

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 84 (1992)  
**Heft:** 11-12

**Artikel:** Klärschlammverbrennung  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-940589>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Klärschlammverbrennung

Die verschiedenen Möglichkeiten, Klärschlamm durch Verbrennen zu entsorgen, wurden im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Buwal, durch die Firma I. C. Impact-Concept SA, eine Tochterfirma von Peg SA, Genf, untersucht. Die Studie wurde in der Schriftenreihe Umwelt des Buwal als Nr. 156<sup>1</sup> veröffentlicht. Im folgenden geben wir einige Auszüge sowie die Schlussfolgerungen wieder.

GW

## 1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes wird immer schwieriger, sogar wenn die Schlammqualität den Anforderungen der Klärschlammverordnung entspricht. Gründe hierfür sind Beschränkungen der Landwirtschaft und des Marktes sowie die immer grösser werdende Schwierigkeit, ein Klärschlamm enthaltendes Produkt zu fördern.

Die Entsorgung des Klärschlammes durch Verbrennung wird deshalb die am meisten vorgesehene Entsorgungsmethode.

Das Ziel der Studie ist es, den heutigen Stand der Technik der Klärschlammverbrennung in

- KVA's (Kehrichtverbrennungsanlagen)
- Zementwerken
- speziellen Öfen
- anderen Anlagen darzulegen.

Der Vergleich verschiedener Techniken in bezug auf Kriterien des Umweltschutzes, der Wärmerückgewinnung und der Kosten soll es ermöglichen, die optimalen Bedingungen zur Klärschlamm Entsorgung durch Verbrennen zu bestimmen.

## 2. Grundlagen

### Chemische Zusammensetzung des Klärschlammes

Die Angaben (Tabellen 1 und 2) beziehen sich auf gefaulen Schlamm aus Abwasserreinigungsanlagen (ohne nennenswerte Zugabe von Industrieschlämmen) mit Trockensubstanzgehalt (TS) von:

- 30 bis 35% TS: In Zentrifugen oder auf Bandfiltern entwässerter Schlamm, in Form von plastischer Masse,
- 50% TS: In Filterpressen entwässerter Schlamm, in Form vom krümeligen Filterkuchen.

### Heizwert des Klärschlammes

Für die in Frage kommenden Klärschlämme kann der Heizwert  $H_u$  wie folgt angenommen werden:

- Schlamm mit 30% TS:  $H_u = 400$  bis  $500$  kcal/kg
  - Schlamm mit 50% TS:  $H_u = 900$  bis  $1000$  kcal/kg
- Oberhalb eines gewissen TS-Grenzwertes können ARA-Schlämme ohne Zusatzbrennstoff verbrannt werden, das heisst die durch die Verbrennung freigesetzte Wärme reicht aus, um das im Schlamm enthaltene Wasser zu verdampfen und die übrigen Wärmeverluste des Systems zu decken. Man kann davon ausgehen, dass eine solche Verbrennung ab einem TS-Gehalt von 20 bis 35% theoretisch möglich ist.

<sup>1</sup> Klärschlammverbrennung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 156 des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Format A4, etwa 116 S., Bern, August 1991. Erhältlich beim Dokumentationsdienst Buwal, CH-3003 Bern, 20 Franken.

Incineration des boues d'épuration. Cahier de l'environnement n° 156 de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, format A4, 116 p. Berne, août 1991. A commander chez le Service de documentation Ofefp, CH-3003 Berne, 20 francs.

## 3. Aufteilung auf die verschiedenen Systeme

### Klärschlammanfall heute

Die gesamte in der Schweiz 1988 erzeugte Schlammmenge wird auf 260 000 t TS geschätzt. Davon wurden 63 700 t TS verbrannt, was 24,5% entspricht. Die Verteilung auf die Verbrennungsarten ergibt sich wie folgt: 4300 t TS in KVA's (7% der gesamten Schlammmenge); 2400 t TS in Zementwerken (4%); 57 000 t TS in speziellen Öfen (89%).

### Verbrennung in speziellen Öfen

Von den speziellen Öfen, meist in ARA's installiert, wurden die meisten zwischen 1975 und 1976 erstellt. Es sind dies sieben Wirbelschichtöfen, zwei Etagenwirbler und zwei Drehöfen (in KVA's).

Allgemein wird der Schlamm vor der Verbrennung in Zentrifugen auf 20 bis 30% TS entwässert.

### Verbrennung in KVA's

Gemäss den erhaltenen Informationen verbrennen nur zwei KVA's regelmässig Klärschlamm zusammen mit dem Hausmüll: Cheneviers/Genf und Zermatt, die insgesamt 4000 t TS/a Klärschlamm verbrennen, das heisst etwa 6,5% der Gesamtmenge.

Der Klärschlamm wird auf 40 bis 50% TS mechanisch entwässert und auf das Kehrichtbett im Ofen ausgestreut.

In den KVA's Monthey und Buchs/SG wird sporadisch Klärschlamm auf speziellen Wunsch hin verbrannt. Diese Anlagen sind jedoch nicht mit speziellen Einrichtungen hierfür ausgerüstet.

Tabelle 1. Typische Zusammensetzung von Klärschlamm, wie sie für die Studie zugrunde gelegt wurde.

Element	typischer Wert in g/kg TS	Min - Max in g/kg TS
N total	30	19 - 47 *
N als $NH_4$	5	0,6 - 12 *
$P_2O_5$ ohne Dephosphatisierung	30	8 - 42 *
mit Dephosphatisierung	60	27 - 116 *
K	3	0,6 - 9 *
Ca	60	11 - 96 *
Mg	4	0,6 - 9 *
Cl	4 **	
$SO_2$	4 - 5 **	
Alkalien ( $Na_2O + 0,658 K_2O$ )	7 **	

\* Entsprechend der Auswertung von 100 waadtländischen ARA's im Jahre 1987 für entwässerten Schlamm

\*\* Geschätzte Werte auf Grund verschiedener Angaben (werden in der Bilanz der Verbrennung im Zementwerk verwendet).

Tabelle 2. Schwermetallgehalte von Klärschlamm, wie sie für die Studie zugrunde gelegt wurden.

Element	Mittelwert*	Max*	Grenzwert** Klärschlamm- verordnung	Grenzwert*** Stoffverordnung
Mo	9	28	20	5
Cd	4	19	30	3
Co	14	168	100	25
Ni	40	418	200	50
Cr	102	1905	1000	150
Cu	361	2777	1000	150
Pb	296	1733	1000	150
Zn	1455	8625	3000	500
Hg****	6	9	10	3

\* Gemäss Tätigkeitsbericht 1987/88 der Eidg. Versuchsanstalt Liebefeld Klärschlammverordnung vom 8.4.81, Grenzwerte für landwirtschaftliche Verwertung des ARA-Schlammes.

\*\*\* Stoffverordnung, Anhang 4.5, Ziffer 23 "Kompost"

\*\*\*\* Aus 6 ARA-Werten bestimmter Mittelwert:  
SIEG-Roche (3 ppm), Zürich (6), Le Locle (3), La Chaux-de-Fonds (10), Neuenburg (6), Marin (8).

Nota: Der Hg-Gehalt des Klärschlammes sollte in Zukunft fühlbar abnehmen durch die Befolgung der Eidg. Richtlinien bezüglich der Behandlung der Hg-haltigen Abwässer von Zahnarztpraxen (Nov. 88).

## Verbrennung im Zementofen

Gegenwärtig verbrennen lediglich zwei Zementwerke regelmässig Klärschlamm: Untervaz und Reuchenette. In Reuchenette wird vorwiegend Industrieschlamm verbrannt. Der in Untervaz verbrannte Klärschlamm wird vorgängig thermisch auf 71 bis 76% TS getrocknet, während der in Reuchenette verwertete Schlamm lediglich auf einem Bandfilter mechanisch entwässert wird. Versuche zur Verbrennung von getrocknetem Klärschlamm wurden auch in andern Zementwerken durchgeführt wie in Eclépens und in Roche.

## Aktuelle Tendenzen

Die Informationen über die zur Diskussion stehenden Projekte zeigen, dass sowohl für ARAs wie auch für die KVAs folgende Techniken im Vordergrund stehen:

- Thermische Trocknung des Klärschlammes zu einem Granulat, das zur Hauptsache anschliessend in einer KVA verbrannt werden soll (Genf/Aire, Buchs/SG, Niederurnen) oder das in der Landwirtschaft als Dünger Verwendung finden soll, sonst Verbrennung in Zementwerken (S.I.E.G./Roche);
- Verbrennung in der KVA nach vorgängiger Trocknung (Bioggio, Zuchwil).

In den ARAs wird weiterhin Klärschlamm verbrannt. Sie planen den Einbau von Gaswäschern, um den neuen Vorschriften der LRV zu genügen, falls diese Anpassungen nicht schon durchgeführt wurden (Winterthur, Oftringen, Lausanne/Vidy).

Die Verbrennung von Klärschlamm in Zementwerken ist noch entwicklungsfähig, hängt jedoch stark von der Klärschlammqualität ab, die Betriebsversuche erfordert. Die Zementindustrie ist jedoch im allgemeinen der Klärschlammverbrennung gegenüber positiv eingestellt.

## 4. Verbrennung von Klärschlamm in einer KVA

### Die Technik der Hausmüllverbrennung

Der Hausmüll und zugeordnete Abfälle werden in einem Rostofen verbrannt. Die Abwärme wird in einem Abhitze-kessel verwertet, um anschliessend für Fernwärmezwecke oder zur Stromherstellung verwendet zu werden. Hausmüll weist heute einen Heizwert auf, der zwischen 2400 und 3400 kcal/kg liegt, abhängig davon, ob ein Aus-sortieren des organischen Anteils an der Quelle vorgenommen wird oder nicht.

### Abgasbehandlung

Die Verbrennungsgase, nachdem sie im Abhitze-kessel den Grossteil ihres Wärmegehaltes abgegeben haben, werden meist in einem Elektrofilter vom Flugstaub befreit. Die neue LRV verlangt neuerdings eine weitergehende Gasreinigung durch Gaswäsche, die – falls sie nicht schon vorhanden ist – notwendigerweise von den KVAs eingeplant werden muss.

Zwei Waschsysteme kommen hierfür in Frage: die Trocken- oder Halbtrockenwäsche und die Nasswäsche.

Das Prinzip der Nasswäsche wird heute allgemein als das wirksamste und den Vorschriften am ehesten genügende Verfahren für die Gasreinigung angesehen.

### Behandlung der festen Rückstände

Gemäss der technischen Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 müssen die festen Rückstände vor ihrer definitiven Deponierung einer Vorbehandlung unterworfen werden. Das Verfahren, das gegenwärtig in Betracht gezogen wird, ist eine Verfestigung mit Zement, wo-

bei die Elektrofilterasche vorgängig durch Waschen von den löslichen Salzen befreit wird.

### Vorbehandlung des Klärschlammes

Das Verhalten in bezug auf die Zündung und Verbrennung des Klärschlammes weicht von demjenigen des Hausmülls ab und ist weitgehend vom Wassergehalt des Schlammes abhängig.

Je niedriger der Gehalt an Trockensubstanz (TS) des Schlammes ist, um so mehr Zeit benötigt der Schlamm, um die Verbrennung einzuleiten (Verdampfen des Wassers). Auf dem Rost eines Hausmüllofens, der zur Mitverbrennung von Klärschlamm ausgelegt ist, wird der Klärschlamm von aussen angetrocknet, was den Wärmetransport nach innen verlangsamt; der Ausbrand wird schlechter, was zu einer Erhöhung des Anteils an Unverbranntem in der Kehrichtschlacke führt, und dies um so mehr, je höher die Eintragsfeuchte des Schlammes ist.

Ein TS-Gehalt der Klärschlämme von 40 bis 50% (mit Filterpressen entwässert) für ihre Verbrennung in KVAs muss als Minimum betrachtet werden. Thermisch getrockneter Klärschlamm (85 bis 95% TS) in Form eines Granulates scheint die günstigste Form darzustellen (Ofengang, Verbrennungsbedingungen, Transport und Lagerung) und erlaubt die höchste Menge an Schlamm mit dem Hausmüll zu verbrennen.

Folgendes Vorgehen wird deshalb vorgeschlagen:

- Auf Filterpressen entwässerter oder thermisch getrockneter Klärschlamm kann ohne weiteres im Rostofen zusammen mit Hausmüll verbrannt werden.
- Auf Bandfiltern oder in Zentrifugen entwässerter Klärschlamm muss vor der Verbrennung thermisch getrocknet werden.

Die thermische Trocknung des Schlammes kann mit Vorteil in der KVA durchgeführt werden, da das Werk über die notwendige Wärmeenergie für diesen Prozess verfügt, sei es mit den heissen Ofengasen oder mit dem in der KVA erzeugten Heissdampf. Die Ofengase können im übrigen nach der Trocknung in den KVA-Ofen zurückgeführt werden.

### Auswirkungen der Klärschlammverbrennung in KVAs

Die Auswirkungen der Schlammverbrennung mit Müll auf den Betrieb von Ofen/Abhitze-kessel hängen stark vom Wassergehalt des Schlammes ab. Muss zuviel Wasser vor der Verbrennung verdampft werden, kann dies den normalen Verbrennungsablauf stören.

Klärschlammverbrennung mit Hausmüll kann zu einer Erhöhung des Gehalts an Unverbranntem in der Kehrichtschlacke führen. Die Vorschrift der neuen Abfallverordnung, die den Gehalt an Unverbranntem in der Kehrichtschlacke der KVAs auf 3% begrenzt, könnte sich einschränkend auf die Menge des zu verbrennenden Klärschlammes auswirken.

Gefaulter Klärschlamm enthält im Mittel etwa 50% Mineralsubstanz und 50% organische Substanz (auf trocken bezogen). Die Mineralsubstanz enthält einen grösseren Feinanteil, der mit den Gasen ausgetragen wird, als die Asche des Hausmülls. Deshalb wird im allgemeinen bei gemeinsamem Verbrennen von Kehricht und Klärschlamm die im Elektrofilter abzuschheidende Staubmenge ansteigen.

In den Verbrennungsgasen wird der Anteil an HC<sub>1</sub> durch Verbrennen von Klärschlamm eher leicht sinken, der Anteil von SO<sub>2</sub> kann aber signifikant ansteigen. Der Quecksilbergehalt dürfte leicht ansteigen.

Die Reingaszusammensetzung wird durch die Klärschlammverbrennung nicht betroffen: Die Gasbehandlung, die in den KVA vorgesehen ist, muss ja zu einer Zusammensetzung führen, die der LRV *genügen muss*, welches auch die Gaszusammensetzung vor dieser Behandlung ist.

Die Klärschlammverbrennung in einer KVA wird deshalb nur einen Einfluss haben auf die *Dimensionierung* und auf den *Betrieb* der Einrichtungen für die *weitergehende Gasreinigung* sowie für die *Abwasser- und Reststoffbehandlung* der KVA:

- Beschränkung der Schlammmenge auf die für die allenfalls bereits bestehenden Einrichtungen zulässige Menge, insbesondere in bezug auf die Flugascheentsorgung.
- Es muss mit einem leichten Anstieg des Reagensverbrauches, wie zum Beispiel von TMT 15 oder von  $\text{Na}_2\text{S}$  (Hg-Fällung im Abwasser) oder von Zement (Ascheverfestigung) gerechnet werden.

Die Flugasche, die von der Klärschlammverbrennung herührt, ist eher weniger mit Schwermetallen und Chloriden belastet als der Staub von der Kehrichtverbrennung, was positiv zu werten ist in bezug auf die Zusammensetzung des E-Filterstaubes und auf die Verfestigung dieses Staubes mit Zement zu dessen Endentsorgung, wie sie heute vielfach vorgesehen ist.

Allerdings nimmt die insgesamt zu behandelnde Staubmenge mit der Verbrennung von Klärschlamm zu.

#### Erfahrungen und weitere Entwicklungen

Die Erfahrungen in Europa mit der Verbrennung von Klärschlamm mit Hausmüll basieren hauptsächlich auf der Verbrennung von entwässertem Schlamm.

Die bei der Verbrennung von in Zentrifugen entwässertem Schlamm aufgetretenen Problemen wie schwieriges Handling, nicht homogenes Vermischen mit Kehricht, unvollständige Verbrennung wegen Krustenbildung an der Oberfläche der «Kuchen» usf. haben dazu geführt, dass diese Art von Schlamm nicht regelmässig in KVA verbrannt wird.

Die Verbrennung von in Filterpressen entwässertem Schlamm ist nicht weit verbreitet, vor allem weil diese Entwässerungsart nicht allgemein angewendet wird. Die Handling- und Lagerungsprobleme mit dieser Art Schlamm schaden eher der Ausbreitung dieses Systems.

Industrielle Erfahrungen mit der Verbrennung von getrocknetem Klärschlamm gibt es in der Schweiz nicht, einfach weil noch relativ wenig Anlagen zur thermischen Trocknung von Klärschlamm bestehen. Es sind jedoch Versuche in KVA durchgeführt worden: in der KVA Bern mit getrocknetem Klärschlamm der MÜRA in Biel und in der KEZO. Die Resultate dieser Versuche sind positiv zu werten in bezug auf die Verbrennung von granuliertem getrocknetem Klärschlamm.

Die Verbrennung von getrocknetem Klärschlamm ist gegenwärtig in Entwicklung. Zu erwähnen ist das Projekt in Genf, wo vorgesehen ist, 20 000 t/Jahr getrockneten Klärschlamm in der KVA Cheneviers zu verbrennen (die Trocknung ist in der ARA Aire vorgesehen, nicht in der KVA).

Obschon das Prinzip der in die KVA integrierten Schlammtrocknung eindeutige Vorteile aufweist, ist es in bestehenden Anlagen oft schwierig, den hierfür notwendigen Platz zu finden, da die heute durch die neue LRV notwendig gewordenen Anlagen zur weitergehenden Gasreinigung, Abwasser- und Reststoffbehandlung den schon knappen Platz in Anspruch nehmen.

Jeder Fall muss gesondert untersucht werden, um den günstigsten Standort der Trocknungsanlage festlegen zu können, und zwar unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse sowie der Kriterien in bezug auf Transport und Energie.

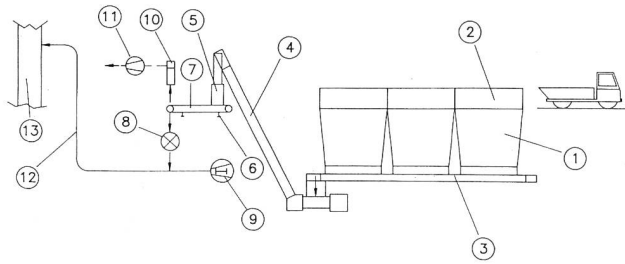


Bild 1. Annahme-, Lagerungs- und Transportinstallation für getrockneten Klärschlamm im Zementwerk Untervaz.

1 Annahme- und Lagersilo, 2 bewegliche Siloabdeckung, 3 Ketentransport (Redler), 4 Bandtransport, 5 Puffersilo, 6 Druckmessdose, 7 Dosierbandwaage, 8 Zellenschleuse, 9 pneumatische Pumpe, 10 Druckluftfilter, 11 Abluftventilator, 12 pneumatische Förderleitung (Länge 50 m, Höhendifferenz 21 m), 13 Ofen.

### 5. Klärschlammverbrennung in den Zementwerken

Für das Verbrennen von Klärschlamm liegen Erfahrungen von Untervaz (Bild 1) und Reuchenette vor. Versuche wurden in Eclépens und Roche durchgeführt. Im weiteren besteht eine Studie von Holderbank.

Im Bericht wird ausführlich auf die Zementherstellung und deren Beeinflussung durch Zugabe von Klärschlamm eingegangen.

Durch den Quecksilbergehalt des Klärschlammes wird die Menge, die in den Zementwerken verbrannt werden kann, begrenzt. Die Entwicklung dieser Entsorgungsmöglichkeit wird als vielversprechend angesehen. Voraussetzungen sind die Entwicklung der thermischen Schlamm-trocknung sowie die Bereitschaft der Zementhersteller, an der Lösung des Problems mitzuarbeiten.

### 6. Klärschlammverbrennung in speziellen Öfen

Der in Zentrifugen, Bandfilter- oder Kammerfilterpressen entwässerte Klärschlamm kann in speziellen Öfen nur dann, das heisst ohne Hilfsbrennstoffe, verbrannt werden, wenn dessen TS-Gehalt (je nach System) mehr als 30 bis 40% beträgt.

Um den Zusatzbrennstoffverbrauch zu minimieren und die Ofengrösse zu verkleinern, bieten bestimmte Hersteller Systeme zur Vortrocknung des Klärschlammes vor Ofeneingang und separat vom Ofen an. Grundsätzlich umfasst eine spezifische Klärschlammverbrennungsanlage folgende Systeme:

- Lagerung, Handling und Eingabe des Schlammes in den Ofen
- Verbrennungsöfen, mit oder ohne Vortrocknung, integriert oder unabhängig
- Zurückgewinnung der Abgaswärme
- Behandlung der Abgase und möglicherweise der Abwasser und der festen Reststoffe.

Diese Einrichtungen werden meist in ARAs installiert, die über Schlammentwässerung sowie Faulgasproduktion verfügen.

Die gegenwärtig wichtigsten betriebenen Ofensysteme sind folgende:



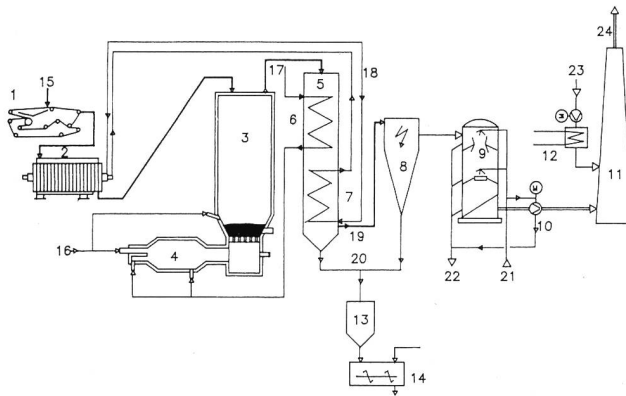


Bild 2. Klärschlamm-Verbrennungsanlage mit Wirbelschichtofen.

1 Siebbandpresse, 2 Trockner, 3 Wirbelschichtofen, 4 Brennkammer, 5 Nachbrennkammer, 6 Lufterhitzer, 7 Abhitzeverwertung, 8 Elektrofilter, 9 Radialstromwäscher, 10 Saugzuggebläse, 11 Kamin, 12 Lufterhitzer, 13 Aschesilo, 14 Mischschnecke, 15 Schlamm, 16 Brennstoff, 17 Verbrennungsluft, 18 Wärmeträger, 19 Abgas, 20 Asche, 21 Waschwasser, 22 Abwasser, 23 Luft, 24 Reingas.

### Wirbelschichtofen

Der Wirbelschichtofen (Bild 2) ist das in der Schweiz am meisten verbreitete Ofensystem. Er besteht aus einer vertikalen Kammer, an deren Basis sich die Wirbelschicht befindet, die durch einen Luftstrom einen Sandwirbel erzeugt. Die zugeführte Luft wird vorgewärmt und sichert den zur Verbrennung erforderlichen Sauerstoffzufluss.

Durch den Verbrennungs- und Reibungseffekt werden die Schlamnteilchen immer kleiner und werden schlussendlich von den Gasen mitgerissen. Die organische Substanz verbrennt, und die mineralische Substanz befindet sich praktisch vollständig als Ascheteilchen im Gasstrom.

Die Sandmenge wird konstant gehalten (Ergänzung oder Entzug durch Überlauf). Die Wirbelschichtoberfläche wird in Abhängigkeit des TS-Gehalts des Schlammes dimensioniert (Verdunstung von 400 kg Wasser/m<sup>2</sup> h).

Die Temperatur der Wirbelschicht liegt zwischen 750 und 800°C. Der Schlamm verbrennt rasch, und die Aufenthaltszeit ist sehr kurz. Die vollständige Verbrennung der Gase wird im oberen Teil des Ofens durch eine Nachbrennkammer bei 850 bis 900°C gesichert. Die Abgaswärme dient zur Vorwärmung der Verbrennungsluft.

Der für das Anfahren und die Trocknung erforderliche Zusatzbrennstoff wird auf der Ebene der Wirbelschicht eingespritzt. Als Brennstoff können Heizöl, Gas oder Althöl dienen.

Allgemein setzt die autonome Verbrennung ab einem TS-Gehalt von etwa 40% ein, einzig für das Anfahren aus dem kalten Zustand wird noch Zusatzbrennstoff benötigt.

### Etagenofen

Dieser Ofen (Bild 3) besteht aus einer Reihe übereinander angeordneter Etagen, auf welchen – von einer zentralen luftgeköhlten Hohlwelle angetriebene – Rührarme das Material abwechselnd nach innen und nach aussen fördern. Der Schlamm wird somit von einer Etage zur anderen hinunterbefördert.

Der Schlamm durchläuft von oben nach unten drei getrennte Zonen:

- Trocknungszone, Brennzonen (750 bis 800°C), Kühlung der Asche und Wärmerückgewinnung (Heizung der Verbrennungsluft).

Die abgekühlte Asche wird unten am Ofen abgezogen. Die Brenngase treten zwischen der Brenn- und Trocken-

zone aus dem Ofen und werden in eine Nachbrennkammer geleitet, wo deren vollständige Verbrennung stattfindet. (Zerstörung der organischen Schadstoffe und Gerüche). Die bei der Trocknung im oberen Teil entstehenden Brüden werden oben abgezogen und in die Brennzonen zurückgeleitet.

Dieses Ofensystem ist in seiner anfänglichen Form praktisch aufgegeben worden zugunsten der Wirbelschichtöfen, jedoch ist sein Prinzip unter einer verbesserten Form, auch in Kombination mit einer Wirbelschicht (Etagenwirbler), wieder aufgetaucht.

### Etagenwirbler mit integrierter Schlammvortrocknung

Dieser Ofen setzt sich zusammen aus einem Wirbelschicht- und einem Etageenteil und ist insbesondere für einen hohen Durchsatz interessant.

Die Etagen befinden sich im oberen Teil des Ofens und sichern die Vortrocknung des Klärschlammes, während im unteren Teil in der Wirbelschicht die Verbrennung stattfindet. Der vorgetrocknete Schlamm verbrennt aufgrund dessen höheren TS-Gehalts rasch auf der Wirbelschicht.

Die aus der Trocknung stammenden Brüden werden in die Brennzonen rückgeführt. Das die gesamte Asche enthaltende Abgas verlässt den Ofen unterhalb des Etageanteils.

### Andere Ofensysteme

Die Systeme «Drehofen», «elektrischer Ofen» und «Zyklon-Ofen» sind gegenwärtig nicht mehr verbreitet und werden deshalb hier nicht weiter behandelt.

### Entsorgung der Asche

Die gegenwärtig meist angewandte Lösung besteht in der Ablagerung in Deponien.

Eine Verbrennung der Asche in einer Zementfabrik ist möglich; sie wäre jedoch an Vereinbarungen mit den Zementherstellern gebunden.

Die Verwendung von Asche im Bauwesen dürfte möglich sein. Erste Versuche liegen vor; es braucht aber noch weitere Versuchsreihen, bevor man eine solche Entsorgungsmöglichkeit ins Auge fasst.

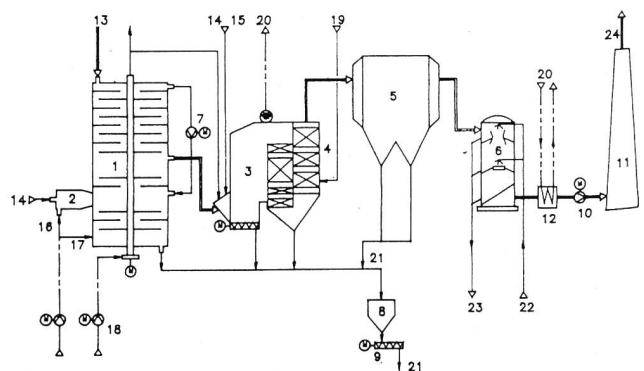


Bild 3. Klärschlammverbrennungsanlage mit Etagenofen.

1 Etagenofen, 2 Brennkammer, 3 Nachbrennkammer, 4 Abhitze-kessel, 5 E-Filter, 6 zweistufige Nasswäsche, 6 Brüdenventilator, 7 Aschesilos, 9 Mischschnecke, 10 Abgasventilator, 11 Kamin, 12 Gasaufwärmung, 13 Schlammabgabe (> 40% TS), 14 Brennstoff, 15 andere Abfallbrennstoffe (flüssig oder gasförmig), 16 Verbrennungsluft, 17 Aschekühlung, 18 Wellenkühlung, 19 Kesselwasser, 20 Dampf, 21 Asche, 22 gereinigtes Abwasser, 23 Abwasser von Gaswäsche (zur Abwasserbehandlung), 24 Reingas.

## 7. Andere Entsorgungstechniken durch Verbrennung

Als weitere Entsorgungstechniken werden genannt: Verbrennung in Asphaltaufbereitungsanlagen, Pyrolyseverbrennung, Nassoxydation und thermische Mineralisierung.

Keines dieser Verfahren wird zurzeit für Klärschlamm-entsorgung in grösserem Umfang eingesetzt.

## 8. Vergleich der Verwertungsmöglichkeiten

Die drei wichtigsten begrenzenden Anwendungskriterien für die Verwertungsmöglichkeiten sind:

- der TS-Gehalt des Klärschlammes,
- die zu verbrennende Schlammmenge,
- die Einhaltung der LRV (Abgasreinigung).

Im ausführlich dargelegten Vergleich wird versucht, die folgenden Parameter zu quantifizieren und zu bewerten:

- Luft: Zusammensetzung der Abgase (Staub, HC<sub>1</sub>, HF, SO<sub>2</sub>, Schwermetalle, ND<sub>x</sub>)

Aus der Sicht der Luftreinhaltung erscheint die Klärschlammverbrennung in Zementfabriken insgesamt als geeignetste Lösung, weil sie (mit Ausnahme des Quecksilbers) nicht zu einer Zunahme der Schadstoffemissionen führt.

- Wasser
- Boden
- Schadstoffverschiebungen
- Transporte
- Energiebilanzen
- Investitionskosten
- Betriebskosten.

Die Ergebnisse können für die Beurteilung eines Einzelprojektes zwar herangezogen werden, machen aber eine sorgfältige Evaluation im Einzelfall nicht überflüssig. Die Hauptresultate sind in der Zusammenfassung enthalten.

## 9. Schlussfolgerungen

Aufgrund der Ergebnisse der Vergleichsstudie der verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten kann man die Klassifizierung nach den drei herangezogenen Kriterien erstellen, wie sie in Tabelle 3 dargestellt ist.

Wenn die Verwertung des Klärschlammes in der Landwirtschaft wegen gewisser Einschränkungen (zum Beispiel Düngungsüberschuss) nicht möglich ist, obwohl die Schlammqualität den Anforderungen der Klärschlammverordnung entsprechen würde, muss die Schlammbehandlung durch Verbrennung in Betracht gezogen werden.

Die vorliegende Studie untersucht den heutigen Stand der Technik der Klärschlammverbrennung in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVAs), Zementwerken, speziellen Öfen sowie andern Anlagen.

Sie stützt sich dabei auf Erfahrungen aus 14 schweizerischen sowie aus einigen ausländischen Anlagen.

Der Vergleich dieser Verfahren nach Kriterien des Umweltschutzes, der Energierückgewinnung und der Kosten ermöglicht eine Bestimmung der optimalen Bedingungen zur Klärschlammbehandlung durch Verbrennen.

### Verbrennung zusammen mit Siedlungsabfall

Wie die Erfahrungen zeigen, muss der Klärschlamm einen Gehalt von mindestens 40 bis 50% Trockensubstanz (TS) aufweisen (auf Filterpresse entwässert oder thermisch getrocknet), um die korrekte Verbrennung des Siedlungsabfalls nicht zu beeinträchtigen.

Tabelle 3. Klassifizierung der Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlamm.

Verwertungsmöglichkeit *	Gewichtungs- koeffizient (G)	Note von 1 bis 4 Bestes Verhalten = 4			
		<1>	<2>	<ZEMENT> <1 und 2>	<OFEN> <1 und 2>
Vorherige Behandlung		Trocknung in KVA	-	Trocknung in ARA	-
<b>Umweltschutz</b>					
- Luft (Anlagenemissionen)	1	3	3	4	3
- Luft (Transport)	1	1	2	3	4
- Wasser	1	2	2	4	3
- Boden	1	3	3	4	2
- Schadstoffverschiebungen	1	3	3	2	4
Total (Note X G)		12	13	17	16
<b>Energieverwertung</b>					
- Elektrische Energie	1	1	4	3	2
- Wärmeenergie	1	2	3	4	1
Total (Note X G)		3	7	7	3
<b>Kosten</b>					
- Investitionen**	2	3	4	2	1
- Betriebskosten + Transport	2	2	4	3	2
Total (Note X G)		10	16	10	6
Gewichteter Gesamtdurchschnitt***		2,3	3,3	3,1	2,3
Gesamtklassifizierung		3	1	2	3

\* <1> : Schlamm mit 30% TS

<2> : Schlamm mit 40 - 50% TS

\*\* Gesamtinvestitionen, thermische Trocknung sofern notwendig inbegriffen

\*\*\* Summe der Totale / Summe der Gewichtungskoeffizienten (G)

Mg	4	0,6	-	9	*
Cl	4**				
SO <sub>2</sub>	4 - 5**				
Alkalien (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	7**				

\* Entsprechend der Auswertung von 100 waadtändischen ARA's im Jahre 1987 für entwässerten Schlamm.

\*\* Geschätzte Werte auf Grund verschiedener Angaben (werden in der Bilanz der Verbrennung im Zementwerk verwendet).

Das Beimischen von Klärschlamm in einer KVA bewirkt eine Zunahme des Staub-, Quecksilber- und in geringem Masse des NO<sub>x</sub>-Gehaltes sowie eine Abnahme der Chloride im Rohgas. Dank der Abgasreinigung bleibt jedoch die Schadstoffemission der KVA unverändert!

Generell sollten folgende typische Mischverhältnisse nicht überschritten werden:

- Schlamm mit einem TS-Gehalt von 50%/Hausmüll:  
1:10
- Schlamm mit einem TS-Gehalt von 90%/Hausmüll:  
1:5

### Verbrennung in Zementöfen

Die Erfahrung zeigt, dass in Zementöfen nur Klärschlamm (als Primärbrennstoff) mit einem TS-Gehalt von mindestens 90% verbrannt werden sollte.

Das Verbrennen von Klärschlamm im Zementofen bewirkt dort eine Zunahme des Chloridgehaltes. Der Chloridgehalt der Zementrohstoffe muss jedoch aus Qualitätsgründen des Zementes streng begrenzt werden. Quecksilber, das bei den im Ofen vorherrschenden Temperaturen dampfförmig vorliegt, stellt kein Emissionsproblem dar, solange dem Klinker nicht mehr als 2,5 bis 4% Klärschlamm (TS) zugeführt werden. Die Hypothese, wonach das Quecksilber vor allem über das Kamin entweicht, wurde durch die vorliegenden Messungen nicht bestätigt. Es scheint vielmehr, dass ein ansehnlicher Anteil des Quecksilbers im Zement eingebunden wird.

Die Schlammverbrennung im Zementofen ist auch für die Eliminierung anderer chemischer Substanzen vorteilhaft. So werden zum Beispiel organische Stoffe bei den

hohen Temperaturen der Sinterung gänzlich zerstört und die meisten Schwermetalle in eine sehr stabile kristalline Form gebracht.

### *Verbrennung in Spezialöfen*

Für diese sowohl in der Schweiz als auch im Ausland meistverbreitete Verbrennungsart genügt es, den Klärschlamm auf etwa 30% TS zu entwässern. Langjährige Betriebserfahrungen haben bewirkt, dass heute kaum mehr technische Probleme auftreten. Hingegen erfordern die neuen Bestimmungen des Umweltschutzes und vor allem der Luftreinhaltung technisch anspruchsvolle Abscheidevorrichtungen (Entstaubung, Rauchgaswäsche, NO<sub>x</sub>-Minderung, Behandlung der flüssigen und festen Rückstände), welche die Verbrennungskosten erheblich steigern.

### *Vergleich der verschiedenen Verfahren*

Das Verbrennen in Zementöfen erfordert den höchsten TS-Gehalt (90%) des Klärschlammes. In Anbetracht ihrer grossen Kapazität könnten die Zementöfen einen grossen Teil des Klärschlammes in der Schweiz entsorgen, obwohl das Verhältnis Schlamm (TS)/Klinker 2,5 bis 4% nicht übersteigen darf.

Was die Emissionen betrifft, ist das Verbrennen in Spezialöfen demjenigen in KVAs etwa ebenbürtig. Die Quecksilberemissionen sind am höchsten beim Verbrennen in Zementöfen. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Zementöfen werden durch die Beigabe von Klärschlamm nicht verändert, da der Schlamm einen Teil der Rohstoffe und des Brennstoffes ersetzt. Folglich stehen die Zementwerke in der NO<sub>x</sub>-Bilanz etwas vorteilhafter da, als es der einfache Vergleich der durch die verschiedenen Verfahren einzuhaltenden NO<sub>x</sub>-Emissionsbegrenzungen vermuten liesse.

Punkto feste und flüssige Rückstände erzielt das Verbrennen im Zementofen die besten Resultate, da keine solchen entstehen. Zudem werden die organischen Substanzen am vollständigsten zerstört.

## **Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband**

*Fachtagung und 81. Hauptversammlung  
des Schweizerischen Wasser-  
wirtschaftsverbandes vom 17. und  
18. September 1992 in Bregenz*

### **Flussmündungen in Seen und Stauseen**

Um 16.15 Uhr trafen sich etwa 160 Teilnehmer im Festspiel- und Kongresshaus zur 81. ordentlichen Hauptversammlung. H. Schiechl, Direktor a. D., Dipl.-Ing., Landesgruppe Bayern im DVWK, München, begrüsst die Teilnehmer wie folgt:

«Der Deutsche Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau ist gerne dem Vorschlag nachgekommen, das Copatronat für die heutige Fachtagung, die zusammen mit der Hauptversammlung Ihres Verbandes durchgeführt wird, zu übernehmen. Es ist deshalb für mich eine besondere Freude und Ehre, Ihnen die Grüsse unseres Verbandes und insbesondere unserer Landesgruppe Bayern überbringen zu dürfen.

Der Bodensee, das sogenannte Schwäbische Meer, ist die geographische Verbindung seiner Anrainerstaaten Österreich, Schweiz und Deutschland. Dies und die gemeinsamen wasserwirtschaftlichen Problemstellungen sind auch der Grund für die jahrelangen und traditionellen Verbindungen der Wasserwirtschaftsverbände dieser Länder, von deutscher Seite insbesondere wahrgenommen durch Baden-Württemberg und Bayern. Diese Kontakte zu pflegen und zu entwickeln ist unser Anliegen.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen für Ihre Hauptversammlung einen guten und harmonischen Verlauf.»

Grusswort durch Dr. G. Haury, Direktor Kraftübertragungswerke Rheinfelden, Vertretung Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V., Rheinfelden:

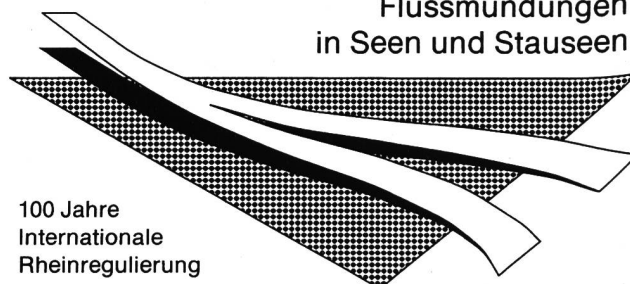
«Im Namen und Auftrag des Vorstands des Wasserwirtschaftsverbandes Baden-Württemberg überbringe ich Ihnen hiermit die besten Grüsse und Wünsche für Ihre heutige Hauptversammlung und für einen guten Wirkungsgrad der Fachtagung. Auch aus meiner Verantwortung für ein Unternehmen, das Mitglied in Ihrem Verband ist und das in grossem Umfang die Wasserkraft des schweizerisch-deutschen Grenzflusses Rhein nutzt, weiss ich, dass jeder, der sich heutzutage auf das Feld der Energie- und Wasserwirtschaft begibt, ideologisch vermintes Gelände betritt. Dabei verstehe ich unter Ideologie die Heiligsprechung voreiliger Antworten auf praktische, die Allgemeinheit betreffende Fragen. Nur durch sachbezogene, kompetente, aber nicht engstirnig besserwisserische Diskussion und Aufklärung können die erwähnten Minen erkannt und entschärft werden. Dementsprechend wünsche ich Ihrer Veranstaltung auch eine gute Resonanz in den Medien.

Auch in diesem Zusammenhang ist eine Initiative zu sehen, die der Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg WBW zusammen mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg ergriffen hat und die soeben zu ersten greifbaren Beschlüssen geführt hat. Am 23. Juli 1992 wurde die WBW-Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für die Gewässerpflege mbH gegründet.

Aufgabe dieser Gesellschaft ist die Organisation und Durchführung von Fortbildungsmassnahmen auf dem Gebiet des Erhalts und der Entwicklung naturnaher Gewässer. Ziel ist, den Mitarbeitern unterhaltspflichtiger Städte und Gemeinden aktuelles Fachwissen aus relevanten Bereichen der Gewässerunterhaltung (Ingenieurbilogie, Gewässerpflege und -entwicklung, Ökologie) praxisorientiert unter Berücksichtigung wissenschaftlicher Erkenntnisse anzubieten. Hierzu wird der Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg seine Erfahrung und Kenntnisse auf diesem Gebiet in die Gesellschaft einbringen.

Wir hoffen, dass auch diese Bemühungen zur Versachlichung von wichtigen Diskussionen über die vielfältigen Nutzungen und Schutzziele unserer Gewässer beitragen, und wir werden zu gegebener Zeit gern über unsere Erfahrungen berichten.»

### **Flussmündungen in Seen und Stauseen**



100 Jahre  
Internationale  
Rheinregulierung