
Die Veraschung, eine wesentliche Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung

Dipl.-Ing. Oswald Busse, Michelbach/Nassau

- A. Allgemeiner Überblick zur Klärschlammbehandlung
 - I. Verwertung bzw. Beseitigung des Klärschlammes
 - B. Die Veraschung des Klärschlammes
 - I. Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Veraschung
 - II. Vorteile und Möglichkeiten aus der Veraschung
 - III. Die Aufbereitung des Schlammes mit Asche im Hinblick auf die nachfolgende Veraschung
 - IV. Bekannte Beseitigungsverfahren mit Veraschung und Aschere-zirkulation
 - C. Beschreibung und Bewertung von geeigneten Verbrennungsöfen für die Klärschlammveraschung
 - I. Das Gegenstrom-System
 - 1. Der Etagenofen
 - 2. Der Drehrohrofen
 - II. Das Gleichstrom-System
 - 1. Das Flash Drying and Incineration System
 - 2. Der Drehrohrofen
 - 3. Der Wirbelschichtbett-Ofen
 - D. Zusammenfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für ein Verfahren mit Veraschung am Beispiel einer Anlagengröße für 500.000 EGW
- A. Allgemeiner Überblick zur Klärschlammbehandlung

Überlegungen um eine allgemein anwendbare Lösung der Klärschlammbehandlung sind bereits so lange angestellt worden, wie man um eine Abwasserklärung überhaupt bemüht ist. Bereits Leonardo da Vinci beschäftigte sich mit diesem Aufgabengebiet, vermutlich veranlaßt durch die Erkenntnis, daß die Abwasserklärung nur dann sinnvoll gelöst ist, wenn man auch den gleichzeitig anfallenden Klärschlamm auf irgendeine Weise wieder los wird. In der zurückliegenden Zeit ist

die Frage der Klärschlammbehandlung nie so brennend in den Vordergrund getreten wie gerade in unseren Tagen, wo sie sich bereits vielerorts zu einem Problem entwickelt hat, im wesentlichen bedingt durch die infolge industrieller Ausweitung eingetretenen beengten Platzverhältnisse, ferner durch hygienische und nicht zuletzt ästhetische Gesetzmäßigkeiten einer verfeinerten Zivilisation. Die herkömmlichen Verfahren, wie Trockenbeete, Schlampteiche etc., sind vor allem durch ihren enormen Bedarf an Raum und Zeit nur noch sehr beschränkt anwendbar. Man ist daher etwa seit der Jahrhundertwende bemüht, Verfahren, die mit einem Minimum an Raum und Zeit auskommen, zu entwickeln und in wirtschaftliche Grenzen einzufügen. Es sind dies die sogenannten maschinellen Verfahren.

Diese Verfahren lassen sich in die folgenden beiden Hauptgruppen unterteilen:

- a) die Verfahren zur Verwertung und
- b) die Verfahren zur Beseitigung des Klärschlammes.

Den letzteren soll in diesem Zusammenhang das besondere Augenmerk geschenkt werden.

Beseitigung schlechthin soll bedeuten, den Klärschlamm in irgendeiner Weise aus dem Bereich der Kläranlage herauszunehmen und ohne jegliche Belästigung der Menschen und ohne nennenswerten Nutzen für das Klärwerk der Natur in einer beliebigen Art zurückzugeben. Wird im wesentlichen eine Nutzbarmachung des Klärschlammes angestrebt, so sei dieses Verfahren der Gruppe a zugetan.

Im Rahmen dieser strengen Definition bleibt eigentlich für ein auf breiter Ebene anwendbares Verfahren nur die thermische Behandlung des Schlammes übrig, denn jede andere Art stellt infolge der im Schlamm enthaltenen pathogenen Keime eine hygienische und zumeist auch ästhetische Belästigung dar. Setzt man weiterhin voraus, daß die Verfahren der Gruppe b wirtschaftlich sein sollen, d. h. einen geringeren finanziellen Aufwand erforderlich machen sollen, als es auf Grund der technischen Möglichkeiten als nicht mehr rationell anzusehen ist, so ist die Veraschung gegenüber der thermischen Trocknung vorteilhafter. Worin bestehen nun die nennenswerten Vorteile, die Anlaß für diese Aussage geben:

1. Der im Schlamm enthaltene Heizwert kann unter bestimmten, später genauer definierten Bedingungen in etwa als ausreichend angesehen werden, um den Verbrennungsablauf selbstgänglich betreiben zu können.
2. Durch die Veraschung erreicht man das mögliche Minimum für die letztlich der Natur zurückzugebende Restmenge des Schlammes.

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 111

3. Die Schlammasche ist hygienisch einwandfrei und stellt bei vernünftiger Ablagerung keine Belästigung dar.

4. Die Schlammasche — und dies ist sehr wesentlich — kann außerdem zur Verbesserung der Filtrierbarkeit des Schlammes eingesetzt werden.

B. Die Veraschung des Klärschlammes

Der kommunale Frischschlamm besitzt gewöhnlich 65—70% organische Anteile und hat demzufolge einen relativ hohen Heizwert. Dieser bewegt sich (auf Trockensubstanz bezogen) etwa zwischen $H_u = 3500$ und 4000 kcal/kg Trockensubstanz.

Der Wasseranteil des Frischschlammes, sowohl aus mechanischen als auch mechanisch-biologischen Anlagen, beträgt im Mittel ca. 95% und liegt damit für eine Veraschung relativ hoch. Durch statische Eindicker kann man eine Abnahme des Wassergehaltes in der Regel auf 93—90% erreichen, wobei der letzte Zahlenwert nur für Vorbeckenschlamm einzusetzen ist. Auch in dieser Konsistenz sind — wie die folgenden Zahlenwerte zeigen — die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Veraschung noch nicht gegeben:

Nimmt man den thermischen Wirkungsgrad der Verbrennungsanlage bei Aufgabe der nachfolgend beschriebenen Schlammkonsistenz mit etwa 50% an, so benötigt man — bezogen auf die Verdampfung von 1 kg anteiligem Wasser — bei der Verbrennung etwa eine Wärmemenge von 1200 kcal. Für die Veraschung von 1 t Frischschlamm mit 90% Wasseranteil und einem unteren Heizwert von 4000 kcal/kg Trockensubstanz ergibt sich somit folgende Bilanz:

$$\text{erforderliche Wärmemenge } Q_e = 1200 \times 900 = 1.080.000 \text{ kcal/t}$$

$$\text{vorhandene Wärmemenge } Q_v = 4000 \times 100 = \underline{400.000 \text{ kcal/t}}$$

$$\text{aufzubringende Wärmemenge } Q = 680.000 \text{ kcal/t}$$

Setzt man den Preis für 100.000 kcal mit 1,20 DM an, so belaufen sich die Kosten für eine Zusatzfeuerung auf

$$K = 8,20 \text{ DM/t.}$$

Setzt man einen Frischschlamm mit 93% Wasseranteil voraus, so ergeben sich sogar Kosten für die zuzusetzende Wärmemenge in Höhe von

$$K = 10,40 \text{ DM/t.}$$

Die Verhältnisse bei ausgefaultem Schlamm liegen noch etwas ungünstiger, da durch die Entnahme des Faulgases beim Faulprozeß eine Heizwertverminderung eintritt, die durch die gleichzeitig erfolgende Verminderung des Wasseranteiles nicht ausgeglichen wird. Bei einem

normal ausgefaulten Schlamm kann man im Mittel etwa mit einem Heizwert $H_u = 2500$ kcal/kg Trockensubstanz rechnen. Durch einen nachgeschalteten Eindickprozeß erreicht man zumeist einen Wasseranteil von 92—90%.

Die thermische Bilanz für 1 t Faulschlamm mit 90% Wasseranteil ergibt folgendes Ergebnis:

$$\text{erforderliche Wärmemenge } Q_e = 1200 \times 900 = 1.080.000 \text{ kcal/t}$$

$$\text{vorhandene Wärmemenge } Q_v = 2500 \times 100 = \underline{250.000 \text{ kcal/t}}$$

$$\text{aufzubringende Wärmemenge } Q = 830.000 \text{ kcal/t}$$

Die Kosten pro 1 t Faulschlamm betragen somit:

$$K = 10,00 \text{ DM.}$$

Es ergeben sich bei der Verbrennung von nassem Frisch- bzw. Faulschlamm allein für die erforderliche Zusatzfeuerung Kosten in einer Größenordnung, die als nicht mehr rationell zu bezeichnen ist. Dieses Verfahren ist lediglich dann angebracht, wenn Abwärmemengen mit hinreichender Temperaturdifferenz zur Verfügung stehen, die nicht anderweitig genutzt werden können.

Der Vollständigkeit halber sei bereits an dieser Stelle auch auf den Zimmermann-Prozeß hingewiesen, bei dem durch die flammenlose Naßverbrennung eine wirtschaftliche Beseitigung des Schlammes angestrebt wird. Eine Versuchsanlage wird seit über vier Jahren in der Stadt Chicago betrieben. Über die Kosten liegen bisher leider keine vergleichbaren Angaben vor.

I. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Veraschung

Soll die Veraschung des Klärschlammes wirtschaftlich erfolgen, so ist eine Herabsetzung des Wasseranteiles unbedingt erforderlich. Um die Verbrennung des Faulschlammes ohne Wärmezufuhr, d. h. selbstgängige Verbrennung betreiben zu können, muß der Wasseranteil so weit reduziert werden, daß die folgende Beziehung erfüllt ist:

$$Q_e \leq Q_v \quad (1)$$

Die Wärmemengen errechnen sich wie folgt:

$$Q_e = A \cdot tr_o \cdot q_{w_s} / tr_s \cdot 10^{-2} \text{ in kcal} \quad (2)$$

$$Q_v = A \cdot tr_o \cdot H_{Tr} \cdot 10^{-2} \text{ in kcal} \quad (3)$$

Darin bedeuten:

A kg: zu beseitigendes Schlammgewicht

tr_o %: Trockensubstanz-Gewichtsanteil in A

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 113

- w_s %: Wasseranteil im entwässerten Schlamm
 tr_s %: Trockensubstanzanteil im entwässerten Schlamm
 H_{Tr} kcal/kg: unterer Heizwert der Trockensubstanz
 q kcal/kg: erforderliche Wärmemenge, reduziert auf die Verdampfung von 1 kg Wasser bei der Veraschung — Apparatekonstante, die abhängig ist vom thermischen Wirkungsgrad des Verbrennungssystems bei gegebenem Aufgabegut.

Aus der Gleichung (2) und (3) ergibt sich entsprechend (1):

$$w_s / tr_s \leq H_{Tr} / q \quad (4)$$

oder wie in Abb. 1 dargestellt:

$$w_s \leq \frac{H_{Tr}}{q + H_{Tr}} \cdot 10^2 \text{ in } \% \quad (5)$$

Für den vorbeschriebenen Faulschlamm ist nach Gleichung (5) somit eine Entwässerung auf einen Wasseranteil $< 67,5\%$ erforderlich, um einen selbstgängigen Verbrennungsablauf sicherstellen zu können. Voraussetzung ist allerdings, daß das Verbrennungssystem einen Wirkungsgrad $> 50\%$ besitzt. Es sind somit entsprechend Abb. 2 in einer vorzuschaltenden Entwässerungsstufe von den z. B. in 1 t Faulschlamm enthaltenen 900 kg Wasser mindestens 692 kg abzuscheiden, d. h., es ist ein Entwässerungsgrad¹ von wenigstens 76,8% erforderlich, um selbstgänglich und damit auch wirtschaftlich verbrennen zu können. Dieses Zahlenbeispiel soll konkret die erforderliche Entwässerungsleistung veranschaulichen, die bei der prozentuellen Angabe leider nicht in dem Maße zum Ausdruck kommt.

Um nun wirtschaftlich zu sein, dürfen für die Entwässerung lediglich Kosten entstehen, die auffallend kleiner sein müssen, als es bei der trivialen Lösung der direkten Verbrennung des nassen Schlammes der Fall ist. An die Entwässerungsstufe sind somit folgende Bedingungen zu stellen:

- möglichst geringe Betriebskosten bei nicht zu hohen Kapitalkosten,
- Einsatz von Entwässerungsaggregaten hoher Entwässerungsleistung sowie großer Lebensdauer und Zuverlässigkeit,
- wenn möglich, einstufiger Einsatz der Entwässerungsmaschinen,
- möglichst hoher Abscheidungsgrad der Feststoffe bei der Entwässerung,

¹ Entwässerungsgrad = abgetrennte/zuvor vorhandene Wassermenge.

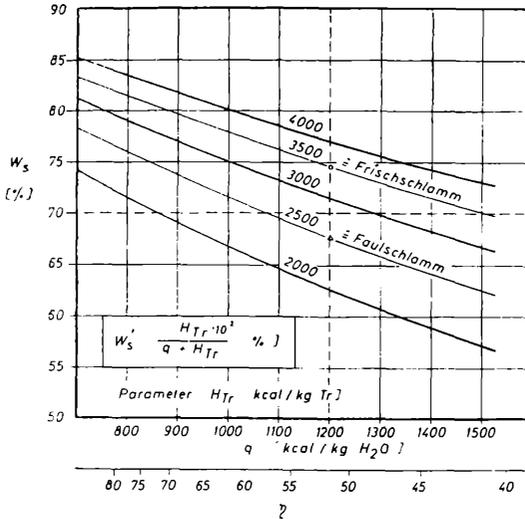


Abb. 1 Maximal zulässiger Wasseranteil im Schlamm bei selbstgängiger Verbrennung

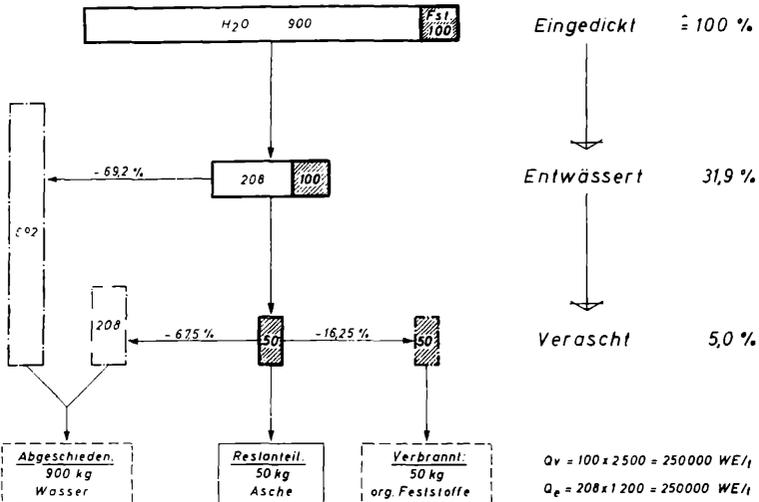


Abb. 2 Idealierte Schlammbehandlung für selbstgängigen Verbrennungsablauf

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 115

e) unkomplizierte Betriebsweise, die möglichst selbsttätig erfolgen soll.

Die weitestgehende Erfüllung dieser Bedingungen ist bei Anwendung von mechanischen Verfahren unter Einsatz von Filtern möglich, vorausgesetzt, daß die für die Filtration des Schlammes erforderliche zweckentsprechende Aufbereitung ohne nennenswerten Kapitaleinsatz erfolgen kann. Die Aufbereitung mit Chemikalien, wie Eisen- oder Aluminiumchlorid und Kalk, scheidet aus, da sie viel zu teuer ist.

II. Vorteile und Möglichkeiten aus der Veraschung

Ein wesentlicher Vorteil der Veraschung ist die Gewichts- bzw. Volumenverminderung, die sehr anschaulich in der idealisierten, für den Grenzfall der selbstgängigen Verbrennung aufgestellten Bilanz, die in Abb. 2 dargestellt ist, zum Ausdruck kommt. Durch die idealisierte Entwässerung erfolgt eine Gewichtsverminderung um 69,2%. Die nachfolgende Veraschung vermindert das Restgewicht der Entwässerung nochmals um 83,75%.

Die anfallende Schlammasche ist hygienisch einwandfrei. Sie eignet sich außerdem hinreichend gut zur Aufbereitung des Schlammes vor der Entwässerung. Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Schlammabeseitigung gegeben, vorausgesetzt, daß die vorgeschaltete Entwässerungsstufe zweckentsprechend gelöst ist.

III. Die Aufbereitung des Schlammes im Hinblick auf den nachfolgenden Verbrennungsprozeß

Durch die Zugabe der arteigenen Asche sowie auch geeigneter Fremdaschen wird die Filtrationsgeschwindigkeit des Schlammes wesentlich gesteigert bzw. bei kommunalen Schlämmen eine zufriedenstellende Filtration überhaupt erst ermöglicht. Je nach Schlammqualität kann eine mehr oder weniger starke Dosierung erforderlich werden. Da die Steigerung der Filtrationsgeschwindigkeit mit zunehmendem Mischungsverhältnis m_1 , womit das Verhältnis von Aschegewicht zu Feststoffgewicht beschrieben ist, nicht linear verläuft, sondern sich vielmehr nach Erreichen eines optimalen Effektes degressiv einem Grenzwert nähert, so erhebt sich die Frage nach der günstigsten Dosierung. In diese Frage spielen außerdem die Bedingungen der nachfolgenden Veraschung stark hinein.

Aus verbrennungstechnischen Gesichtspunkten ist man stark interessiert, möglichst wenig Ascheanteile im Aufgabegut zu haben, da diese Anteile den Verbrennungsprozeß dämpfen und den thermischen Wirkungsgrad herabsetzen. Die mittlere spezifische Wärme der Asche für einen Temperaturbereich von 0—800° C liegt bei etwa 0,25 kcal/kg ° C.

Die durch den Zusatz-Ascheanteil gebundene Wärmemenge liegt zwar im Vergleich zu derjenigen des Wasseranteiles niedrig, beträgt jedoch bei $m_i = 1$ und einer Verbrennungstemperatur von 850°C immerhin pro 1 t eingedickten Schlammes mit 90% H_2O ca. 21.000 kcal und macht damit bereits 8,5% der im Schlamm enthaltenen Wärmemenge aus. Eine höhere Dosierung würde somit den Faktor q nicht unwesentlich erhöhen.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender negativer Einfluß einer überhöhten Aschedosierung besteht im zumeist zunehmenden effektiven, auf die Schlammfeststoffe bezogenen Wasseranteil des entwässerten Schlammes w_s , der sich wie folgt errechnet:

$$w_s = \frac{(1 + m_i) \cdot 10^2}{1 + m_i + f_{sa}/w_{sa}} \text{ in } \% \quad (6)$$

Es bedeuten:

w_{sa}, f_{sa} in %: Wasser- bzw. Feststoffanteil im entwässerten Schlamm mit Ascheanteilen, z. B. im Filterkuchen (Meßwert).

Dieser Tatbestand läßt sich leicht durch folgendes simplifiziertes Beispiel veranschaulichen. Mischt man nämlich dem Schlamm sehr viel Asche bei, so erhält man ein festes, trocken wirkendes Mischsystem, das jedoch noch die gleiche Wassermenge bindet, die zuvor im Schlamm enthalten war. Der Entwässerungsgrad ist somit gleich Null. Die Angabe des Wasseranteiles im entwässerten Schlamm kann also nur dann ein konkretes Bild des Entwässerungserfolges vermitteln, wenn die Angabe des Wasseranteiles nur auf die Schlammfeststoffe ohne Ascheanteile bezogen ist, d. h. wenn w_s angegeben wird. Aus diesem Grunde wird der gemessene, auf Schlammfeststoffe und Ascheanteile bezogene Wasseranteil w_{sa} als „scheinbarer Wasseranteil“ bezeichnet.

Es ist darüber hinaus festzustellen, daß auch bei erhöhter Aschedosierung durch die Entwässerung der scheinbare Wasseranteil w_s nicht beliebig gesenkt werden kann, da z. B. beim Druckfilter auf Grund der zwischen den flüssigen Phasen im Zu- und Ablauf bestehenden Kontinuität das im Filterkuchen vorhandene Porenvolumen mit Flüssigkeit angefüllt bleibt.

Die erhöhte Aschedosierung vergrößert dieses Porenvolumen, so daß bei Erreichen des quasi inkompressiblen Systems mit zunehmender Aschedosierung gleichzeitig die gebundene Flüssigkeitsmenge ansteigt.

Hierzu folgendes in Abb. 3 dargestelltes Beispiel:

Bei einem Mischungsverhältnis von $m_i = 1$ erreicht man z. B. nach der Entwässerung im Filterkuchen den scheinbaren Wasseranteil $w_{sa} =$

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlambeseitigung 117

Entwässerungsgrad 77,8 % const.		w_{sa} const.
$m_i = 1$		$m_i = 2,5$
100	S Feststoffe [kg/t Schlamm]	100
100	Asche	250
200	H_2O	350
400	Filterkuchen [kg/t Schlamm]	550
50	w_{sa} [%]	36,3
66,7	w_s [%]	78,8

Abb. 3 Wasseranteil im Filterkuchen in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis m_i

50%, was einem effektiven Wasseranteil $w_s = 66,7\%$ entspricht. Steigert man das Mischungsverhältnis auf $m_i = 2,5$, so muß man, um den gleichen effektiven Wasseranteil im Filterkuchen $w_{sa} = 66,7\%$, d. h. auch, um den gleichen Entwässerungsgrad zu erreichen, so lange entwässern, bis der scheinbare Wasseranteil im Filterkuchen auf $w_{sa} = 36,3\%$ reduziert ist. Erreicht man aber nur den gleichen scheinbaren Wasseranteil $w_{sa} = 50\%$, so hat man praktisch nur auf einen Wasseranteil $w_s = 78,8\%$ entwässert, also nur einen Entwässerungsgrad von 61% erreicht.

Der geringe scheinbare Wasseranteil $w_{sa} = 36,3\%$ läßt sich jedoch auf Grund eigener Untersuchungen bei kommunalem Schlamm auch auf einem Druckfilter, zumeist nur durch eine verlängerte Filtrationszeit erreichen. Damit verringert sich jedoch die Durchsatzleistung des Filters. Beim Vakuumfilter ist ein derart niedriger Wasseranteil unter ähnlichen Bedingungen überhaupt nicht zu erreichen, da das relativ geringe Filtrationsdruckgefälle von 0,4—0,5 kg/cm² nicht ausreicht, um die aus dem feinstgegliederten Kapillarsystem resultierenden Kapillarkräfte, die eine relativ starke Wasserbindung bewirken, zu überwinden. Außerdem platzt der Filterkuchen zumeist bereits bei einem höheren Wasseranteil.

Eigene Versuche haben gezeigt, daß man den günstigsten Entwässerungserfolg und damit die besten Voraussetzungen für den nachfolgenden Verbrennungsprozeß auf einem Druckfilter bei einem Mischungs-

118 *Dipl.-Ing. Oswald Busse: Die Veraschung, eine wesentliche*

verhältnis von $m_i = 0,75—1,5$ erreicht. Voraussetzung ist natürlich eine zweckentsprechende Ascheaufbereitung sowie eine schonende Behandlung des Mischsystems vor und nach der Aufbereitung.

IV Bekannte Beseitigungsverfahren mit Veraschung und Ascherezirkulation

Es werden heute zwei Verfahren mit Veraschung und Ascherezirkulation angeboten:

1. das LURGI-Asche-Verfahren,
2. das PASSAVANT-Schlamm-Asche-Verfahren.

Beide Verfahren arbeiten bis auf den Entwässerungsteil nach etwa dem gleichen Prinzip. Das LURGI-Verfahren ist im Entwässerungsteil, wie das folgende Verfahrensschema Abb. 4 zeigt, zweistufig ausgebildet [1]. In der Entwässerungsstufe ist eine Dekantierzentrifuge, die etwa die Hälfte der Schlammfeststoffe austrägt, und in der 2. Stufe ein Vakuumdrehfilter, das als Precoatfilter arbeitet, eingesetzt.

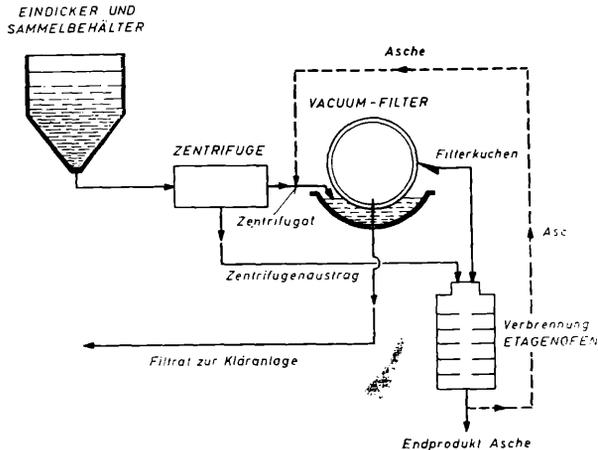


Abb. 4 LURGI-Asche-Verfahren nach Veröffentlichung Dr. Kieß

Das Zentrifugat der 1. Stufe soll mit Schlammasche im Mischungsverhältnis 3 bis 4 aufbereitet und auf einem Precoatfilter entwässert werden. Das Sediment der Zentrifuge ($w_s = 50—60\%$) und der Filterkuchen ($w_{sa} = 50\%$) werden wahlweise vollkommen oder, soweit erforderlich, in einem Etagenofen verbrannt.

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 119

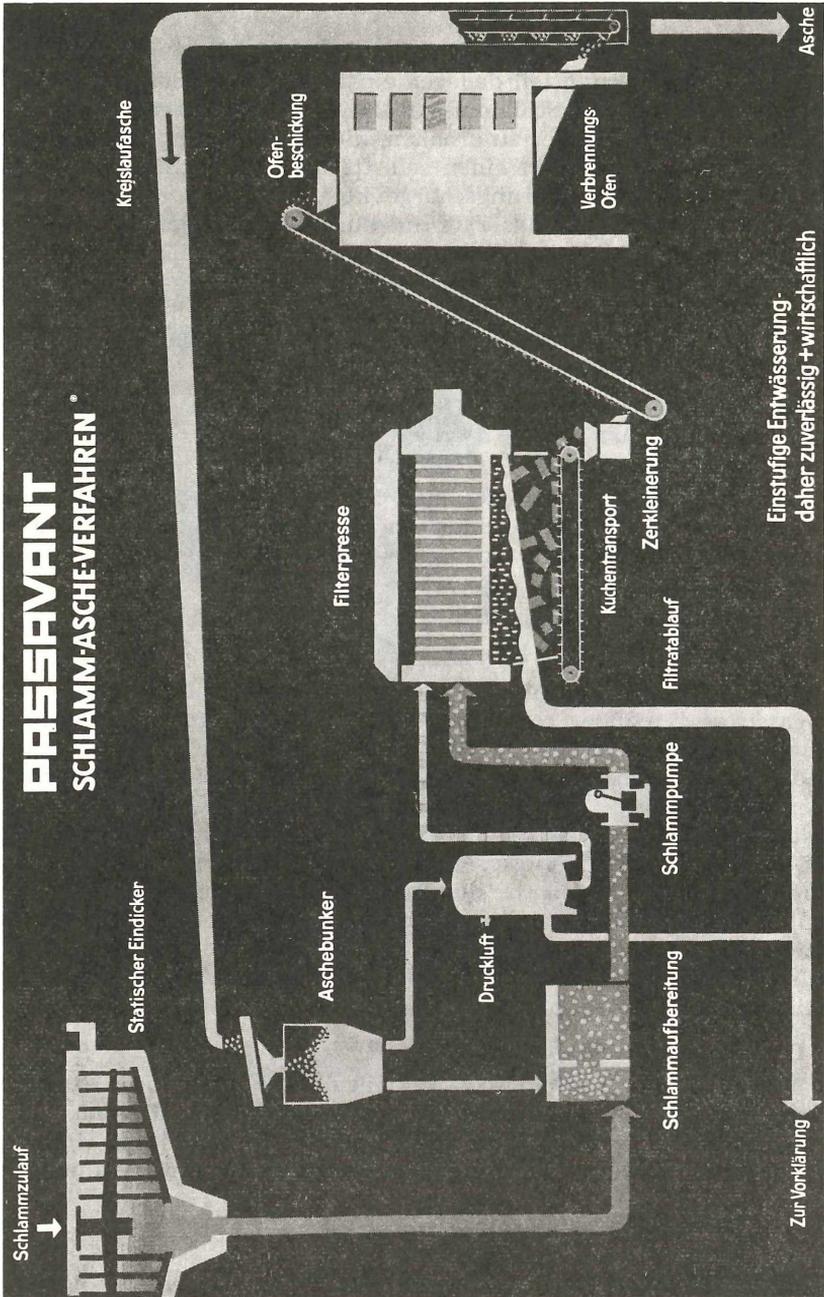


Abb. 5 PASSAVANT-Schlamm-Asche-Verfahren

Das PASSAVANT-Verfahren ist, wie das Verfahrensschema Abb. 5 zeigt, im Entwässerungsteil dagegen einstufig ausgebildet und setzt für die Entwässerung des Schlammes lediglich Filterpressen ein. Um die Standzeit der Filtertücher zu erhöhen, die Filterleistung zu verbessern und die Voraussetzung für einen selbsttätigen Kuchenabfall zu geben, wird vor jeder Entwässerungscharge kurzfristig und selbsttätig eine dünne Ascheschicht auf das Filtermedium aufgetragen. Der Schlamm wird vor der Filtration im Mischungsverhältnis 0,75—1,5 mit Schlamm-asche aufbereitet. Den anfallenden Filterkuchen ($w_{sa} = 40\text{—}50\%$) verbrennt man wahlweise vollkommen oder nur insoweit, als es für die Sicherstellung des Aschebedarfs erforderlich ist. Die Veraschung erfolgt gleichfalls in einem Etagenofen.

C. Beschreibung und Bewertung von geeigneten Verbrennungsöfen für die Klärschlammveraschung

Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedenartige Verbrennungssysteme, die gekennzeichnet sind durch die Relativbewegung von Abgasstrom und Verbrennungsgut. Es sind dies:

- I. Das Gegenstrom-System,
- II. Das Gleichstrom-System.

I. Das Gegenstrom-System

Bei diesem Verbrennungssystem werden Verbrennungsgut und Abgasstrom einander entgegengesetzt geführt, um den Wärmeinhalt der Abgase zur Vortrocknung des Gutes weitgehend auszunutzen. In die Verbrennungszone des Ofens wird dann ein nahezu wasserfreier Brennstoff gegeben. Man erreicht auf diese Weise relativ niedrige Abgastemperaturen, die bei ca. 200—300° C liegen. Es ergibt sich daher für den gesamten Verbrennungsprozeß ein günstiger thermischer Wirkungsgrad. Geruchsstoffe jedoch, die in den Brüden mitgeführt werden, bleiben bei Temperaturen unter 650—700° C weitgehend erhalten und werden mit dem Abgasstrom in die Atmosphäre getragen. Treten Belästigungen auf, so reicht eine chemische Desodorisierung jedoch zu meist aus, um diesen Nachteil auszugleichen.

1. Der Etagenofen

Wie der Name bereits besagt, besteht dieser Ofen (Abb. 6) aus einer Vielzahl von etagenartig angeordneten, kreisförmigen Herden, die im Zentrum von einer mit Krählarven besetzten luftgekühlten Hohlwelle durchbrochen werden. Das Aufgabegut wird — auf etwa Walnußgröße

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 121

zerkleinert — von oben dem Ofen zugeführt. Die Krählarne tragen Rührschaufeln, die so eingestellt sind, daß bei der Drehung der Hohlwelle das Verbrennungsgut abwechselnd von innen nach außen und umgekehrt bewegt wird. Es fällt dann durch Fallschächte jeweils auf die nächste Etage ab. Auf den oberen Herden wird das Gut von den entgegenströmenden Abgasen getrocknet, ehe es auf den mittleren Herden verascht wird. Auf den unteren Etagen wird die anfallende Asche bereits

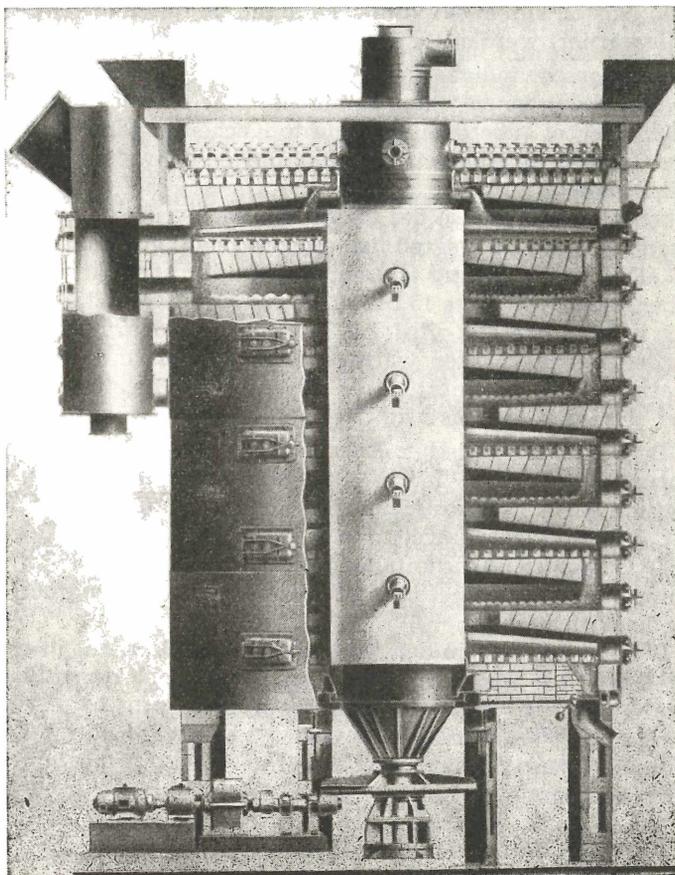


Abb. 6 Etagenofen (Humboldt)

durch die zuströmende Primärluft abgekühlt und verläßt dann den Ofen mit ca. 250° C.

Der Etagenofen besitzt eine außerordentlich große belegbare Herdfläche. Die Aufenthaltsdauer im Ofen ist dementsprechend groß und gewährleistet praktisch einen nahezu 100%igen Ausbrand. Die Herdflächenbelastung wird mit 200 bis max. 300 kg H₂O pro m² und Tag ausgelegt, was je nach Filterkuchenkonsistenz etwa 400 bis 600 kg Filterkuchen pro m² und Tag entspricht. Die Aufenthaltsdauer des Gutes kann durch den Anstellwinkel der Rührschaufeln und durch die Drehzahl der Hohlwelle variiert werden.

Die Abgasgeschwindigkeit im Ofen liegt bei ca. 1 m/s, also relativ niedrig. Staubemissionen treten somit nur sehr schwach auf. Begünstigend wirkt hierbei außerdem der feuchte Kuchen in den oberen Etagen, der einen Teil der im Abgasstrom mitgeführten Schwebstoffe an seiner Oberfläche bindet.

Die kompakte Bauweise des Ofens bedingt geringe Wärmeverluste. Der thermische Wirkungsgrad ist entsprechend gut und beträgt etwa 55%. Die Ausmauerung ist sehr aufwendig und hat in der Regel eine Lebensdauer von etwa 15 bis 20 Jahre, vorausgesetzt, daß der Ofen praktisch nicht stillgesetzt wird. Bei intermittierendem Betrieb muß der Ofen in den Betriebspausen warmgehalten werden, d. h., er darf eine Temperatur von 600° C nicht unterschreiten. Der hierfür erforderliche Ölbedarf beträgt etwa 6 bis 8 kg Öl pro m² Herdfläche und Tag.

Der Bedarf an elektrischer Energie für den gesamten Ofenbetrieb liegt normal bei ca. 5 kWh pro 1 t Aufgabegut ($m_i = 1/w_{sa} = 50\%$), also relativ niedrig. Die Veraschung erfolgt bei Temperaturen von ca. 800 bis 850° C. Da die Erweichungstemperatur der Schlammasche in der Regel über 1000° C liegt, so ist die anfallende Asche praktisch frei von Schlacke und Sinterungen. Sie eignet sich gut für die Aufbereitung des Schlammes vor der Filtration.

Der Etagenofen wird in den USA als Nichols-Ofen seit über 25 Jahren mit Erfolg zur Veraschung von auf Vakuumfiltern entwässertem Schlamm eingesetzt. Nach Imhoff [2] werden pro 1 t entwässertem Schlamm mit ca. 70% Wasseranteil etwa 2,3 l Heizöl benötigt. Die kleinste rationelle Ofentype hat etwa eine Durchsatzleistung von 1 t entwässertem Schlamm.

2. Der Drehrohrofen

Beim Drehrohrofen handelt es sich um ein relativ einfaches Verbrennungssystem. Das auf Stützrollen gelagerte Drehrohr ist zur Brennzone

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 123

leicht geneigt. Das vorzerkleinerte Aufgabegut passiert, durch die Drehung des Rohres veranlaßt, zuerst die Vortrockenzone, die zur Intensivierung des Trocknungsprozesses im Rohrinneeren mit kurzen Kettensträngen ausgerüstet werden kann.

In der sich anschließenden Verbrennungszone findet die Veraschung statt. Die Verbrennungstemperatur liegt normal bei 1300—1500° C. Um jedoch eine sinter- und schlackenfreie Asche, wie sie für die Schlammzubereitung erforderlich ist, zu erhalten, ist eine Temperatursenkung unterhalb 900° C erforderlich. Dies kann nur durch eine Verbrennung mit starkem Luftüberschuß erreicht werden. Eine hinreichende Sicherheit, daß diese Grenztemperatur nicht überschritten wird, besteht jedoch nicht. Außerdem wird die Leistungsfähigkeit des Ofens reduziert und der thermische Wirkungsgrad verschlechtert. Die relativ große Oberfläche des Drehrohrofens bedingt höhere Wandverluste und übt damit einen negativen Einfluß auf den thermischen Wirkungsgrad aus. Dieser liegt demzufolge etwa zwischen 45 und 50%. Die Abgasgeschwindigkeit ist etwa 5—7mal größer als beim Etagenofen. Auf eine nachgeschaltete Entstaubung der Abgase kann daher kaum verzichtet werden.

Die Schlammasche wird an dem der Aufgabe gegenüberliegenden Rohrende ausgetragen. Hier ist auch der Brenner für die Zusatzfeuerung installiert. Die ausgetragene Asche ist nicht unbedingt schlacken- und sinterfrei. Der Gegenstrom-Drehrohrofen ist daher für Verfahren mit Ascherezirkulation weniger gut geeignet.

Der elektrische Energiebedarf beträgt ca. 8—10 kWh pro 1 t Filterkuchen. Die Ausmauerung muß etwa alle ein bis zwei Jahre erneuert werden. Sie ist allerdings auch bei weitem nicht so aufwendig wie beim Etagenofen. Auch bei dieser Ofentype empfiehlt sich der Dauerbetrieb. Die kleinste zweckmäßige Ofentype verascht etwa 1 t Schlamm (ca. 50% H₂O) pro Stunde.

II. Das Gleichstrom-System

Abgase und Verbrennungsgut haben bei diesem System die gleiche Bewegungsrichtung. Die Abgastemperatur liegt daher relativ hoch, und zwar etwa zwischen 700 und 1000° C. Würde man die Abgase mit diesen Temperaturen in die Atmosphäre ableiten, so treten hohe Wärmeverluste und damit eine wesentliche Verschlechterung des thermischen Wirkungsgrades ein. Da das System damit zwangsläufig unwirtschaftlich wird, so ist man bemüht, den Wärmeinhalt der Abgase durch Luftvorwärmung teilweise auszunutzen. Die hohe Temperatur der Abgase hat jedoch den Vorteil, daß die Abgase geruchsfrei sind. Das System eignet

sich daher besonders gut für die Veraschung von fett- und ölhaltigem Schlamm sowie Frischschlamm.

1. Das Flash Drying and Incineration System

Dieses System gliedert sich prinzipiell, wie Abb. 7 zeigt, in Brennkammer und Trockner, wobei dem sogenannten Flugtrockner die primäre Bedeutung zukommt. Die Brennkammer dient im wesentlichen zur Erzeugung der für den Trocknungsprozeß erforderlichen Abgasmenge, die mit einer Temperatur von 500—700° C dem Trockner zu-

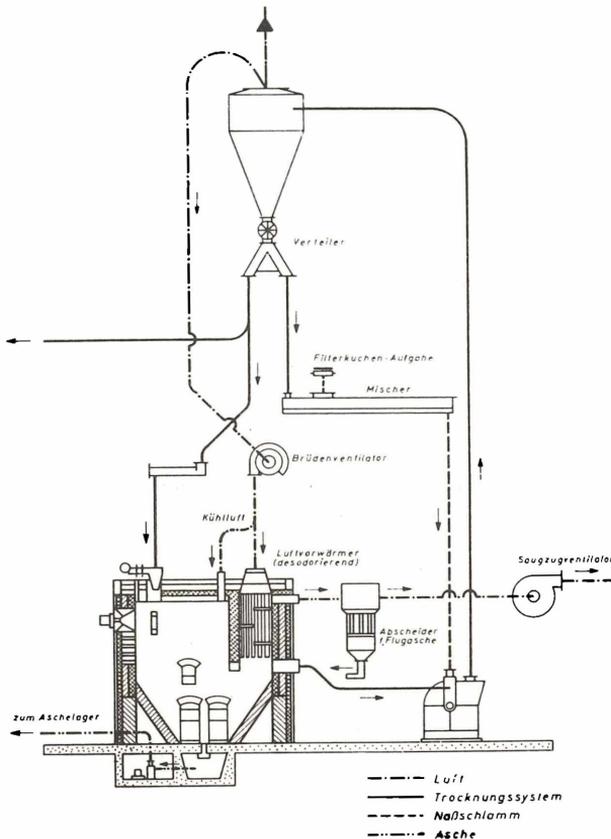


Abb. 7 CE-RAYMOND Flash Drying and Incineration System

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 125

geleitet wird. Stehen entsprechende Abgasmengen anderer Verbrennungssysteme zur Verfügung, so kann die Brennkammer entfallen.

Die Wirkungsweise des Trockners ist folgende:

Der vorentwässerte Klärschlamm wird in einem Mischwerk unter Zugabe von bereits getrocknetem Gut auf ca. 30—40% Wasseranteil angesteift und anschließend in einer vom Abgas (<700° C) durchströmten Mühle zerkleinert. Hinreichend zerkleinerte Partikelchen werden vom Gasstrom mitgerissen, in einer vertikalen Trockenstrecke von etwa 15 m Länge auf ca. 10% Wasseranteil abgetrocknet und anschließend in einem Abscheidezyklon von den Brüden getrennt. Das Trockengut wird nun — wie bereits erwähnt — teilweise zur Ansteifung des Aufgabegutes zurückgeführt, teilweise in die Brennkammer eingeblasen und verascht oder als Düngemittel abgezweigt. Die Schlammtrocknung wird im Gleichstrom durchgeführt. Ein Teil der Brüden, der jedoch infolge der relativ geringen Abgastemperatur von 150—200° C nicht geruchsfrei ist, wird durch den Saugzugventilator zur Kühlung des Abgasstromes von etwa 1350 auf unterhalb 700° C zum Ausgang der Brennkammer zurückgeleitet, wobei eine Teildesodorisierung erfolgt. Für eine restlose thermische Desodorisierung der Brüden sind Sondereinbauten erforderlich.

Da das Verbrennungsgut im Abgasstrom vorgetrocknet und der Abgasstrom als Trägermedium benutzt wird, ist eine intensivere Zerkleinerung des Schlammes erforderlich. Dies bedingt einen wesentlich höheren elektrischen Energiebedarf, der etwa 15—20 kWh/t beträgt. Infolge ausgeprägter Dynamik stellt dieses System erhöhte Anforderungen an die Steuerung der Verbrennungsanlage. Bei fehlerhafter Betriebsweise können leicht Aufsinterungen in Rohrbögen entstehen.

Vorteilhaft bei diesem System ist die infolge geringerer Ausmauerung anwendbare intermittierende Betriebsweise. Die sich daraus ergebenden Schäden an der Ausmauerung sind relativ unerheblich, da die Ausmauerung in kürzeren Intervallen erneuert werden kann. Der Verbrennungsablauf reagiert allerdings infolge der geringeren Wärmekapazität der Brennkammer bei Konsistenzschwankungen des Aufgabegutes empfindlicher

Der thermische Wirkungsgrad liegt einschließlich Schlammveraschung, jedoch ohne Desodorisierung, bei 55%. Soll die Asche zur Schlammaufbereitung verwendet werden, so ist dem Trockner ein thermisch hochbelastbarer Abscheidezyklon vorzuschalten, der die Flugasche aus dem Abgasstrom abscheidet. Die im Aschesumpf anfallende Grob- asche eignet sich nicht für die Schlammaufbereitung.

126 *Dipl.-Ing. Oswald Busse: Die Veraschung, eine wesentliche*

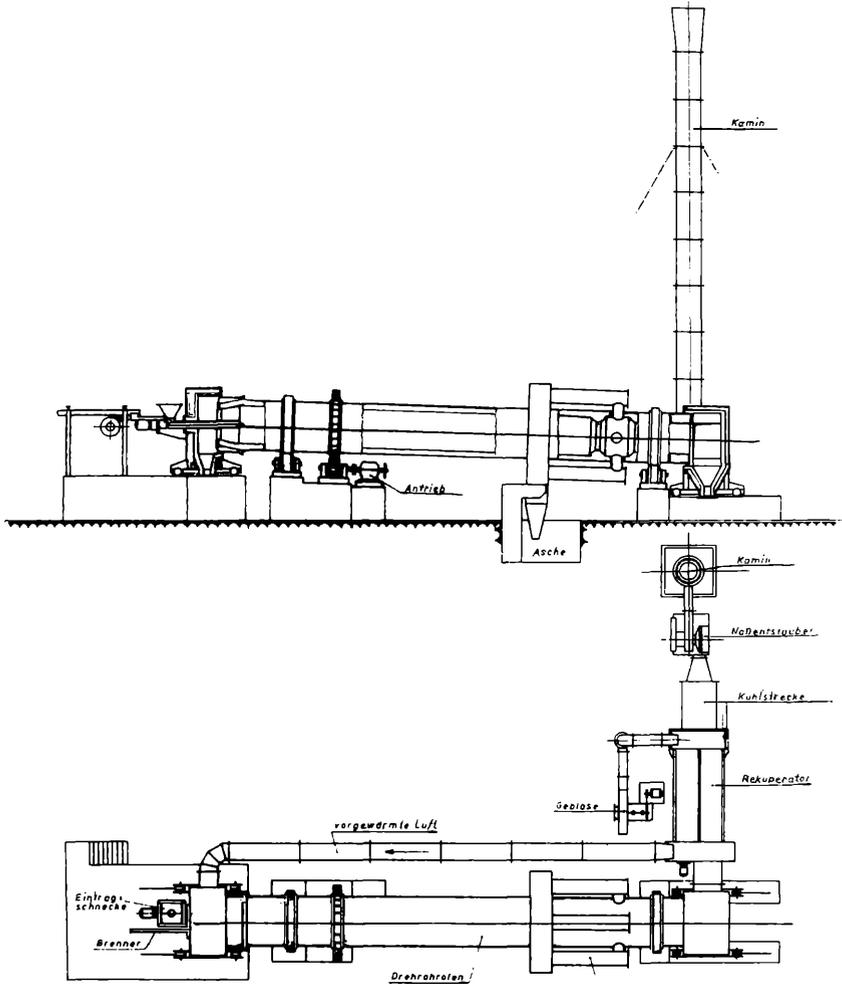


Abb. 8 Drehrohröfen nach dem Gleichstrom-System
(Bauart Westofen)

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 127

Das Flash Drying and Incineration System wird gleichfalls in den USA seit längerer Zeit mit Erfolg zur Klärschlammverbrennung eingesetzt. Für europäische Verhältnisse ergeben sich jedoch, durch den hohen elektrischen Energiebedarf bedingt, wesentlich höhere Betriebskosten. Steht allerdings preiswerte elektrische Energie zur Verfügung, so können sich auch für dieses Verfahren wirtschaftliche Voraussetzungen ergeben.

2. Der Gleichstrom-Drehrohröfen

Im Gegensatz zu I./2. befinden sich beim Gleichstrom-Drehrohröfen (Abb. 8) Guttaufgabe und Zusatzfeuerung am gleichen Rohrende. Das Gut gelangt somit unmittelbar in die Verbrennungszone und wird durch das sich drehende geneigte Rohr zum gegenüberliegenden Rohrende gefördert. Durch Temperaturfühler am Rohrausgang kann der Brenner für Stützfeuerung so gesteuert werden, daß eine Abgastemperatur von $< 900^{\circ}\text{C}$ vermieden wird und eine weitgehend schlacken- und sinterfreie Asche anfällt. Die Asche wird kurz vor Rohrende durch Satellitenkühler, die im Gegenstrom von Luft durchströmt werden, ausgetragen. Die Aschetemperatur liegt unter 150°C .

Der Ausbrand ist bei zweckentsprechender Steuerung etwa so hoch wie beim Etagenofen. Die Aufenthaltsdauer des Gutes kann wegen Fortfalls der Trocknungsstrecke geringer sein. Die Rohrlänge läßt sich daher um etwa $\frac{1}{3}$ gegenüber dem Gegenstromofen verkürzen. Der Wärmeinhalt der Abgase kann durch Vorwärmung der Primärluft auf 550°C in einem Wärmetauscher zu etwa 50% ausgenützt werden. Die Abgase verlassen den Wärmetauscher mit etwa 700°C und werden nach Passieren einer Kühlstrecke in einem Naßentstauber staubfrei gemacht. Es fallen hier noch etwa 10% der Gesamtasche an.

Der thermische Wirkungsgrad liegt wesentlich schlechter als beim Gegenstromofen und beträgt nur ca. 40—42%. Vorteilhaft läßt sich der Ofen einsetzen, wenn der Schlamm stark schwelende Anteile enthält.

3. Der Wirbelschichtbett-Ofen

Diese Ofentype befindet sich zwar zur Zeit noch in der Entwicklung, jedoch ist das Funktionsprinzip dieses Ofens für die Klärschlammabeseitigung von einigem Interesse und soll daher kurz erläutert werden.

Abb. 8 zeigt den schematischen Aufbau des Ofens. Der entwässerte Schlamm wird zweckmäßigerweise auf Walnußgröße zerkleinert und von oben dem Wirbelbett in der Brennkammer zugeführt. Der Wirbel-effekt entsteht durch Luftströmung, die durch vorgewärmte Luft mit ca. 400°C hervorgerufen wird, welche von unten durch Luftdüsen in das Bett gedrückt wird. Zur mechanischen und thermischen Stabilisierung

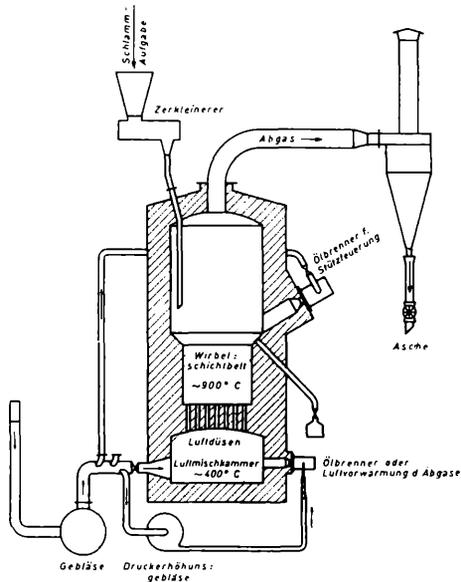


Abb. 9 Wirbelschichtbett-Ofen (Bauart MF Eßlingen)

des Wirbeleffektes ist oberhalb der Luftdüsen eine als Wärmeträger fungierende Hilfsschicht eingesetzt, die z. B. aus Sand bestehen kann.

Innerhalb des Wirbelbettes, das sich mit einer kochenden Flüssigkeit vergleichen läßt, findet durch mechanische und thermische Beanspruchung eine weitere Zerkleinerung des Aufgabegutes statt, bis es schließlich — hinreichend zerkleinert — durch die Abgasströmung als Asche ausgetragen und in einem Zyklon abgeschieden wird.

Die Veraschung des Schlammes erfolgt bei einer Verbrennungstemperatur von etwa 900° C. Die Asche ist daher nahezu schlacken- und sinterfrei. Die intensive mechanische Beanspruchung durch den Wirbeleffekt führt jedoch zu Kornverschleiß und Ascheverstaubung. Die Asche besitzt für die Schlamm-aufbereitung einen etwas geringeren Effekt als diejenige des Etagenofens. Da die gesamte Asche fast ausschließlich als Flugasche ausgetragen wird, sind zusätzliche apparative Vorkehrungen für eine Entstaubung nicht zu umgehen.

Vorteilhaft bei diesem System sind jedoch die Leistungsintensität, die geruchsfreie Verbrennung — besonders im Hinblick auf die Frischschlammverbrennung — und die anwendbare intermittierende Betriebs-

Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 129

weise. Ferner kann dieses System sehr wahrscheinlich auch bei kleinen Anlagengrößen noch wirtschaftlich eingesetzt werden.

Sollen Schlamm und Müll gemeinsam verbrannt werden, so kann praktisch für die Verbrennung nur ein auf die spezifische Aufgabenstellung der Müllverbrennung ausgerichteter Verbrennungsofen in Frage kommen, da sich Schlamm zu Müll mengenmäßig wie etwa 1 : 6 bis 1 : 10 verhält.

D. Zusammenfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für ein Verfahren mit Veraschung am Beispiel einer Anlagengröße für 500.000 EGW

Abschließend sollen kurz die auf die Wirtschaftlichkeit Einfluß nehmenden Kosten an Hand des PASSAVANT-Schlamm-Asche-Verfahrens genannt werden*. Diese Werte veranschaulichen die wirtschaftliche Bedeutung der Veraschung bei Ausnutzung der sich daraus ergebenden Vorteile.

Als Beispiel wird eine geplante Anlage zur Schlammabeseitigung für 500.000 EGW angeführt, die im durchgehenden Betrieb pro Arbeitstag 400 m³ Faulschlamm mit 7% Feststoffanteil beseitigen soll. Der Schlamm wird in einem statischen Eindicker im Mittel auf 10% Feststoffanteil eingedickt. Die Schlammfeststoffe besitzen einen Glühverlust von 50% und einen unteren Heizwert von 2700 WE/kg Trockensubstanz. Die Entwässerung erfolgt einstufig in einer Filterpresse. Der Filterkuchen ($m_1 = 1,2$) wird auf 40—50% H₂O entwässert und in einem Etagenofen verbrannt.

Die Gesamtkosten des Verfahrens errechnen sich entsprechend den örtlich gegebenen Kostenfaktoren etwa wie folgt:

Kosten für Kapitaleinsatz	1,8—2,3 DM/m ³	eingedickter Schlamm
bzw.	18—23 DM/t	Trockensubstanz
Betriebskosten	2,4—2,8 DM/m ³	eingedickter Schlamm
bzw.	24—28 DM/t	Trockensubstanz

In den Kosten für den Kapitaleinsatz wurden die Kosten für die maschinelle Ausrüstung, die Montage, das Gebäude sowie das Gelände berücksichtigt.

Die Betriebskosten enthalten die Kosten für die elektrische sowie thermische Energie, die Kosten für den Filtertuchersatz, den allgemeinen Verschleiß und die Hilfsstoffe (etwa zu 2% der maschinellen Ausrüstung

* Basis für Kostenermittlung: 1. 1. 1963.

angesetzt), das Bedienungspersonal und den Ascheabtransport auf 4 bis 5 km Entfernung.

Das vorgenannte Beispiel zeigt, daß Verfahren mit Veraschung und Ascherezirkulation bei zweckentsprechender Disposition die gewünschten Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Klärschlammabeseitigung vollauf bieten. Wirtschaftlichkeit und Hygiene dieser Verfahren aber resultieren im wesentlichen aus der Veraschung des Klärschlammes.

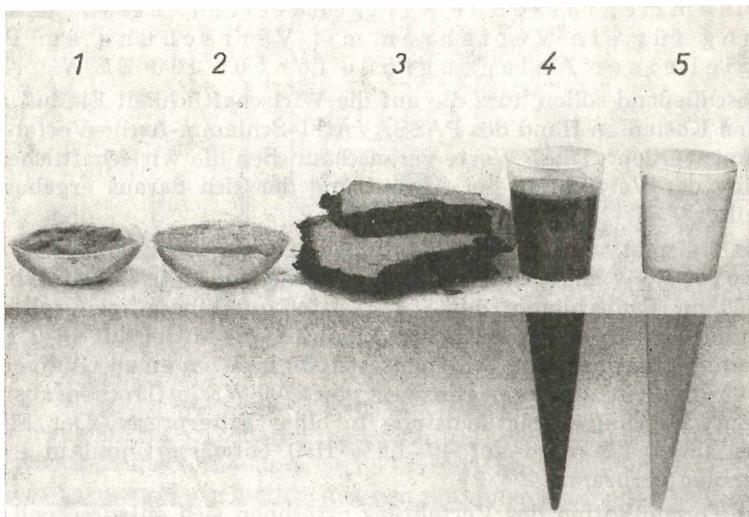


Abb. 10 Komponenten des PW-Schlamm-Asche-Verfahrens

1. Schlammasche nach der Verbrennung
2. Aufbereitete Schlammasche
3. Filterkuchen mit Ascheschutzschicht
4. Ausgangsschlamm mit ca. 10% Feststoffanteil
5. Filtrat, trinkwasserklar, praktisch frei von Feststoffen

Literaturangabe:

1. Kieß, F.: Behandlung des Abwasserschlammes.
2. Internationaler Kongreß der IAM, Mai 1962, Essen.
2. Imhoff, K.: Taschenbuch der Stadtentwässerung.
R. Oldenbourg, München, 19. Auflage, 1962.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Oswald Busse, 6209 Michelbach/
Nassau, Karlsbader Straße 16.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: [1963](#)

Autor(en)/Author(s): Busse Oswald

Artikel/Article: [Die Veraschung, eine wesentliche Verfahrensstufe der wirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung 109-130](#)