlämme entstehen.

Oder: die Zentralität von Kläranlagen vergrößert die bisher üblichen kurzen Wege der Bauern von der Kläranlage auf ihre Felder.Die Folge. ist eine spezielle Ausbringungsorganisation und zusätzlich Energiemengen für Transport und Verteilung.

Oder: Mit dem Vollzug des Abwasserabgabengesetzes werden die Indirekteinleiter veranlagt und wesentlich stärker überwacht als bisher üblich.

Das könnte die Schadstofffrachten des Abwassers und damit des Schlamms
wesentlich senken. Der Weg, toxische Abwässer nur ausreichend zu verdünnen und damit "klärbar" zu machen, hat eindeutig in der Akkumulationsfähigkeit dieser Toxine in den Klärschlämmen ihre Grenze. Jeder
Kläranlagenbetreiber weiß das. Für schadstoffbelastete, insbesondere
für schwermetallbelastete Abwässer die Einleitungsbedingungen neu zu
formulieren, ist sicher die sich daraus ergebende Konsequenz. Eine
andere Konsequenz bei der Erarbeitung einer Strategie zur Fernhaltung
von Schwermetallen auf landwirtschaftlich genutzten Böden wäre, daß
man sich Rechnung darüber gibt, wer noch als Emitent auftritt. So
gibt es zum Beispiel Informationen die besagen, daß bei Nutzung der
möglichen Grenzwerte für Cadmium nach der Aufbringungsverordnung
nach § 15 AbfG

170 gr/ha und Jahr durch Klärschlamm

2 gr/ha und Jahr durch Beimengen bei Phosphatdüngern

17 gr/ha und Jahr durch Stäube aus Kohleverbrennungen aufgebracht wird. Hält man einen Gehalt des Bodens von 9 kg Cd/ha für zumutbar, vermag sich jeder auszurechnen wie lange uns diese "Nutzung" offen steht.

Oder: die Trennung der Überwachungsbehörden in ehrwürdige, traditionelle Fachverwaltungen erschwert eine integrierte Betrachtung und Bewertung der gewerblichen Emissionen. Das Gewerbeaufsichtsamt schaut nach der Abluft, die Wasserbehörde nach dem Abwasser und die Abfallbehörde nach dem Abfall. Nur der Betriebsbeauftragte für Umweltschutz hat sämtliche Emissionen seines Betriebes im Visier und ist in der Lage

seine Gegenspieler auszupunkten. Der verfahrenstechnische Ablauf von Produktion und die Konsequenzen für die dabei entstehenden Emissionen sollten noch viel stärker als bisher aufeinander abgestimmt sein und soweit wie möglich in die Genehmigungs- und Überwachungs- praxis Eingang finden. Die Arbeitsgruppen für die Erarbeitung der Grundlagen zu den VV nach § 7a WHG sind für solche Betrachtungen eine gute Grundlage und rufen förmlich nach Zusammenarbet mit den entsprechenden Arbeitsgruppen der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, um die dort vorhandene intime Kenntnis verfahrenstechnischer Zusammenhänge zu nutzen.

Das durch Verfahrensumstellungen beachtliche Erfolge bei der Emissionsminderung erzielt wurden, steht außer Zweifel. Soweit sie mit Rohstoff- und Energieersparnissen verbunden sind, sind sie im allgemeinen auch wirtschaftlich; das einzige Argument, was in dieser umweltpolitischen so träge gewordenen Landschaft noch ernsthaft etwas bewegt.

#### Schlußbemerkung

Sie werden nach dieser Lektüre erkennen, welche Aufgaben für die Umweltschützer und hier besonders für die Abwasserfachlrute noch vor
uns liegen. Es gibt mehr Fragen als Antworten. Es ist weiterhin noch
viel aktiv zu gestalten. Es sind zukünftig weniger technische Fragen,
die die Schlammproblematik prägen werden, sondern vielmehr Fragen
der Wirkungen, aber auch der Organisation, der Produktvermarktung
und der Finanzierung. Nicht zuletzt deshalb hat die ATV den bisherigen
Hauptausschuß 3 "Schlammbehandlung/Schlammbeseitigung" umstrukturiert.
Der Ausschuß wird zukünftig als Gemeinschaftsausschuß von ATV und
VKS "Schlämme/feste Abfälle" geführt. Neben den etabilierten Gebieten
anaerobe und aerobe Stabilisierung, Wasserabtrennung, thermische
Verfahren, wird er sich zukünftig stark mit Fragen der Produktvermarktung, der Deponie, der Wirkungen und des Verbleibs von Sonderschlämmen beschäftigen.

Wie heißt es so schön in einem vielzitierten Werbeslogan einer Ölfirma: Es ist noch viel zu tun. Packen wir's an.

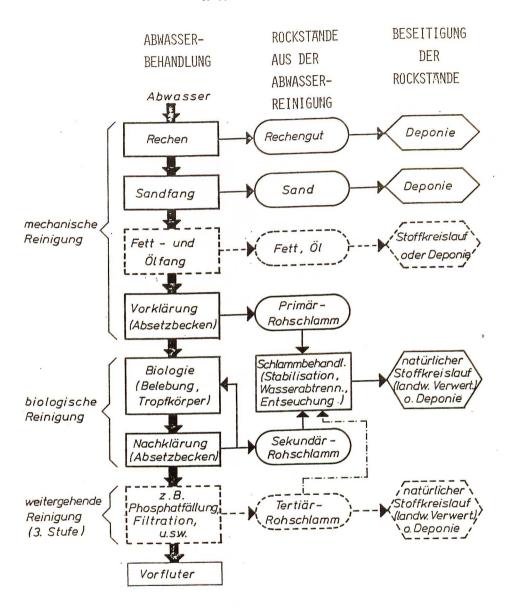


Abb. 1: Abwasserbehandlung, Rückstände aus der
Abwasserreinigung und deren Beseitigung
in einer kommunalen Kläranlage

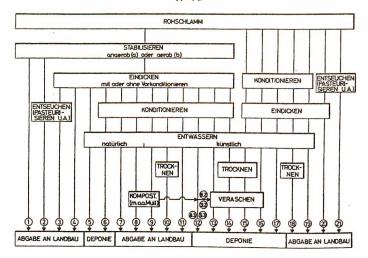


Abb. 2: Schlammbehandlung und -beseitigung, allgemeines Verfahrensschema

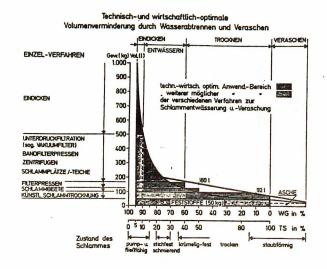


Abb. 3: Anwendungsbereiche sowie optimale Wahl, Zuordnung und Kombination verschiedener Schlammbeseitigungsverfahren

#### Veraschung\_

Kosten für die Wasserverdamplung und die Entwässerung als Funktion des TS-Gehaltes

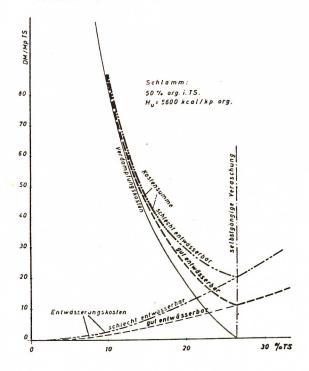


Abb. 4: Zusammenwirken und Optimierung der Systeme zur Entwässerung und Veraschung nach dem Maßstab der Kosten für die Wasserverdampfung und für die Entwässerung als Funktion des Trockensubstanzgehaltes, nach LORENZ (15)

Beseitigung des bei der Abwasserbehandlung anfallenden Schlamms Nach Wirtschaftsgruppen

|                                      |                                    |                      | Be       | Beseitigter Schlamm |  |  |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------|----------|---------------------|--|--|
|                                      |                                    |                      |          |                     | davon durch  |  |
| Wirtschaftsgruppe                    | Angefallener<br>Rohschla <b>ma</b> | insgesamt            | Ablagern | . Verbrennen        | Abgabe an Landwirt-<br>schaftliche Ver-<br>wertungen | Sonstiges*   |
|                                      | 1,0                                | 1,000 m <sup>3</sup> | ve       | ٥٩                  | 84   | 82   |
| Energie- und Nasser-<br>versorgung   | 2                                  | 2                    | 100      | •                   |  | •  |
| Bergbau                              | 1,979                              | 1,518                | 78,3     | 2,8                 |  | 18,9   |
| Grundstoff- und Prod<br>Gütergeverbe | 13,729                             | 5,858                | 8*59     | 10,9                | 2,4  | 20,9   |
| Investitionsgüter<br>prod. Gewerbe   | 1,248                              | 428                  | 1,99     | 1,9                 | 6,5  | 31,5   |
| Verbrauchsgüter<br>prod. Gewerbe     | 691                                | 614                  | 29,6     | •                   | 9,6  | 64,5   |
| Nahrungs- und<br>Genußmittelgewerbe  | 1,909                              | 1,406                | 9.178    | 4,0                 | 28,9   | 13,1   |
| zusammen                             | 19,558                             | 169*6                | 8*+9     | 1,2                 | 0,0  | 22,1   |
|                                      |                                    |                      |          |                     |  | distraction of the second seco |

<sup>\*</sup> Versprühen, Kompostieren, Verbleib zur Auflandung, Wieder- bzw. Weiterverarbeitung, Verwendung als Rohstoff, Verarbeitung zu anderen Erzeugnissen u.a.m.

Quelle: "Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung

in der Wirtschaft 1975"

Statistische Bundesamt, Fachserie 19, Reihe 2.2

| Gehalt an :<br>Trockensubstanz (JS) | Wassergehalt<br>(WG) | Beschaffenheit  |
|-------------------------------------|----------------------|---|
| < 15 - 20 %                         | > 85 - 80 %          | flüssig bis breiartig,<br>pumptähig                                     |
| - 20 - 30 %                         | ~80 - 70 %           | i.a. stichfest, noch olastisch,<br>schmierend, thixotrcp                |
| > 35 - 40 %                         | < 65 - 60 %          | krümelig-fest, nicht mehr<br>schmierend, nur noch bedingt<br>auslaugbar |
| > 60 - 65 %                         | < 40 - 35 %          | streufähig,<br>beständig fest   |
| > 65 - 90                           | < 15 - 10 %          | staubförmig   |

Tabelle 2: Beschaffenheit von Abwasserschlämmen bei verschiedenen Wassergehalten

| Verfahrensstufe            | Größenordnung des Arbeitsaufwandes für die<br>Abtrennung von 1 m <sup>3</sup> Schlammwasser  |
|----------------------------|--|
|                            | (Brutto-)kWh<br>m <sup>3</sup> abzutrennendes Schlammwasser  |
| Eindickung<br>Entwässerung | ∼ 10 <sup>-3</sup> bis 10 <sup>-2</sup> ∼ 10 <sup>0</sup> bis 10 <sup>1</sup> ohne Berücksichtigung der Wirkung von Flockungsmitteln |
| thermische<br>Trocknung    | ~ 10 <sup>3</sup>  |

Tabelle 3: Größenordnungsmäßiger Vergleich des erforderlichen spezifischen Arbeitsaufwandes für die Abtrennung von 1 m<sup>3</sup> Schlammwasser in den drei Hauptverfahrensstufen

| Eigenschaften der                                  | Eindick-<br>fähigkeit       | Grenzen der<br>Entwässerbarkeit bei Einsatz<br>von                |  |  |  |
|--|-----------------------------|---|--|--|--|
| Schlämme nach<br>ihrem Wasser-<br>bindungsvermögen | (ohne Kondi-<br>tionierung) | Unterdruck-<br>filtern,<br>Bandfilter-<br>pressen,<br>Zentrifugen | Druckfiltern.<br>zum Beispiel<br>Filterpressen |  |  |
|  | % WG                        | % WG  | % WG   |  |  |
| gut entwässerbar                                   | ~75                         | ~7050   | ~4030  |  |  |
| mittelmäßig<br>entwässerbar                        | ~9085                       | ~ 8070  | <b>~</b> 6560                                  |  |  |
| schlecht<br>entwässerbar                           | ~9997                       | ~ 85 80   | ~7570  |  |  |

Tabelle 4: Grenzen der Eindickfähigkeit und der Entwässerbarkeit von Abwasserschlämmen verschiedenen Wasserbindungsvermögens

| Kiin    | stliche V | erfahren   | -                               |   | zugehörige Eigenschaften   |
|---------|-----------|--|---------------------------------|---|--|
| Stufe   | Verfahren | wirksam durch                                      | Einzelver fahren                | erreichbarer<br>Endwasser-<br>gehalt<br>(ohne Kondi-<br>tionierung) | der Schlamme Huch<br>Wasserbindungsvermögen<br>bzw. ihrer Eindickfähigkeit<br>und ihrer Entwässerbarkeit |
|         |           | Schwerkraft  | kontinuierlich                  | ~90-85%   |  |
| 1.Stufe | Eindicken | Schwerkian   | oder<br>diskontinuierlich       | ~75%  | gut entwässerbar   |
|         |           |  | betriebene<br>Eindicker         | ~99-97%   | schlecht entwässerbar  |
| 2.Stufe | Entwäs-   | bei statischen<br>Verfahren:                       | statische<br>Verfahren;         | ~80-70%   | mittelmäßig entwässerbar   |
|         | sern      | Druckunter-<br>schiede gegen-                      | Interdruck-                     | ~70 -50%  | gut entwässerbar   |
|         |           | über der Atmo-<br>sphäre, erzeugt<br>durch Unter - | pressen                         | ~85-80%   | schlecht entwässerbar  |
|         |           | oder Überdruck<br>in der Maschine                  | (Über-) Druck-<br>Filtration    | ~65 -60%<br>~40 -30%<br>~75 -70%                                    | mittelmäßig entwässerbar<br>gut entwässerbar<br>schlecht entwässerbar                                    |
|         |           | dynamischen<br>Verfahren:                          | dynamische<br>Verfahren;        |   | mittelmäßig entwässerbar   |
|         |           | Schwerkraft<br>(künstliche                         | Zentrifugen /<br>Dekanter       | ~70-50%   | gut entwässerbar   |
|         |           | Schwerefelder)                                     | (mit Abscheide-<br>graden >95%) | ~85-80%   | schlecht entwässerbar  |
| Stufe   | Trocknen  | Thermische<br>Kräfte                               | Trockner aller                  | 2-1%  |  |

Tabelle 5: Stufenweise Schlammwasserabtrennung mit künstlichen Verfahren

| Natü    | rliche Ve       | rfahren   |  |  |  |
|---------|-----------------|---|--|--|--|
| Stufe   | Verfahren       | wirksam<br>durch  | Einzelverfahren  | erreichbarer<br>Endwasser-<br>gehalt<br>(ohne Kondi-<br>tionierung)                          | zugehörige Eigenschaften<br>der Schlämme nach ihrem<br>Wasserbindungsvermögen<br>bzw. ihrer Eindickfähigkeit<br>und ihrer Entwässerbarkeit   |
| 1.Stufe | Eindicken       |   | kontinuierlich   | ~90-85%  | mittelmäßig entwässerbar   |
|         |                 | kraft   | oder<br>diskontinuierlich                                      | ~75%   | gut entwässerbar   |
|         |                 |   | betriebene<br>Eindicker  | ~99-97%  | schlecht entwässerbar  |
| 2.Stufe | Entwäs-<br>sern | Schwer-<br>kraft<br>(natür-<br>liches<br>Schwere-<br>feld) und<br>ther-<br>mische<br>Kräfte<br>(Verdun-<br>stung) | Schlammbeete Schlamm- trockenbeete Schlammplätze Schlammteiche | ~70-60 %<br>~50-30 %<br>~85-75 %<br>~85-75 %<br>~80-75 %<br>bis zu-50 %<br>~50 %<br>~85-80 % | mittelmäßig entwässerbar<br>gut entwässerbar<br>schlecht entwässerbar<br>mittelmäßig entwässerbar<br>mittelmäßig entwässerbar<br>bei sehr langer Lagerung<br>gut entwässerbar<br>schlecht entwässerbar |
| 3.Stufe | Trocknen        | Ther-<br>mische<br>Kräfte   | Schlamm-<br>trockenbeete                                       |  | nur in warmen, ariden<br>Zonen, sonst künstliche<br>Verfahren  |

Tabelle 6: Stufenweise Schlammwasserabtrennung mit natürlichen Verfahren

|   |                | Ausweich-<br>flächen a) |   | erland | Grünld<br>Feldfu<br>anbau<br>VR c) | itter- | Gartenland u.<br>Gemüseanbau |
|---|----------------|-------------------------|---|--------|------------------------------------|--------|------------------------------|
| 1.1 Rohschlamm  | sb             | (+)                     | - | -      | -                                  |        | -                            |
| 1.2 Schlamm aus Erdbecken<br>und Inhalt aus Kleinklär-<br>anlagen                     | sb             | + .                     | + | -      | -                                  | -      | -                            |
| 2.1 flüssig 2.2 entwässert 2.3 natürlich getrocknet 2.3 respectively.                 | sb<br>sb<br>sb | +                       | + | -      | +                                  | -      | -                            |
| 3.1 chemisch  | sb             |                         | - |        |                                    |        |                              |
| kiinstlich getrockneter Schlamm     pasteurisierter Schlamm     kompostierter Schlamm |                | +                       |   | +      | +                                  |        | +                            |

sb = seuchenhygienisch bedenklich

- Anwendung zulässig

-- Anwendung unzulässig

Tabelle 7: Auszug aus dem Merkblatt M 7 "Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau"

#### Literaturverzeichnis

- [1] THORMANN, A.: "Klärschlamm-Menge und Beseitigung in der Bundesrepublik Deutschland", Korrespondenz Abwasser )/77, S. 212 - 214;
- [2] THORMANN, A.: "Anfall und Beseitigung von Klärschlämmen in der Bundesrepublik Deutschland", BMI Umwelt Nr. 70;
- [3] RESCH, H.: "Schlämme aus Hauskläranlagen", "Der Städtetag", 1979, Heft 10, S. 618 622;
- [4] HAMEL, W.: "Schlämme aus Industrieabwasser", ATV Kurs A 2, 1977, Eppingen;
- [5] WEYRAUCH, W.: "Zusammenhänge zwischen Fällungsbedingungen und Schlammeigenschaften bei der Phosphatelimination aus Abwässern", Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, 1977;
- [6] HAHN, H.-H.: "Schlämme aus der Abwasserfällung und Abwasserflockung auf konventionellen Kläranlagen", ATV-Fortbildungskurs B/2 "Schlammbehandlung und Scjlammbeseitigung" im Oktober 1979 in Laasphe;
- [7] MÖLLER, U.: "Forderungen an die Technik aus der heutigen Sicht des Gewässerschutzes für den Bereich der Schlammund Abfallbeseitigung, Notwendigkeit und Möglichkeiten für eine geordnete Schlamm- und Abfallbeseitigung -Grenzen des Dispositionsspielraumes und verbleibende Freiheitsgrade für das notwendige Handeln - weitere Konsequenzen", Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung, Band Nr. 25, "Die Kasseler Tagung 1971", 1972, S. 181 - 206;
- [8] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: "Abfallwirtschaftsprogramm '75 der Bundesregierung", Umweltbrief Nr. 13 vom 12.3.1976, Eigenverlag;

- [9] Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III, 2. Aufl., 1978, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München;
- [10] MÖLLER, U.: "Zur Technologie der Schlammentwässerung", Zeitschrift "Städtehygiene" 18, 1967, S. 54 - 60;
- [11] MÖLLER, U.: "Überlegungen zur Wahl und Kombination verschiedener Verfahren bei der Schlammbehandlung", in "Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen", Band 6 der Schriftenreihe "Gewässerschutz Wasser Abwasser", Aachen 1971, S. 325 359;
- [12] RUHRVERBAND: "Spezielle Möglichkeiten der künstlichen Entwässerung von Klärschlamm", Abschlußbericht Teil II, Technisch-wissenschaftliche Schriftenreihe der ATV, Heft 2, 1971;
- [13] MÖLLER, U.: "Theoretische Grundlagen der Entwässerung von Klärschlamm" aus "Klärschlamm und Müll", H. 46 der Vortragsveröffentlichungen des Hauses der Technik, Essen, 19.3.1965, S. 9 - 46;
- [14] Zentralstelle für Abfallbeseitigung beim Bundesgesundheitsamt: Merkblatt M 7 "Die Behandlung und Beseitigung von Klärschlämmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer seuchenhygienisch unbedenklichen Verwertung im Landbau", Handbuch "Müll- und Abfallbeseitigung", Herausgeber: KUMPF, W., MAAS, K. und STRAUB, H. bzw. HÖSEL, G. und STRAUB, H., 1964/79, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin-Bielefeld, Kennzahl 6854, S. 1 11;
- [15] LORENZ, K.: "Anlagen zur gemeinsamen Behandlung von Klärschlamm, Rechen- und Sandfanggut unter besonderer Berücksichtigung der Veraschung", in "Behandlung und Beseitigung von Abwasserschlämmen", Band 6 der Schriftenreihe "Gewässerschutz - Wasser - Abwasser", Aachen 1971, S. 361 - 378;
- (16) Hamel, W.: Schlämme aus Industrieabwasser Manuskript ATV Kurs A 2 1977 Eppingen
- (17) Möller, U. Wohin mit den Schlämmen?
  Schenkel, W. Korrespondenz Abwasser 2/80