

# ENERGIENUTZUNG VON KLÄRSCHLAMM

# **Energienutzung von Klärschlamm**

Christoph SEDLAR  
Gerhard ZETHNER  
Andreas CHOVANEK

**UBA-BE-001**

Wien, Dezember 1991  
(Ergänzungen bis 1992)

Bundesministerium für Umwelt,  
Jugend und Familie



**Textbearbeitung:** Christine Pfeiffer  
Nancy Cao

**Impressum:**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1991 (Ergänzungen bis 1992)

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-154-2

## VORWORT

Der vorliegende Bericht spiegelt den Stand vom Dezember 1991 wieder, weshalb Daten und Literatur jüngeren Datums nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Davon ausgenommen wurde lediglich der Bundesabfallwirtschaftsplan des Umweltbundesamtes (1992), von dem Teilbereiche aber bereits vorher in unveröffentlichter Form in der Studie verarbeitet worden sind.

Die Autoren möchten sich bei all jenen bedanken, die uns bei der Erstellung der Studie mit Rat und Tat unterstützt haben. Unser Dank gilt insbesondere Herrn Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. H. Kroiss vom Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau an der TU Wien für seine fachliche Betreuung, konstruktive Kritik und die Durchsicht des Manuskripts.

Weiters möchten wir uns bei Herrn Dr. P. Hochmair vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft sowie bei allen Kolleginnen und Kollegen des Umweltbundesamtes, die zum Zustandekommen des Berichtes beigetragen haben, für ihre Unterstützung bedanken.

Die Autoren

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>KLÄRSCHLAMMAUFKOMMEN IN ÖSTERREICH</b> .....	<b>1</b>
	2.1 Klärschlammverbringungsstruktur in Österreich .....	4
<b>3</b>	<b>BIOGASGEWINNUNG DURCH KLÄRSCHLAMMFAULUNG</b> .....	<b>5</b>
	3.1 Einleitung .....	5
	3.2 Technische Grundlagen .....	5
	3.3 Berechnung der Energiepotentiale .....	6
	3.3.1 Theoretisch mögliches Energiepotential .....	6
	3.3.2 Nutzbares Energiepotential (Ist-Zustand) .....	6
	3.4 Wirtschaftlichkeitsaspekte und energiewirtschaftliche Systemüberlegungen .....	7
	3.5 Klärgasnutzung in Deutschland (alte Bundesländer) ..	8
	3.6 Ausblick .....	8
<b>4</b>	<b>ENERGIEGEWINNUNG DURCH KLÄRSCHLAMMVERBRENNUNG</b> .....	<b>9</b>
	4.1 Allgemeine Grundlagen .....	9
	4.2 Energiepotentiale .....	10
	4.2.1 Theoretisch mögliches Energiepotential .....	10
	4.2.2 Nutzbares Energiepotential – Berücksichtigung technischer und ökonomischer Restriktionen .....	11
	4.2.2.1 Ermittlung des technisch und ökonomisch nutzbaren Energiepotentials .....	14
	4.2.2.2 Nutzbares Energiepotential – regionalisierte Darstellung .....	16
	4.3 Wirtschaftlichkeit der Klärschlammverbrennung .....	18
	4.4 Ist-Zustand .....	20
	4.4.1 Ausland .....	20
	4.4.2 Österreich .....	20
	4.4.2.1 Klärschlammverbrennung in Wien .....	21
	4.4.2.2 Sonstige Klärschlammverbrennungsanlagen in Österreich .....	22
	4.5 Barrieren .....	26
	4.6 Umweltaspekte der Klärschlammverbrennung .....	26
	4.6.1 Luftemissionen .....	27
	4.6.2 Rest- und Abfallstoffe der Klärschlammverbrennung ..	29
	4.7 Energiewirtschaftliche Systemüberlegungen .....	31
	4.8 Ausblick .....	31

## ZUSAMMENFASSUNG

Kommunaler Klärschlamm besteht durchschnittlich zu etwa 50 – 70 % aus organischem Material. Klärschlamm wird deshalb unter die Biomasse–Energieträger gereiht.

Grundsätzlich kann der Energiegehalt von Klärschlamm durch die Verwertung des Klärgases (Faulung), durch Verbrennung des Klärschlammes sowie durch die Abwärmenutzung bei der Klärschlammkompostierung (Rotte) genutzt werden. Im vorliegenden Bericht wurden nur die Energiepotentiale aus der Faulung und der Verbrennung berechnet.

In Österreich werden heute die Abwässer von etwa 70 % der Einwohner in derzeit 875 Abwasserreinigungsanlagen (Stand 1991) entsorgt. Dabei fallen jährlich etwa 320.000 t Trockensubstanz (inkl. Schlämme aus Gewerbe und Industrie) an. Theoretisch könnte die gesamte Menge verbrannt und energetisch genutzt werden, hingegen eignen sich nur etwa 230.000 t zur Faulung. Gegenüber heute ließe sich theoretisch der Abwassererfassungsgrad innerhalb der nächsten Jahre noch um ca. 10 % erhöhen. Das entspricht einer für die Verbrennung verfügbaren Klärschlammmenge von etwa 350.000 t TS, die faulbare Menge beträgt schätzungsweise 260.000 Tonnen.

### Klärgasnutzung durch Faulung

Klärgas entsteht bei der Stabilisierung von Abwasserschlämmen in kommunalen und industriellen Kläranlagen. Es besteht durchschnittlich zu etwa 65 % aus Methan, zu ca. 35 % aus CO<sub>2</sub> sowie aus geringen Mengen bzw. Spuren von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff. Das im Rahmen der anaeroben Zersetzung entstehende Methan ist energetisch von höherem Wert als die Niedertemperaturwärme, die bei anaeroben Verrottungsprozessen entsteht.

Der Methangehalt und damit die Gasausbeute werden von verschiedenen Faktoren, wie z.B. der Substratart bzw. der Substratzufuhr, dem Trockensubstanzgehalt des Schlammes, der Temperatur, dem pH–Wert und der Faulzeit, beeinflusst. Unter Annahme der Gewinnung von etwa 400 l Faulgas aus 1 kg organischem Feststoff sowie einem Heizwert für Faulgas von 23 MJ/m<sup>3</sup> ergibt sich bei Verfaulung der gesamten faulbaren Klärschlammmenge von ca. 230.000 t ein theoretisches Energiepotential von rund 1,7 PJ/Jahr.

Zur Berechnung des nutzbaren Energiepotentials wurde von einer geschätzten Menge von etwa 150.000 t TS/Jahr ausgegangen, die derzeit einem Faulungsprozeß zugeführt werden. Daraus resultiert ein Energiegewinn von jährlich rund 1 PJ, zuzüglich 0,4 PJ/Jahr aus der anaeroben Reinigung industrieller Abwässer, insgesamt also ca. 1,4 PJ/Jahr. Das entspricht bloß 1,4 % des Gesamtenergieaufkommens erneuerbarer Energien.

Die Aussagen über eine Anlagengröße, ab der die Klärgasproduktion als wirtschaftlich angesehen wird, schwanken zwischen 10.000 und 100.000 EGW. Im allgemeinen wird in Anlagen über 10.000 EGW Schlammfaulung als Stabilisierungsmethode und damit als Energiequelle angewendet. Damit entspricht der Energieoutput aus den vorhandenen Faulungsanlagen in Österreich jener Menge, die als nutzbares Energiepotential ausgewiesen wurde.

Die energetische Nutzung von Klärgas lohnt sich hauptsächlich bei größeren Anlagen und scheint primär zur Eigenenergieversorgung der Kläranlagen sinnvoll. Bei kleineren Anlagen überwiegt die Wärmerückgewinnung, bei größeren Anlagen spielt auch die Verstromung des Klärgases eine zunehmende Rolle. Durch Kraft–Wärme–Kopplungs–Anlagen lassen sich bis zu 60 % des Strombedarfs und bis 100 % des Heizbedarfs von Kläranlagen abdecken.

### Energiegewinnung durch Verbrennung von Klärschlamm

Bei der Verbrennung von Klärschlamm wird die dabei entstehende Abwärme energetisch genutzt. Es entsteht überwiegend mechanische Wärme sowie in geringeren Mengen elektrische Energie. Die höchsten Wirkungsgrade werden durch Kraft–Wärme–Kopplung erzielt. Generell gilt jedoch, daß die Wertigkeit von elektrischer Energie etwa dreimal so hoch ist wie jene von mechanischer Energie.

Klärschlamm muß vor der Verbrennung entwässert werden. Moderne mechanische Entwässerungsanlagen erreichen einen Entwässerungsgrad von bis zu 35 %. Höhere Werte sind nur durch thermische Trocknungsverfahren erzielbar, die jedoch einen sehr hohen Eigenenergiebedarf aufweisen.

Unter der Annahme der Verbrennung der gesamten theoretisch anfallenden Klärschlammmenge von 350.000 t TS/a aus kommunalen und industriellen Abwasserreinigungsanlagen und einem Heizwert von 12 MJ/kg TS ergibt sich ein theoretisches Energiepotential aus der Klärschlammverbrennung abzüglich 35 % kalorischer Verluste von etwa 2,75 PJ/Jahr.

Die ökonomisch und technisch nutzbare Energiemenge aus der Verbrennung von Klärschlamm ist insbesondere abhängig vom organischen Substanzanteil des Schlammes, dem Wassergehalt, dem Entwässerungs– bzw. Trocknungsverfahren, der Kläranlagengröße sowie der gewählten Verbrennungstechnologie. Bei durchschnittlicher Schlammzusammensetzung (organischer Anteil 50 – 70 %; mindestens 30 % TS) wurde unter der Annahme, daß eine Klärschlammverbrennung ausschließlich in Kläranlagen größer als 200.000 EGW sinnvoll ist, ein nutzbares Energiepotential von ca. 0,75 PJ/Jahr (inkl. Umwandlungsverluste) ermittelt. Zuzüglich des geschätzten Energieaufkommens aus der industriellen Klärschlammverbrennung (v.a. Papier– und Zellstoffindustrie) beträgt das gesamte nutzbare Energieaufkommen schätzungsweise 1,5 PJ/Jahr. Der Anteil am gegenwärtigen Gesamtenergieaufkommen aus erneuerbaren Energien ist mit 1,5 % jedoch äußerst gering.

In Österreich werden heute etwa 34 % des anfallenden Klärschlammes verbrannt. Der größte Teil davon entfällt auf die Stadt Wien, wo in den Entsorgungsbetrieben Simmering die einzige kommunale Klärschlammverbrennungsanlage in Betrieb ist. Daneben besitzen eine Reihe von Unternehmen insbesondere aus der Papier– und Zellstoffindustrie Anlagen zur Verbrennung der betrieblichen Klärschlämme. In einigen Fällen bestehen Kooperationsverträge mit Umlandgemeinden zur Mitverbrennung von deren kommunalen Klärschlämmen. Insgesamt ergibt sich daraus eine jährliche Energieausbeute aus der Klärschlammverbrennung von rund 0,9 PJ.

Die gewonnene Energie kann insbesondere zur Abdeckung des betriebs– bzw. anlageneigenen Energiebedarfs genutzt werden. Überschußenergie (Wärme) kann an öffentliche Fernwärmenetze abgegeben werden.

Die Verbrennung zählt heute zu den teuersten Entsorgungsverfahren von Klärschlamm. In Zukunft ist jedoch aufgrund von Entsorgungsengpässen mit einem Angleichen der Kosten an die der anderen Entsorgungsverfahren zu rechnen. Wie Erfahrungen in der Praxis zeigen, ist die Klärschlammverbrennung nur in sehr großen (kommunalen) Abwasserreinigungsanlagen wirtschaftlich zu betreiben. Es zeigt sich aber auch, daß die Klärschlammdebatte von abfallwirtschaftlichen Kriterien dominiert wird und somit Wirtschaftlichkeitsüberlegungen oft eine untergeordnete Rolle spielen.

In Zukunft ist aufgrund möglicher Probleme bei der landwirtschaftlichen Ausbringung sowie der Deponierung von Klärschlamm damit zu rechnen, daß der Anteil der Verbrennung zunehmen wird. In jedem Fall dürften aber noch mehr als heute Verwertungs– und Entsorgungsaspekte Priorität haben vor energetischen Überlegungen.

## **ENERGIENUTZUNG VON KLÄRSCHLAMM**

### **1 EINLEITUNG**

Bei der Reinigung von Abwässern in Kläranlagen fällt Klärschlamm an. Dieser besteht zu bestimmten Teilen aus organischen Substanzen, die energetisch genutzt werden können, weshalb Klärschlamm unter die Biomasse-Energieträger gereiht wird.

Im folgenden Teil der Studie wird das Energiepotential von Klärschlämmen kommunaler und industrieller Abwässer berücksichtigt. Industrielle Ablaugen (z.B. Sulfid-/Sulfat- ablaugen aus der Papier- und Zellstoffindustrie) werden ebenso ausgeklammert wie die Möglichkeit der Abwärmenutzung gereinigter Abwässer. Besonders letztere Nutzungsmöglichkeit könnte in Zukunft aufgrund des im Abwasser vorhandenen Wärmeenergiegehalts eine gewisse Rolle spielen.

Darüber hinaus bleiben die Aspekte der Schadstoffproblematik sowie der Entsorgung von Klärschlamm weitgehend unberücksichtigt (siehe dazu: ÖWWV, 1989a; SCHÖNBERGER, 1990).

Die im Klärschlamm enthaltene Biomasse kann nun in mehrfacher Weise als Energiequelle genutzt werden:

1. Verwertung des Klärgases (Faulung);
2. Verbrennung des entwässerten bzw. getrockneten Schlammes unter Nutzung der Abwärme;
3. Abwärmenutzung bei der Kompostierung von Klärschlamm.

Im Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich die ersten beiden Nutzungsmöglichkeiten behandelt. Die Verfahren der Kompostierung bzw. Rotte, bei denen die Nutzung der beim Abbauprozess des Klärschlammkomposts entstehenden Abwärme denkbar ist, bleiben unberücksichtigt (siehe dazu z.B.: BINNER und LECHNER, 1989; ENQUETE-KOMMISSION, 1990). Bevor auf diese beiden Energienutzungsformen gesondert eingegangen wird, soll das Klärschlammaufkommen in Österreich dargestellt werden.

### **2 KLÄRSCHLAMMAUFKOMMEN IN ÖSTERREICH**

Die positive Entwicklung des Gewässerschutzes in Österreich zeigt sich unter anderem in der steigenden Anzahl von Abwasserreinigungsanlagen. Im Jahr 1968 wurden in Österreich nur 3 % der Abwässer aus Haushalten biologisch gereinigt (BMLF, 1990). Seither hat sich durch die Errichtung eines Netzes von Kläranlagen die Zahl der Abwasserreinigungsanlagen von 785 im Jahr 1981 (davon 423 biologisch) auf 875 (793 biologisch) im Jahr 1991 erhöht (BMLF, 1982, 1986, 1991a). Die Abwasserreinigungskapazität, ausgedrückt in Einwohnergleichwerten (EGW – jene fiktive Maßzahl, die angibt, welche Menge an Schmutzfracht von einem Menschen durchschnittlich abgegeben wird; ÖBIG, 1989) beträgt derzeit rund 15 Mio. EGW (Tab. 1).



<i>Tab. 1: Kommunale Kläranlagen in Österreich: Anzahl und Ausbaugrad (in EGW) 1981, 1985 und 1991 (BMLF/Wasserwirtschaftskataster, 1982, 1986, 1991a)</i>			
	1981	1985*)	1991**)
Anzahl von Kläranlagen	785	694	875
Ausbaugrad (EGW) in Mio.	9	10,5	15
*) > 500 EGW		**) > 50 EGW	

Zählt man zu den kommunalen Kläranlagen auch noch die größeren biologischen Abwasserreinigungsanlagen der Industrie (größer 10.000 EGW) hinzu, so sind zusätzlich 26 Anlagen mit rund 5,5 Mio. EGW zu berücksichtigen (BMLF, 1991a). Die Gesamtkapazität für 1991 beträgt somit rd. 20,5 Mio. EGW.

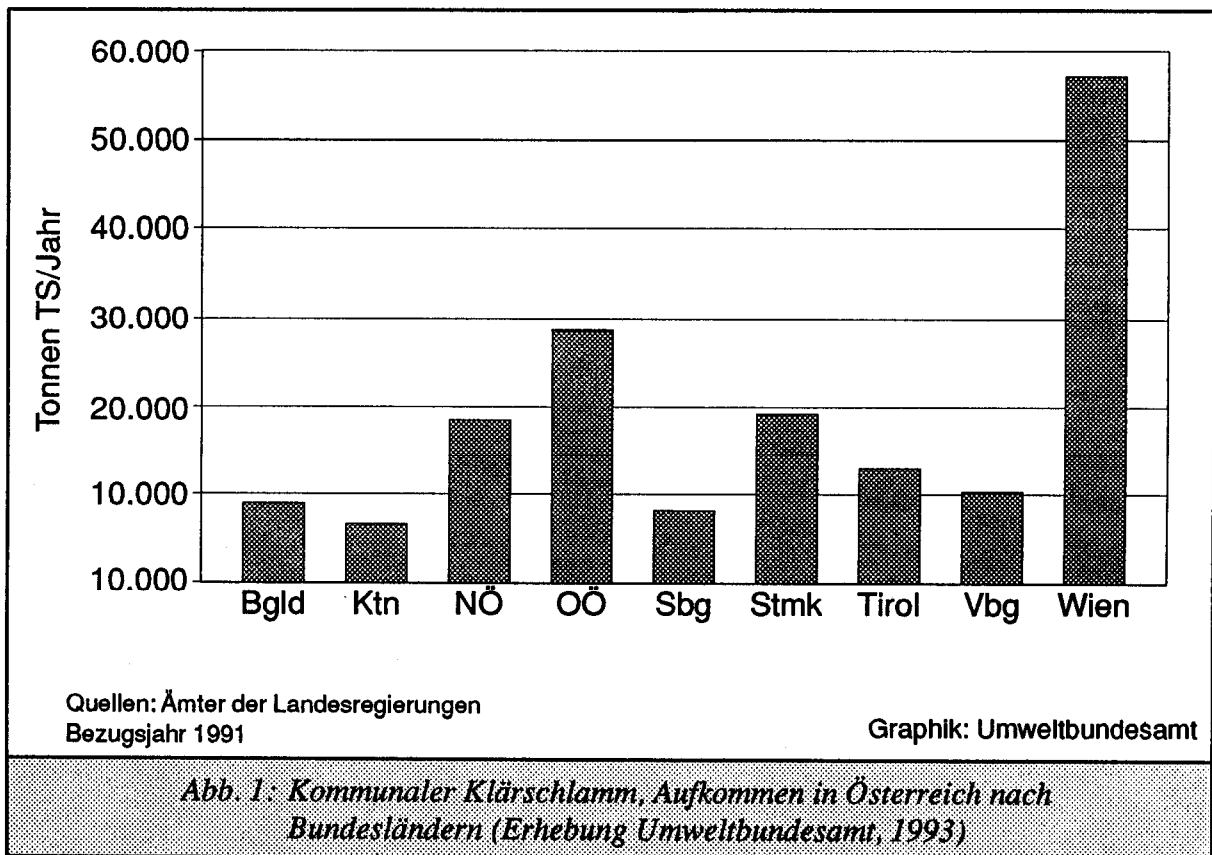
In Österreich werden laut Auskunft der Ämter der Landesregierungen heute etwa 70 % des Abwassers in biologischen Kläranlagen erfaßt (Tab. 2). Damit konnte zwar die Gewässergüte zahlreicher Fließgewässer verbessert werden, parallel dazu stieg aber die in Abwasserreinigungsanlagen anfallende Menge an Klärschlamm stark an.

<i>Tab. 2: Einwohneranschlußgrad an kommunale Kläranlagen 1991 nach Bundesländern (in %) (ÄMTER DER LANDESREGIERUNGEN)</i>	
Burgenland	85 %
Kärnten	45 %
Niederösterreich	61 %
Oberösterreich	62 %
Salzburg	80 %
Steiermark	55 %
Tirol	68 %
Vorarlberg	80 %
Wien	96 %
Österreich	rd. 70 %

Über die in Österreich jährlich anfallende Klärschlammmenge liegen eine Reihe unterschiedlicher Untersuchungen bzw. Schätzungen vor, deren Ergebnisse in Abhängigkeit ihrer zeitlichen Erstellung und v.a. hinsichtlich des Umfangs der Berücksichtigung von Industrieklärschlämmen differieren. Besonders das in der Industrie anfallende Klärschlamm aufkommen ist nur mit großen Unsicherheiten anzugeben.

Eine Untersuchung des UMWELTBUNDESAMTES (1993), die auf Angaben der Ämter der Landesregierungen beruht, weist ein Schlamm aufkommen aus kommunalen Kläranlagen von rund 170.000 t Trockensubstanz (TS) pro Jahr aus. Dies entspricht ohne maschinelle Schlamm entwässerung (Wassergehalt des Schlammes 95 %) einer Masse von rund 3,4 Mio. t/a (bzw. m<sup>3</sup>/a), bei einer maschinellen Entwässerung (Wassergehalt rund 70 %) einer Masse von etwa 570.000 t/a (bzw. m<sup>3</sup>/a). Die Daten berücksichtigen ausschließlich die von kommunalen Kläranlagen produzierten Klärschlämme (inklusive der in diese eingeleiteten Abwässer aus Gewerbe- und Industriebetrieben).

Abbildung 1 gibt einen Überblick des kommunalen Klärschlammaufkommens nach Bundesländern.



Untersuchungen zufolge (NOWAK, 1991; KROISS, mündl. Mittlg.) kann davon ausgegangen werden, daß das Klärschlammaufkommen, inkl. Schlamm aus Gewerbe und Industrie, derzeit etwa 320.000 t/a TS beträgt. Theoretisch ist dies gleichzeitig auch jene Schlammmenge, die sich für eine Verbrennung eignet. Dagegen könnten aus technischen Gründen maximal etwa 230.000 t/a einer Faulung zugeführt werden (Rest: v.a. industrieller Vorklärschlamm; KROISS, mündl. Mittlg.). Diese Zahlen sind auch für die nachfolgenden Berechnungen des nutzbaren Energiepotentials relevant.

Auf der Basis eines Abwassererfassungsgrades von 70 % werden somit folgende Klärschlammengen zugrundegelegt:

- faulbar: 230.000 t TS/Jahr
- zur Verbrennung geeignet: 320.000 t TS/Jahr.

Wie in Tabelle 2 bereits angeführt wurde, werden in Österreich heute etwa 70 % des Abwassers in biologischen Kläranlagen erfaßt. Zur Ermittlung eines theoretischen möglichen Energiepotentials aus Abwässern ist deshalb der gegenwärtige Klärschlammfall um jene Menge Klärschlamm zu erweitern, der heute noch nicht erfaßt wird.

Unter der hypothetischen Annahme, daß die gesamte in Österreich anfallende Abwassermenge erfaßt werden könnte (100 % Einwohneranschlußgrad) und somit zur energetischen Nutzung zur Verfügung stünde, ergäbe sich eine jährliche Masse von rund 330.000 t Trockensubstanz (die zukünftige Entwicklung des Klärschlammaufkommens in der Industrie ist kaum vorherzusagen, weshalb keine Hochrechnung der Industrie-

klärschlammmenge vorgenommen wurde). Da jedoch, selbst bei äußerst positiver Beurteilung, ein 100%iger Erfassungsgrad von Klärschlamm ausgeschlossen ist (z.B. Streusiedlungen, Bergbauernhöfe), wird für die weiteren theoretischen Energiepotential-Berechnungen von einem (theoretisch möglichen) Abwasseranschlußgrad von 80 % ausgegangen. Das entspricht für ganz Österreich einer *theoretischen Jahresmasse* von rund

- 260.000 t TS (faulbar)
- 350.000 t TS (zur Verbrennung).

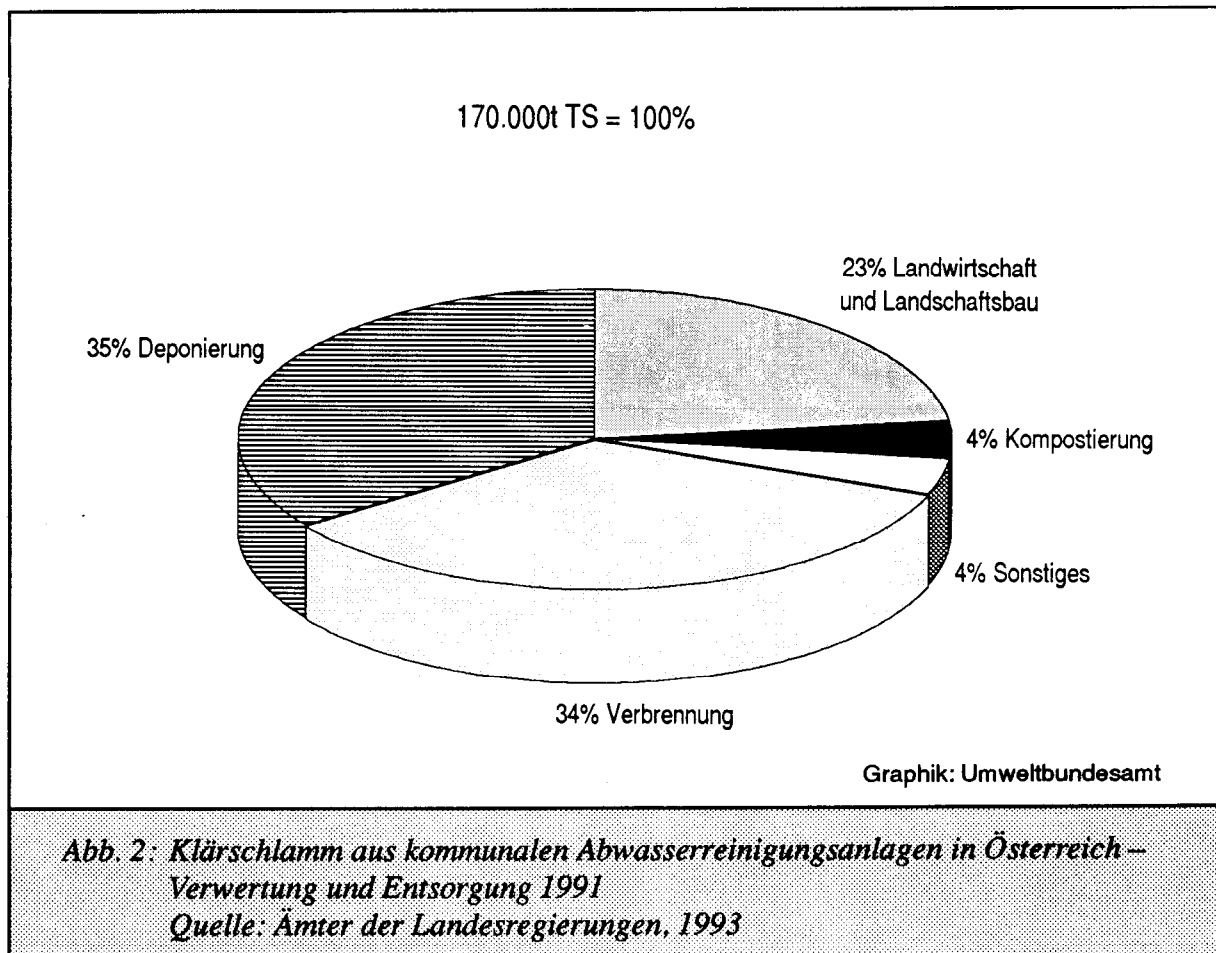
Ausdrücklich sei darauf verwiesen, daß ein Erfassungsgrad von 80 % des Abwassers unter den gegebenen geographischen Bedingungen in Österreich aus heutiger Sicht nur mit Mühe zu erreichen sein wird. Vor allem wird der zusätzliche Klärschlamm vorwiegend in kleinen Kläranlagen anfallen, bei denen eine energetische Nutzung sehr eingeschränkt ist.

## 2.1 Klärschlammverbringungsstruktur in Österreich

Abbildung 2 zeigt für das Jahr 1991 die Verwertungs-/Entsorgungsstruktur von kommunalem Klärschlamm in Österreich, die regional sehr unterschiedlich ist.

So sind die in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlammengen in Kärnten und in der Steiermark relativ gering, während in Vorarlberg und im Burgenland diese Verwertungsmöglichkeit eine wesentliche Rolle spielt. Die landwirtschaftliche Verwertung ist anteilmäßig jedoch rückläufig, während die Deponierung vorläufig noch an Bedeutung gewinnt (BMUJF, Bundesabfallwirtschaftsplan 1992). Der hohe Anteil der Klärschlammverbrennung geht zum größten Teil auf die Stadt Wien zurück, wo der anfallende Schlamm gänzlich verbrannt wird (siehe Kapitel 4.4.2.1).

Wenn die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung, die Kompostierung und auch die Deponierung in Zukunft schwieriger realisiert werden können, so könnte die Verbrennung von Klärschlamm noch mehr an Bedeutung gewinnen (NOWAK, 1991; LOLL, 1989; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990).



### 3 BIOGASGEWINNUNG DURCH KLÄRSCHLAMMFAULUNG

#### 3.1 Einleitung

Als Energiequelle (über die Verwertung von Biogas) spielt Klärschlamm eine nur geringe Rolle und dient primär der autonomen Energieversorgung der jeweiligen Kläranlage.

Generell entsteht Biogas in einem Gärprozeß beim anaeroben Abbau von Biomasse durch Mikroorganismen. Diesem Sammelbegriff sind zuzuordnen: Sumpfgas, Depo-niegas, Faulgas (einerseits aus der anaeroben Fermentation von Abgängen der Land-wirtschaft, andererseits aus der anaeroben Fermentation organisch hochverschmutz-ter Industrieabwässer) und *Klärgas* (entsteht bei der Stabilisierung von Abwasser-schlämmen in kommunalen und industriellen Kläranlagen) (STADLBAUER u. TRIEU, 1984; ENQUETE-KOMMISSION, 1990). Im vorliegenden Abschnitt steht ausschließ-lich Klärgas zur Diskussion.

#### 3.2 Technische Grundlagen

Das im Rahmen der anaeroben Zersetzung entstehende Stoffwechselprodukt Methan ist energetisch von höherem Wert als die Niedertemperaturwärme, die bei aeroben Ver-rottungsprozessen entsteht.

Die Stufen der Methanbildung umfassen in erster Linie Hydrolyse, Säure- und Methanbildung.

Klärgas besteht vorwiegend aus Methan ( $\text{CH}_4$ : 52 – 85 %, durchschnittlich 65 %), Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ : 14 – 48 %, durchschnittlich 35 %) sowie geringen Mengen bzw. Spuren von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff. Methan hat einen Heizwert von etwa  $36 \text{ MJ/m}^3$ .

Der Methangehalt und die Gasausbeute werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst (KLEEMANN und MELISS, 1988; KROISS, mündl. Mittlg.):

- Substratart;
- Trockensubstanz (der optimale Trockensubstanzgehalt beträgt etwa 5 – 10 %);
- Temperatur (mesophile Bakterien: 30 – 40 °C; thermophile Faulung spielt in Österreich keine Rolle);
- pH-Wert (optimaler Bereich: 6,8 – 7,8);
- Faulzeit (Verweilzeit im Fermenter: bei mesophilem Betrieb 20 – 30 Tage);
- Substratzufuhr.

### 3.3 Berechnung der Energiepotentiale

#### 3.3.1 Theoretisch mögliches Energiepotential

Die Aussagen über eine Anlagengröße, ab der die Klärgasproduktion als wirtschaftlich angesehen wird, schwanken zwischen 10.000 und 100.000 EGW. Im allgemeinen wird in Anlagen über 10.000 EGW Schlammfäulung als Stabilisierungsmethode und damit als Energiequelle angewandt (ALBER und EFFENBERGER, 1987). Der Berechnung eines theoretisch möglichen Potentials liegt allerdings die Annahme zugrunde, daß die gesamte in kommunalen Anlagen anfallende Klärschlammmenge (das sind 260.000 t TS/a) verfault wird. Bei der angenommenen Schlammmenge ist also auch der Klärschlammfall kleinerer Anlagen enthalten, bei denen die Schlammfäulung unrentabel wäre.

Basis für die folgenden Berechnungen ist die Annahme eines 80%igen Anschlußgrades der Bevölkerung an die Kanalisation (siehe Kap. 2).

Somit liegen den Berechnungen folgende Annahmen bzw. Daten zugrunde (KROISS, mündl. Mittlg.; ENQUETE-KOMMISSION, 1990):

- theoretischer Einwohneranschlußgrad 80 %
- faulbarer Klärschlammfall: 260.000 t Trockensubstanz/Jahr
- aus 1 kg organischen Feststoffen (auf Trockenmasse bezogen) entstehen etwa 400 l Faulgas
- Heizwert von Faulgas:  $23 \text{ MJ/m}^3$
- organischer Anteil im Klärschlamm ca. 70 %.

Daraus ergibt sich ein theoretisches Energiepotential von rund 1,7 PJ/Jahr.

#### 3.3.2 Nutzbares Energiepotential (Ist-Zustand)

In Österreich besitzen die meisten der größeren Klärwerke – außer die Hauptkläranlage Wien – Faulungsanlagen. Von den gegenwärtig anfallenden 320.000 t TS/a (Ein-

wohnererfassungsgrad ca. 70 %) sind etwa 230.000 t/a für eine Faulung geeignet (vgl. Kap. 2). Rund ein Drittel des Klärschlammes wird heute in Österreich verbrannt. Der Großteil der verbleibenden Mengen wird einem Faulungsprozeß zugeführt, grob geschätzt also etwa 150.000 Tonnen. Im folgenden werden diese 150.000 t als jene Menge Klärschlamm definiert, die bei der Klärschlammfaulung für eine energetische Verwertung zur Verfügung steht.

Die obige Energieberechnung muß somit bei Beibehaltung der übrigen Annahmen noch entsprechend herabgesetzt werden. Der daraus resultierende Energiegewinn aus der Klärschlammfaulung kann grob mit  $1 \text{ PJ/Jahr}$  beziffert werden. Dieser Energieoutput entspricht gleichzeitig jener Menge Energie, die bereits heute in Faulungsanlagen gewonnen wird.

Dazu ist noch der Energiegewinn durch anaerobe Reinigung industrieller Abwässer (z.B. aus der Stärke-, Zitronensäure- und Zuckerfabrikation) dazuzurechnen, der etwa  $0,4 \text{ PJ/Jahr}$  beträgt (KROISS, mündl. Mittlg.).

Somit ergibt sich ein gesamtes nutzbares Energiepotential aus der Klärschlammfaulung von rund  $1,4 \text{ PJ/Jahr}$ .

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsaspekte und energiewirtschaftliche Systemüberlegungen

Die Verwendung von Klärgas als Energiequelle scheint primär im Rahmen der Energieversorgung der Kläranlage sinnvoll zu sein. Das anfallende Biogas kann über Kraft-Wärme-Kopplung vor allem zur Eigenstromerzeugung, zur Beheizung der Faulbehälter oder der Gebäude verwendet werden. Dadurch lassen sich bis zu 60 % des Strombedarfs und bis zu 100 % des Heizbedarfs der Kläranlagen abdecken. (ENQUETE-KOMMISSION, 1990; FORUM, 1992).

Die Wertigkeit der gewonnenen Energieformen (mechanische Wärme bzw. elektrische Energie) ist mit einem Verhältnis von 1 : 3 zugunsten von Strom jedoch sehr unterschiedlich.

Das Gasvolumen, das zur Beheizung der Faulbehälter erforderlich ist, hängt primär vom Wassergehalt des Schlammes, von der Rohschlammtemperatur, aber auch von der Anlagengröße, den Wärmeverlusten und der Faulzeit des Schlammes ab (BRETSCHEIDER et al., 1982; KROISS, mündl. Mittlg.).

Bei Überlegungen zur Energieautarkie von Anlagen ist zu berücksichtigen, daß sich rechnerisch im ganzjährigen Mittel ein Wärmeüberschuß ergeben kann; generell kann allerdings in den Wintermonaten ein geringfügiges Wärmedefizit auftreten, während in den Sommermonaten die Gaskraftmaschinen teilweise über Notkühlung gefahren werden müssen (LOLL und DICHTL, 1988).

Zweifellos lohnt sich eine Gasgewinnung nur bei großen und mittelgroßen Anlagen. Die Abgabe von Überschußklärgas an ein öffentliches Versorgungsnetz ist nur sinnvoll, wenn die Gasleitungen nicht zu weit entfernt sind (Transport-, Leitungskosten). In Österreich erfolgen derartige Einspeisungen bislang nicht.

Die Möglichkeiten der wirtschaftlichen Nutzung des Gases reduzieren sich mit abnehmender Größe der Anlage. Der geringe Gasanfall in kleineren Anlagen schließt den ra-

tionellen Betrieb von Gasmotoren aus. Außerdem erfordert ein nur gelegentlicher Einsatz von Gasmotoren hohe und teure Speichervolumina. Oft ist die Verwendung des Gases zur Faulturn- bzw. Gebäudeheizung der einzig sinnvolle Verwendungszweck von Biogas (BRAUN, 1982), der Rest wird abgefackelt.

Neben der Größe der Kläranlage hängt die Wirtschaftlichkeit der Klärgasnutzung u.a. von der produzierten Gasmenge, der Energiepreissituation und der Kapazitätsauslastung der Gasmaschinen ab.

Eine detaillierte Aufstellung erforderlicher Anlagenkomponenten für eine Kraft-Wärme-Kopplung bei der Klärgasnutzung, sowie spezifischer für die BRD geltender Investitions- und Betriebskosten findet sich im Bericht der ENQUETE-KOMMISSION (1990).

### 3.5 Klärgasnutzung in Deutschland (alte Bundesländer)

Ähnlich wie in Österreich, wo die meisten größeren Klärwerke Faulungsanlagen besitzen, wird in Deutschland (alte Bundesländer) in fast allen 3.800 Kläranlagen, die über eine Anaerobstufe (Faulstufe) verfügen, Klärgasnutzung betrieben. 1987 wurden gemäß Gasstatistik etwa 445 Mio. m<sup>3</sup> Klärgas (10 PJ/Jahr) erzeugt (ENQUETE-KOMMISSION, 1990).

Unklar ist hingegen der Umfang des Klärgas-Einsatzes in Gasmotoren. Schätzungen zufolge sind heute wahrscheinlich Kläranlagen mit mehr als 250.000 EGW zu 2/3 mit Gasmotoren ausgestattet, sodaß bundesweit (ohne neue Bundesländer) ein Energieaufkommen aus Klärgas von rund 6,5 PJ/a zur Erzeugung von mechanischer und elektrischer Energie (in Gasmotoren) genutzt wird (ENQUETE-KOMMISSION, 1990).

14 Mio. Nm<sup>3</sup> Klärgas (0,3 PJ/a) werden nach Entfernung des CO<sub>2</sub>-Anteiles in Ortsnetze eingegeben oder direkt zu Endverbrauchern geleitet (Bramkamp et al., zit. in ENQUETE-KOMMISSION, 1990). Die jährliche Stromproduktion der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in der BRD (alte Bundesländer) dürfte etwa 533 GWh/a betragen, der ein bundesweiter Bedarf der Kläranlagen von ca. 846 GWh/a gegenübersteht.

Das technische Potential der Klärgasnutzung in den alten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland wird vom Bericht der ENQUETE-KOMMISSION mit rd. 23 PJ pro Jahr angegeben, was einer Verdoppelung gegenüber heute gleichkommt.

### 3.6 Ausblick

Nicht genau abzusehende Effekte auf den Betrieb von Kläranlagen und auf die Quantität und Qualität von Klärschlamm hat die im Sommer 1990 in Österreich in Kraft getretene Wasserrechtsgesetz-Novelle. Die bis dahin gültige Emissionsrichtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft wurde durch Grenzwerte für die Ablaufkonzentrationen von kommunalen Kläranlagen ersetzt (1. Emissionsverordnung für kommunales Abwasser). Angesichts der internationalen Entwicklung wird im Rahmen dieser Grenzwerte besonderes Gewicht auf NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N als die den BSB<sub>5</sub> ablösenden Leitparameter gelegt.

Die Anforderungen an die Reinigungsleistung werden entsprechend der Kläranlagengröße gestaffelt. Die zu erwartenden Werte für Ammoniumstickstoff können nur im Fall der vollen Nitrifikation erreicht werden. Durch den Ausbau der Kläranlagen in diese Richtung muß im Bereich der gesamten Abwasserreinigung, einschließlich der Schlammbehandlung, mit Konsequenzen gerechnet werden (RIEGLER und BAU, 1989).

Aufgrund der Vorschriften zur Phosphorfällung ist mit einem Ansteigen des anorganischen Gehalts im Schlamm und in der Folge mit höheren TS-Werten zu rechnen. Die Klärschlammengen dürften aber nicht weiter ansteigen, sodaß von einer gleichbleibenden Biogasausbeute ausgegangen werden kann (KROISS, mündl. Mittlg.).

Anforderungen an Nitrifikation und Denitrifikation bedingen ein höheres Schlammalter (Schätzungen zufolge kann mit 10 bis 17 Tagen gerechnet werden), was mit starken Einschränkungen der Faulfähigkeit des Schlammes verbunden ist (bei einem Schlammalter von ca. 25 Tagen ist der Schlamm vollständig aerob stabilisiert und damit nicht mehr faulfähig). Mit dem hohen Schlammalter ist eine weitgehende Entfernung der biologisch abbaubaren Substanz verbunden (KROISS, mündl. Mittlg.; KROISS, 1989b).

Der hohe Sauerstoffbedarf bei diesen Prozessen läßt einen verstärkten Energieverbrauch für Kläranlagen erwarten, was eine aus Biogasproduktion resultierende Energieautarkie in Zukunft nicht möglich erscheinen läßt. Aus diesem Grund wird die geringe Bedeutung, die Klärschlamm als alternative Energiequelle hat, mit großer Wahrscheinlichkeit weiter sinken, obwohl die anfallende Klärschlammmenge in den nächsten Jahren sicher noch steigen wird.

#### **4 ENERGIEGEWINNUNG DURCH KLÄRSCHLAMMVERBRENNUNG**

Das folgende Kapitel versucht der Frage nachzugehen, welches Energiepotential bei der Verbrennung der in Österreich anfallenden Klärschlämme gewonnen werden könnte. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, daß der gesamte Klärschlamm anfall einer Verbrennung zugeführt wird. Nicht berücksichtigt wird in diesem Kapitel die Verbrennung von Klärschlamm in der Zementindustrie sowie die gemeinsame Verfeuerung mit Hausmüll (dazu: LOLL, 1989; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990; BUWAL, 1991; Gesellschaft österreichischer Chemiker/GÖCH, 1991).

Weiters wird davon ausgegangen, daß vor dem Hintergrund zunehmender Entsorgungsprobleme von Klärschlamm die Verbrennung in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen wird (vgl. Kap. 2.1).

Auf mögliche Umweltauswirkungen bei der Klärschlammverbrennung wird in Kapitel 4.6 eingegangen.

##### **4.1 Allgemeine Grundlagen**

Eine umfassende Behandlung verschiedener Klärschlammverbrennungsverfahren liefert der vorliegende Bericht nicht. Diesbezüglich muß auf andere Quellen verwiesen werden (LOLL, 1989; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990; BUWAL, 1991; GÖCH,



1991). Demnach sind für die Verbrennung von Klärschlamm v.a. Wirbelschicht-, Etagen- und Drehrohröfen, neuerdings auch Schmelzöfen im Einsatz.

Damit Klärschlamm überhaupt verbrannt werden kann, muß er entwässert werden, da der in Kläranlagen anfallende eingedickte Klärschlamm zu 95 % aus Wasser und nur zu etwa 5 % aus Trockensubstanz besteht. Durch die Klärschlamm-entwässerung wird aus diesem Schlamm mittels entsprechender Entwässerungstechnologien (mechanisch oder thermisch) Dickschlamm gewonnen, der nach dem heutigen Stand der Technik bei mechanischer Entwässerung einen Trockensubstanz-Gehalt bis zu ca. 35 % aufweist (LOLL, 1989; RUGGENTHALER, 1989a; EbS, 1991; GÖCH, 1991; MILLES, 1991).

Neue, in Entwicklung befindliche thermische Verfahren der Klärschlamm-trocknung könnten in Zukunft diesen Wert auf mehr als 90 % anheben, was neben logistischen, nicht energetischen Vorteilen (Stapelung, Transport) grundsätzlich auch positive Auswirkungen auf den Heizwert von Klärschlamm hätte. Dem ist jedoch der dafür zusätzlich benötigte Energieeinsatz gegenüberzustellen, der in der Regel höher ist als der Heizwertgewinn.

## 4.2 Energiepotentiale

### 4.2.1 Theoretisch mögliches Energiepotential

Wie in Kapitel 2 bereits angeführt, beträgt unter der Annahme eines Abwassererfassungsgrades von 80 % die in Österreich jährlich anfallende Klärschlammmenge etwa 350.000 t Trockensubstanz (inkl. Faserschlämme aus der Industrie). Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die zukünftige Entwicklung industrieller Klärschlamm-mengen seriöser Weise kaum zu prognostizieren ist.

Als Heizwert wird für durchschnittlichen Klärschlamm ein Energiegehalt von 12 MJ/kg TS angenommen (KROISS, mündl. Mittlg.). Der in Wien anfallende Klärschlamm weist einen Energiegehalt von knapp 15 MJ/kg TS auf, allerdings gelten dort besonders günstige Voraussetzungen, die für alle anderen österreichischen Kläranlagen nicht repräsentativ sind. Zusätzlich sei angemerkt, daß der Heizwert vom Anteil der organischen Substanzen im Klärschlamm abhängt. Je höher dieser Anteil ist, umso höher ist auch der Heizwert von Klärschlamm (siehe unten).

Der Berechnung des theoretisch möglichen Energiepotentials aus der Klärschlamm-verbrennung wurde zugrundegelegt, daß der anfallende Klärschlamm zur Gänze verbrannt wird. Es werden weder die Möglichkeit der Klärschlamm-fermentation noch Größen- und Kapazitätsbeschränkungen für Klär- bzw. Verbrennungsanlagen berücksichtigt.

Zusammengefaßt können zur Berechnung des theoretisch möglichen Energiepotentials folgende Annahmen getroffen werden (KROISS, mündl. Mittlg.):

- theoretischer Einwohneranschlußgrad: 80 Prozent;
- Klärschlammfall: 350.000 t TS/Jahr;
- Klärschlamm wird zur Gänze verbrannt;
- Heizwert von Klärschlamm: 12 MJ/kg TS;

– durchschnittlicher organischer Anteil 50 – 70 % (siehe Kap. 4.2.2).

Demnach ergibt sich ein vorläufiges theoretisch mögliches Energiepotential von 350 Mio. kg TS x 12 MJ = rund 4,2 PJ/ Jahr.

Von diesem vorläufigen Wert sind noch die *Energieverluste* abzuziehen. Legt man einen heute von modernen Anlagen durchaus erreichbaren kalorischen Wirkungsgrad von 65 % zugrunde (Entsorgungsbetriebe Simmering/EbS, 1991) und zieht somit 35 % als kalorische Verluste ab, so bleibt ein theoretisch mögliches Energiepotential von ca. 2,75 PJ/Jahr.

#### 4.2.2 Nutzbares Energiepotential – Berücksichtigung technischer und ökonomischer Restriktionen

Der im vorigen Kapitel errechnete theoretische Energieoutput bei der Klärschlammverbrennung wird durch eine Reihe von technisch bzw. ökonomisch bedingten Restriktionen erheblich eingeschränkt. Wirtschaftlichkeitsaspekte der Klärschlammverbrennung werden in einem späteren Kapitel (4.3) behandelt. Hier werden zunächst einige technische Faktoren untersucht, von denen die wirtschaftliche Verbrennung von Klärschlamm abhängt.

Als solche Faktoren sind insbesondere zu nennen:

1. Wassergehalt des Schlammes
2. organischer Gehalt der Schlämme
3. Lagerfähigkeit
4. Größe der Kläranlage (Klärschlammmenge)
5. Wahl der Verbrennungstechnologie
6. Art der energetischen Nutzung von Klärschlamm: Faulung und/oder Verbrennung?

##### *ad 1: Wassergehalt des Schlammes*

Eine wirtschaftliche Verbrennung von Klärschlamm ist nur dann möglich, wenn eine höchstmögliche Entwässerung erzielt wird. Erst dann kommen die energetischen Vorteile der Schlammverbrennung zum Tragen (RUGGENTHALER, 1989a).

Energievorteilen bei höheren Entwässerungsergebnissen sind jedoch die dafür notwendigen Energieaufwendungen gegenüberzustellen. Die mechanische Entwässerung ist – energetisch betrachtet – günstiger als die Verdampfung von Wasser. Der mechanischen Entwässerung sind jedoch prinzipielle Grenzen gesetzt (maximal erzielbarer TS-Gehalt ca. 50 %; vgl. GÖCH, 1991).

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß in Abhängigkeit der Schlammzusammensetzung die Verbrennung ab einem TS-Gehalt von 20 – 35 % theoretisch ohne Zusatzbrennstoffe möglich ist (BUWAL, 1991).

Wie die Erfahrungen in den Entsorgungsbetrieben Simmering in Wien zeigen, ist dort eine Verbrennung von Klärschlamm mit durchschnittlichem organischem Substanzgehalt ohne Zusatzbrennstoff erst ab einem TS-Gehalt von knapp 34 % möglich (RUGGENTHALER, 1989b; EbS, 1991). Dies setzt jedoch die Anwendung moderner Entwässerungsanlagen (Zentrifugen, Kammerfilterpressen) voraus.

Höhere Trocknungsergebnisse sind nur durch thermische Verfahren (sehr energieintensiv) oder mittels Dampf durch Koppelung mit dem Verbrennungsprozeß zu erreichen (LOLL, 1989; RUGGENTHALER, 1989a; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990; GÖCH, 1991). Der hohe Energiebedarf dieser Verfahren läßt jedoch kaum Spielraum für eine energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Energienutzung. Thermische Verfahren haben jedoch u.a. den Vorteil, daß durch den höheren Trockengrad das Schlammgut besser lagerfähig wird und somit bis zur Verfeuerung in den Wintermonaten, in denen die Nachfrage nach Klärschlamm am größten ist, gelagert werden kann.

#### *ad 2: Organischer Gehalt der Schlämme*

Der Energiegewinn aus der Klärschlammverbrennung hängt vom organischen Substanzgehalt des Schlammes ab. Je höher der Anteil organischer Substanzen im Klärschlamm ist, umso höher ist auch dessen Heizwert.

In Anlehnung an KROISS (mündl. Mittlg.) beträgt der organische Anteil in nicht stabilisierten Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen durchschnittlich etwa 65 – 70 %, was einem Heizwert von 12 – 13 MJ/kg TS entspricht. Faulschlämme haben etwa 50 % organischen Anteil und damit einen Heizwert von ca. 10 MJ/kg TS. Für die weiteren Überlegungen wurde von einem mittleren Heizwert für Klärschlamm von 12 MJ/kg TS ausgegangen.

#### *ad 3: Lagerfähigkeit von Klärschlamm*

Generelle Einschränkungen für die Verbrennung von nicht stabilisiertem Klärschlamm ergeben sich aus dessen sehr begrenzter Lagerfähigkeit. Er muß möglichst rasch, womöglich innerhalb eines Tages, entwässert werden, andernfalls beginnt er zu faulen, was die Entwässerung stark beeinträchtigt. Eine Verbrennungsanlage müßte also so konzipiert werden, daß der anfallenden Klärschlammmenge ausreichende Verbrennungskapazitäten zur unverzüglichen Verfeuerung gegenüberstehen.

#### *ad 4: Größe der Kläranlage*

Wirtschaftlich dürfte die Verbrennung von Klärschlamm aufgrund ihrer hohen Kostenintensität nur in Großanlagen sinnvoll sein. Diese wiederum sind nur praktikabel, wenn sich ihr Standort in der unmittelbaren Nähe von großen Abwasserreinigungsanlagen und/oder kommunaler Ballungsräume befindet (KROISS, mündl. Mittlg.; KROISS und NAGEL, 1989).

Einer der Gründe, der für Großanlagen spricht, liegt in der Beschaffenheit der Klärschlämme nach deren Entwässerung. Das nach der Entwässerung für die Verbrennung verbleibende Klärschlammgut enthält beim heutigen Stand mechanischer Entwässerungstechniken immer noch 65 – 75 % Wasser, was einer stichfesten Masse entspricht. Aus ökonomischen Gründen sind deshalb möglichst geringe Distanzen zwischen Entwässerungs- und Verbrennungsanlage zur Vermeidung von Transportkosten sinnvoll.

Ab welcher Kläranlagenkapazität die Verbrennung von Klärschlamm wirtschaftlich zu betreiben ist, wird unterschiedlich beurteilt. In Wien, wo der anfallende Klärschlamm zur Gänze verbrannt wird (siehe Kap. 4.4.2.1), stehen für eine Kläranlagenkapazität von rund 3 Mio. EGW zwei Wirbelschichtöfen mit einer Gesamtleistung von insgesamt 80 MW zur Verfügung. Laut Aussage der Betreiber verläuft die Klärschlammverbrennung dabei kostendeckend (EbS, 1991, bzw. KRAMER, mündl. Mittlg.).

Dem steht vor allem die Meinung von Vertretern kleinerer kommunaler Anlagen sowie kommunaler Abwasserverbände gegenüber, von denen zu erfahren ist, daß außer in großen Ballungsgebieten eine ausschließlich auf die Verfeuerung von Klärschlamm ausgerichtete Verbrennungsanlage in einwohnerschwächeren Gebieten aufgrund des dort nicht ausreichenden Klärschlammaufkommens von vornherein zu hohe Kosten verursacht und damit unwirtschaftlich bleibt. Klärschlamm könnte in diesen – überwiegenden – Fällen nur als Beimischgut eine Rolle spielen (EIBENSTEINER, AV St. Veit/Glan, mündl. Mittlg.).

Geht man von Aussagen der Anlagenbauer aus, so ist in der Praxis der Einsatz von Klärschlammverbrennungsanlagen für Kläranlagen ab einer Kapazität von etwa 50.000 EGW aufwärts möglich (LANGER, Fa. SGP, mündl. Mittlg.). Der Einsatz von Verbrennungsanlagen für solche relativ kleinen Kläranlagen dürfte sich auf die Wirtschaftlichkeit jedoch sehr negativ auswirken (KROISS, mündl. Mittlg.). Für die weiteren Überlegungen wird deshalb unter optimistischen Voraussetzungen eine Kläranlagenkapazität von *mindestens 200.000 EGW* angenommen. Größere Anlagen erhöhen naturgemäß die Sinnhaftigkeit der Verbrennung.

Weiters fällt auf, daß immer mehr Gemeinden bzw. Gemeindeverbände bei der Entsorgung, insbesondere Verbrennung ihrer Klärschlämme aus wirtschaftlichen und dabei v.a. abfallwirtschaftlichen Überlegungen mit Industrieunternehmen (v.a. Papier- u. Zellstoffindustrie, Holzverarbeitende und Zementindustrie) zusammenarbeiten (BMLF, 1991; GÖCH, 1991; siehe Kapitel 4.4.2.2).

#### *ad 5: Wahl der Verbrennungstechnologie*

Als Verbrennungseinrichtung stehen nur wenige Verfahren zur Verfügung. Konkret sind Etagen-, Drehrohr- sowie Wirbelschichtöfen denkbar, wobei letztere die gebräuchlichsten sein dürften (LOLL, 1989; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990; HACKL, 1991).

Hinsichtlich der Kesselkapazität war von Seite der Anlagenerzeuger zu erfahren, daß rein technisch die Kapazitätsuntergrenze der Klärschlammverbrennung bei etwa 1 MW thermischer Leistung liegt (LANGER, Fa. SGP, mündl. Mittlg.). Je kleiner eine Anlage jedoch ist, umso höher sind die damit verbundenen spezifischen Kosten. Nach LANGER müßte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Anlage deshalb zumindest auf eine thermische Leistung von etwa 5–8 MW Leistung ausgerichtet sein. Dies entspricht einem knappen Zehntel der thermischen Leistung der Klärschlammverbrennungsanlage der EbS–Wien. In der Praxis wird die Verbrennung von Klärschlamm allerdings nur in größeren Kesselanlagen möglich sein, um Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Dies umso mehr, als heute zur Einhaltung der vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte sehr aufwendige Rauchgasreinigungsanlagen erforderlich sind (HACKL, 1991).

#### *ad 6: Art der energetischen Nutzung von Klärschlamm: Faulung und/oder Verbrennung?*

Sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Energiebilanz werden entscheidend dadurch beeinflußt, ob der Klärschlamm einer Faulung oder einer Verbrennung zugeführt wird, bzw. ob der Faulschlamm nach der Faulung anschließend noch verbrannt wird.

Bei Großkläranlagen ist es unter energetischen Gesichtspunkten empfehlenswert, nicht stabilisierten Schlamm der Verbrennung zuzuführen. Bei kleineren Anlagen sowie

bei hohem Transport- und langem Lagerbedarf (z.B. bei Abwasserverbänden mit sehr großem Einzugsbereich) ist jedoch v.a. zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen sowie aus verfahrenstechnischen Gründen eine Stabilisierung des Schlammes, z.B. durch Faulung, notwendig.

Grundsätzlich ist, wie internationale Erfahrungen (z.B. in der BRD, GB, USA) zeigen, die anschließende Verbrennung der Rückstände aus der Klärschlammfäulung (sog. Faulschlämme) möglich. Der Heizwert des Faulschlammes ist jedoch gegenüber jenem von Rohschlamm etwas geringer. Darüber hinaus ist mit der Vorfaulung ein zusätzlicher Verfahrensschritt notwendig, der Energieaufwand verursacht und somit in Summe eine negative Energiebilanz zur Folge hat (KROISS, mündl. Mittlg.). Wirtschaftlich betrachtet stellen die nötigen Zusatzinvestitionen (Faultürme etc.) eine erhebliche Kostenbelastung dar.

Energetisch bringt die Klärschlammverbrennung nach erfolgter Vorfaulung somit keine Vorteile; verfahrenstechnisch sowie hinsichtlich der weiteren Verarbeitbarkeit (Entsorgungsaspekt) können sich hingegen, wie dargelegt, Vorteile ergeben. In jedem Fall verursachen solche Verfahrenskombinationen enorme Kosten, die einen wirtschaftlichen Betrieb ausschließen.

Zur Ermittlung eines nutzbaren Energiepotentials aus der Klärschlammverbrennung lassen sich aus den obigen Ausführungen *folgende Annahmen zusammenfassen*:

- wenn möglich, Verbrennung von nicht stabilisierten Schlämmen; in Ausnahmefällen (v.a. bei regionalen Abwasserverbänden, in denen mehrere Gemeinden zusammengeschlossen sind = Transport-/Lagerbedarf) Verbrennung nach erfolgter Stabilisierung;
- Gewährleistung eines möglichst hohen TS-Gehalts nach der Entwässerung, mindestens jedoch 30 %;
- organischer Substanzgehalt:  
50 – 70 %;
- mittlerer Heizwert: 12 MJ/kg TS (unter Berücksichtigung teilweiser Stabilisierung);
- Verbrennung nur bei großen Kläranlagen von mindestens 200.000 EGW bzw. bei Abwasserverbänden mit entsprechend großen Einzugsgebieten.

#### 4.2.2.1 Ermittlung des technisch und ökonomisch nutzbaren Energiepotentials

Daten über den aktuellen Klärschlammmanfall in den einzelnen Kläranlagen Österreichs liegen nicht vor. Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF, 1991a) hat eine aktuelle Kläranlagen-Statistik vorgelegt, die jedoch nur Aussagen über die Kläranlagenkapazität (ausgedrückt in EGW) beinhaltet.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Kläranlagenstatistik hat das UMWELTBUNDESAMT (1991b) in einer Telephonumfrage die Klärschlammengen aus kommunalen Kläranlagen über 200.000 EGW erhoben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt:

*Tab. 3: Klärschlammfall in kommunalen Kläranlagen größer 200.000 EGW in Österreich (Bezugsjahr 1990/91, in t TS) (BMLF, 1991a; Ämter der Landesregierungen; jeweilige Abwasserverbände bzw. Kläranlagen; KROISS\*), mündl. Mittlg.)*

Kläranlage	Bundesland	EGW	t TS
Klagenfurt	K	300.000	2.160
AV An der Traisen	NÖ	240.000	1.460
Linz-Regional-Klärananlage Asten	OÖ	850.000	6.900
AV Welsler Heide	OÖ	250.000	2.750
Graz	St	400.000	4.720
RHV Großraum Salzburg (Siggerwiesen)	S	350.000	3.850
AV Innsbruck-Umgebung	T	230.000	4.960
AV Straß im Zillertal	T	225.000	1.530
Dornbirn-Schwarzach	V	286.000	2.300
AV Region Feldkirch	V	200.000	1.580
Wien*)	W	3.000.000	62.460
<b>Gesamt</b>		<b>6.331.000</b>	<b>94.670</b>

Tabelle 3 berücksichtigt nur kommunale Klärwerke. Nicht enthalten sind in der Aufstellung die biologischen Kläranlagen der Industrie (siehe dazu: BMLF, 1991a).

In Österreich gibt es demnach elf Gemeindekläranlagen der Größenordnung über 200.000 EGW. Diese weisen eine Gesamtkapazität von insgesamt rd. 6,3 Mio. EGW auf. Das entspricht etwas weniger als der Hälfte der in Österreich vorhandenen Abwasserreinigungskapazität.

Unter den im vorigen Kapitel genannten Bedingungen ergibt sich somit eine Klärschlammmenge von insgesamt rund 95.000 t Feststoff pro Jahr. Daraus läßt sich unter Beibehaltung obiger Annahmen (Heizwert: 12 MJ/kg TS) das nutzbare Energiepotential (inkl. technischer und ökonomischer Abzüge) aus der Klärschlammverbrennung ermitteln:

$$95 \text{ Mio. kg} \times 12 \text{ MJ} = \text{rd. } 1,14 \text{ PJ/Jahr.}$$

Nach Abzug der Energieverluste (Annahme: kalorischer Wirkungsgrad 65 %) beläuft sich der technisch und ökonomisch nutzbare Energieoutput auf ca. 0,75 PJ/Jahr.

Dieser Wert ist noch um jene Energiemenge zu erhöhen, die aus der Verbrennung biologischer Klärschlämme der Industrie resultiert. Vor allem in Unternehmen der Papier- und Zellstoffindustrie wird neben den eigenen Klärschlämmen teilweise auch kommunaler Klärschlamm mitverbrannt, wobei allerdings der Anteil der kommunalen Schlämme an der gesamten verfeuerten Klärschlammmenge zumeist sehr gering ist (siehe Kapitel 4.4.2.2).

Eine aktuelle Datengrundlage über den Anfall biologischer Klärschlämme in der Industrie ist leider nicht verfügbar. Die erwähnte Kläranlagen-Statistik des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft (BMLF, 1991b) enthält keine Angaben über den Klärschlammfall der dort angeführten Industriebetriebe der Größenordnung über 10.000 EGW, sondern nur deren Kapazitäten (ausgedrückt in EGW). Es läßt sich daraus jedoch ableiten, daß der Großteil biologischer Industrieklärschlämme in der Papier- und

Zellstoffindustrie anfällt. Grob geschätzt kann davon ausgegangen werden, daß sich das obige Energiepotential bei Berücksichtigung der Industrieklärschlämme etwa verdoppelt. Das **gesamte nutzbare Energiepotential** aus der Klärschlammverbrennung kann somit auf **knapp 1,5 PJ/Jahr** geschätzt werden.

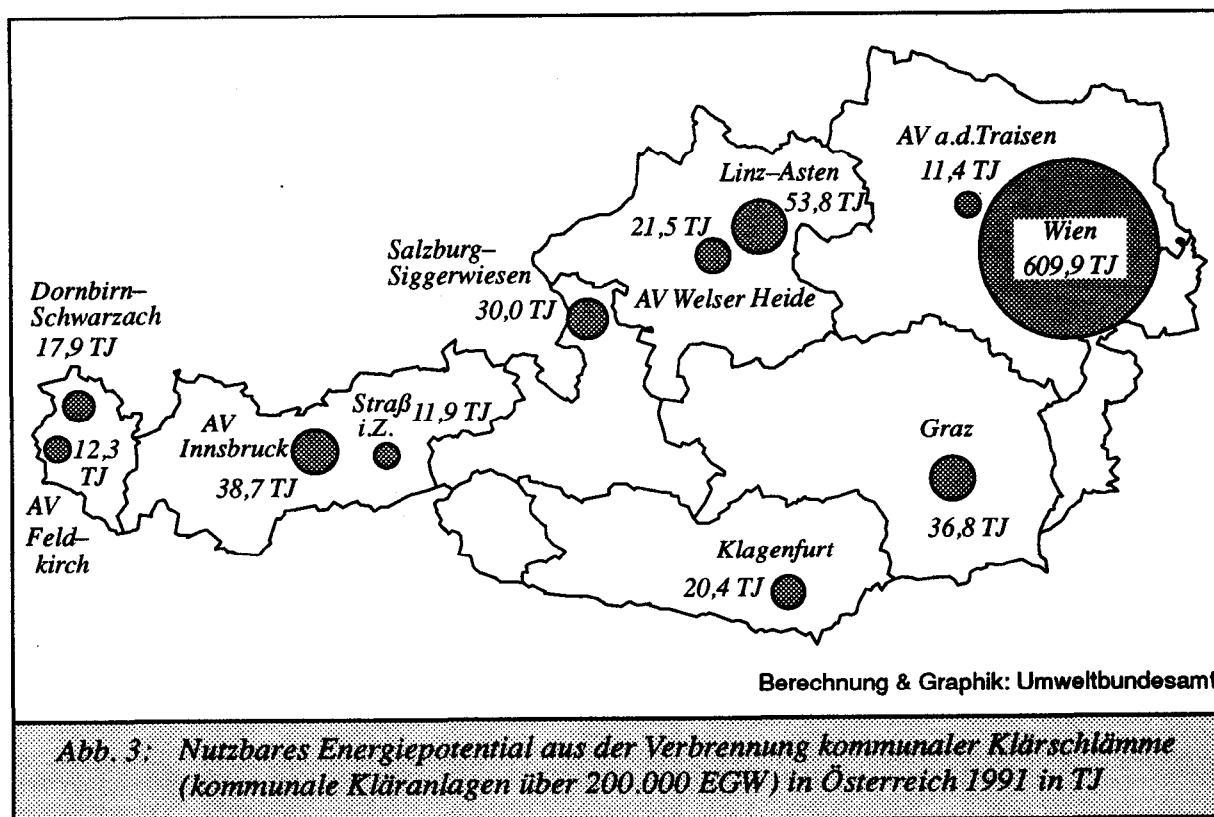
Alles in allem ist das *Energiepotential aus der Klärschlammverbrennung jedoch äußerst gering*. Bei einem Gesamtverbrauch an erneuerbaren Energien von 101,2 PJ im Jahr 1989 (UMWELTBUNDESAMT, 1991c) beträgt der Anteil der Klärschlammverbrennung mit rund 1,5 PJ/Jahr magere 1,5 %.

#### 4.2.2.2 Nutzbares Energiepotential – regionalisierte Darstellung

Tabelle 4 und Abbildung 3 zeigen das nutzbare Energiepotential aus der kommunalen Klärschlammverbrennung in regionalisierter Form (ohne biologische Kläranlagen der Industrie). Die höchsten Potentiale befinden sich naturgemäß in städtischen Ballungsräumen mit großen Kläranlagen bzw. in Gebieten mit regionalen Abwasserverbänden mit großem Einzugsbereich. Wien weist mit 0,6 PJ/Jahr nach Abzug der Energieverluste das weitaus größte Energiepotential auf.

<i>Tab. 4: Nutzbares Energiepotential aus kommunalen Kläranlagen größer 200.000 EGW (in TJ)*</i>				
	Bundesland	t TS	Nutzbares Energiepotential	
			100 % (Wirkungsgrad)	65 %
<i>Klagenfurt</i>	NÖ	2.610	31,3	20,4
<i>AV An der Traisen</i>	NÖ	1.460	17,5	11,4
<i>Regionalkläranlage Linz-Asten</i>	OÖ	6.900	82,8	53,8
<i>AV Welser Heide</i>	OÖ	2.750	33,0	21,5
<i>Graz</i>	St	4.720	56,6	36,8
<i>RHV Großraum Salzburg (Siggerwiesen)</i>	S	3.850	46,2	30,0
<i>AV Innsbruck-Umgebung</i>	T	4.960	59,5	38,7
<i>AV Straß im Zillertal</i>	T	1.530	18,4	11,9
<i>Dornbirn-Schwarzach</i>	V	2.300	27,6	17,9
<i>AV Region Feldkirch</i>	V	1.580	19,0	12,3
<i>Wien</i>	W	62.460	936,9	609,0
<i>Gesamt</i>		94.670	1.328,8	863,7

*\*) Heizwert: 12 MJ/kg TS; Wien: 15 MJ/kg TS*





### 4.3 Wirtschaftlichkeit der Klärschlammverbrennung

Aus heutiger Sicht stellt die Verbrennung von Klärschlamm jene Entsorgungsvariante dar, bei der im Vergleich zu anderen Entsorgungsmöglichkeiten (z.B. Deponierung) die höchsten Kosten anfallen (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 1986; UMWELTBUNDESAMT BERLIN, 1990).

Mit steigenden Deponiekosten gleichen sich die Kosten jedoch immer mehr an. NO-WAK (1991) setzt die Jahreskosten für den gesamten Entsorgungsweg von Klärschlamm, einschließlich der Schlammentwässerung, mit rund 200 ÖS pro EGW und Jahr an.

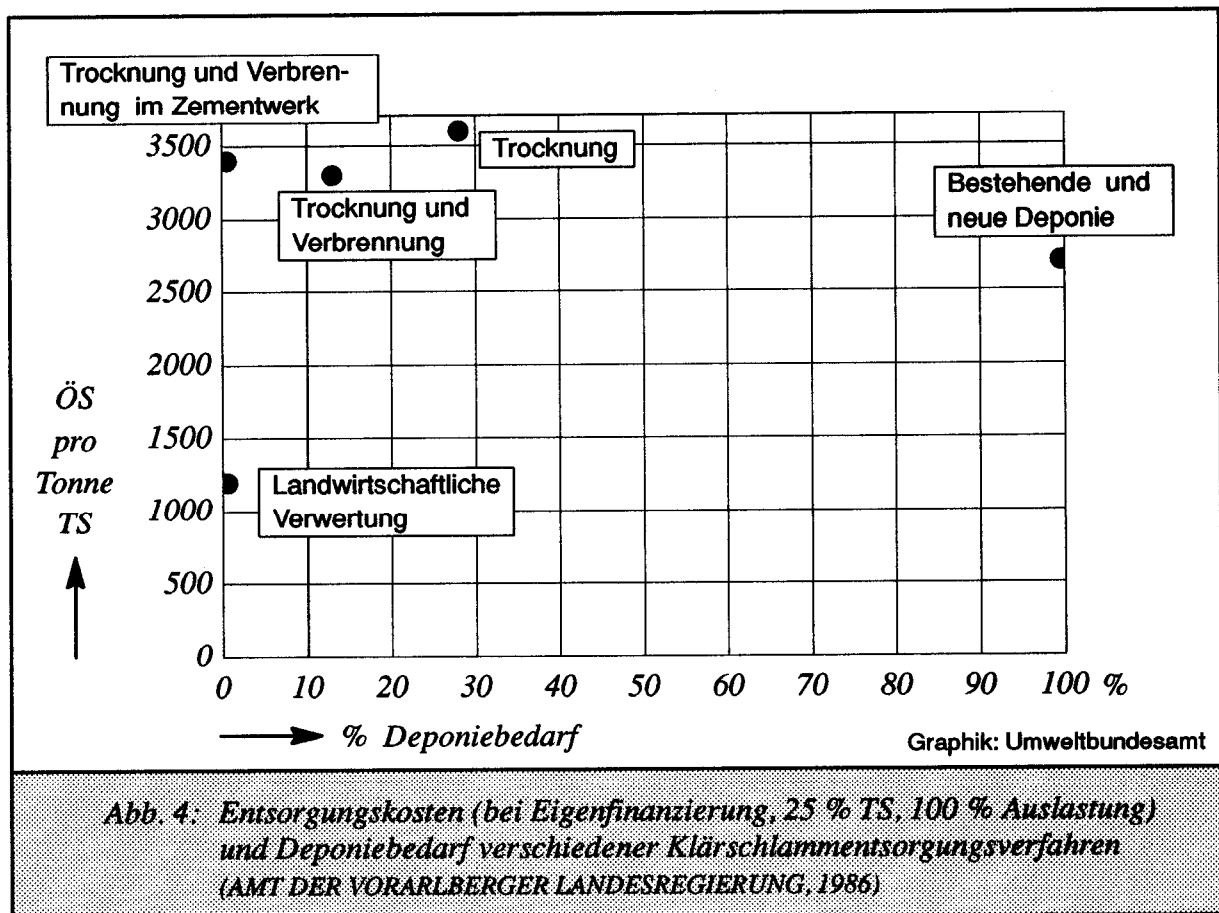
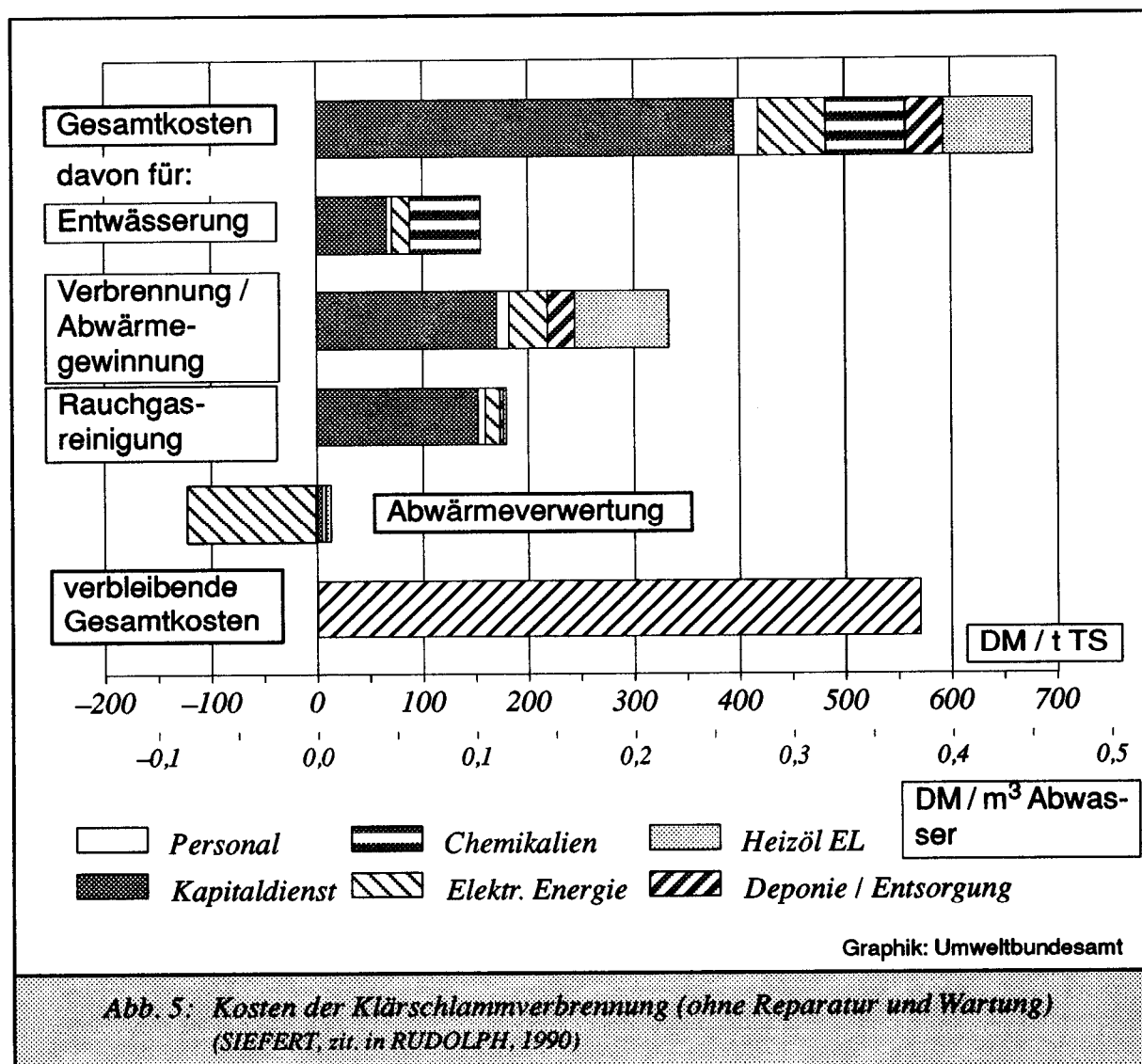


Abbildung 4 zeigt am Beispiel Vorarlbergs eine Zusammenstellung der Entsorgungskosten verschiedener Strategien der Klärschlammbehandlung bei 100 % Eigenfinanzierung (bei Finanzierungsförderung reduzieren sich die Kostensätze entsprechend).

Strenge Emissionsgrenzwerte für Klärschlammverbrennungsanlagen dürften mittlerweile dazu beigetragen haben, daß Rauchgasreinigungsanlagen inzwischen im Extremfall mehr als die Hälfte der gesamten Investitionskosten ausmachen können. Besonders hoch sind weiters die Kosten für Einrichtungen zur Verbrennung (Brennkessel) und Abwärmegewinnung sowie Entwässerungs- bzw. Trocknungsanlagen. Diesen Kosten stehen lediglich Kosteneinsparungen bzw. Erlöse aus der Abwärmeverwertung gegenüber (Abb. 5).



Aufgrund knapp werdender Deponieräume und abnehmender Ausbringungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft (siehe Kap. 2.1) ist für die nächsten Jahre jedoch generell ein starkes Ansteigen der Entsorgungskosten für Klärschlämme zu erwarten, wodurch auch die Kosten der heute noch vergleichsweise "billigen" Verwertungsverfahren (Deponierung, Ausbringung in der Landwirtschaft) besonders ansteigen werden und dadurch eine Annäherung der Kosten bewirken (UMWELTBUNDESAMT – BERLIN, 1990; NOWAK, 1991).

Generell ist anzumerken, daß die energetische Klärschlammverwertung in erster Linie ein Abfallentsorgungsproblem darstellt und energiewirtschaftliche Aspekte in der Regel nur eine untergeordnete Rolle spielen (z.B. MÖLLER, 1989).

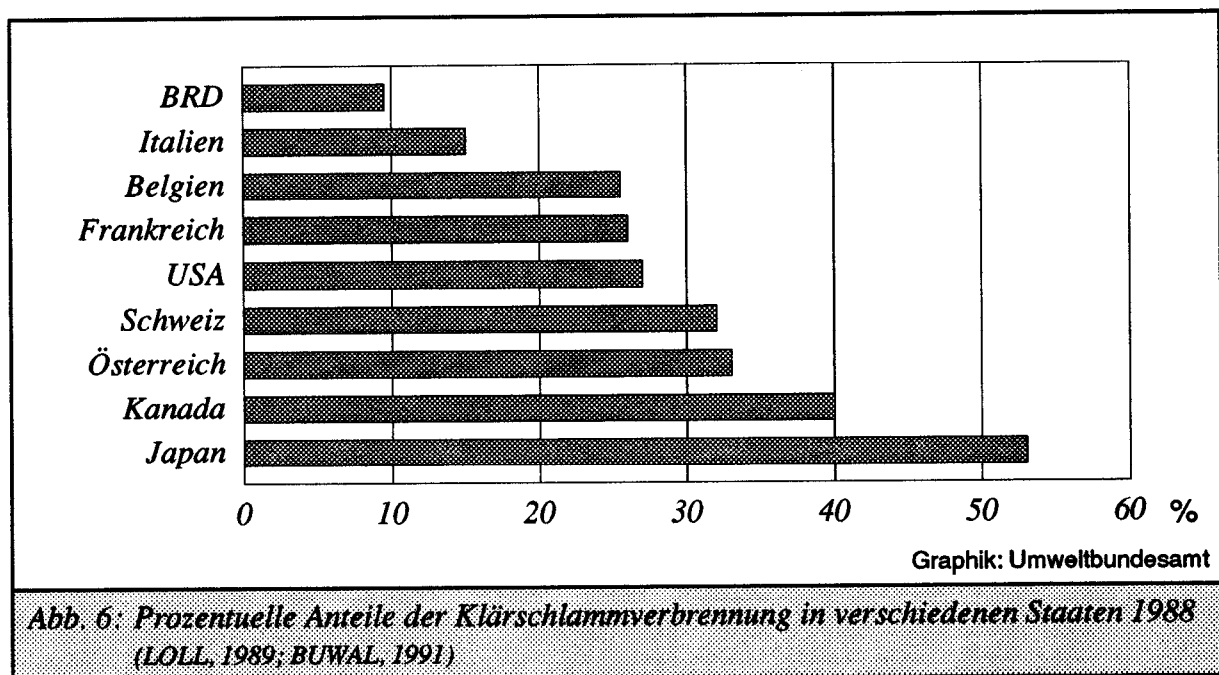
Gleichermaßen wird die Klärschlammverbrennung als eine mögliche Form der Klärschlamm Entsorgung üblicherweise abfallwirtschaftlich abgehandelt, weshalb hier auf detaillierte Untersuchungen der Kostenstrukturen sowie der Wirtschaftlichkeit verzichtet wird (vgl. ENQUETE-KOMMISSION, 1990; BUWAL, 1991).

#### 4.4 Ist-Zustand

##### 4.4.1 Ausland

Der Anteil der Klärschlammverbrennung ist im westlichen Ausland sehr unterschiedlich.

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich des Anteils der Klärschlammverbrennung in verschiedenen Staaten.



Während in Japan der Verbrennungsanteil überdurchschnittlich hoch ist, liegen die USA etwa gleichauf mit Belgien und Frankreich, die mit 20 – 30 % den höchsten Verbrennungsanteil in Europa aufweisen (BUWAL, 1991). In der BRD wird heute mit rd. 200.000 t TS die größte absolute Menge Klärschlamm in Europa in 20 Abwasserreinigungsanlagen verbrannt. Dies entspricht nur einem Anteil von nur 9 – 10 % des produzierten Schlamms. Allgemein wird aber als realistisch angesehen, daß in Zukunft der Anteil der Verbrennung auch in der BRD auf knapp 30 % ansteigen wird (LOLL, 1989). In der Schweiz liegt der Verbrennungsanteil kommunaler Klärschlämme mit 32 % etwa in derselben Größenordnung wie in Österreich, während in Italien etwa 10 – 20 % der Klärschlämme verbrannt wird (BUWAL, 1991). In den übrigen europäischen Ländern wird laut BUWAL nur sehr wenig oder gar kein Klärschlamm verbrannt.

Weitere Ausführungen zur Klärschlammverbrennung im Ausland finden sich in LOLL (1989), UMWELTBUNDESAMT BERLIN (1990) sowie BUWAL (1991).

##### 4.4.2 Österreich

Wie bereits in Kapitel 2.1 angeführt wurde, beträgt der Verbrennungsanteil von Klärschlamm in Österreich heute etwa 34 %. Dieser ist zum größten Teil auf die Stadt Wien,

wo der anfallende Klärschlamm vollständig verbrannt wird, sowie auf die Klärschlamm mitverbrennende Papier- und Zellstoffindustrie zurückzuführen. Daraus ergibt sich derzeit eine jährliche Energieausbeute aus der Klärschlammverbrennung von insgesamt rund 0,9 PJ.

#### 4.4.2.1 Klärschlammverbrennung in Wien

In Wien befindet sich mit den Entsorgungsbetrieben Simmering (EbS) Österreichs einzige kommunale Klärschlammverbrennungsanlage. Die Verbrennungsanlage befindet sich in unmittelbarer Nähe der Abwasserreinigungsanlage Wien-Simmering, die eine Belastung von ca. 2,7 Mio. EGW aufweist. Auch der Schlamm der zweiten in Wien befindlichen Kläranlage Wien-Blumental (ca. 200.000 EGW) wird über das Kanalnetz zur Hauptkläranlage geleitet. Insgesamt wird gegenwärtig der Schlamm von knapp 3 Mio. EGW entsorgt (KROISS, mündl. Mittlg.).

Pro Tag fließen durch das Wiener Kanalnetz mehr als 500.000 m<sup>3</sup> Abwasser zur Hauptkläranlage, wo jährlich mehr als 195 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser verarbeitet werden. Nach der Abwasserreinigung in der Hauptkläranlage wird der zurückbleibende Schlamm – im Jahr 1990 rund 1,3 Mio. m<sup>3</sup> Dünnschlamm mit knapp 5 % TS – zu den EbS gepumpt. Der Dünn- bzw. Naßschlamm wird anschließend mittels acht Zentrifugen auf knapp 35 % TS entwässert (RUGGENTHALER, 1989a). Die entsprechende Menge Dick- schlamm betrug im Jahr 1990 rund 180.000 Tonnen (EbS, 1991).

Die Verbrennung des Klärschlammes erfolgt in zwei Wirbelschichtöfen mit einer thermischen Reaktorleistung von je 40 MW. Die Brennkessel können zusammen 250 t Trockensubstanz pro Tag bewältigen. Mittels der neuen Zentrifugenanlage, die seit 1989 im Einsatz ist, kommt man bei der Verbrennung des Klärschlammes ohne Zufeuerung von Zusatzbrennstoffen aus.

##### *Energieoutput*

Im Jahr 1990 wurde durch die Verbrennung von 180.000 t Klärschlamm (34,7 % TS) folgender Energieoutput pro Stunde erzielt (EbS, 1991):

- ca. 3 MW elektrische Energie (Strom)
- ca. 17 MW thermische Energie (Wärme).

Während die gesamte Menge Strom wieder in der EbS eingesetzt wird, kann mit 90 % der Großteil der erzeugten Wärmemenge, das entspricht ca. 95.000 MWh/Jahr, in das öffentliche Fernwärmenetz eingespeist werden. Die restlichen 10 % der gewonnenen Wärmeenergie werden von der EbS selbst verbraucht.

Nach Angaben der EbS beträgt der geschätzte Energieverlust bei der Klärschlammverbrennung (v.a. Entwässerung) etwa 20 Prozent. Der kalorische Wirkungsgrad des Wirbelschichtofens beträgt 65,8 Prozent.

##### *Emissionen und Rückstände*

Laut Genehmigungsbescheid müssen folgende Emissionswerte eingehalten werden (EbS, 1991):

SO <sub>2</sub>	100 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	100 mg/Nm <sup>3</sup>

Staub	10 mg/Nm <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	350 mg/Nm <sup>3</sup>
HCl	15 mg/Nm <sup>3</sup>

Diese Werte werden zum Teil deutlich unterschritten (HOFSTETTER, 1989). Laut EbS (1991) fällt bei der Verbrennung von Klärschlamm eine Abgasmenge von insgesamt 70.000 Nm<sup>3</sup> pro Stunde an.

Die Rauchgase der Klärschlammverbrennung werden gemeinsam mit jenen der Sonderabfallverbrennung in der nachfolgenden Rauchgaswäsche gereinigt. Dort werden in einer vierstufigen Naßwäsche die gasförmigen Schadstoffe wie Säuren, schwermetallhaltige Stoffe und Feinstäube abgeschieden. Das Reingas wird danach wasserdampfgesättigt über drei Kamine an die Atmosphäre abgegeben (HOFSTETTER, 1989; RUGGENTHALER, 1989c). Die Rückstände aus der Rauchgasreinigung betragen ca. 6,4 kg/t Klärschlamm (EbS, 1991). Bezogen auf das Jahr 1990 macht die anfallende Menge Filterkuchen aus der Klärschlammverbrennung ca. 420 t/a aus, was einem Anteil von etwa 28 % an der Gesamt-Filterkuchenmenge (inklusive Sonderabfallverbrennung) entspricht (KRAMER, EbS, mündl. Mittlg.). Der Filterkuchen wird derzeit im Ausland deponiert.

Die bei der Verbrennung entstehende Asche wird mit dem Rauchgasstrom ausgetragen und mittels Elektrofilter abgeschieden. Die dabei anfallende Menge Asche beträgt etwa 386 kg/t Klärschlamm. Im Jahr 1990 entfielen von der gesamten anfallenden Aschenmenge (Drehrohrofen und Wirbelschichtkessel) etwa 72 % auf die Klärschlammverbrennung. Das entspricht einer Masse von Asche von etwa 25.920 t/a (KRAMER, EbS, mündl. Mittlg.). Die Ascherückstände werden deponiert.

#### 4.4.2.2 Sonstige Klärschlammverbrennungsanlagen in Österreich

In den letzten Jahren ist v.a. die Papier- und Zellstoffindustrie zunehmend dazu übergegangen, die anfallenden Klärschlämme sowie die Sulfat- und Sulfitablaugen energetisch zu nutzen. Nach dem Energiebericht der österreichischen Bundesregierung (BMWA, 1990) betrug der auf Ablauge entfallende Verbrauch an erneuerbaren Energieträgern 1988 schätzungsweise etwa 18 % und trug damit fast zur Hälfte zum Verbrauch an erneuerbaren Abfällen bei.

Heute besitzen z.B. folgende Papier- und Zellstoffwerke Anlagen zur Verbrennung betrieblicher bzw. kommunaler Klärschlämme (ohne Anspruch auf Vollständigkeit): Leykam/Gratkorn, Lenzing, Patria, Pöls, Hamburger, etc. In Zukunft soll auch der Klärschlamm der Papier- und Zellstofffabriken in Steyrermühl und Laakirchen sowie in Hallein verbrannt werden (derzeit in Planung).

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Verbrennungsanlagen im Bereich der Papier- und Zellstoffindustrie (Stand: 1989; vgl. SCHMIDT und HANTSCH-LINHART, 1990).

**Tab. 5: Verbrennungsanlagen der Papier- und Zellstoffindustrie in Österreich  
(Stand 1989) (SCHMIDT u. HANTSCH-LINHART, 1990)**

Firma	Leykam-Mürztaler Papier und Zellstoff AG			W. Ham-burger AG	Patria Papier Lenzing AG & Zellstoff AG	
Standort	Gratkorn	Gratkorn	Bruck/Mur	Pitten	St. Gertraud	Lenzing
Hersteller	Waagner-Biro	Waagner-Biro	SGP	SGP	Waagner-Biro Ahlström	Waagner-Biro Ahlström
Bezeichnung	RVA	Kessel II	-	-	-	-
Baujahr	1982	1986	1984	1983	1984	1986
System: Wirbelschicht:	stationär	zirkulierend	stationär	stationär	zirkulierend (Pyroflow)	zirkulierend (Pyroflow)
Brennstoff- wärme- leistung	21 MW	133 MW	12,5 MW	63 MW	61 MW	110 MW
Brennstoff						
Rinde	ja	-	ja	-	ja	ja
Klärschlamm	ja	-	ja	-	ja	ja
Papierabfälle	-	-	-	-	ja	-
Kohle	ja	ja	ja	ja	möglich	gering
Heizöl S	-	ja	-	-	gering	möglich
Erdgas	Anfahrhilfe	Anfahrhilfe	ja	-	möglich	möglich
Dampfmenge	24,1 t/h	165 t/h	16 t/h	70 t/h	70 t/h	120 t/h
Dampf- zustand	115 bar 520 °C	115 bar 520 °C	40 bar 450 °C	62 bar 500 °C	86 bar 520 °C	75 bar 500 °C
Gegendruck	-	-	-	-	12/4 bar	3,3 bar
Elektrische Leistung	-	-	350 kW	-	32 MW	18 MW

1) *Klärschlammverbrennung der Leykam-Mürztaler Papier und Zellstoff AG, Gratkorn*

Die Abwässer der Leykam-Mürztaler Papier und Zellstoff AG in Gratkorn/Stmk. werden gemeinsam mit den Abwässern der umliegenden Gemeinden in einer mechanisch-biologischen Abwasserreinigungsanlage mit 550.000 EGW gereinigt (UMWELTBUNDESAMT, 1989; BMLF, 1991a).

Der Klärschlammfall (absolut trocken) beträgt 60 t/Tag, das entspricht einer jährlichen Masse von 21.900 t Feststoff. Der Schlamm wird mit Doppelsiebpressen auf ca. 35 % TS entwässert und in einer Wirbelschichtanlage (25 MW therm. Leistung) gemeinsam mit Rinde als Stützbrennstoff verbrannt (Rinde fällt als Produktionsabfall bei der Zellstofferzeugung an). Die Verbrennungsanlage ist mit einem Elektrofilter ausgestattet (KIRCHSTEIGER, 1988).

Beim Verbrennungsprozeß wird Hochdruckdampf erzeugt. 23 MW werden durch einen Generator zur internen Stromversorgung in elektrische Energie umgewandelt. Der Restdampf wird als Prozeßdampf in den betriebsinternen Produktionsanlagen genutzt.

Aufgrund der Wärmekoppelung weist die Anlage einen Gesamtwirkungsgrad von 70 % auf (ohne integrierter Wärme-/Stromnutzung wäre der Wirkungsgrad nur etwa 45 %).

#### *Wirtschaftlichkeit*

Laut Aussage der Firma Leykam (KIRCHSTEIGER, mündl. Mittlg.) rentiert sich die Klärschlammverbrennung nur deshalb, weil

- als Stützbrennstoff Rinde eingesetzt werden kann, die im Produktionsprozeß als Abfallprodukt anfällt und daher weitaus billiger als Kohle oder Heizöl zur Verfügung steht,
- die integrierte Kraft-Wärme-Kopplung eine betriebsinterne Nutzung von erzeugter Wärme/Strom erlaubt.

#### 2) Lenzing AG

Die Lenzing AG (Papier- und Zellstoffwerk) betreibt schon seit fünf Jahren eine Klärschlammverbrennungsanlage mit integrierter Kraft-Wärme-Kopplung. Zur Entsorgung und energetischen Verwertung der Klärschlämme – etwa 100.000 t (ca. 25 % TS) pro Jahr – steht ein Wirbelschichtkessel mit einer thermischen Leistung von 120 MW zur Verfügung. Neben der Verfeuerung von Klärschlamm (rd. 5 %; entspricht ca. 14.000 GJ/a) dienen als Hauptbrennstoff vor allem Rinde (60 %) und Kohle (22 %; LENZING AG, schriftl. Mittlg.). Der Klärschlamm wird vor der Verfeuerung durch Siebbandpressen und durch Beigabe von Sägespänen auf knapp 25 % TS entwässert und kommt damit auf einen Heizwert ( $H_U$ ) von 1.990 kJ/kg TS. Zur Verbrennung ist als Stützfeuerung die Zugabe von Rinde (aus eigener Produktion bzw. aus Zukauf) notwendig.

Die Gesamtenergiebilanz ist leicht positiv (HAUZENBERGER, Lenzing AG, mündl. Mittlg.). Mit der Kraft-Wärme-Kopplung wird Wärme (75 °C-Dampf) und elektrischer Strom erzeugt. Der bei der Verbrennung entstehende hochwertige Dampf dient nach seiner Abarbeitung über eine Dampfturbine als Produktionsdampf.

Dadurch ist es möglich, den gesamten Bereich der Zellstoffproduktion mit Energie zu versorgen. Laut Firmenangaben können die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte aufgrund der eingebauten Rauchgasreinigungsanlage leicht eingehalten werden.

Wirtschaftlichkeit ist mit Kosten von öS 182,-/t zur Erzeugung von 1 t Hochdruckdampf nach Aussage der Betreiber (LENZING AG, schriftl. Mittlg.) gegeben. Sie beruht v.a. darauf, daß die geringe Wärmeleistung des abgepreßten Schlammes durch die Wärmeleistung der Rinde kompensiert wird und der Wärmepreis der verfeuerten Rinde günstiger liegt als der von Erdgas.

Geprüft wird derzeit weiters die Möglichkeit der Verfeuerung von aus dem Hausmüll aussortierten Holzabfällen, die sich grundsätzlich sehr gut als Zusatzbrennstoff eignen würden.

#### 3) Patria Papier und Zellstoff AG

Die bei der Papier- und Zellstoffproduktion anfallenden Abwässer – 1988 ca. 16.000 m<sup>3</sup>/Tag (UMWELTBUNDESAMT, 1989) – werden gemeinsam mit dem Klärschlamm aus der benachbarten ARA Mittleres Lavanttal "ausschließlich aus Entsorgungsgründen" verbrannt (RÜF, Patria AG, mündl. Mittlg.). Der Energieaspekt spielt dabei keine Rolle. Etwa 10 Gew.-% des Brennmaterials für den Brennkessel (thermische Leistung

ca. 60 MW) entfällt auf Klärschlamm, rund die Hälfte davon ist biologischer Schlamm aus der kommunalen Kläranlage mit ca. 20 % Trockensubstanz.

#### 4) Zellstoff Pöls AG

Die Firma Pöls/Stmk. entsorgt einen Teil ihrer Abfallschlämme durch Verbrennung in der Ziegelindustrie. Etwa 10.000 t/a sog. "Vor"-Klärschlämme (35 % TS), die beim Produktionsprozeß vor Einleitung in die biologische Reinigungsanlage anfallen, werden auf diese Weise energetisch genutzt. Weitere 2.190 t/a biologischer Überschussschlamm (Feststoff) aus der Abwasserreinigungsanlage werden deponiert.

#### 5) *Gemeinschafts-Klärschlammverbrennungsanlage Steyrmühl-Laakirchen*

Die Papierfabriken Steyrmühl und Laakirchen in Oberösterreich (etwa 1 km voneinander entfernt) planen die Errichtung einer gemeinsamen Wirbelschichtanlage in Steyrmühl bis Ende 1993 zur Entsorgung und energetischen Nutzung von Rinden-, Faser- und Klärschlämmen aus dem Altpapierrecycling und den beiden Kläranlagen. Die Genehmigung für den Bau der Anlage wurde bereits erteilt. Fertigstellungstermin ist Ende 1993. Zur Verbrennung ist keine zusätzliche Stützfeuerung notwendig. In der Anlage sollen jährlich etwa 100.000 m<sup>3</sup> Schlamm, Rinde und Produktionsabfälle verfeuert werden, die bisher auf Deponien abgelagert werden mußten. Zusätzlich zur Gewinnung von Prozeßwärme soll mit der neuen Kesselanlage auch die Eigenstromerzeugung mit einer 12 – 14 MW Dampfturbinenanlage erhöht werden (BAUM, Steyrmühl, mündl. Mittlg.).

Beide Papierfabriken verfügen bereits heute über eine dreistufige biologische Abwasserreinigungsanlage (UMWELTBUNDESAMT, 1989). Aufgrund des hohen Anteils von Reststoffen aus dem Recyclingprozeß wird der Schlamm mittels mechanischer Doppelsiebpressen auf 45 – 47 % entwässert und soll später in der gemeinsamen Anlage verbrannt werden. Dabei steht eindeutig der Entsorgungsaspekt im Vordergrund. "Wirtschaftlichkeit" i.e.S. ist nach Aussage der Betreiber kaum gegeben.

#### 6) *Abwasserverband St. Veit/Glan*

Der kommunale Abwasserverband St. Veit/Glan entsorgt seinen Klärschlamm als Beimischgut zur Rindenfeuerung in einem Wirbelschichtofen bei der im Ort ansässigen Holzplattenfirma Funder. Vor der Verfeuerung wird der Klärschlamm vom kommunalen Abwasserverband durch Siebpressen auf ca. 20 % TS entwässert und danach per LKW zur Fa. Funder transportiert. Bei der Verbrennung wird sowohl Strom als auch Wärme/Dampf gewonnen. Die erzeugte Wärme wird in das kommunale Fernwärmenetz eingeleitet (EIBENSTEINER, AV St. Veit/Glan, mündl. Mittlg.).

#### 7) *Sonstige*

Schließlich haben auch einzelne Landes-Elektrizitätsgesellschaften angekündigt, in die Abfallverbrennung einsteigen zu wollen. Inwieweit dabei auch die Verbrennung von Klärschlamm in Frage kommt, ist unklar. Aufgrund der weiter oben getroffenen Feststellung, daß die Klärschlammverbrennung nur in der Nähe von Kläranlagen sinnvoll ist (vgl. Kap. 4.2.2), dürfte diese Option jedoch für nicht stabilisierte Schlämme weitgehend eingeschränkt sein.



Darüber hinaus ist zu beobachten, daß immer mehr Unternehmen aus unterschiedlichen Industriebranchen aufgrund der steigenden Deponierungskosten für Klärschlamm sowie aus Entsorgungsgründen die betriebsinterne Verbrennung ihrer Klärschlämme in Erwägung ziehen.

#### 4.5 Barrieren

Als Gründe für die begrenzte Verbreitung der thermischen Nutzung von Klärschlamm sind in Ergänzung zu den Ausführungen in Kap. 4.2.2 zu nennen:

- Entsorgungsaspekt bei der Klärschlammverwertung im Vordergrund (Schadstoffproblematik)
- hohe Investitionskosten
- begrenzte Energieausbeute
- mangelnde Infrastruktur für Abwärmenutzung
- geringe Anzahl von Großkläranlagen, in denen sich die Errichtung von Verbrennungsanlagen rentieren würde
- Umwelt-, insbesondere Emissionsbelastung durch Verbrennungsanlagen
- geringe Akzeptanz bei der Bevölkerung (wachsendes Umweltbewußtsein); dadurch Probleme bei der Standortfindung und bei der Durchsetzbarkeit der Errichtung von Verbrennungsanlagen.

#### 4.6 Umweltaspekte der Klärschlammverbrennung

Die Akzeptanz von Abfallverbrennungsanlagen ist mit zunehmendem Umweltbewußtsein der Bevölkerung sehr gering. Die Klärschlammverbrennung bildet hier keine Ausnahme (vgl. LAHL und WIEBE, 1989; SALZMANN, 1989).

Einer der Kritikpunkte an der Müll- sowie an der Klärschlammverbrennung lautet, daß es sich dabei um "end-of-pipe"-Technologien handelt, die einer Kreislaufwirtschaft zuwiderlaufen. Damit würden die Schadstoffbelastungen der Klärschlämme tendenziell toleriert (GÜNTHER, 1989; ÖKOLOGIE-INSTITUT, 1990).

Wie bereits angedeutet, stellt die teilweise hohe Schadstoffbelastung der Klärschlämme eines der Hauptprobleme der Klärschlamm Entsorgung dar. Die negativen Auswirkungen dieser Problematik machen sich jedoch nicht nur bei der Klärschlammverbrennung, sondern auch bei allen übrigen Klärschlamm Entsorgungsvarianten gleichermaßen bemerkbar, weshalb dieser Aspekt nicht näher behandelt wird (siehe jedoch: GÜNTHER, 1989; LOLL, 1989; ÖWWV, 1989a; SCHÖNBERGER, 1990).

Wie von verschiedenen Autoren betont wird, stellt die Klärschlamm Entsorgung insofern ein Spezifikum dar, als hier der Abfallvermeidung/Schlammmentgiftung – zumindest mittelfristig – enge Grenzen gesetzt sind. So deutet etwa SCHÖNBERGER (1990) an, daß aufgrund des unvermeidbaren Anfalls von Klärschlamm, der teilweise hohen Schadstoffbelastung, der dadurch eingeschränkten Aufbringungsmöglichkeit in der Landwirtschaft und des damit verbundenen Zwangs zur Entsorgung der Klärschlämme die Verbrennung als geringstes Übel für die Lösung der Klärschlammproblematik in Kauf genommen werden muß. Als einzige mittelfristige Alternative ist nach LAHL und WIEBE

(1989) eine konsequente Chemiewirtschaft (Produktregelmentierung, Umbau der Industrieproduktion) denkbar, deren Erfolgchancen jedoch nach SCHÖNBERGER (1990) gering sind.

Trotzdem kann als Ergebnis der Erkenntnisse aus Abfallwirtschaft und Ressourcenökonomie festgehalten werden, daß der thermischen Verwertung als niedrigster Stufe des Recycling nach Ausschöpfung des stofflichen Recyclings und bei gleichzeitigem Bemühen um Reduzierung der Schadstoffe (Abfallvermeidung/Entgiftung) ein entsprechender Stellenwert einzuräumen ist (VOGEL, 1979). Schließlich wird durch die Verbrennung neben der Abwärmenutzung auch eine deutliche Volumensreduzierung erzielt, wenngleich die Verbrennungsrückstände weiterhin deponiert werden müssen.

Allerdings belegt das bisher Gesagte eindrucksvoll die Dominanz von Entsorgungsaspekten in der Klärschlammdebatte. Der Aspekt der Energienutzung spielt nur eine untergeordnete Rolle.

#### 4.6.1 Luftemissionen

Die Diskussion über die von Klärschlamm- bzw. Müllverbrennungsanlagen verursachten Luftemissionen wird in der abfalltechnischen Fachliteratur sehr kontroversiell geführt (z.B. LÖFFLER, 1989; LOLL, 1989; ÖKOLOGIE-INSTITUT, 1990; RUDOLPH, 1990; GÖCH, 1991). In Anlehnung an RUDOLPH (1990) ist festzuhalten, daß besonders die unterschiedliche Zusammensetzung des Klärschlammes starken Einfluß auf die Emissionen hat.

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt einen Vergleich der Emissionsgrenzwerte für die Rauchgasreinigung in Österreich mit Emissionsmeßergebnissen der Wirbelschichtkesselanlage der EbS Wien. Dabei werden den behördlichen bzw. gesetzlichen Grenzwerten die tatsächlichen Tagesmittelwerte des EbS-Wirbelschichtofens zur Klärschlammverbrennung gegenübergestellt.

**Tab. 6: Vergleich der Emissionsgrenzwerte (mg/Nm<sup>3</sup>) für die Rauchgasreinigung mit Emissionsmeßergebnissen am Wirbelschichtofen zur Klärschlammverbrennung der EbS-Wien (EbS, 1991; HACKL, 1991; RUGGENTHALER/KRAMER, 1991)**

Rauchgas- bestand- teil	EbS 1986	DKEG 2. DVO 1984	LRG -K 1988	LRV -K 1989	EbS-Wirbelschichtofen zur Klärschlammverbrennung Tagesmittelwerte für den Zeitraum 7.10 – 13.10.1991						
					7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Staub	10	50	25	20	1,1	0,9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
SO <sub>2</sub>	100	300	100	100	18,8	31,2	26,5	30,2	29,4	33,6	23,0
CO	100	–	1	0,7	22,2	18,2	12,4	13,6	36,3	11,7	8,8
NO <sub>2</sub>	350	–	100	300	273,8	271,8	245,4	226,8	229,7	236,9	201,7
HCL	15	100	15	15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

*EbS:* lt. Genehmigungsbescheid; behördliche Auflage 1986  
*DKEG, 2. DVO:* Zweite Durchführungsverordnung 1984 zum Dampfkessel-Emissionsgesetz  
*LRG-K:* Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen 1988  
*LRG-V:* Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989

Interessant ist die Tatsache, daß in Österreich nach wie vor gesetzliche Vorschriften über die Verbrennung von Klärschlamm fehlen, da Kesselanlagen für die Verfeuerung von Klärschlamm durch das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen 1988 und die Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 nicht erfaßt werden (HACKL, 1991).

Zur Minimierung der Emissionen können verschiedene verfahrenstechnische Maßnahmen eingesetzt werden (BUWAL, 1991; GÖCH, 1991). Durch die Regulierung der Verbrennungstemperatur können NO<sub>x</sub>- und CO-Emissionen minimiert werden. SO<sub>2</sub>-Emissionen können z.B. durch Zugabe von Kalk zum Verbrennungsprozeß, durch Naßwäsche mit Kalkmilch oder durch Trockenadsorption vermindert werden (RUDOLPH, 1990). Ein wichtiges Problem der Schlammverbrennung ist die Reinigung des Rauchgases von feinen Staubpartikeln, die sowohl Schwermetalle als auch organische Substanzen beinhalten können.

Bezüglich der Bildung von Dioxinen und Furanen bei der Klärschlammverbrennung sind die verfügbaren Daten sehr begrenzt. RUDOLPH (1990) nimmt an, daß die Bildung von Dioxinen und Furanen in Klärschlammverbrennungsanlagen um ein Vielfaches geringer ist als in Hausmüllverbrennungsanlagen (wegen der höheren SO<sub>2</sub>/Cl-Rate im Klärschlamm im Vergleich zum Hausmüll). Dioxine und Furane werden zumeist in der Flugasche und im Abgas gefunden. Ihre Bildung kann durch Veränderung der Prozeßbedingungen und durch Zugabe von Kalk reduziert werden.

Hinsichtlich der Verursachung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Klärschlammverbrennung ist in Anlehnung an SCHERER (1991) anzumerken, daß es sich bei Klärschlamm ausschließlich um regenerative Biomasse handelt, weshalb weder bei der Verbrennung noch beim Abbau von Klärschlamm klimaveränderndes CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Da die thermische Abfallverwertung jedoch teilweise zu einer Substitution fossiler Energieträger (Verursacher klimarelevanter CO<sub>2</sub>-Emissionen) führt, ist insgesamt eine entsprechende partielle Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen die Folge (LAHL und WIEBE, 1989; SCHERER, 1991).

#### 4.6.2 Rest- und Abfallstoffe der Klärschlammverbrennung

Die bei der Klärschlammverbrennung anfallende Asche macht insgesamt ungefähr 50 % des Trockengewichts von Klärschlamm aus (BUWAL, 1991).

Die verschiedenen Konzentrationen der Ascheinhaltsstoffe sind in Tabelle 7 wiedergegeben.

Tabelle 8, die einer Studie des Schweizer BUWAL (1991) entnommen ist, gibt einen Überblick über Schwermetallgehalte von Asche in verschiedenen Klärschlammverbrennungsanlagen im Vergleich zu Hausmüllverbrennungsanlagen. Die Zusammensetzung von Asche aus der Verbrennung von Klärschlamm weist im allgemeinen geringere Schwermetall-Gehalte als die Elektrofilterasche aus der Hausmüllverbrennung auf und ist im Mittel der Schlacke aus der Hausmüllverbrennung eher ähnlich (BUWAL, 1991). Die Ascherückstände sind als Sonderabfall zu deponieren. Verwertungsmöglichkeiten, z.B. im Bauwesen, werden gegenwärtig erprobt.

<i>Tab. 7: Konzentrationswerte in Klärschlamm-Asche im Vergleich zu Hausmüllasche (RUDOLPH, 1990)</i>					
	<i>K l ä r s c h l a m m</i> (in Gew.-%)				<i>H a u s m ü l l</i> (in Gew.-%)
<i>SiO<sub>2</sub></i>	29 – 31,5	20,3	25 – 37	30,3	59 – 69
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	10,7 – 11,8	20,0	3 – 6	17,1	4,9 – 7,8
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4,5 – 8,7	6,8	6 – 7	9,7	5,1 – 6,3
<i>CaO</i>	24,2 – 41,0	21,8	24 – 25	16,3	8,3 – 10,3
<i>MgO</i>	0,7 – 4,0	3,2	2 – 3	3,0	0,7 – 1,5
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	4,0 – 12,8	22,5	17 – 23	17,7	0,3 – 1,2
<i>SO<sub>3</sub></i>	0,5 – 3,3	0,5	2	–	1,5 – 3,9
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	9,5 – 3,0	0,5	0,4	–	0,8 – 12,6
<i>K<sub>2</sub>O</i>	1,4 – 1,5	1,3	0 – 3	–	1,3 – 1,8
<i>Literatur</i>	<i>RUGGEN- THALER (1988)</i>	<i>HINRICHS u. MÜLLER (1987)</i>	<i>HAUSCHILD u. WERNER (1981)</i>	<i>MÜHL- HAUS (1986)</i>	

<b>Tab. 8: Schwermetallgehalte in der Asche aus der Klärschlammverbrennung im Vergleich zur Müllverbrennung (BUWAL, 1991)</b>						
Verbrennungsreststoffe:	Asche aus Klärschlammverbrennung				EF-Asche aus Hausmüllverbrennung	Schlacke aus Hausmüllverbrennung
Menge:	ca. 500 kg/t TS				ca. 25 kg/t HM	250 kg/t HM
Referenz:	6 ARA *)	10 ARA *)	ARA SIEG (CH) **)	BERECHNUNG ***)	EAWAG/BUWAL Heft Nr. 62	BUWAL Heft Nr. 62
Cu g/kg	1,5 – 5,7	1,5 – 7	1,2	0,7	1 – 2	1,6
Cr g/kg	0,5 – 7	0,4 – 5,6	0,19	0,15	0,3 – 2	0,5
Ni g/kg	0,3 – 1,8	0,3 – 3,9	0,09	0,07	0,2 – 0,7	0,2
Zn g/kg	4 – 16,7	0,9 – 23,8	1,78	2,2	12 – 37	2,8
Pb g/kg	0,8 – 3,3	0,1 – 2,1	0,47	0,5	4 – 16	1,3
Cd mg/kg	70 – 145	4 – 900	7	6	300 – 700	10
Hg mg/kg	1	2 – 9	< 0,5	0,1	8 – 20	0,2

\*) Werte aus sechs ARA's aus dem Jahr 1978 (England) und zehn ARA's aus dem Jahr 1984 (USA)  
 \*\*) Analyse aus der Asche der ARA SIEG (CH) von 1988  
 \*\*\*) Berechnung aufgrund der mittleren Zusammensetzung des Klärschlammes und des mittleren Zurückhaltungsgrades gemäß BUWAL (1991), Kap. 1 bzw. Referenzen 10) u. 14).

Durch den Einsatz von Rauchgasreinigungsanlagen können die Abgase minimiert werden, gleichzeitig fällt jedoch als Rückstand aus der Rauchgasreinigung sogenannter *Filterkuchen* an, in dem die verbliebenen Schadstoffe, v.a. Schwermetalle, in konzentrierter Form enthalten sind (HACKL, 1991). Die Filterkuchen bedürfen als Sonderabfall einer ordnungsgemäßen Deponierung. In Tabelle 9 sind die im Filterkuchen der Klärschlammverbrennung in der EbS-Wien festgestellten Schwermetallgehalte angeführt:

<b>Tab. 9: Schwermetallkonzentrationen im Filterkuchen aus der Klärschlammverbrennung der EbS-Wien in Gewewichts-% (HOFSTETTER, 1989)</b>			
Schwermetall	Gew. %	Schwermetall	Gew. %
Blei	0,12	Magnesium	0,7 – 1,4
Cadmium	0,002 – 0,005	Mangan	0,02
Chrom	0,007 – 0,01	Nickel	0,003 – 0,03
Cobalt	0,003	Quecksilber	0,2
Eisen	0,7 – 2,5	Thallium	0,003 – 0,006
Kupfer	0,065 – 0,13	Zink	0,8 – 1,0

#### 4.7 Energiewirtschaftliche Systemüberlegungen

Klärschlamm besitzt als Biomasse–Energieträger einen bestimmten Energiegehalt, der durch verschiedene Verfahren genutzt werden kann. In diesem Kapitel steht ausschließlich die Klärschlammverbrennung zur Diskussion.

Grundsätzlich ist es unter energetischen Gesichtspunkten empfehlenswert, nicht stabilisierten Rohschlamm in Verbrennungsanlagen mit Kraft–Wärme–Kopplung zu verbrennen.

Dadurch kann der für die Stabilisierung erforderliche Energieverbrauch eingespart werden. Muß Klärschlamm gelagert werden, wird eine Stabilisierung, z.B. durch Faulung, notwendig. Dafür muß naturgemäß Energie aufgewendet werden (vgl. BUWAL, 1991). Zusätzlich reduziert sich der Energiegehalt des Schlammes aufgrund des verringerten organischen Anteils im Faulschlamm von etwa 12 MJ/kg TS auf ca. 10 MJ/kg. Energetisch bringt die Vorfaulung und spätere Verbrennung keine Vorteile, allerdings ergeben sich Vorteile für die Lagerung und weitere Behandlung des Schlammes (u.a. Volumensreduzierung; siehe auch Kap. 4.2.2).

Die bei der Verbrennung von Klärschlamm nutzbare Energie kann als mechanische Energie genutzt werden oder in elektrische Energie umgewandelt werden. Die höchste Energieausbeute erzielt man durch Kraft–Wärme–Kopplung. Während mengenmäßig in der Regel der Anfall von Wärmedampf überwiegt, ist die Wertigkeit der gewonnenen Energieformen mit einem Verhältnis von 1 : 3 zugunsten von Strom jedoch sehr unterschiedlich (BUWAL, 1991; KROISS, mündl. Mittlg.).

Klärschlammverbrennung ist aus Kosten– sowie aus Mengengründen nur bei großen Kläranlagen sinnvoll (Kap. 4.2.2). Klärschlammverbrennungsanlagen sind somit nur noch für einige städtische Ballungsgebiete bzw. große Abwasserverbände interessant. Zumindest für eine Reihe von Großstädten (z.B. Wien) gilt jedoch, daß gerade dort bereits heute ein *Wärmeüberschuß* besteht, weshalb ein zusätzliches Wärmeangebot, sei es aus Verbrennungsanlagen oder aus sonstigen Industrieprozessen, mit öffentlichen (Fern–)Wärmeanbietern in Konkurrenz tritt. Damit besteht für Betreiber öffentlicher Fernwärmenetze oftmals nur sehr wenig Anreiz zur Abnahme bzw. finanzieller Abgeltung eingespeister Wärme, was sich mangels entsprechender Erlöse wiederum negativ auf das Verhalten potentieller Wärmeeinleiter auswirken kann.

Vielfach zeigt sich in der Praxis, daß bei der Klärschlammverbrennung die Eigenversorgung der Anlage/des Betriebes mit elektrischer bzw. thermischer Energie im Vordergrund steht. Durch die Reduzierung des externen Primärenergiebedarfs können somit gegebenenfalls Kosteneinsparungen verbunden sein. Erlöse durch den Verkauf an Dritte spielen heute eher eine untergeordnete Rolle, wiewohl auch dies möglich ist (vgl. Beispiel Wien).

#### 4.8 Ausblick

Bei der Klärschlammverwertung und –entsorgung stehen möglicherweise in nächster Zeit Strukturveränderungen an, da seit einiger Zeit die Bereitschaft zur Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft abnimmt. Dieser Effekt könnte durch die in den

Bundesländern neu beschlossenen Bodenschutzgesetze (vgl. TOMEK, 1990) hervorgerufen werden, deren umfangreiche Vorschriften (z.B. Bodenuntersuchungen, Aufzeichnungspflicht, Verbringungsachweis für den Klärschlamm etc.) Landwirte oft auf die Klärschlammmanwendung verzichten läßt.

Bedingt durch die Siedlungsstruktur, den Bodenverbrauch und durch den Widerstand der Bevölkerung werden in Zukunft außerdem wenig neue Deponien zur Verfügung stehen, sodaß diese Möglichkeit in Zukunft stark eingeschränkt werden wird. Durch eine geplante Deponieverordnung ist zusätzlich der Kohlenstoffgehalt von deponiertem Klärschlamm in naher Zukunft auf 5% zu reduzieren. Dies kann sinnvollerweise nur durch eine thermische Behandlung erreicht werden. Es ist daher damit zu rechnen, daß die Verbrennung der am häufigsten beschrittene Weg der Klärschlamm Entsorgung in Österreich sein wird.

Was die anfallende Klärschlammmenge in den nächsten Jahren betrifft, ist mit einem weiteren Ansteigen zu rechnen. Dazu tragen neben der Ausweitung der an die öffentliche Kanalisation angeschlossenen Bevölkerung auch die Abwasseremissionsverordnungen bei, die in Abhängigkeit der Größenklassen von Kläranlagen an diese zusätzliche Reinigungsanforderungen stellen (Phosphat-Fällung, Nitrifikation, Denitrifikation). Damit wird sich der Klärschlammfall sowohl aus kommunalen Anlagen sowie aus Industrie und Gewerbe erhöhen. KROISS und NAGEL (1989) schätzen, daß der Klärschlammfall innerhalb der nächsten zehn Jahre noch um etwa 50.000 t TS zunehmen wird (in der Energiepotentialberechnung wurde der zu erwartende Zuwachs bereits berücksichtigt).

Gleichzeitig bringen die neuen Abwasseremissionsverordnungen jedoch auch eine Verbesserung der Schlammqualität aus kommunalen Anlagen mit sich, insbesondere deshalb, weil den in den Geltungsbereich der neuen Verordnungen fallenden Unternehmen eine Abwasserreinigung vor der Einleitung ins öffentliche Kanalnetz vorgeschrieben wurde.

**LITERATUR****AICHBERGER, K. (1990)**Problembereich Klärschlamm. Verwendung in der Landwirtschaft, gesetzliche Regelungen und Zukunftsaussichten. *Förderungsdienst* 12/1990, S. 360 – 365**ALBER, S. und EFFENBERGER, H. (1987)**

Biologische Müllvergasung. Informationen zur Umweltpolitik Nr. 36, Wien

**AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (1986)**

Klärschlamm Entsorgung für das Land Vorarlberg. Bregenz

**BINNER, E. und LECHNER, P. (1989)**

Der Einsatz von Rotteprozessen in der Klärschlamm Entsorgung. Kap. M; in: ÖWWV (1989b)

**BMLF (1982)**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Wasserwirtschaftskataster: Evidenz der maßgeblichen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse. Stand der Abwasserreinigung (Kläranlagenstatistik). In Betrieb stehende kommunale Kläranlagen in Österreich. Stand Juli 1981, Wien

**BMLF (1986)**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Wasserwirtschaftskataster: Kommunale Kläranlagen in Österreich 1985. Wien

**BMLF (1990)**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: Bericht über die Lage der österreichischen Landwirtschaft 1989 (31. Grüner Bericht). Wien

**BMLF (1991a)**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Kommunale Kläranlagen in Österreich und große biologische Kläranlagen der Industrie. Stand 1991, Wien

**BMLF (1991b)**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: Bericht über die Lage der österreichischen Landwirtschaft 1990 (32. Grüner Bericht). Wien

**BMUJF (1992)**

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie: Bundesabfallwirtschaftsplan 1992. Wien

**BMUJF (1993)**

Klärschlammkonzept 1993, in Druck

**BMwA (1990)**

Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten: Energiebericht 1990 der österreichischen Bundesregierung. Wien

**BRAMKAMP, F. B., RITZMANN, G. und RICHTER, H. G.**

Die Entwicklung der Gaswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1987, gwf-Gas; In: Erdgas, 129, Heft 9, 1988

**BRAUN, R. (1982)**

Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe. Wien, New York

**BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K. und SCHMIDT, M. (1982)**

Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Hamburg, Berlin

**BUWAL (1991)**

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Klärschlammverbrennung. Untersuchung der Entsorgungsmöglichkeiten von Klärschlamm durch Verbrennung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 156, Bern

**EbS (1991)**

Entsorgungsbetriebe Simmering

Schriftliche Mitteilung vom 4. April 1991

**ENQUETE-KOMMISSION (1990)**

Energie und Klima. Band 3: Erneuerbare Energien. Kapitel "Biomasse" (S. 271 – 436). Hrsg.: Deutscher Bundestag. Economica Verlag, Bonn und Verlag C.F. Müller, Karlsruhe



**FORUM (1992)**

Forum für Zukunftsenergie e.V., Bonn (Hrsg.), Erneuerbare Energien. Ein Leitfadens für Städte und Gemeinden. Marketing & Wirtschaft Verlagsges., München

**GÖCH (1991)**

Gesellschaft österreichischer Chemiker

Technische Möglichkeiten der thermischen Klärschlammbehandlung und -entsorgung. Tagungsband zum gleichnamigen Symposium, Linz

**GÜNTHER, P. (1989)**

Klärschlamm: Umweltpolitische Herausforderung?; in: Institut für ökologisches Recycling (Hrsg.), Ökologische Abfallwirtschaft. Dokumentation des Fachkongresses vom 30.11. – 2.12.1989, Berlin, S. 129 – 144

**HACKL, A. (1991)**

Thermische Entsorgung; in: GÖCH (1991), Technische Möglichkeiten der thermischen Klärschlammbehandlung und -entsorgung, Linz, S. 116 – 137

**HAUSCHILD, U. und WERNER, W. (1981)**

Entwicklung und großtechnische Erprobung eines Verfahrens zur chemisch-thermischen Verarbeitung P-haltiger Klärschlammmasche zu Düngerphosphaten, Forschungsbericht T 81–127 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BRD), Juli 1981.

**HINRICHS, H. F. und MÜLLER, H. (1987)**

Müllverbrennung und Umwelt 2, Hrsg. K.J. Thomé-Kozmiensky, EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin.

**HOFSTETTER, H. (1989)**

Rauchgasreinigung bei der Klärschlammverbrennung. Kap. O; in: ÖWWV (1989b)

**KIRCHSTEIGER, G. (1988)**

Rinde- und Klärschlammverbrennung in einer stationären Wirbelschicht. Vortrag im Rahmen des PTS-Seminars "Reststoffe der Papier- und Zellstoffindustrie" (BRD)

**KLEEMANN, M. und MELISS, M. (1988)**

Regenerative Energiequellen. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo

**KROISS, H. (1989a)**

Möglichkeiten der Klärschlamm Entsorgung in Österreich. 5. Verbandstag der Wasserversorgungs-, Abwasser- und Abfallverbände 1989. Schriftenreihe des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, Heft 79, S. 57 – 82

**KROISS, H. (1989b)**

Diskussionsgrundlagen für die Erstellung von Grenzwerten für die Ablaufkonzentrationen von kommunalen Kläranlagen. Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau der TU Wien

**KROISS, H. und NAGEL, G. (1989)**

Klärschlamm Entsorgung in Österreich. Kap. C; in: ÖWWV (1989b)

**LAHL, U. und WIEBE, A. (1989)**

Chemie im Müll – verkennen, vergessen, verdrängen; in: Institut für ökologisches Recycling (Hrsg.), Ökologische Abfallwirtschaft. Dokumentation des Fachkongresses vom 30.11. – 2.12.1989, Berlin, S. 96 – 110

**LENZING AG (1992)**

Schriftliche Mitteilung vom 8.1.1992

**LÖFFLER, H. (1989)**

Müllverbrennungsanlagen und polychlorierte Dioxine und Furane. Beiträge zum Umweltschutz, Wien

**LOLL, U. (Hrsg.) (1989)**

Recycling von Klärschlamm, Bd. 2. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH., Bielefeld 1989

**LOLL, U. und DICHTL, N. (1988)**

Faulgasmengen und Energie-Bilanzierung auf Kläranlagen. *EntsorgungsPraxis-Spezial* Nr. 1, S. 30 – 40

**MILLES, G.M. (1991)**

Behandlung von Klärschlamm: In erster Linie Entwässerung. In: *entsorga-magazin* 3/1991, S. 45 – 47

**MÖLLER, U. (1989)**

Klärschlamm Entsorgung, Probleme und Lösungskonzepte in der BRD. Kap. A; in: ÖWWV (1989b)

**MÜHLHAUS, L. (1986):**

Zur Verbrennung von Klärschlamm asche. Hoechst-Symposium "Entfernung von Phosphaten aus Abwässern und Nutzbarmachung von Klärschlämmen", 28.11.1986, Frankfurt/Neu-Isenburg

**NOWAK, O. (1991)**

Klärschlamm – Anfall und Entsorgung; in: GÖCH (1991), Technische Möglichkeiten der thermischen Klärschlammbehandlung und -entsorgung, Linz. S. 5 – 26

**ÖBIG (1989)**

Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen  
Umweltbericht Wasser. Wien

**ÖKOLOGIE-INSTITUT (1990)**

Ausstieg aus der Müllverbrennung. Einstieg in die ökologische Abfallwirtschaft. Studie im Auftrag des BMUJF, Wien

**ÖWWV (1989a)**

Österreichischer Wasserwirtschaftsverband (Hrsg.). Klärschlamm Entsorgung. 24. ÖWWV-Seminar, 17. – 20. April 1989, Ottenstein

**ÖWWV (1989b)**

Österreichischer Wasserwirtschaftsverband Merkblatt für Mandatäre der Gebietskörperschaften. Wien

**RIEGLER, G. und BAU, K. (1989)**

Faulgaseinbuße durch weitergehende Abwasserreinigung. *EntsorgungsPraxis-Spezial* Nr. 8, S. 5 – 8

**RUDOLPH, K.-U. (1990)**

Auswirkungen der Klärschlammverbrennung auf die Umwelt (Überblick). *Müll und Abfall* 8/1990, S. 481 – 489

**RUGGENTHALER, P.T. (1988)**

Verfahrensvergleich mechanischer Schlamm entwässerung am Beispiel EbS, Wien. Handbuch zum Seminar "Klärschlamm Entsorgung", VDI-Bildungswerk, 13./14. April 1988, Düsseldorf.

**RUGGENTHALER, P.T. (1989a)**

Strategie der Schlamm Entsorgung – Grenzen für mechanische und thermische Entwässerung; in: LOLL (1989), S. 245 – 258

**RUGGENTHALER, P.T. (1989b)**

Klärschlamm entwässerung mit Zentrifugen. Kap. K; in: ÖWWV (1989b)

**RUGGENTHALER, P.T. (1989c)**

Verbrennung von Klärschlamm und Rückstandsentsorgung. Kap. N; in: ÖWWV (1989b)

**RUGGENTHALER, P.T. und KRAMER, H.-J. (1991)**

Thermische Schlammverarbeitung aus der Sicht des Betreibers; in: GÖCH (1991)

**SALZMANN, Ch. (1989)**

Politische Willensbildung und Durchsetzung technischer Maßnahmen bei der Klärschlamm Entsorgung. Kap. R; in: ÖWWV (1989b)

**SCHERER, D. (1991)**

Mißverständnisse beim Thema "CO<sub>2</sub> und Abfall", in: *Müll und Abfall* 9/1991, S. 596 – 606

**SCHMIDT, A. und HANTSCH-LINHART, W. (1990)**

Die energetische Nutzung der Biomasse in Österreich. Wien

**SCHÖNBERGER, H. (1990)**

Klärschlamm – Kontamination auf Raten. Zur Schadstoffproblematik des Klärschlammes. Berlin

**SIEFERT, F. (1988)**

Kongreß Umwelt und Technik, 25./26. April 1988, Hannover

**STADLBAUER, E.A. und TRIEU, C. (1984)**

Biogasanlagen: Nutzung des mikrobiellen Lebensraumes bei der Entsorgung. Chemiker-Zeitung 108 (5), S. 165 – 176

**TOMEK, H. (1990)**

Umweltgerechte Klärschlammentsorgung. Der Förderungsdienst 8/1990, S. 222 – 226, Wien.

**UMWELTBUNDESAMT (1989)**

Belastung von Fließgewässern durch die Zellstoff- und Papierindustrie in Österreich. Umweltbundesamt-Monographien Band 17a: Technologie und Emissionen, Wien

**UMWELTBUNDESAMT (1991a)**

Stoffdatenbank für Abfälle der ÖNORM S2100. Klagenfurt, unveröffentlicht

**UMWELTBUNDESAMT (1991b)**

Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen größer 200.000 EGW. Unveröffentlichte Erhebung, Klagenfurt

**UMWELTBUNDESAMT (1991c)**

Zweiter Umweltkontrollbericht. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, S. 94 – 110

**UMWELTBUNDESAMT BERLIN (1990)**

Alternative Verfahren der Klärschlammentsorgung. Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin

**VOGEL, G. (1979)**

Recycling – Möglichkeiten und Grenzen der Abfallverwertung. In: Schriftenreihe Kommunalpolitik und Kommunalwissenschaft der BWK, österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien

### **Mündliche Mitteilungen (\*nicht im Text zitiert)**

**BAUM, P.**

Steyrermühl Papierfabrik AG

**EIBENSTEINER, E.**

Abwasserbeseitigungsverband St. Veit/Glan

**FISCHER, J.\***

SGP-VA Energie- und Umwelttechnik Ges.m.b.H.

**FLECKSEDER, H.\***

Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, TU-Wien

**HACKL, E.\***

Institut für Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik, TU-Wien

**HAUZENBERGER, F.**

Lenzing AG

**HOCHMAIR, P.\***

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Abt. IV/2

**KIRCHSTEIGER, G.**

Leykam-Mürztaler Papier- und Zellstoff AG

**KRAMER, H.-J.**

Entsorgungsbetriebe Simmering

**KROISS, H.**

Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, TU-Wien

**LANGER, K.**

SGP-VA Energie- und Umwelttechnik Ges.m.b.H.

**RÜF, W.**

Patria Papier- und Zellstoff AG

**SCHWEIZER, A.\***

Zellstoff Pöls AG