

## Trocknung kommunaler Klärschlämme in Deutschland

### Teil 2: Erfahrungen mit bestehenden Anlagen\*)

Dieser Arbeitsbericht ist von der ATV-Arbeitsgruppe 3.3.1 „Klärschlamm-Trocknungsanlagen“ im ATV-Fachausschuß 3.3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“ erarbeitet worden, dem folgende Mitglieder angehören:

Prof. Dipl.-Ing. Armin Melsa, Viersen (Sprecher)  
 Dipl.-Ing. Gerhard Bäckler, Viersen  
 Dipl.-Ing. Harald Hanßen, Hamburg  
 Dr.-Ing. Mark Husmann, Mannheim  
 Dipl.-Ing. Michael Wessel, Essen  
 Prof. Dr.-Ing. Hartmut Witte, St. Augustin

### 1. Vorbemerkungen

Der in *Korrespondenz Abwasser*, 10/1997, Seite 1869, veröffentlichte Teil 1 und der vorliegende Teil 2 des Arbeitsberichtes wenden sich an Klärschlamm-sorgungspflichtige sowie Anlagenplaner, -bauer und -betreiber. Der Arbeitsbericht stellt die im Rahmen einer Umfrage zusammengetragenen wesentlichen Erkenntnisse über den Stand der Klärschlamm-trocknungsanlagen zusammenfassend dar und ermöglicht sowohl einen grundsätzlichen Einstieg in das Thema als auch die weitergehende Systembetrachtung.

Die Auswahl der befragten Betreiber erfolgte nach mehreren Kriterien. So sollten soweit wie möglich alle derzeit auf dem Markt angebotenen Trocknungsverfahren berücksichtigt werden, wobei die Gewichtung der Anzahl der befragten Betreiber den Marktanteilen entsprechen sollte. Ferner wurde insbesondere darauf geachtet, daß die Erfahrungen aller Betreiber größerer Trocknungsanlagen mit in die Befragung einfließen. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurden nur Betreiber befragt, deren Anlagen mit überwiegend kommunalem Klärschlamm beschickt wurden. Zusätzlich sollte eine Betriebserfahrung von mindestens einem Jahr vorliegen. Trocknungsverfahren und -anlagen, die aufgrund der oben genannten Auswahlkriterien keine Erwähnung finden, sollen dadurch nicht abgewertet werden.

In einer Befragung bei rund 30 Betreibern von Trocknungsanlagen wurde der Sachstand der Klärschlamm-trocknung vor Ort erhoben. Neben theoretischen Bemessungsdaten und den praktischen Betriebsergebnissen umfaßte der Fragenkatalog auch Erkenntnisse über Schwachstellen der Anlagen.

Im Teil 1 sind die theoretischen Grundlagen der Klärschlamm-trocknung sowie die in Deutschland sich im Einsatz befindlichen Trocknungsverfahren beschrieben. Teil 2 behandelt die Auswertung der Daten vor dem Hintergrund verschiedener Kriterien. Die Bearbeitung wurde durch Mittel aus dem Forschungsfonds von ATV und GFA finanziell unterstützt.

\*) Anregungen zu diesem Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV – Vereinigung für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.

## 2. Hauptdaten und Systemdarstellung

### 2.1 Datengrundlage

Die im weiteren dargestellten Ergebnisse basieren auf einer 1996 durch die ATV-Arbeitsgruppe 3.3.1 durchgeführten Befragung von 30 Betreibern kommunaler Klärschlamm-trocknungsanlagen. Ferner sind zusätzlich Herstellerangaben berücksichtigt worden, da diese ihre Anlagen zum Teil auch in Form von Betreibermodellen anbieten. Die Umfrage erfaßt somit ca.  $\frac{3}{4}$  der in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb befindlichen Anlagen. Die Verteilung der berücksichtigten Klärschlamm-trocknungsanlagen nach Trocknertypen ist in Bild 1 dargestellt.

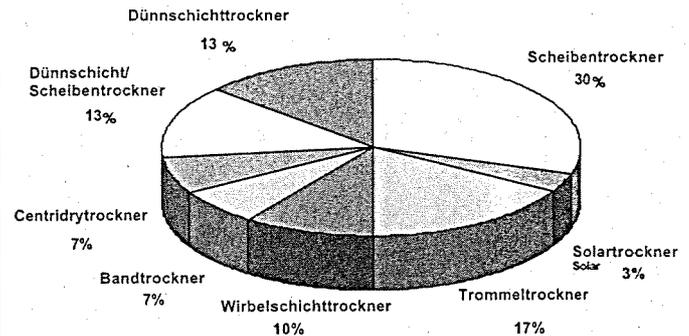


Bild 1: Verteilung der in der Umfrage erfaßten Trocknungsanlagen (30 Anlagen berücksichtigt)

Allein auf der Basis der Anzahl der betriebenen Anlagen läßt sich noch keine Aussage über die Marktanteile treffen. Hierzu muß die Größe der jeweiligen Trocknungsanlagen mitberücksichtigt werden, die sich über den Trocknerdurchsatz (Bild 2) und die Wasserverdampfung (Bild 3) festlegen läßt. Dabei dürfen die beiden Parameter nicht getrennt voneinander betrachtet werden. So liegt bei vergleichbarem Bauvolumen die Wasserverdampfung von Teiltrocknungsanlagen deutlich höher als bei Anlagen, die zur Volltrocknung genutzt werden. Auch muß die vorgeschaltete Entwässerung Berücksichtigung finden, da niedrige Entwässerungsgrade zwar die Wasserverdampfung erhöhen, jedoch den Trocknerdurchsatz vermindern.

Es zeigt sich, daß der am häufigsten eingesetzte Trocknertyp, der Scheibentrockner, gleichzeitig den größten Gesamtdurchsatz aufweist. Dies liegt vorrangig darin begründet, daß Scheibentrockner im Gegensatz zum nächsthäufigen Verfahren, dem Trommeltrockner, sowohl in der Lage sind, den Klärschlamm voll- als auch teiltrocknen. Betrachtet man nun zusätzlich die Wasserverdampfung, so ergibt sich für Scheiben- und Trommeltrockner ein gemeinsamer Marktanteil von über 70%. Ein Grund für diesen hohen Marktanteil läßt sich auch in der historischen Entwicklung der Klärschlamm-trocknung finden. So kamen zunächst nur Trockner zum Einsatz, mit denen schon in anderen Industriezweigen, wie der Lebensmittelindustrie oder der Kohletrocknung, positive Erfahrungen gemacht wurden. Im Laufe der Zeit hat sich jedoch herausgestellt, daß ein Technologietransfer auf die Klärschlamm-trocknung ohne weiteres nicht möglich war, so daß die Verfahren modifiziert werden mußten bzw. neue Trocknungsverfahren, wie das Centridry-Verfahren entwickelt wurden.

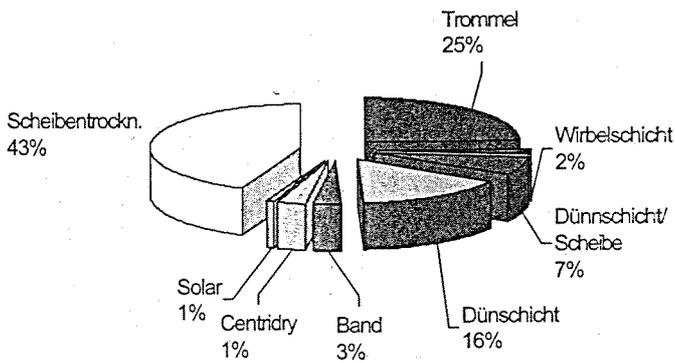


Bild 2: Prozentualer Anteil der Trocknungsverfahren, bezogen auf den Feststoffdurchsatz (t<sub>TR</sub>/h)

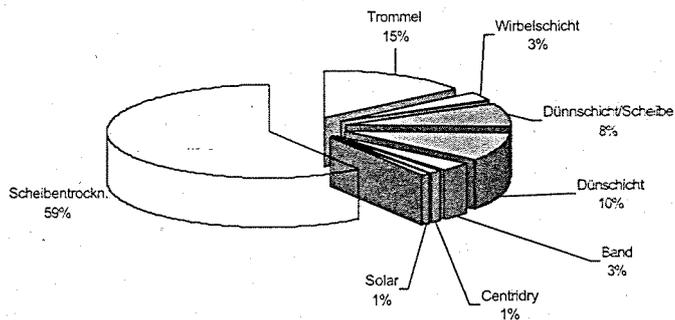


Bild 3: Prozentualer Anteil der Trocknungsverfahren, bezogen auf die Wasserverdampfung (t<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/h)

## 2.2 Vergleich der Leistungsdaten der einzelnen Trocknungsverfahren

In der Bundesrepublik Deutschland werden derzeit weniger als 10% des anfallenden Klärschlammes einer Trocknung zugeführt. Ob eine Klärschlamm-trocknung bei der Planung einer neuen oder dem Um- bzw. Ausbau einer bestehenden Kläranlage berücksichtigt werden soll, muß im Einzelfall entschieden werden. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die möglichen Verwertungs- und Entsorgungspfade.

Ein direkter Vergleich der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Trocknungsverfahren gestaltet sich relativ kompliziert, da bei der Beurteilung sowohl das Trocknungsverfahren (Voll-/Teiltrocknung) als auch die Schlamm-eigenschaften (Eingangstr-Gehalt) berücksichtigt werden müssen. Als typischer Leistungsbereich werden heute für den Trocknerdurchsatz im Mittel Werte zwischen 0,2 bis 1,7 t TR/h angesehen (Bild 4). Größere Durchsatzmengen werden in der Regel durch mehrstrahigen Betrieb realisiert, und nur in Ausnahmefällen werden einzelne Trockner deutlich größer dimensioniert. Die Verdampfungsleistung der einzelnen Aggregate liegt im Mittel zwischen 1–2 t (H<sub>2</sub>O)/h bei Volltrocknungsanlagen, während sie bei Teiltrocknungsanlagen um ein vielfaches höher liegen kann (Bild 5). Die Größe der Trocknungsanlagen (angeschlossene EW) läßt einen Eindruck über das realisierte Leistungsspektrum gewinnen (Bild 6).

Neben den Anforderungen an den Durchsatz ist der Trocknungsgrad der entscheidende Auslegungsparameter. Hierbei lassen sich nach der im ersten Teil dieses Berichtes eingeführten Definition drei Bereiche unterscheiden. Ein vollgetrocknetes Produkt liegt demnach dann vor, wenn dieses einen

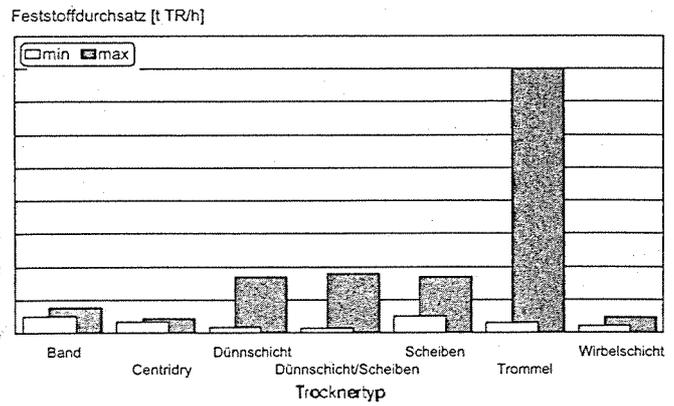


Bild 4: Vergleich des Trocknerdurchsatzes einzelner Trocknungslinien

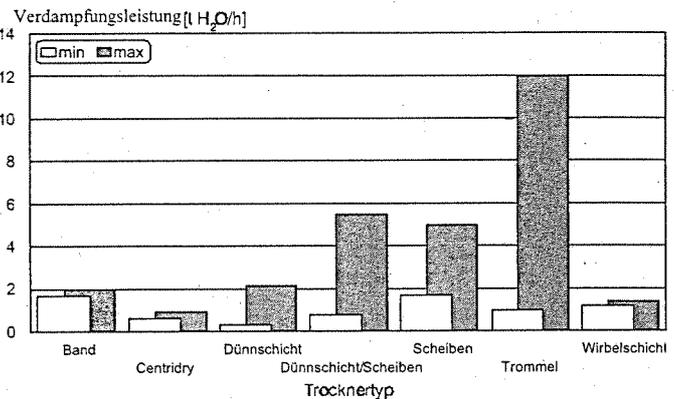


Bild 5: Vergleich der Verdampfungsleistung einzelner Trocknungslinien

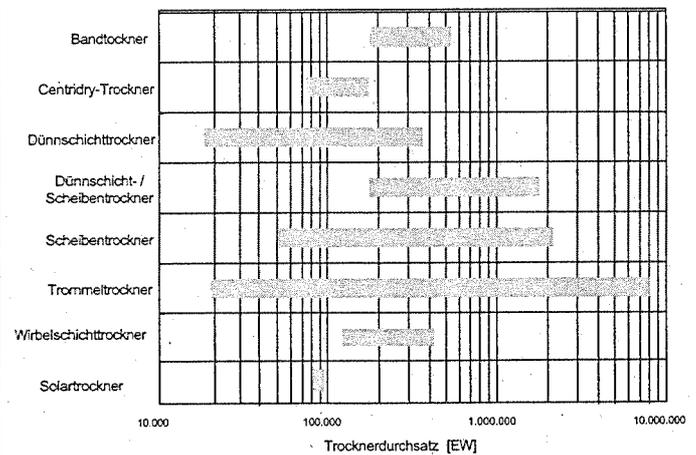


Bild 6: Trocknerdurchsatz der einzelnen Trocknertypen

TR-Gehalt von >85% aufweist, eine Teiltrocknung dementsprechend darunter. Bei einer Teiltrocknung ist zusätzlich zu unterscheiden, ob diese über die Leimphase (40–50%) hinausgeht oder darunter bleibt [1]. Für die befragten Anlagen ergibt sich die in Bild 7 dargestellte Verteilung. Während Band-, Centridry- und Scheibentrockner sowohl zur Voll- als auch zur Teiltrocknung oberhalb der Leimphase eingesetzt werden, trocknen Trommel- und Wirbelschichttrockner den Klärschlamm ausschließlich auf über 85%. Dünnschichttrock-

ner und kombinierte Dünnschicht-/Scheibentrockner hingegen werden auch zur Trocknung bis knapp unterhalb der Leimphase genutzt.

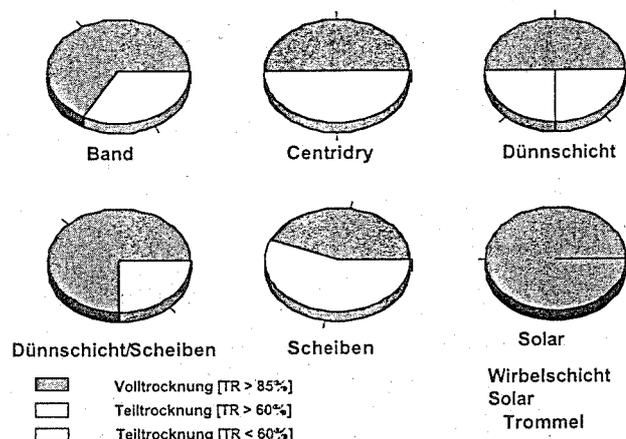


Bild 7: Anteil der Trocknungsverfahren, bezogen auf den Trocknungsgrad

### 3. Schwerpunkte zu Planung, Bau und Betrieb

Ein besonderer Schwerpunkt bei der Durchführung der Befragung wurde neben der Erhebung der rein technischen Daten auf die Betriebserfahrungen und Anmerkungen zu kritischen Komponenten gelegt. Hierbei zeigte sich, daß die beobachteten Probleme sehr vielschichtig sind. Eine Unterscheidung läßt sich nach trockenerspezifischen und trockenrerunabhängigen Komponenten treffen. Um spätere Kosten für Nach- bzw. Umrüstung zu vermeiden, sind daher eine frühzeitige Analyse der kritischen Komponenten und eine angepaßte Planung notwendig.

#### 3.1 Schlammanlieferung und -lagerung

Die hier auftretenden Probleme sind nicht trockenerspezifisch und können somit bei allen oben betrachteten Verfahren beobachtet werden. Eine Besonderheit bildet das Centridry-Verfahren, da hier die Betriebsführung keine Zwischenlagerung des entwässerten Klärschlammes und daher auch keinen Transport erfordert.

Bei der Entwässerung des Klärschlammes ist darauf zu achten, daß die Förderfähigkeit erhalten bleibt. Als Förderaggregate haben sich Dickstoffpumpen und Spiralförderer bewährt, während Exzentrerschneckenpumpen von einigen Betreibern, insbesondere bei Auftreten lipophiler Stoffe, kritisch betrachtet werden. Unabhängig von der gewählten Verfahrensvariante treten häufig Dimensionierungsfehler bei der Berechnung der Förderleistung von Pumpen auf, die einen kompletten Austausch erforderlich machen und somit zusätzliche Kosten verursachen. Ferner ist in den Leitungen mit Abrasions- und Korrosionserscheinungen zu rechnen, denen jedoch mit einer entsprechenden Materialwahl, Dimensionierung sowie Leitungsführung begegnet werden kann.

Zur Lagerung werden häufig Speichersilos eingesetzt, die jedoch nicht eckig ausgeführt werden sollten, um die Gefahr des Zuwachsens des Silos und der Austragsschnecke zu verringern. Probleme können darüber hinaus durch Verzopfungen

in der Zentralschleuse auftreten. Aufgrund der Restgasentwicklung im Silo ist aus sicherheitstechnischen Gründen in jedem Fall auf eine ausreichende Aspiration und Methanüberwachung zu achten. Ob eine Inertisierung, insbesondere bei der Zwischenlagerung, erforderlich ist, ist vom Einzelfall abhängig.

### 3.2 Trockner

#### 3.2.1 Kontakttrockner

**Dünnschichttrockner** haben sich im Betrieb als relativ störungsunanfällig herausgestellt. Bei der Ausführung ist im Hinblick auf Verschleiß und Korrosion eine Edelstahlausführung von Vorteil. Lediglich die Paddel sind in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren, da sich diese im Laufe des Betriebs verbiegen können.

**Scheibentrockner** erweisen sich im Betrieb bei Teiltrocknung in der Regel problemlos. Die bei der Volltrocknung auftretenden Probleme durch Verschleiß, Korrosion und Abrasion sind in der letzten Zeit durch konstruktive Weiterentwicklungen und eine veränderte Materialwahl weitgehend vermindert worden. Als kritisch erwiesen sich insbesondere Anlagen aus H11-Kesselblech, da aufgrund der teilweise sehr hohen mechanischen Belastungen der Scheiben diese in der Vergangenheit vielfach nachgerüstet oder sogar komplett ausgetauscht werden mußten. Das anfallende staubförmige Produkt mit dem meist hohen Faser- und Haaranteil verursachte bei der Siebung diverse Probleme. Der Staubanfall kann jedoch durch das Temperaturprofil und eine gezielte Rückmischung nur bedingt beeinflusst werden. Eindeutige Zusammenhänge sind zur Zeit nur unzureichend bekannt. Ist ein staubarmes Granulat als Ausgangsprodukt erwünscht, ist bei Scheibentrocknern mit zusätzlichem apparativen Aufwand zu rechnen. Zur Füllstandsmessung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Der Einsatz von  $\gamma$ -Strahlern ist zuverlässig, erfordert jedoch die Einhaltung der Strahlenschutzverordnung. Einfacher ist der Einsatz von Druckmeßdosen zur Gewichtserfassung. Auch kann über die Drehmomentaufnahme des Antriebsmotors eine Steuerung der Anlage hinsichtlich des zu erreichenden TR-Gehaltes und als Indiz für ein bevorstehendes Verkleben der Scheiben aufgrund des Erreichens der Leimphase genutzt werden.

#### 3.2.2 Konvektionstrockner

**Trommeltrockner** zeigen bei korrekter Materialwahl kaum Verschleißprobleme. Daher sollte auf eine Ausführung in St 37 verzichtet werden und statt dessen Edelstahl zum Einsatz kommen. Für **Wirbelschichttrockner** liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor. Bis zum Zeitpunkt der Untersuchung erwies sich der Betrieb der Trockner als unproblematisch.

**Centridry-Trockner** haben sich bisher im Betrieb als zufriedenstellend arbeitend herausgestellt. Jedoch muß auf der Produktseite mit einem erhöhten Staubanfall gerechnet werden, so daß die folgende Peripherie hierauf abgestimmt sein sollte. Schwankungen des TS-Gehalts im Eintragsbereich spiegeln sich zwangsläufig aufgrund der großen Wassermengen im TR-Gehalt des Produktes wieder.

Bei **Bandtrocknern** ist die Materialwahl von Presse und Lochmatrix bei der Produktaufgabe auf die hohen mechanischen Kräfte abzustimmen. Im Bereich der Schlammaufgabe auf das Förderband ist unbedingt auf die Erzeugung einer gleich-

mäßigen Haufwerksschüttung mit definierter Höhe zu achten, da ansonsten keine vollständige Trocknung sichergestellt werden kann und die Brandgefahr aufgrund lokaler Überhitzungen sowie durch örtliche Staubaufreicherung in Folge von Trockengutzerfall stark zunimmt. Bandtrockner sind daher im Austragsbereich mit einer CO<sub>2</sub>-Löschanlage zu versehen.

**Solartrockner** können den Konvektionstrocknern zugeordnet werden. Das Kornspektrum des Trockengutes ist je nach Klärschlammaufgabe und Durchmischung etc. weit gefächert. Die betrachtete Anlage lief weitgehend unproblematisch.

**3.3 Produkttransport und -lagerung**

Bei dem Produkttransport und der -lagerung (Tabelle 1) sind der Trocknungsgrad, insbesondere das Kornspektrum sowie die Produkttemperatur zu berücksichtigen. Teilgetrockneter Schlamm muß dabei prinzipiell wie Dickschlamm behandelt werden (z. B. Ausgasung).

Liegt ein teilgetrockneter Klärschlamm mit kurzer Faulzeit vor, so kann es zu Kompöstierungserscheinungen kommen. Selbst nach längerer Lagerzeit lassen sich dann noch Temperaturen von über 70°C messen. Zu Explosions- und Brandschutz siehe Teil 1 dieses Arbeitsberichtes.

Bei vollgetrocknetem Schlamm kann es abhängig vom Trocknungsverfahren zu erheblicher Staubentwicklung kommen. In jedem Fall ist zu überprüfen, ob für den Transport abgedeckte Container erforderlich sind. Bei der Produktlagerung ist mit der Gefahr von Schweißbränden durch Selbstentzündung zu

	Bandtrockner	Centridry-Trockner	Dünnschichttrockner (Teiltrocknung)	Dünnschicht-/Scheibentrockner	Scheibentrockner (Volltrocknung)	Scheibentrockner (Teiltrocknung)	Trommeltrockner	Wirbelschichttrockner	Solartrockner
<b>Eindickung, Entwässerung:</b>									
Pumpfähigkeit des Schlammes	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	-
Ausgleichsbecken	-	!!	-	-	-	-	-	-	-
ausreichende Standfestigkeit	!!	-	-	-	-	-	-	-	!!
<b>Transport, Lagerung:</b>									
Korrosion / Abrasion in den Leitungen	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!
Korrosion / Abrasion an den Transportvorrichtungen	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!	!!
Be- und Entlüften	!	!	!	!	!	!	!	!	!
<b>Trocknung:</b>									
Materialwahl	!	!	!	!	!	!	!	!	-
Pelletierung	!!	-	-	-	-	-	-	-	-
Staubbrandgefahr im Trockner	!!	!	-	-	-	-	-	-	-
Staubabscheidung	!	!!	-	!!	!!	!	!!	!	!
Korrosion, Abrasion	!	!	!	!	!	!	!	!	-
diskont. Betrieb	-	-	-	!	!!	!	!	!	-
Nachgasung	-	-	!!	-	-	!!	-	-	-
Inertisierung	!	!	-	!	!	!	!	!	-
<b>Transport:</b>									
Produktförderung	!	!	!	!	!	!	!	!	!
Brandgefahr	!	!	-	-	-	-	-	-	!
Faserfreisetzung	-	!!	-	!!	!!	!	!	!	-
<b>Produktlagerung:</b>									
Selbstentzündung	!!	!!	-	!!	!!	-	!!	!!	!
!! sehr sensibel   zu berücksichtigen -unkritisch									

Tabelle 1: Zusammenfassung der wichtigsten zu berücksichtigenden Komponenten

rechnen. Diesem Umstand ist durch eine sorgfältige Betriebsführung (keine Reibungswärme etc.) Rechnung zu tragen. Lange Lagerzeiten in Silos sollten vermieden werden, da es zu Anbackungen kommen kann.

Trocknertyp	Vorteile	Nachteile
<b>Bandtrockner</b>	Problemloses Durchfahren der Leimphase Geringer Verschleiß im Trockner Produktqualität gut einstellbar	Gefahr der lokalen Überhitzung => hohe Brandgefahr Klärschlamm entwässern auf Pelletierung anpassen
<b>Centridry-Trockner</b>	Schnelles An- und Abfahren möglich Problemloses Durchfahren der Leimphase Gut geeignet für mittelgroße Kläranlage mit ausreichend Schlammanfall	Keine zentrale Trocknung, da hoher Temperaturaufwand Trockner reagiert empfindlich auf Schwankungen des TR-Gehaltes im Zulauf Relativ hoher Staubanteil im Produkt
<b>Dünnschichttrockner</b>	Robustes Verfahren Unempfindlich auf schwankende TR-Gehalte im Eintrag Problemloses Durchfahren der Leimphase	Volltrocknung energetisch ungünstig => große Baueinheit
<b>Dünnschicht-/Scheibentrockner</b>	Keine Rückmischung erforderlich => erhöhter Durchsatz Nutzung der trockenerspezifischen Vorteile in den einzelnen Trocknungsphasen	Zwei eigenständige Trocknungsaggregate erforderlich Unter Umständen hoher Staub- und Faseranteil im Produkt
<b>Scheibentrockner</b>	Guter Wärmeübergang Kompakte Bauweise Gut geeignet für große Durchsatzmengen	Diskontinuierlicher Betrieb ungünstig Rückmischung erforderlich u.U. hoher Staub- und Faseranteil im Produkt
<b>Trommeltrockner</b>	Robustes Verfahren Gut geeignet für große Durchsatzmengen Gut einstellbare Produktqualität	Diskontinuierlicher Betrieb ungünstig Niedriger Wärmeübergangskoeffizient Rückmischung erforderlich
<b>Wirbelschichttrockner</b>	Keine bewegten Teile im Trockner => kaum Verschleiß Problemloses Durchfahren der Leimphase Gleichmäßige Produktstruktur	Hoher Druckverlust Ausführung bisher nur für kleinere Durchsätze
<b>Solartrockner</b>	Spezifisch geringe Energiekosten Einfache Technik	Flächenbedarf Leistung witterungsabhängig Lange Trocknungszeiten

Tabelle 2: Gegenüberstellung der spezifischen Vor- und Nachteile der einzelnen Trocknungsverfahren

Zur Förderung des getrockneten Klärschlammes stellten sich Becherwerke in der herkömmlichen Form bei mehreren Betreibern als wenig geeignet heraus. Hier treten Abrasionsprobleme insbesondere im Bereich der Ketten auf. Bei pneumatischer Förderung zeigen sich lediglich bei einem Betreiber Verstopfungsprobleme aufgrund des hohen Faseranteils im getrockneten Produkt.

Korrosion und Abrasion in den Silos und an den Förderaggregaten ist durch geeignete Materialwahl zu begegnen. Beim Einsatz von Kühlschnecken mit gekühlter Förderschnecke kann es aufgrund der Kondensation zu Verpackungen kommen. Diesem Effekt kann durch die Umstellung auf eine abschließliche Mantelkühlung entgegengewirkt werden.

Werden zur Staubabscheidung Tuchfilter eingesetzt werden, ist ein häufiges Durchfahren des Taupunktes zu vermeiden, damit die Filter sich nicht frühzeitig zusetzen. Falls sich dies nicht durch eine entsprechende Betriebsführung verhindern läßt, kann eine Begleitheizung installiert werden. Beim Einsatz von Wärmetauschern zur Brüdenkondensation ist auf eine vorgeschaltete Staubabscheidung zu achten, da es ansonsten zu Ablagerungen und Verkrustungen kommen kann.

### 3.4 Gegenüberstellung der Trocknungsverfahren

Es zeigt sich, daß die Klärschlamm-trocknung mittlerweile einen Stand erreicht hat, mit dem vorgegebene Parameter, wie TR-Gehalt des Trockengutes oder Korngrößenverteilung, weitgehend eingehalten werden können.

Jedes der beschriebenen Trocknungsverfahren weist spezifische Vorzüge aber auch Nachteile auf. Diese sind in Tabelle 2 dargestellt. Hierbei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, jedoch kann bei Vorgabe eines gewünschten Trocknungszieles mit Hilfe der Tabelle der Kreis der in Frage kommenden Verfahren schnell eingeeengt werden. Die letztendliche Entscheidung für das eine oder andere Verfahren kann dem jeweiligen Planer jedoch nicht abgenommen werden, zumal hier auch die Frage der Investitions- und Betriebskosten mit berücksichtigt werden muß.

### 3.5 Möglichkeiten zur Optimierung des Energieeinsatzes und zur Wärmerückgewinnung

Grundsätzlich ist als Wärmemedium für die Klärschlamm-trocknung Rauchgas, Luft, Dampf, Heißwasser, Thermalöl oder Strahlungswärme einsetzbar (siehe hierzu Arbeitsbericht – Teil 1). Die Wärme kann hierbei entweder über eine der Trocknung direkt zugeordnete Wärmeinsel, z. B. in einer Dampfkesselanlage oder als Abwärme z. B. aus einem benachbarten Blockheizwerk bereitgestellt werden. Als Primärenergie wird hierbei Faulgas, Erdgas oder Heizöl EL genutzt. Wird auf einer Kläranlage der Schlamm ausgefaut, so steht als Brennstoff auch für eine Volltrocknungsanlage Faulgas für die Wärmeerzeugung zur Verfügung. Wird die Abwärme der Schlamm-trocknung für die Faulraumbeheizung eingesetzt, so steht als Brennstoff ausreichend Klärgas zur Verfügung.

Sollte der Trocknung eine Schlammverbrennung nachgeschaltet sein, kann der Dampf des Niederdrucksystems der Abhitze-kesselanlage oder aus der Anzapfung einer Dampfturbine entnommen werden. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrach-

tung muß hier im Einzelfall die Konzeptionsentscheidung untermauern.

Es ist von besonderer Wichtigkeit, vor der Entscheidung über ein Trocknungssystem den späteren Verwertungs- bzw. Entsorgungsweg des Trockengutes und die hierfür notwendigen Trocknungsgrade festzulegen. Soll der Klärschlamm teiltrocknet werden, um in einer nachgeschalteten Monoklärschlammverbrennung thermisch behandelt zu werden, sollte die Trocknung nur so weit erfolgen, daß eine autarke Verbrennung möglich ist. Bei ausgefautem Klärschlamm ist dies bei einem TR-Gehalt von 40–45%, bei Rohschlämmen bei ca. 35% TR der Fall.

#### 3.5.1 Bedarf an thermischer Energie

Der theoretische Energiebedarf für die Verdampfung von einer Tonne Wasser beträgt bei Normaldruck 627 kWh. Hinzu kommt für die Aufheizung des Wassers von 20 auf 100°C eine Wärmemenge von 93 kWh und für die Feststoffwärme 14 kWh. Direkte Verluste über die Oberfläche des Trockners bzw. über den Wirkungsgrad der Energieumwandlung betragen etwas mehr als 100 kWh. Davon nimmt die Energieumwandlung etwa 80% ein. Die letztgenannten Faktoren können durch optimierte Planungen und Ausführungen verändert werden. Da sie allerdings nur rund 10 Prozent des Energieeintrages ausmachen, bleiben praktisch kaum Energieeinsparmöglichkeiten bei der Klärschlamm-trocknung. Grundsätzlich sollte zur Optimierung des Gesamtprozesses die dem Trockner vorgeschaltete Entwässerungsmaschine – Zentrifuge oder Kammerfilterpresse – eine möglichst hohe Feststoffabscheidung aufweisen. Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen sind hier allerdings Grenzen gesetzt.

#### 3.5.2 Bedarf an elektrischer Energie

Bei der Klärschlamm-trocknung wird Strom vorrangig für den Antrieb der Trocknungsaggregate benötigt. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Nebenanlagen, z. B. für den Klärschlammtransport, die Brüdenbehandlung oder die Kesselanlagen. Die Verbrauchszahlen für das Gesamtsystem schwanken in Abhängigkeit vom Verfahren zwischen 70 und 110 kWh/t H<sub>2</sub>O Wasserverdampfung (Bild 8). Grundsätzlich

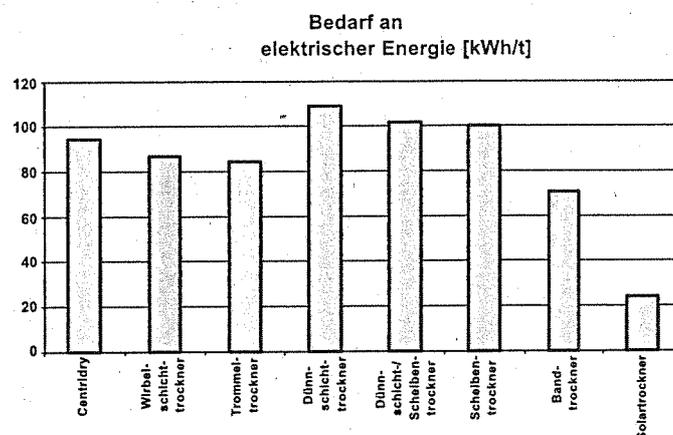


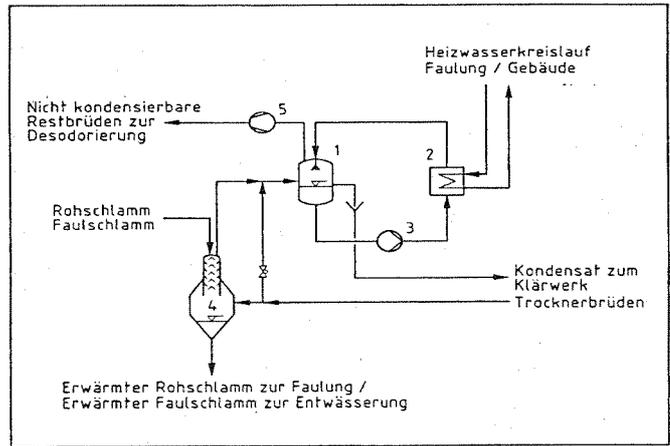
Bild 8: Bedarf an elektrischer Energie für die Verdampfung von einer Tonne Wasser in verschiedenen Trocknungsanlagen laut Betreiberumfrage

steigt mit höherem Klärschlammrockengehalt der Bedarf an elektrischer und thermischer Energie.

**3.5.3 Möglichkeiten der Energierückgewinnung**

Der Betrieb einer Schlamm-trocknungsanlage verbraucht generell mehr Wärme als der einer Faulungsanlage und der Gebäudeheizungen zusammen. Bei der Trocknung fallen mit steigendem TR-Gehalt zunehmende Mengen an Brüden an. Bei Kontakt-trocknungsverfahren handelt es sich um annähernd wasserdampfgesättigte, 100gradige Brüden, wenn der Anteil der Leckluft gering gehalten wird. Bei direkten Trocknungsverfahren sind die Brüden überhitzt, während der Wassergehalt deutlich niedriger ist. Der Brüden muß grundsätzlich kondensiert werden, da aufgrund der organischen Inhaltsstoffe die Brüden geruchsintensiv sind. Die Kondensationswärme kann für die Faulraumbeheizung genutzt werden, wenn die Brüdentemperaturen höher als die Vorlauf-temperaturen des Heizwasserkreislaufes sind. Einen Überblick über die Möglichkeiten, die Kondensationswärme zu nutzen, gibt Tabelle 3.

Die dem Trockner abgezogenen Brüden sollten vor dem Eintritt in die Kondensationsstufen (Bild 9) erst entstaubt werden. Dies trifft vorrangig bei Volltrocknungsanlagen zu, ist jedoch auch bei Teiltrocknung empfehlenswert. Da die Brüden immer Staub, Fette und andere Schmutzstoffe beinhalten, werden die Brüden in der Regel in Einspritzkondensatoren (1) mit Umlaufwassersystem niedergeschlagen. Im mit Pumpen (3) zwangsgeführten Wasserkreislauf befindet sich dann zur Wärmeauskopplung des Heizwasserkreislaufes z. B. der Faulungsanlage entweder ein Rohr- oder ein Plattenwärmetauscher (2). Die Brüdenkondensate werden abgezogen und müssen zum Beispiel in einer Kläranlage behandelt werden. In einer zweiten Stufe wird die überschüssige Wärme in einem sogenannten Mischkondensator (4) über Kaskaden zur Erwärmung des Rohschlammes oder des Faulschlammes ein-



*Bild.9: Vereinfachtes Schema einer Brüdenkondensation mit Wärmerückgewinnung*

gesetzt, wobei die Entwässerbarkeit des Schlammes verbessert werden kann. Wird der Mischkondensator zur Faulschlamm-wärmerückgewinnung vor der Entwässerungsstufe eingesetzt, so geht der größte Teil der eingebrachten Wärme mit dem Schlammwasser (Zentrat, Filtrat) verloren. Deshalb sollte dem Mischkondensator nur die überschüssige Brüdenmenge zugeführt werden. Da in den Sommermonaten der Wärmebedarf einer Faulungsanlage deutlich sinkt, ist als dritte Kondensationsstufe ein Regelkondensator meist unerlässlich. Als Kühlmedium kann Brauchwasser eingesetzt werden. Auch der Einsatz eines Luftkühlers ist grundsätzlich möglich.

Wärme sollte auf einem ausreichend hohen Temperaturniveau zurückgewonnen werden, so daß eine Vorlauf-temperatur bei Faulraum- und Gebäudeheizungen von bis zu 90°C erreicht wird. Wie im Kapitel 3.5.1 beschreiben, wird der größte Teil der Primärenergie zur Wasserverdampfung benö-

Trocknertyp	Beheizung Betriebsgebäude	Dünnschlamm-vorwärmung	Vorwärmung Belebung	Vorwärmung Brennerluft	Beheizung Faulturm
Bandtrockner	x			x	x
Centridrytrockner			x	x	
Dünnschichttrockner	x	x	x		
Scheibentrockner	x	x	x		x
Trommeltrockner				x	x
Wirbelschicht-trockner			x		
Dünnschicht/Scheibentrockner	x	x	x		

*Tabelle 3: Wärmerückgewinnung in bestehenden Anlagen*

tigt. Diese ist in den Brüden gebunden und kann durch Kondensation teilweise zurückgewonnen werden. Hierbei ist das Massenverhältnis zwischen Wasserdampfgehalt der Brüden und Leckluft von großer Bedeutung. Bei Konvektionstrocknungsverfahren bestehen die Brüden etwa zu  $\frac{2}{3}$  aus Inertgas (Luft), während bei Kontaktstrocknern nur etwa 5–10% der Brüden aus Leckluft bestehen. Der Partialdruck des Wasserdampfes in den Trocknerbrüden ist dementsprechend bei Konvektionstrocknern nur etwa halb so hoch wie bei Kontaktstrocknern. Dies führt dazu, daß die Sattdampftemperaturen bei Konvektionstrocknern nur etwa 80 °C erreichen und damit die notwendigen Vorlauftemperaturen für die Heizwassererwärmung bei vielen Altanlagen praktisch nicht einzuhalten sind.

Die rückgewinnbare Wärme errechnet sich wie folgt:

$$\text{Rückgewinnbare Wärme} = \left(1 - \frac{\text{Enthalpie Brüden nach Kondensator}}{\text{Enthalpie Brüden nach Trockner}}\right) \times 100$$

Bei Konvektionstrocknern können unter den vorgenannten Randbedingungen nur 25%, bei Kontaktstrocknern aber 75% der eingebrachten Trocknungswärme ohne großen technischen Aufwand bei bestehenden Heizungsanlagen zurückgewonnen werden.

### 3.6 Genehmigungsanforderungen für Trocknungsanlagen

Wie bereits in Teil 1 dieses Arbeitsberichtes angesprochen, tun Planer, Gutachter, Anlagenbauer und letztlich Betreiber gut daran, sich neben den technischen Aspekten auch mit den rechtlichen Regelungen im Zusammenhang mit Bau und Betrieb einer Trocknungsanlage auseinanderzusetzen. Zunächst ist die grundsätzliche Frage zu klären, welche Verwaltungsverfahren bei der Genehmigung von Trocknungsanlagen anzuwenden sind, d. h., ob hier eine Zuordnung zu Wasserrecht bzw. Abfallrecht vorzunehmen ist.

Nach der Begriffsbestimmung des § 3 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [2] ist auch Abwasser bzw. Klärschlamm Abfall. Gemäß § 2 Abs. 2 KrW-/AbfG gelten diese Vorschriften nicht für Stoffe, sobald sie in Gewässer oder Abwasseranlagen eingebracht werden, hier sind die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [3] und der Landeswassergesetze anzuwenden.

Nach bekannter Rechtsauffassung bezieht der § 18a WHG die Entwässerung von Klärschlamm im Zusammenhang mit der Abwasserbeseitigung in diese mit ein. Nach Wasserrecht ist dementsprechend eine Abwasserbehandlungsanlage auch eine Einrichtung, die dazu dient, den anfallenden Schlamm für eine ordnungsgemäße Entsorgung aufzubereiten. Das Wasserrecht ist demzufolge anzuwenden, wenn die Entwässerung von Klärschlamm im räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit einer Abwasserbehandlungsanlage steht. Das trifft auch zu, wenn neben dem Schlamm der betreffenden Anlage auch Schlämme aus anderen Abwasseranlagen behandelt werden. Als Entwässerung des Schlammes sind neben dem rein mechanischen Wasserentzug auch alle sonstigen Entwässerungsvorgänge definiert, die ganz oder überwiegend den Zweck haben, den Schlamm in eine Form zu versetzen, die seine weitere Verwertung/Entsorgung möglich macht. Der Bau und Betrieb einer Klärschlamm-trocknungsanlage im räumlichen oder funktionalen Zusammenhang mit einer Abwasserbehandlungsanlage ist demnach nach WHG zu genehmigen, unabhängig davon, ob es sich hier um eine Anlage zur Teil- oder Volltrocknung handelt. Eine Klärschlamm-

trocknungsanlage ist auch nicht als Abfallbehandlungsanlage nach Abfall- bzw. Immissionsrecht zu behandeln – wie verschiedentlich diskutiert –, nur weil z. B. die nicht kondensierbaren Brüden als Brennerluft bei der Wärmeerzeugung eingesetzt, d. h. verbrannt werden. Der Hauptzweck der Anlage ist und bleibt die Trocknung, d. h. der weitergehende Wasserentzug. Sind die Vorgänge der Entwässerung jedoch in eine Anlage integriert, in der der Klärschlamm anschließend z. B. verbrannt wird, so ist auf den Hauptzweck dieser Anlage abzustellen. Hier handelt es sich dann in der Regel um eine Anlage, die einer Zulassung nach § 4 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) bedarf [4].

Abhängig von der grundsätzlichen Frage der Zuordnung zu Wasser- oder Abfallrecht ist zu prüfen, ob im Rahmen des Genehmigungsverfahrens weiteren Anforderungen zu erfüllen sind. So hat in der Regel gemäß Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG), Anlage zu § 3, Ziffer 5 vom Antragsteller eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung bzw. von der Genehmigungsbehörde eine Umweltverträglichkeitsprüfung als unselbständiger Bestandteil des Genehmigungsverfahrens zu erfolgen.

Immissionsschutzrechtliche Vorschriften sind zu beachten, wenn eine Anlage zur Wärmeerzeugung im Zusammenhang mit der Trocknungsanlage errichtet und betrieben werden muß. In Tabelle 4 sind die Genehmigungsanforderungen zusammengefaßt.

Neben den immissionsrechtlichen Regelungen sind weitere Aspekte zu berücksichtigen. So sind die landesrechtlichen Verordnungen über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAWS) zu beachten. Darüber hinaus sind, speziell wenn die Trocknungsanlage nicht im räumlichen Zusammenhang mit einer Kläranlage steht und somit besondere Maßnahmen zur Behandlung bzw. Ableitung von Abwässern wie Brüdenkondensaten zu treffen sind, die landesrechtlichen Verordnungen, die die Einleitung von Stoffen und Abwasser in die Kanalisation (Indirekteinleiterverordnungen) bzw. die Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift/Abwasserverordnung über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Rahmen-Abwasser VwV) zu berücksichtigen [5]. Im letzteren Fall bedarf zudem die Abwassereinleitung in ein Gewässer einer behördlichen Erlaubnis nach § 7 WHG.

Besonderes Augenmerk ist baurechtlichen und brandschutztechnischen Belangen zu widmen. Mögliche Auflagen und Vorgaben sind frühzeitig mit der örtlichen Baubehörde bzw. Feuerwehr abzustimmen. In der Regel werden hier spezielle Forderungen nach konstruktivem Brandschutz, Brandmeldeanlagen, Löschwasserspeichern etc. erhoben.

Weiterhin sind Vorgaben, resultierend aus Verwaltungsvorschriften wie z. B. TA Luft, TA Lärm etc. sowie die Unfallverhütungsvorschriften der zuständigen Berufsgenossenschaften und Fachbehörden für Arbeitsschutz zu berücksichtigen.

Aufgrund der Diffizilität eines Genehmigungsverfahrens für eine Klärschlamm-trocknungsanlage sowie der uneinheitlichen Rechtsauffassungen in den einzelnen Bundesländern, sogar der unterschiedlichen Interpretation der Gesetze, Verordnungen und Erlasse durch den einzelnen Sachbearbeiter bei der Genehmigungsbehörde, können die vorgenannten Ausführungen nur orientierenden Charakter haben, verbunden mit der Empfehlung, möglichst frühzeitig den Kontakt nicht nur zu

Energieträger	Feuerungswärmeleistung		
	< 5 MW	5 < 50 MW	> 50 MW
Heizöl EL			
Genehmigung gem. § 4 BImSchG in Verbindung mit 4. BImSchV	-----	vereinfachtes Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 19 BImSchG)	vereinfachtes Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 10 BImSchG)
Anforderungen gem. Verwaltungsvorschrift/Verordnung	1. BImSchV	TA Luft 1) Ziffer 3.3.1.2.2	1) 13. BImSchV
Erdgas, Klärgas 2)	< 10 MW	10 < 50 MW	> 50 MW
Genehmigung gem. § 4 BImSchG in Verbindung mit 4. BImSchV	-----	vereinfachtes Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 19 BImSchG)	vereinfachtes Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung (§ 10 BImSchG)
Anforderungen gem. Verwaltungsvorschrift/Verordnung	1. BImSchV	TA Luft 1) Ziffer 3.3.1.2.2	< 100 MW 1) TA Luft, Ziffer 3.3.1.2.3 > 100 MW

2) Klärgas mit einem Volumeninhalt an Schwefelverbindungen bis 1%  
 1) Für Feuerungsanlagen, die mit Abgasen/Flammen Güter direkt trocknen, gilt TA Luft Ziffer 3.3.1.2.5

Tabelle 4: Genehmigungsanforderungen für Wärmeerzeuger

der genehmigenden Behörde, sondern auch zu den letztlich am Genehmigungsverfahren beteiligten Fachbehörden zu suchen, um zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand für gegebenenfalls erforderliche Änderungen und Ergänzungen bei Planung und Ausführung zu vermeiden.

**4. Rückbelastung der Kläranlage**

**4.1 Rückbelastung der Kläranlage durch die Brüdenkondensate**

Die Belastung des Brüdenkondensates ist von der Vorbehandlung des Schlammes (z. B. anaerobe oder aerobe Stabilisierung) und der Korntemperatur während des Trocknungsvorgangs abhängig. Die Konzentration von Ammonium im Kondensat steigt mit zunehmender Erwärmung des Schlammes während der Trocknung an.

Bei der Kontakttrocknung liegt die Ammoniumkonzentration deutlich über der der Konvektionstrocknung. In Bild 10 werden die maximalen Ammoniumbelastungen der Brüdenkondensate laut Betreiberumfrage wiedergegeben, wobei der Schwankungsbereich auch bei stationärem Trocknerbetrieb beträchtlich ist. Die Minimalwerte liegen bei 25 bis 50 Prozent der Maximalwerte. Für Bandtrockner liegen nur Analysen von mit nicht definierten Waschwassermengen verdünnten Kondensate vor; Bandtrockner wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Zieht man zum Vergleich Literaturwerte heran, so läßt sich eine weitgehende Übereinstimmung feststellen. Otte-Witte gibt für die Ammoniumkonzentration in den Brüdenkondensaten einen Bereich von 500 bis 2 000 mg/l an.

Die Brüdenbelastung mit BSB<sub>5</sub> und CSB ist nur indirekt vom Trocknertyp abhängig, sondern wird fast ausschließlich vom Staubgehalt der Brüden bestimmt. Wirbelschichttrockner ohne nachgeschaltete Entstaubung haben sehr hohe CSB-

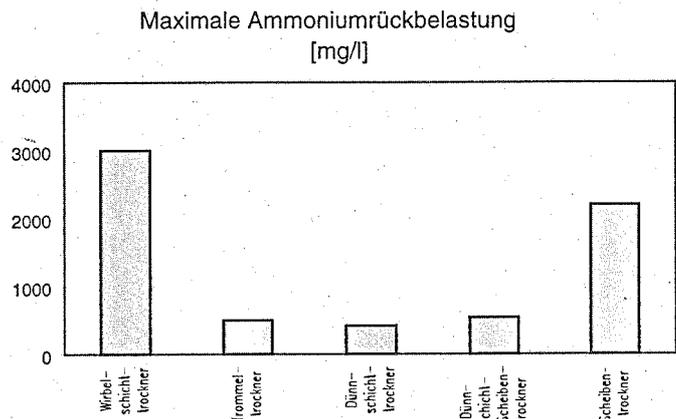


Bild 10: Maximale gemessene Ammoniumkonzentrationen im Brüdenkondensat laut Betreiberangaben

Brüdenkondensatbelastungen von bis zu 7 000 mg/l. Bei diesem System sollte auf eine Staubabtrennung nicht verzichtet werden.

Da die Kondensatmenge selbst bei Volltrocknung des Schlammes nur ca. 10 Prozent der Zentrat-/Filtratmenge aus der Schlammmentwässerung ausmacht, ist die Bedeutung der Rückbelastung einer Kläranlage aus den Brüdenkondensaten als gering einzustufen. Dies trifft allerdings nicht für zentrale Trocknungsanlagen zu, in denen der Schlamm mehrerer Kläranlagen getrocknet wird, die Brüdenkondensate aber nur der Standortkläranlage zufließen.

**4.2 Rückbelastung durch die Abluft aus der Brüdenbehandlung**

In der Regel werden die Brüden in einem Sprühkondensator niedergeschlagen (siehe 3.5.3, Bild 9). Dieser kann mit dem

Kläranlagenablauf, Brauchwasser oder dem abgekühlten Brüdenkondensat selbst betrieben werden. Das anfallende Brüdenkondensat wird, abhängig von der Betriebsweise des Sprühkondensators, entweder gemeinsam mit dem Waschwasser oder als Konzentrat dem Zulauf der Kläranlage zugeführt. Die nicht kondensierbaren Brüdenanteile, die mit der Luft aus dem Kondensator ausgeschleust werden, müssen separat behandelt werden. Als verfahrenstechnische Lösung kommen hierzu Bio-/Kompostfilter, Biowäscher, Absorptions-/Adsorptionsanlagen oder eine Verbrennung in Frage. Die Verbrennung der nichtkondensierbaren Brüdenanteile kann entweder in dem Heizkessel des Trockners oder extern, wie z. B. in einem angeschlossenen Blockheizkraftwerk, einer Klärschlammverbrennungsanlage oder einem Kraftwerk erfolgen.

Für die unter Punkt 4.2 beschriebene Untersuchung wurden ausschließlich Klärschlamm-trocknungsanlagen berücksichtigt, die ihre nichtkondensierbaren Brüdenanteile zurück in den Brenner des Wärmeerzeugers führen. Bei Anlagen mit externen thermischen Behandlungswegen läßt sich aufgrund des geringen Volumenstroms des nichtkondensierbaren Brüdenanteils und des Volumenstroms der Verbrennungsanlage kein Einfluß auf die Abgasemissionen feststellen.

In Deutschland werden derzeit nur wenige Klärschlamm-trocknungsanlagen nach dem Verfahren der Brüdenmitverbrennung im Wärmeerzeuger betrieben. Somit umfaßt die Datenerhebung lediglich sechs Anlagen, von denen drei das Verfahren der Kontakt- (Scheibentrockner) und drei das Verfahren der Konvektionstrocknung (Trommeltrockner) nutzen. Demnach sind die erhaltenen Ergebnisse statistisch nur bedingt repräsentativ, geben jedoch einen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik in Deutschland. In der Untersuchung fanden ausschließlich stationäre Trocknungsanlagen Berücksichtigung. Das Spektrum der Betriebserfahrungen der Anlagen erstreckt sich von einigen Monaten bis zu sieben Jahren. Dabei hat die Anlage mit der längsten Betriebserfahrung mittlerweile ihren Betrieb auf eine Restbrüdenmitverbrennung in der folgenden Klärschlammverbrennung umgestellt.

Bei Konvektionstrocknern liegen aufgrund des erheblich größeren Brüdenvolumenstroms (Fremdluft die beim Betrieb im Unterdruck zwangsweise in den Kreislauf gelangt und mit einem Anteil Brüden als nicht kondensierbarer Volumenstrom in die Verbrennung geleitet wird) und damit auch einer höheren Belastung des Brenners sowohl die Stickoxid- als auch die Kohlenmonoxidkonzentrationen deutlich höher als bei den Kontakt-trocknern. Für das Kohlenmonoxid bzw. die Stickoxide standen Konzentrationen von 50–69 mg/m<sup>3</sup> bzw. 125–260 mg/m<sup>3</sup> bei den Konvektionstrocknern Konzentrationen von unter 5 mg/m<sup>3</sup> bzw. ca. 100 mg/m<sup>3</sup> bei den Kontakt-trocknern gegenüber.

**5. Kosten bestehender Anlagen**

Eine Aussage bezüglich der Investitions- und Betriebskosten kann mit den Daten der Befragung nicht getroffen werden. Als Hauptursache lassen sich hierfür die unterschiedlichen Kostenansätze der Betreiber sowie die Randbedingungen der Abschreibungen angeben. Einige Beispiele sollen das breite Spektrum der Kostenangaben verdeutlichen.

So gibt ein Betreiber als Baukosten der Trocknungsanlage den Trockner, die Entwässerung sowie die zugehörigen Ge-

bäude mit den Einrichtungen an, während ein anderer Betreiber die Trocknung im Verbund mit einer folgenden Verbrennung betrachtet, so daß auch die Kosten der Verbrennungsanlage mit in die Kalkulation einfließen. Wieder ein anderer Betreiber verfügte bereits über ein Gebäude, in dem er den Klärschlamm entwässerte. Ein Einbau der Trocknungsanlage war hier möglich, so daß als Investitionskosten ausschließlich die Kosten des Trockners anfielen.

Noch breiter war das Spektrum bezüglich der Angaben zu den Betriebskosten. Während bei einer Anlage mit Klärschlammverbrennung die Abwärme der Verbrennung zu Trocknung genutzt werden kann, ist bei einer Trocknungsanlage ohne folgende Verbrennung ein separater Brenner zur Energieerzeugung notwendig. Dieser Brenner kann dann entweder mit Klärgas, Erdgas oder Heizöl betrieben werden, was jeweils marktabhängig unterschiedliche Betriebskosten verursacht. Auch weichen die Angaben bezüglich des Betriebspersonals beträchtlich voneinander ab, was vorrangig von der Betriebsweise des Trockners (kontinuierlich bzw. diskontinuierlich) abhängt.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß das jeweils erforderliche Investitionsvolumen und die zugehörigen Betriebskosten im Einzelfall zu überprüfen und einander gegenüberzustellen sind. Hierbei sind die spezifischen Randbedingungen und Anforderungen der Anlagen „Benchmarking“ zu berücksichtigen.

**6. Verbleib des Produkts unter Berücksichtigung der Produktqualität**

Grundsätzlich kann getrockneter Klärschlamm allen Absatzschienen zugeführt werden, in denen auch mechanisch entwässertes Klärschlamm zum Einsatz kommt. Derzeit wird getrockneter Klärschlamm aus den 30 befragten Anlagen in den in Tabelle 5 genannten Bereichen eingesetzt:

Trocknertyp	Trocknungsgrad [%]	Landwirtschaft	Düngemittel	Landchaftsbau	Brennstoff	Auffüllung Braunschichtgebiete	Zementindustrie	Kompostierung	Rekultivierung	Deponie
Band-Trockner	> 90			X	X				X	
Centridry-Trockner	60	X								
	85 - 90				X					X
Dünnschicht-Trockner	35 - 50				X					
Dünnschicht- / Scheibentrockner	70				X				X	
	> 90	X			X	X		X	X	
Scheibentrockner	40 - 55			X	X	X		X		X
	85 - 95	X			X		X		X	
Trommeltrockner	85 - 95	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Solar	> 50	X								
Wirbelschicht-Trockner	85 - 95	X	X					X		X

Tabelle 5: Derzeit genutzte Verwertungs-/Entsorgungspfade der einzelnen Trocknungsverfahren

Die Ablagerung von getrocknetem Klärschlamm mit organischen Feststoffgehalten >5% wird heute noch auf einigen Deponien durchgeführt, jedoch voraussichtlich mit dem Jahr 2005 – sofern die TASI nicht geändert wird – weitgehend untersagt.

Die Vergasung von getrocknetem Klärschlamm ist ein Bereich, der wegen bestehender Entwicklungschancen ebenfalls anzugeben ist.

Dem getrockneten Klärschlamm erschließen sich auch Absatzkanäle, in die mechanisch entwässertes Klärschlamm nur in Ausnahmefällen eingebracht werden kann. Als Beispiel ist die Zementindustrie zu nennen, die Klärschlamm in der Klinkerproduktion verwenden kann, wobei kalkkonditionierte Klärschlämme bevorzugt werden.

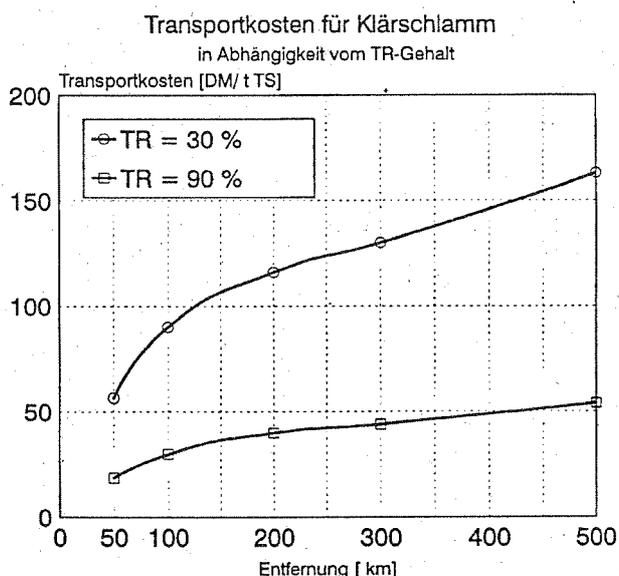
Die Verwendung von getrocknetem Klärschlamm in der Ziegelindustrie ist möglich, hat sich jedoch wegen fehlender Akzeptanz am Markt noch nicht durchsetzen können.

Die Co-Verbrennung von Trockengut in Steinkohlekraftwerken wird in der Regel mit getrocknetem Klärschlamm ausgeführt, wobei kalkkonditionierter Klärschlamm ungern abgenommen wird, da er den Heizwert mindert. Bei einer Verbrennung von Klärschlamm in Braunkohlekraftwerken steigert die Trocknung den Heizwert, ist aber aus verbrennungstechnischen Gründen nicht erforderlich, da Braunkohle als Ausgangsmaterial ebenfalls einen relativ hohen Wassergehalt besitzt.

Die Befragung zeigte, daß mit getrocknetem Klärschlamm prinzipiell eine breit gestreute potentielle Abnehmerklientel angesprochen werden kann. Dies ist ein wesentlicher Vorteil der getrockneten Klärschlämme, weil sich dadurch für den Klärschlammabgebenden die Entsorgungssicherheit erhöht.

**6.1 Faktoren der Wirtschaftlichkeit**

Bei einer Entscheidung für oder gegen eine Trocknung von Klärschlamm ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zugrunde zu legen. Ein Argument für eine Trocknung können z. B. die Transportkosten des Klärschlammes sein. In Bild 11 ist ein Kostenvergleich für den Transport von entwässertem/getrocknetem Klärschlamm in Abhängigkeit von der Entfernung dargestellt.



Grundlage: Transport von 25 t Klärschlamm (Transportkosten nach GVT, Mittelwert abhängig vom Fahrzeugtyp - Kipper-Silo-Lkw)

Bild 11: Transportkosten

Weitere Kosten, z. B. die der Trocknung selbst, der Lagerung, der Ausbringung in der Landwirtschaft oder der Aufgabe im thermischen Prozeß sind ebenfalls in die Betrachtung mit einzubeziehen. Dagegen sind je nach Verwertungsschiene aber auch wertgebende Eigenschaften des Klärschlammes in die Kalkulation mit einzubeziehen. Bei einer Verbrennung z. B. im Kraftwerk ist getrockneter Klärschlamm aufgrund des Heizwertes als Brennstofflieferant anzusehen. Dieser Wert ist monetär quantifizierbar (Tabelle 6). Gleiches gilt bei ackerbaulicher Nutzung für die Pflanzennährstoffe im getrockneten Klärschlamm, die entsprechend den Kosten einer gleichwertigen mineralischen Düngung in Ansatz zu bringen sind (Tabelle 7).

Wertmarktpreis für Steinkohle (Importkohle):	ca. 80 DM/t
Heizwert Steinkohle:	29 200 kJ/kg bei 90 % TS-Gehalt <sup>*)</sup>
Heizwert vollgetrockneter Klärschlamm:	9 206 kJ/kg bei 90 % TS-Gehalt <sup>*)</sup>
zum Vergleich Heizwert von Braunkohle:	8 120 kJ/kg bei 40 % TS-Gehalt
Wert des getrockneten Klärschlammes als Brennstoff:	25,24 DM/t TS

<sup>\*)</sup> Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NW (1991): Planungshilfe – Erstellung von Klärschlammabgabekonzepten, Teil 1, Düsseldorf, S. 4-4.

Tabelle 6: Klärschlamm als Brennstofflieferant

	Gehalte im getrockneten Klärschlamm	Marktpreis	Nährstoffwert je t TS
N (pflanzenverfügbar)	Trocknungsbedingt weitgehend verloren	1,00 DM/kg	0,00 DM
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	55 kg/t TS	0,80 DM/kg	44,00 DM
K <sub>2</sub> O	2 kg/t TS	0,40 DM/kg	0,80 DM
CaO	27 kg/TS (polymerkonditioniert)	0,07 DM/kg	1,89 DM
Wert des getrockneten Klärschlammes als Sekundärrohstoffdünger			46,49 DM

Tabelle 7: Klärschlamm als Düngemittellieferant

Bei wertgebenden Faktoren in der Landwirtschaft ist u.a. auch der Einsatzort von Wichtigkeit. So werden insbesondere in Ackerbauregionen mit bereits erhöhtem Phosphatgehalt Klärschlämme generell nur begrenzt einsetzbar sein. Darüber hinaus kann nicht in jedem Fall der Wertfaktor beim Einsatz in der Landwirtschaft zum Ansatz kommen, da auch z. B. Akzeptanzprobleme vorhanden sind.

**6.2 Qualitätsanforderungen an die getrockneten Klärschlämme**

Für eine landwirtschaftliche Verwertung ist aus Sicht der Phosphatverfügbarkeit eine geringe Korngröße anzustreben. Allerdings ist für das Ausstreuen eine Mindestkorngröße wichtig, da der Dünger sonst zu leicht verweht wird. Insofern sind für diesen Anwendungsbereich Korngrößen zwischen 2 und 6 Millimeter zu fordern, wobei der Staubanteil auf ein

Minimum reduziert sein muß. Ferner ist auf eine weitgehende Gleichkörnigkeit Wert zu legen, damit ein optimales Streubild mit einer gleichmäßigen Verteilung auftritt. Korngrößen über 6 mm sollten vermieden werden. Für die Lagerung und den Transport sind außerdem ein hohes Schüttgewicht, gute Rieselfähigkeit, Abriebfestigkeit und einheitliche Dichte von Bedeutung.

Bild 12 zeigt, daß die Kornspektren in Abhängigkeit vom Trocknungsverfahren einem weiten Schwankungsbereich unterworfen sein können, wobei diese in den meisten Fällen durch zusätzliche Siebung eingeengt werden kann. Staubige, feuchte oder wurstförmige Produkte sind für die landwirtschaftliche Verwertung nicht immer günstig. Zwar kann man mittels Pelletierung des getrockneten Klärschlammes einige Nachteile beseitigen, aber dadurch erhöhen sich die Aufbereitungskosten.

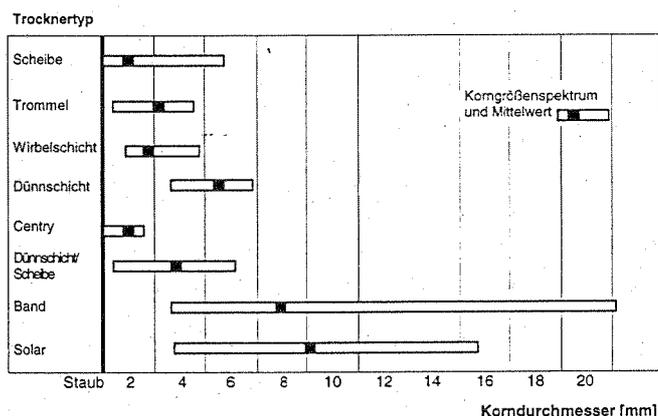


Bild 12: Korngrößenspektrum der vollgetrockneten Klärschlämme für die jeweiligen Trocknertypen der befragten 30 Anlagen

Die Anforderungen bei der Verbrennung im Kraftwerk werden durch die Art der Feuerung bestimmt. Je nach System kann eine Eindüsung von gemahlenem Klärschlamm gefordert werden. Zur Verbrennung auf Rosten kann eine Brikettierung erforderlich sein, wobei das Brikettieren durch einfaches Pressen zu jeder Form und Größe beim Klärschlamm leicht möglich ist. Auch die Verbrennung von nur granuliertem Material kann im Einzelfall vorgegeben sein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich die Palette der Klärschlammabnehmer erweitern läßt, wenn man getrocknete Klärschlämme anbietet. In jedem Fall läßt sich aber der Aktionsradius bei der Vermarktung der Klärschlämme erheblich ausdehnen, was wiederum ein zusätzliches Element an Entsorgungs- bzw. Verwertungssicherheit darstellt.

Wird eine Klärschlamm-trocknung erwogen, sind im Vorfeld die damit verbundenen Kosten im Vergleich zu anderen gegebenenfalls regionalen Verwertungsalternativen zu untersuchen und dann unter Kostengesichtspunkten optimale Lösungen zu verwirklichen, die gleichzeitig ein hohes Maß an Sicherheit bei der künftigen Klärschlamm-entsorgung bzw. Verwertung bieten.

## 7. Zusammenfassung von Teil 1 und 2

Ab Ende der 80er Jahre beginnend wurden zahlreiche Trocknungsanlagen für kommunalen Klärschlamm realisiert. Bis zu

diesem Zeitpunkt gab es nur in vereinzelten Fällen entsprechende Anlagen. Dieser Boom – es waren stationäre und mobile Anlagen betroffen – hatte in den meisten Fällen den Grund, daß die Betreiber eine Möglichkeit sahen, durch den Einsatz von Trocknungsanlagen den vorhandenen oder drohenden Entsorgungssengpaß zu entschärfen.

Im Rahmen der Teiltrocknung bewährte Aggregate wurden nach Möglichkeit auch für die Volltrocknung genutzt. Der Rückblick lehrt, daß in vielen Fällen mit dem neuen Ziel der Volltrocknung häufig auch (sehr) schlechte Erfahrungen gemacht wurden. Diese Aussage trifft sowohl für die Bemessung verschiedener Anlagen und deren Betrieb als auch für das produzierte Trockengut zu.

Vor diesem Hintergrund hat die ATV-Arbeitsgruppe 3.3.1 „Klärschlamm- und Trocknungsanlagen“ im ATV-Fachauschuß 3.3 „Energetische Verwertung und thermische Behandlung“ die Aufgabe erkannt, für den Bereich der Klärschlamm-trocknungsanlagen eine Übersicht zu schaffen, die dem Klärschlamm-entsorgungspflichtigen sowie dem Planer, Erbauer und Betreiber einer Trocknungsanlage die Erfahrungen aus den vorhandenen Anlagen zugänglich macht.

Um dieses Thema zu öffnen, war es notwendig, vorab Grundlagen der Trocknung einzelner Trocknungsverfahren, sowie Definitionen des Themenkreises *Trocknung* zusammenzustellen. Dies geschah mit Teil 1 dieses Arbeitsberichtes, der im Heft 10/1997 der *Korrespondenz Abwasser* erschien.

Der vorliegende Teil 2 dieses Arbeitsberichtes befaßt sich im wesentlichen mit der Einsatzbreite, den Leistungsdaten sowie Hinweisen für Planung, Bau und Betrieb. Dabei sind die in Teil 1 genannten Trocknungsverfahren einzeln abgehandelt. Auch ansonsten wichtige Rahmenbedingungen – wie Genehmigungsanforderungen, Einbindung in vorhandene Anlagen in bezug auf Rückbelastung und Emissionen – wurden betrachtet.

Einige Abschnitte beleuchten das in den Trocknungsanlagen aufbereitete Produkt. Die Anforderungen an das Trockengut ergeben sich aus den der Trocknung nachfolgenden Behandlungs- bzw. Entsorgungsstufen. Diese haben Auswirkungen auf die Wahl des Trocknungsverfahrens nach Art und Betriebsführung.

## 8. Ausblick

Anlagen, die Heißluft, Wärmeträgeröl oder Dampf zur Trocknung des entwässerten Klärschlammes nutzen, sind im Vergleich zu den Verfahrensstufen einer Kläranlage technisch hochwertiger – d. h. auch schwieriger und anfälliger – und führen unter anderem auch deshalb zu immer neuen Erfahrungen. So mögen Überraschungen aus einer unzureichenden Bemessung des eigentlichen Trockners der Vergangenheit angehören, doch bleiben zahlreiche Möglichkeiten, durch das Wirken oder Nichtwirken einzelner Anlagenteile überrascht zu werden. Die Betriebserfahrungen auch mit neueren Trocknungsanlagen unterstreichen diese Aussage. So wird auch zukünftig jede entsprechende Anlage mit besonderer Umsicht und zurückhaltender Erwartung zu realisieren sein.

Insbesondere haben Planer, Erbauer und Betreiber die sicherheitstechnischen Erfordernisse einer Trocknungsanlage je nach Verfahren, nach Einsatz- und Endprodukt immer wieder genauestens auf den Prüfstand zu stellen. Es bleibt abzuwarten, ob die in diesem Zusammenhang vorliegenden Kenntnisse zukünftig unangenehme Überraschungen vermeiden.

Trocknungsanlagen weniger anspruchsvoller Art – wie z. B. Kaltluft-, Solar- und Ventilationstrockner – mögen vermehrt eingesetzt werden. Sie eignen sich zunehmend auch bei kleineren Anlagen, um das Verfahrensziel *Trocknung* kostengünstig und beherrschbar zu erreichen.

Im Feld der wasserabtrennenden Verfahren haben die Trocknungsanlagen ihren Platz gefestigt. Von der früher meist üblichen Anordnung als Vorstufe einer Verbrennung oder Vergasung, die auch weiterhin ihren Platz behalten wird, können sich insbesondere einfache Trocknungsverfahren zukünftig auch als Vorstufen anderer Entsorgungs- bzw. Verwertungswege stabilisieren.

## Literatur

- [1] Trocknung kommunaler Klärschlamm in Deutschland, Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 3.3.1 „Klärschlamm-Trocknungsanlagen“, *Korrespondenz Abwasser*, 10/1997, S. 1869
- [2] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I, S. 2705), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Genehmigungsverfahrensbeschleunigungsgesetzes vom 12. September 1996 (BGBl. I, S. 1354)
- [3] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 12. November 1996 (BGBl. I, S. 1695)
- [4] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionschutzgesetz – BImSchG) vom 14. Mai 1990, BGBl. I, S. 881, geändert durch das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I, S. 2705) und zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes zur Beschleunigung und Vereinfachung immissionschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren vom 9. Oktober 1996 (BGBl. I S. 1498)
- [5] Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Rahmen-AbwasserVwV) in der Neufassung der Bekanntmachung vom 25. November 1992 (Bundesanzeiger Nr. 233 b S. 1 vom 11. Dezember 1992) 

## Schwermetalle in der aquatischen und terrestrischen Umwelt

Kurzfassung\*) eines Arbeitsberichtes der ATV-Arbeitsgruppe 7.4.2 „Gefährliche Stoffe in kommunalen Kläranlagen“, dem folgende Mitglieder angehören:

Lebensmittelchemikerin *Dorothe Dittrich*, Hannover  
 Dipl.-Ing. *Jens Feddern*, Berlin (bis 1998)  
 Dr. *Ralf Klapp*, Essen (Sprecher)  
 Dr. *Joachim Lemke*, Leverkusen  
 Dr. *Norbert Litz*, Berlin  
 Dr. *Gustav Offenbacher*, Bonn  
 Dr. *Gerd Rippen*, Darmstadt  
 Dr. *Stefan Schmitt*, Frankfurt (bis 1998)  
 Dipl.-Ing. *Ninette Zullei-Seibert*, Schwerte

Als Gäste haben ab 1998 mitgewirkt:

Dipl.-Chem. *Dietmar Junghans*, Frankfurt a. M.  
 Dipl.-Ing. *Raimond-Edward Kurz*, Berlin

## Zusammenfassung

Gegenstand des Arbeitsberichts ist die Belastungssituation der wichtigsten Schwermetalle und von Arsen in der aquatischen und terrestrischen Umwelt. Das besondere Augenmerk wird auf das kommunale Abwasser und den zu entsorgenden bzw. zu verwertenden Klärschlamm gelegt.

Die Belastungen der kommunalen Abwässer und der damit beaufschlagten Oberflächengewässer mit Schwermetallen sind in den letzten beiden Jahrzehnten zum Teil sehr stark zurückgegangen. Dies gilt auch für die Kontamination der Klärschlämme. Ursache hierfür ist die Verringerung der gewerblichen/industriellen Emissionen durch die Einführung des Standes der Technik in Produktion und Industrieabwasser-

behandlung. Die Emissionsanforderungen für die Schwermetalle und Arsen werden in der Regel problemlos erfüllt, die Immissionsanforderungen zumeist mit hohem Sicherheitsabstand eingehalten.

Die praktisch unverändert gebliebene Belastung des rein häuslichen Schmutzwassers mit Schwermetallen und Arsen ist heute für die Kontamination des Klärschlammes und des gereinigten kommunalen Abwassers bestimmend. Die Klärschlämme, die die Grenzwerte der Klärschlammverordnung bis auf Ausnahmen sicher unterschreiten, erhöhen bei ordnungsgemäßer Aufbringung die Belastung der Böden nicht bzw. nur unwesentlich. Veränderungen in der Grundwasserbeschaffenheit treten hierdurch in der Regel nicht ein.

Neben den Kläranlageneinleitungen prägen die diffusen Quellen und gegebenenfalls der geogene Hintergrund die Belastung der Gewässer. Bestrebungen, deutlich strengere Immissionsanforderungen gemäß den Zielvorgaben der LAWA (Chemische Gewässergüteklassifikation) für die Wasser- und Schwebstoff-/Sedimentphase einzuführen, werden überall dort zu einer schlechten Gewässerbeurteilung führen, wo ein hoher gereinigter kommunaler Abwasseranteil und/oder eine hohe geogene Hintergrundbelastung vorliegen.

Es besteht, auch aus toxikologischer Sicht, heute keine Notwendigkeit für eine Verschärfung der Emissionsanforderungen und der Klärschlammgrenzwerte. Die Begrenzung weiterer Metalle oder Halbmetalle, wie z. B. Arsen im Klärschlamm, ist nicht angezeigt, weil es kaum gewerbliche/industrielle Einleiter gibt, die Frachten also insgesamt gering sind und die Belastung der Klärschlämme praktisch ausschließlich durch das häusliche Abwasser verursacht wird.

Die ausführliche Fassung kann zum Preis von 20 DM bezogen werden bei:

GFA-Verlag e. V., Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef, Tel. 0 22 42/8 72-120, Fax 0 22 42/8 72-1 00, E-mail: lumma@atv.de, Internet: <http://www.gfa-verlag.de> 

\*) Anregungen zu diesem Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV – Vereinigung für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.