

Zukünftige Konzepte für Klärschlamm-Management

Thomas Vollmeier und Paolo Foa

ZUSAMMENFASSUNG: Die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft wird in Frage gestellt, insbesondere aufgrund von anorganischen und organischen Schadstoffen, darunter Spuren von Medikamenten und Hormonen. Deshalb werden nach und nach Beschränkungen in den europäischen Ländern eingeführt, mit einem Trend zur Mineralisierung von Klärschlamm und damit zur thermischen Behandlung. Welche von den verschiedenen verlässlichen Optionen die interessanteste ist, hängt von den spezifischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Situation ab. Einer dieser selektiven Faktoren ist die Möglichkeit der Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm. Phosphor hat eine zentrale Bedeutung für das Pflanzenwachstum. Die natürliche Verfügbarkeit von Phosphor wird weltweit abnehmen, was ernsthafte Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion haben kann.

1. AUSGANGSLAGE

Der traditionelle Weg der Klärschlammentsorgung war seit jeher die Landwirtschaft, wo die Abwasserbehandlung einen natürlichen Dünger lieferte. Die aufkommende Präsenz von Schwermetallen im Abwasser, insbesondere in hochindustrialisierten Regionen, brachte das Problem der Kontamination von Böden mit sich, womit Klärschlamm mit hohem Metallgehalt fortan in Deponien oder thermischen Verwertungsanlagen entsorgt wurde.

In den letzten Jahren haben andere Verunreinigungen – organische Schadstoffe wie Medikamente und Hormone, die in die Nahrungskette gelangen können, oder pathogene Keime wie BSE – Besorgnis ausgelöst. Die langfristigen Folgen dieser Mikroverunreinigungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit sind noch nicht eindeutig geklärt. Dennoch hat die Politik bereits neue Vorschriften in diesem Bereich eingeführt oder erarbeitet derzeit solche.

Das Ergebnis der oben beschriebenen Situation ist eine laufende Weiterentwicklung der Methoden für Klärschlammentsorgung, mit Einschränkungen für die Verwendung in der Landwirtschaft und einer Tendenz zur thermischen Behandlung, welche in der Mehrzahl der europäischen Länder bei Weitem noch nicht abgeschlossen ist.

Das Ziel dieses Artikels ist es, mögliche Lösungswege für dieses Problem mit der entsprechenden Anwendungserfahrung aufzuzeigen.

2. TRENDS IN DER ENTSORGUNG

In der Schweiz wird die Langfriststrategie der Klärschlammentsorgung seit Ende des letzten Jahrhunderts durch behördliche Vorschriften bestimmt, welche ein völliges Verbot der landwirtschaftlichen Wiederverwendung und Deponierung seit

dem Jahr 2008 vorsehen. Dies hat zum in der Abbildung 1 dargestellten Trend in der Schlammbehandlung geführt.

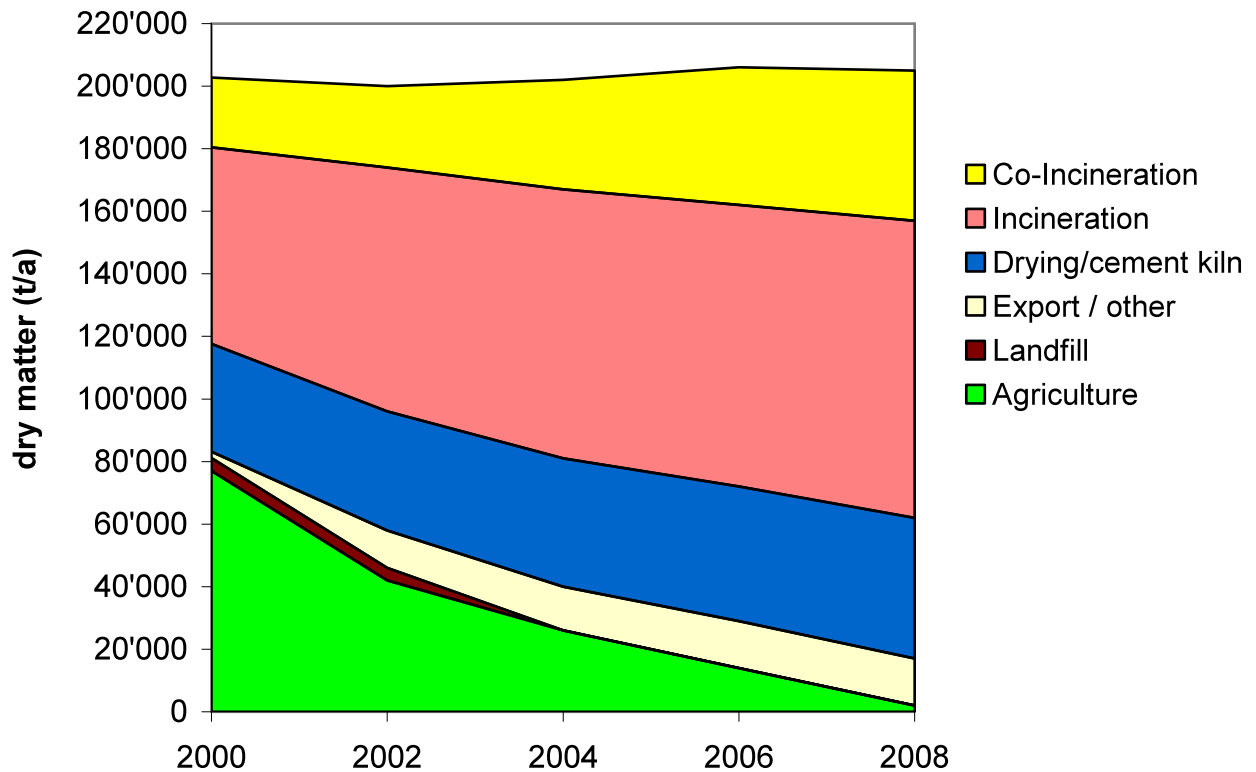


Abbildung 1 Trends der Entsorgung von Klärschlamm in der Schweiz

Die übrigen europäischen Länder werden wahrscheinlich nicht die gleichen drastischen Lösungen wie die Schweizer Regierung übernehmen, aber die allgemeine Entwicklung wird auf jeden Fall diesem Trend folgen.

3. WEGE DER SCHLAMMENTSORGUNG

Wie schematisch in der Abbildung 2 gezeigt, kann die Entsorgung von Klärschlamm biologisch, thermisch, chemisch oder in kombinierten Verfahren erfolgen. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wird Wiederverwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft aufgrund der bekannten und noch nicht bekannten Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit mehr und mehr eingeschränkt, obwohl Klärschlamm ein natürlicher und guter Dünger darstellt. Auch die Entsorgung auf Deponien wird deshalb in Zukunft wegen der fehlenden Nachhaltigkeit stark eingeschränkt. Folglich müssen alternative Wege für die Entsorgung in der Landwirtschaft und Deponien gefunden werden.

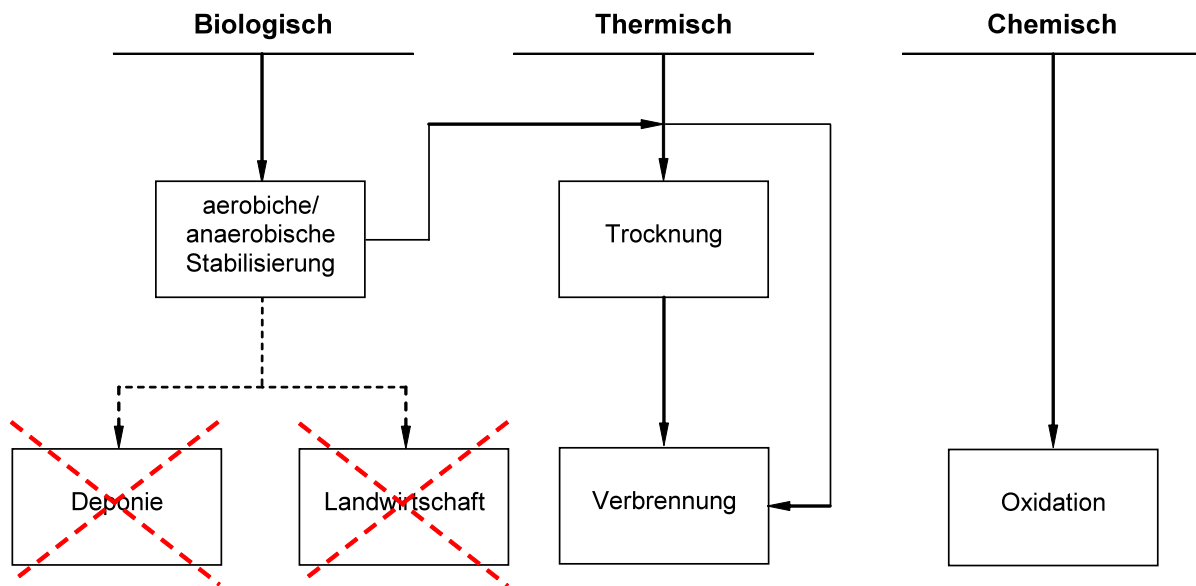


Abbildung 2 Wege der Klärschlammentsorgung

Die biologische Behandlung wird immer als eine Vorbehandlung eingesetzt werden. Typischerweise sind die eingesetzten Methoden aerobe Stabilisierung, Vergärung, Biogaserzeugung und mechanische Entwässerung. Das Resultat dieser Behandlungen ist relativ stabilisiertes organisches Material, das nun weiter behandelt werden muss, bis der organische Anteil vollständig mineralisiert ist und die restlichen Schadstoffe in eine stabile und kontrollierte Form gebracht wurden.

Die Mineralisierung von Klärschlamm kann auf zwei Arten erfolgen: thermisch oder chemisch.

Als chemischen Prozess verstehen wir die sogenannte Nassoxidations-Technik, bei welcher dem Schlamm unter hohem Druck und hoher Temperatur Sauerstoff zugeführt wird. Diese Bedingungen ermöglichen die Oxidation von organischen Komponenten. Aus diesem Prozess entstehen mineralisierter Schlamm und Oxidationsgase. Dieses interessante Verfahren hat jedoch noch keine ausreichende Zuverlässigkeit für die Anwendung im industriellen Massstab erreicht.

Thermische Verfahren werden seit langer Zeit angewendet und haben darum eine hohe Zuverlässigkeit erreicht. Es gibt verschiedene Verfahren, einzelne oder kombinierte, die im nächsten Kapitel im Detail beschrieben werden.

4. THERMISCHE BEHANDLUNGSMÖGLICHKEITEN

Grundsätzlich gibt es, wie in der Abbildung 3 dargestellt, vier alternative Wege für die thermische Behandlung von entwässertem Klärschlamm:

- Mono-Verbrennung in einzelnen Öfen
- Verbrennung in separaten Öfen in einer Müllverwertungsanlage, kombiniert mit einer gemeinsamen Rauchgasreinigung
- Mitverbrennung mit festen Abfällen in einer Müllverwertungsanlage oder einem Kohlekraftwerk
- Trocknung und Verbrennung in einem Zementwerk, einem Kohlekraftwerk oder einem der oben genannten Systeme

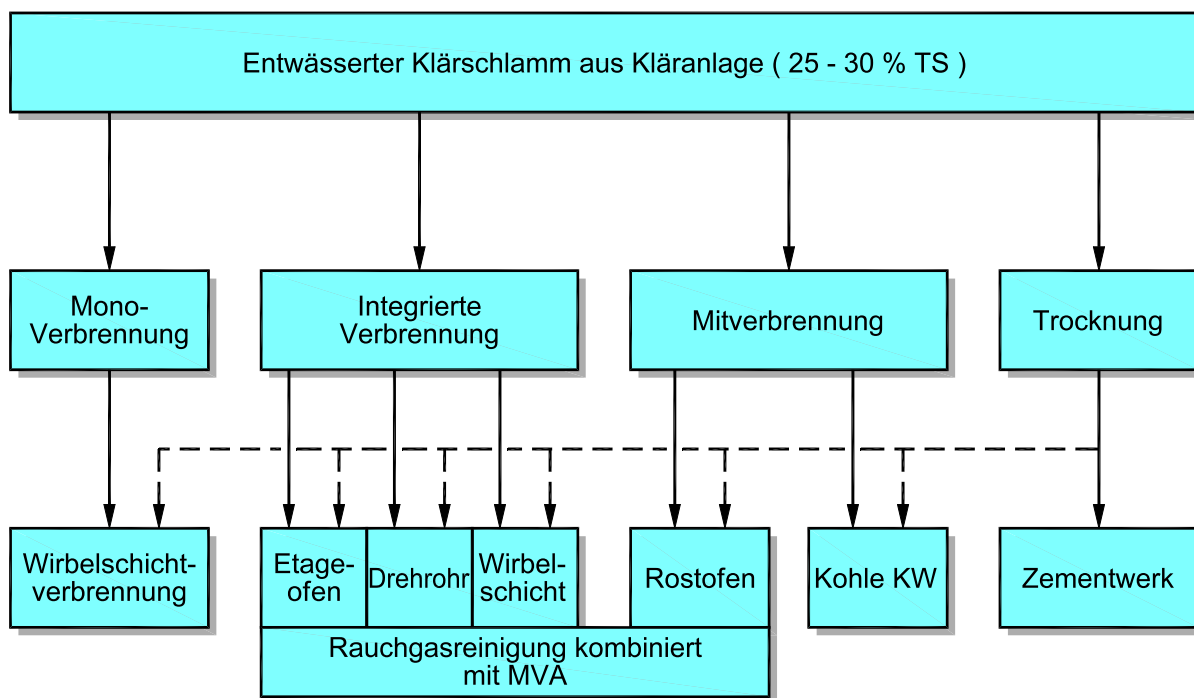


Abbildung 3 Thermische Behandlungsmöglichkeiten für Klärschlamm

4.1 Mono-Verbrennung

Bei der Mono-Verbrennung handelt es sich um Anlagen und Prozesse, die vollständig auf die Klärschlammverbrennung ausgerichtet sind. Die mit Abstand am häufigsten eingesetzte Technologie ist die Wirbelschichtfeuerung. Diese Anlagen sind mit einer Abgasreinigungsanlage ausgerüstet, um Schadstoffe aus den Abgasen zu entfernen und so die Emissionsgrenzwerte einzuhalten.

Es gibt einfache Anlagen mit Kapazitäten ab 5'000 t/a entwässertem Schlamm ohne Wärmerückgewinnung und ausgefeiltere, komplexere Anlagen für höhere Kapazitäten, die mit Vortrocknungseinheiten und

Energierückgewinnungseinrichtungen ausgerüstet sind. Ein Prinzipschema einer Wirbelschichtfeuerung ist in der Abbildung 5 dargestellt.

Es gibt einige andere Technologien, bei denen der Verbrennungsprozess nicht in einem einzigen Raum (der Brennkammer) abläuft, sondern in zwei Einzelschritten aufgetrennt wird: Zuerst erfolgt die Pyrolyse und anschließend die Verbrennung der Pyrolysegase. Erste kleinmasstäbliche Produkte werden inzwischen am Markt angeboten, diese verfügen aber in der Regel noch nicht über Langzeiterfahrungen.

4.2 Integrierte Verbrennung in einer Müllverwertungsanlage

In diesem Verfahren wird der Klärschlamm in einer Müllverwertungsanlage verbrannt. Die Verbrennung des Klärschlammes erfolgt in einer separaten und dedizierten Einheit, die Rauchgase werden jedoch der Abgasreinigung der Müllverwertungsanlage zugeführt und dort gemeinsam behandelt. Auf diese Weise gibt es interessante und profitable Synergien. Nachfolgend sind einige Beispiele von Verbrennungsanlagen aufgeführt, welche in eine Müllverwertungsanlage integriert sind.

4.2.1 Etagenofen

Diese Art von Ofen besteht aus mehreren festen Stufen und einem Rührwerk in der Mitte. Der Schlamm wird oben zugeführt und fällt von Stufe zu Stufe aufgrund der Bewegung durch das Rührwerk.

Während die Trocknung des Klärschlammes in der oberen Zone des Ofens erfolgt, geschehen Zündung und Verbrennung in den unteren Abschnitten. Eine zusätzliche Energiequelle ist erforderlich, um eine Temperatur von über 850 °C zu gewährleisten. Das Rauchgas aus der Klärschlammverbrennung wird dem Müll-Ofen für eine Nachverbrennung zugeführt und anschließend zusammen mit dem Rauchgas aus der Müllverbrennung in einer Rauchgasreinigungsanlage behandelt. Die externe Energie wird im Kessel teilweise rückgewonnen.

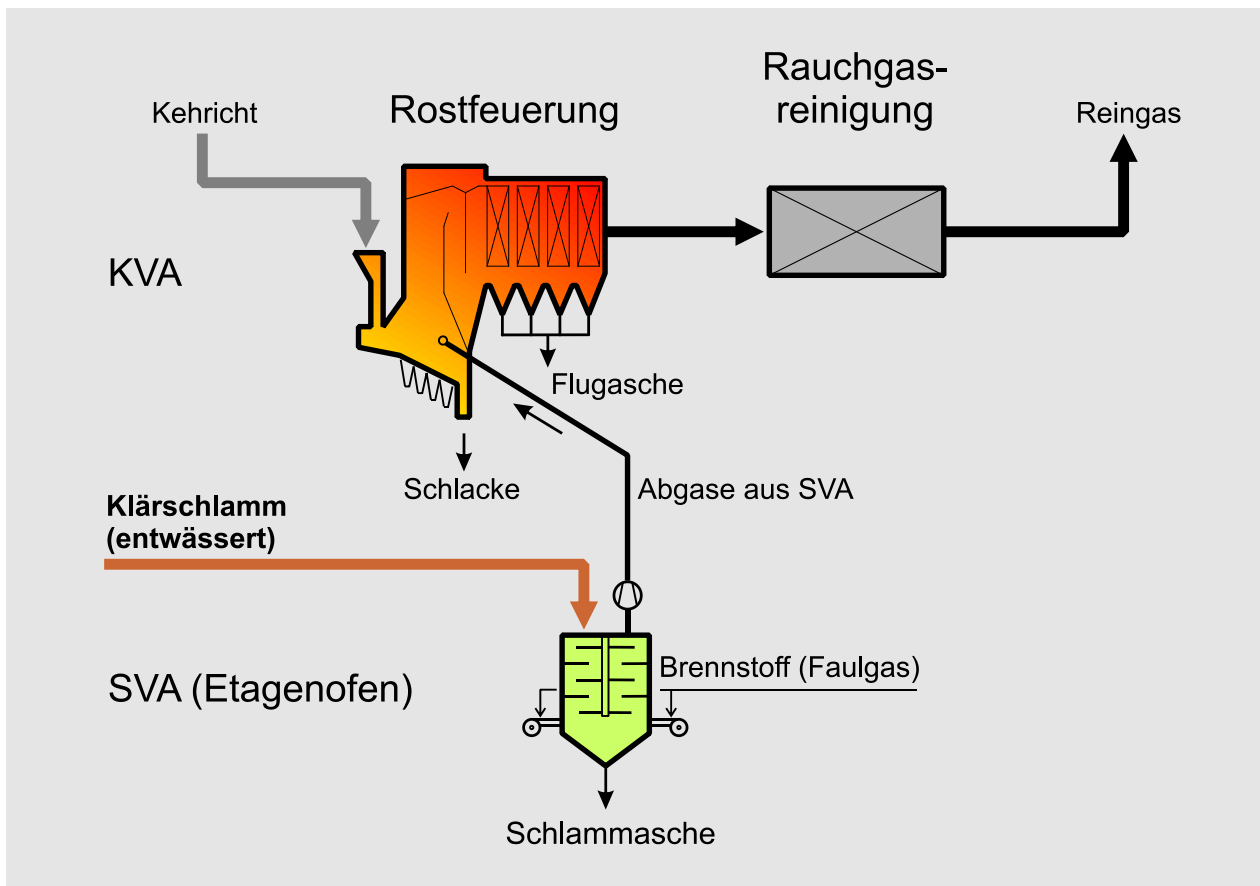


Abbildung 4 Integrierter Etagenofen

4.2.2 Drehrohrofen

Diese Lösung sieht die kombinierte Verbrennung von Klärschlamm und Müll in einem Drehrohrofen vor. Ein Teil des heissen Rauchgases aus der Brennkammer der Rostfeuerung wird in den Drehrohrofen geschickt, wo es im Gegenstrom zum Schlamm fliesst. Nach dem Passieren der Trocknungszone wird der Schlamm in den heissen Regionen des Drehrohrofens verbrannt.

Beim Durchlaufen der Trocknungszone des Ofens sinkt die Temperatur des Rauchgases auf etwa 300 °C ab. Das Gas wird schliesslich für die Nachverbrennung zurück in die Rostfeuerung geführt. Hier erfolgt eine vollständige Oxidation der organischen Rückstände bei ca. 900 °C.

Eine jährliche Schlammmenge von mindestens 5'000 t Trockensubstanz ist für eine effiziente Verbrennung in einem Drehrohrofen erforderlich. Ein zufriedenstellendes Ausbrennen des Schlammes bedarf zudem einer gleichbleibenden Schlammqualität.

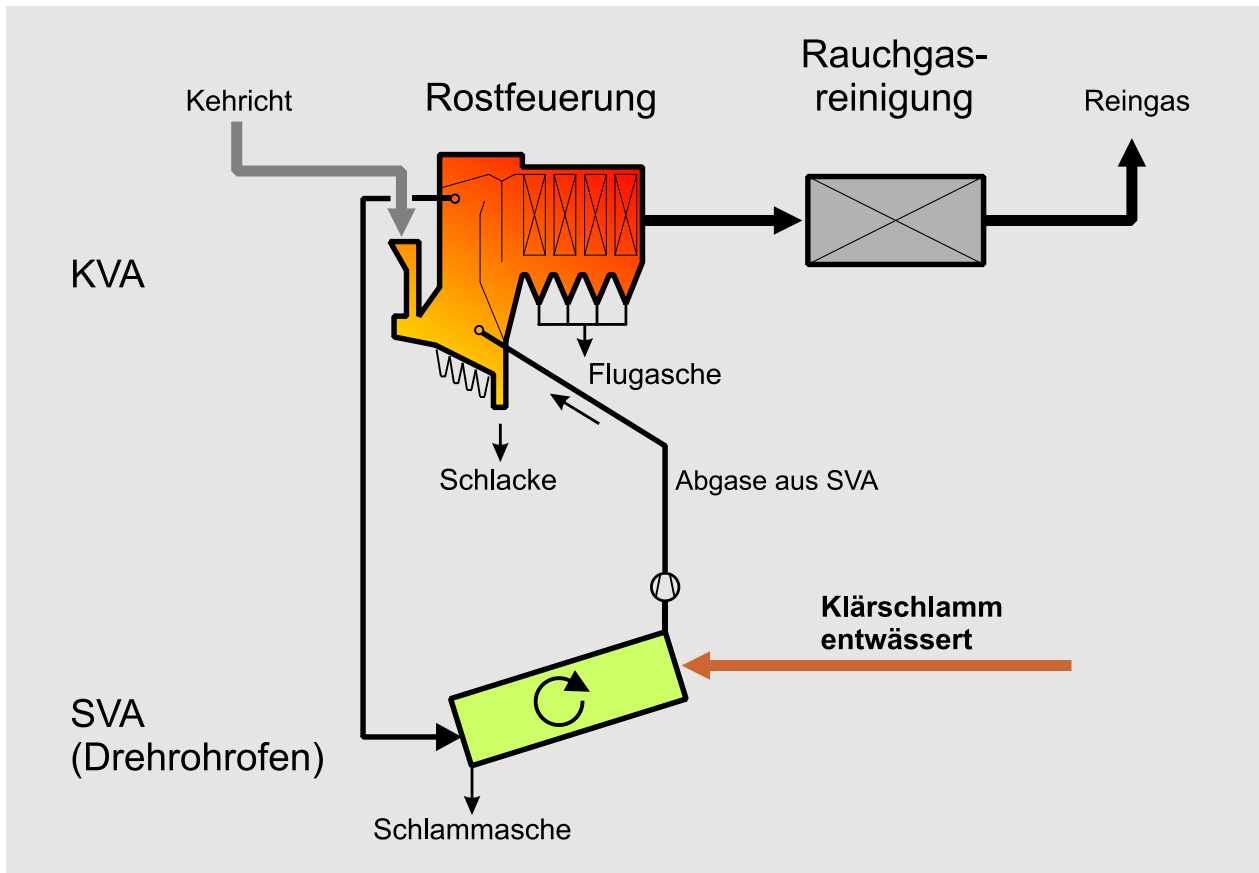


Abbildung 5 Integrierter Drehrohrföfen

4.2.3 Wirbelschichtföfen

Der Wirbelschichtföfen wurde in Kapitel 4.1 beschrieben. Die hier gezeigte Option sieht eine Integration eines Wirbelschichtföfens in eine Müllverwertungsanlage vor. Durch diese Kombination können interessante Synergien genutzt werden.

Die Anlage besteht aus Klärschlamm-einführungs- und Lagereinrichtungen, Wirbelschichtföfen, Kessel und Elektrofilter. Um eine auto-thermische Verbrennung bei einer Temperatur von ca. 850 °C zu gewährleisten, wird der entwässerte Schlamm bis zu 45 % Trockensubstanz mit Dampf aus dem Kessel vorgetrocknet. Zusätzlich wird das Sandbett durch vorgewärmte Verbrennungsluft mit Temperaturen bis 600 °C aufgewirbelt, indem die Eigenwärme des Abgases genutzt wird.

Die mineralische Komponente des Klärschlammes wird aus dem Rauchgas im Elektrofilter abgetrennt. Rauchgaswäsche und Reduktion von Stickoxiden werden in einer nahegelegenen Müllverwertungsanlage durchgeführt.

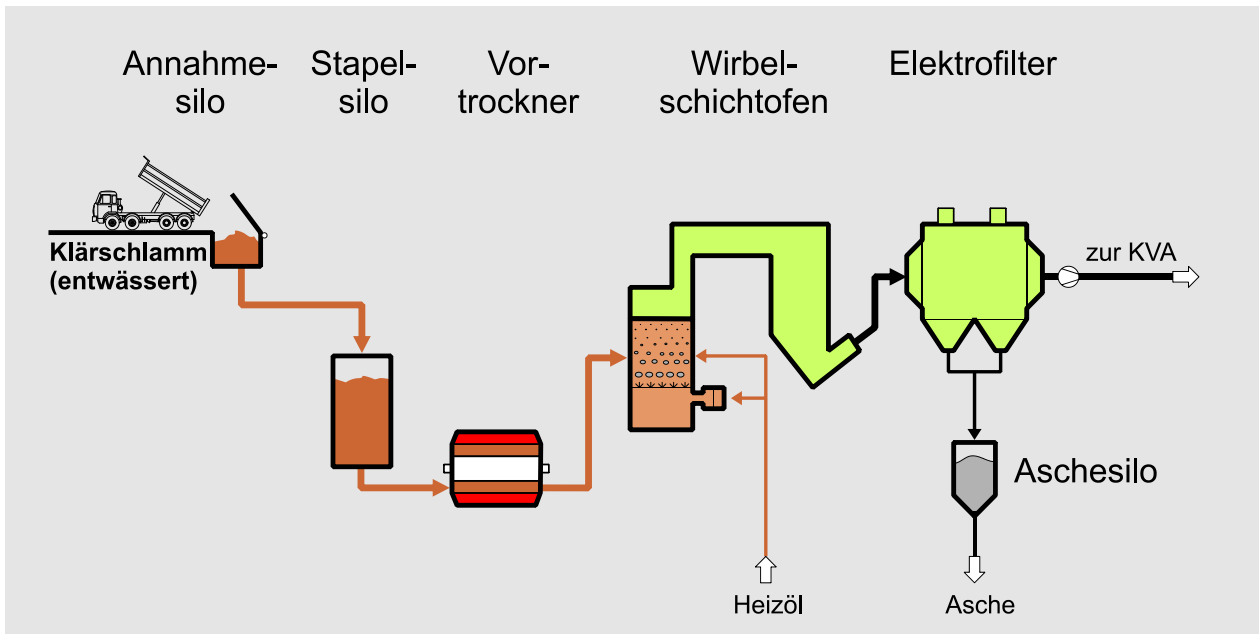


Abbildung 6 Integrierter Wirbelschichtofen

4.3 Mitverbrennung in einer Müllverwertungsanlage

In Mitverbrennungsanlagen wird entwässert oder getrockneter Schlamm zusammen mit festen Abfällen in einer Rostfeuerung verbrannt. Eine gute Durchmischung des Schlammes mit dem Abfall ist entscheidend für einen störungsfreien Betrieb.

Drei verschiedene Systeme werden für die Einführung des Schlammes in Müllverwertungsanlagen eingesetzt:

- Entladung in den Müllbunker, Mischung und anschließende Eingabe in den Einfülltrichter des Ofens mit einem Greiferkran-System
- Kontinuierliche Förderung von entwässertem Schlamm aus einem Silo in den Einfülltrichter
- Direkte Injektion von Schlamm auf den Rost

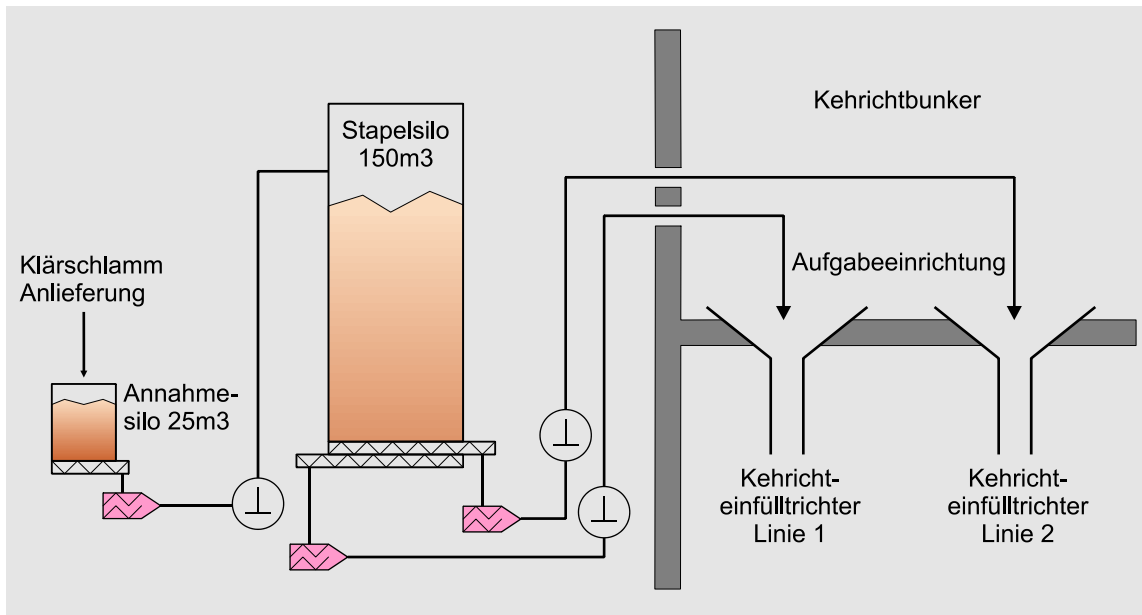


Abbildung 7 Mitverbrennung in einer Müllverwertungsanlage: kontinuierliche Förderung in den Einfülltrichter

Um die Bildung von Schlacke mit einem zu hohen organischen Anteil oder erhöhte Verschmutzung des Kessels zu verhindern, sollte die Zugabe des entwässerten Schlamms in der Regel nicht mehr als 15 % der Kapazität des Ofens ausmachen.

4.4 Trocknung

Das Trocknen von entwässertem Schlamm hat das Ziel, eine Feststoffkonzentration von mindestens 90 % zu erreichen, also einen Wassergehalt von unter 10 %. Unterschiedliche Arten von Trocknern werden eingesetzt und auf dem Markt angeboten:

- Bandtrockner
- Trommeltrockner
- Fließbettrockner

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt einen typischen Fließbettrockner.

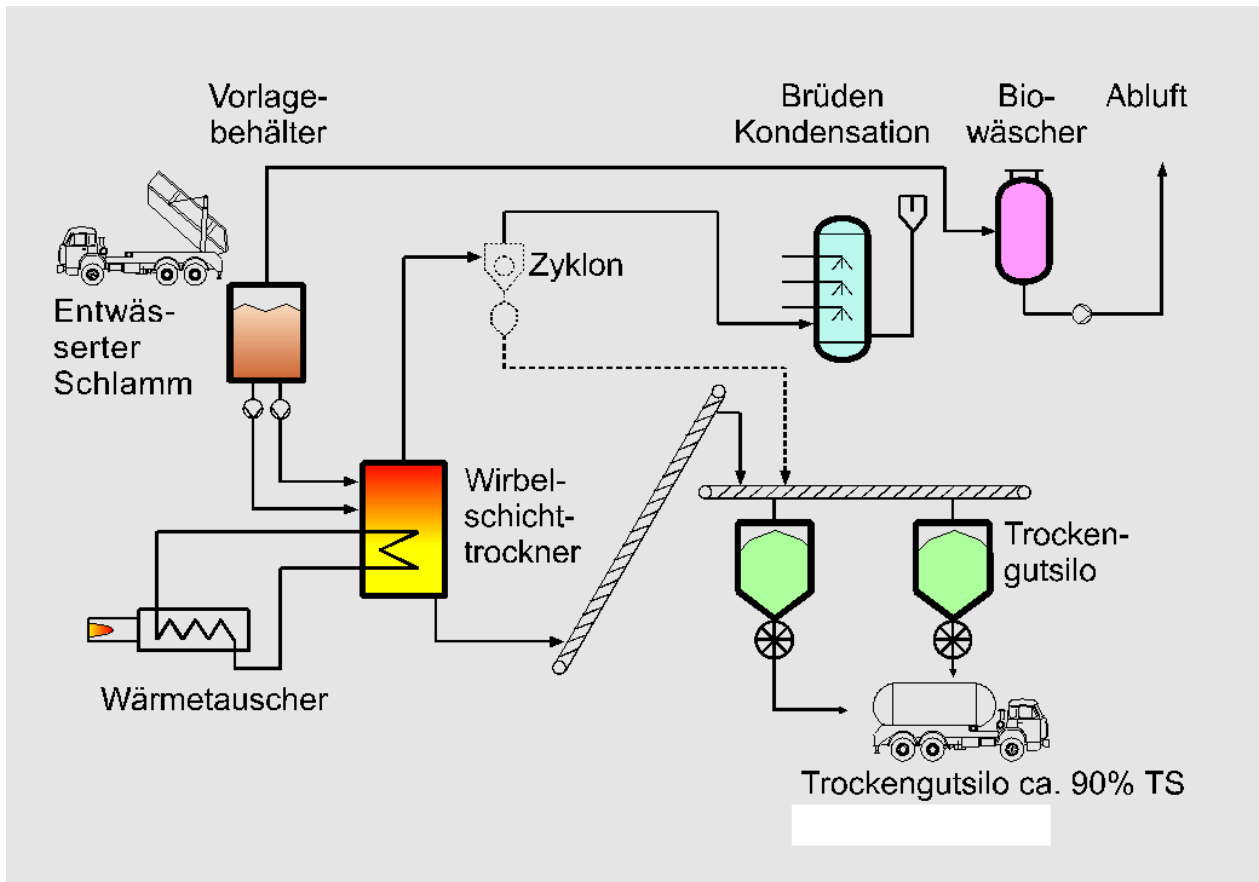


Abbildung 8 Fließbettrockner

Die notwendige Trocknungsenergie wird in der Regel aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Aufgrund des starken Anstiegs der Kosten von Brennstoffen ist diese Art der Trocknung teuer geworden.

Aktuelle Studien für Energie- und Kostenoptimierungen haben gezeigt, dass zwei Arten von Trockner in der nächsten Zukunft Vorteil erhalten:

- Kontakttrockner, welche durch Dampf erhitzt werden, der z. B. in einer Müllverwertungsanlage produziert wird.
- Niedertemperatur-Bandrockner, die z.B. mit einer Abwasser-Wärmepumpe betrieben werden.

Der getrocknete Schlamm hat noch nicht sein letztes Ziel erreicht. Wenn auch stabiler als entwässerter Schlamm, enthält der getrocknete Schlamm noch die ursprüngliche organische Substanz, welche mineralisiert werden muss.

Dank seinem relativ hohen Heizwert, der je nach organischem Anteil zwischen 7'000 und 14'000 kJ/kg liegt, ist getrockneter Klärschlamm ein guter Brennstoff, der in Zementwerken oder Kohlekraftwerken eingesetzt werden kann. Alternativ kann er auch in Mono-Verbrennungsanlagen oder integrierten Verbrennungsanlagen zugeführt werden, was eine gute Flexibilität gewährleistet.

5. PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

Phosphor ist eines der wesentlichen Elemente für das Pflanzenwachstum. Dessen verfügbare weltweite Bestände sind begrenzt und Prognosen zeigen, dass die Vorkommen in den nächsten Jahrzehnten dramatisch knapp werden. Da es ein grundlegendes chemisches Element ist, kann es nicht hergestellt oder durch eine Alternative ersetzt werden. Dies erklärt die steigende Aufmerksamkeit, welche dieses Thema erhält.

Klärschlamm enthält erhebliche Mengen an Phosphor, mit Konzentrationen von 3 bis 4 % in der Trockenmasse. Aus diesem Grund wurde Klärschlamm lange Zeit in der Landwirtschaft breit als Dünger eingesetzt. So erfolgte eine direkte Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft.

Heute wird diese direkte Rückgewinnung aufgrund der in diesem Artikel beschriebenen Probleme schrittweise eingeschränkt. Die Alternative ist, das Phosphor aus der Asche, welche bei der Klärschlammverbrennung entsteht, zurückzugewinnen, wo die Phosphor-Konzentrationen 5 bis 8 % erreichen können.

Erste chemische Prozesse zur Phosphorrückgewinnung aus Asche wurden bereits erfolgreich im kleinen Massstab eingesetzt und die Weiterentwicklung zu grossmassstäblichen Verfahren ist technisch machbar. Im Augenblick sind die Probleme wirtschaftlicher Natur, da die Kosten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm-Asche im Vergleich zum aktuellen Marktpreis noch zu hoch sind.

Allerdings kann sich diese Situation durch steigende Marktpreise aufgrund knapper werdender Vorkommen und dem damit einhergehenden Risiko einer unzureichenden weltweiten Nahrungsmittelproduktion rasch verändern. Dies ist der Grund, warum die Schweizer Regierung eine neue Verordnung erlassen wird, welche nur Klärschlammbehandlungs-Verfahren erlaubt, die eine Phosphorrückgewinnung garantieren.

Aus den oben beschriebenen thermischen Behandlungsmöglichkeiten werden also nur diejenigen Verfahren erlaubt, bei welchen die Klärschlammmasche separat gesammelt wird und so in Zukunft einer Phosphorrückgewinnungsanlage zugeführt werden kann. Diese sind:

- Mono-Verbrennungsanlagen
- Integrierte Verbrennung
- Trocknung und Verbrennung in Monoverbrennung oder integrierter Verbrennung

Bei allen anderen Verfahren wird die Klärschlammasche mit anderen Aschen (Kohle, Abfall) gemischt oder in Zement integriert. So fehlt eine realistische Möglichkeit der Phosphorrückgewinnung.

Die Regierung des Schweizerischen Kantons Zürich hat kürzlich beschlossen, eine neue Schlammbehandlungsanlage mit Monoverbrennung zu bauen und eine eigene Deponie für die Klärschlammasche zu schaffen. Diese Deponie dient der Zwischenlagerung, bis die Phosphorrückgewinnung aus der Asche wirtschaftlich machbar wird. Es ist in anderen Worten eine Investition in die Zukunft.

6. VERGLEICH DER BEHANDLUNGSMÖGLICHKEITEN

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die wichtigsten Merkmale der oben vorgestellten Behandlungsmöglichkeiten zusammengestellt:

Tabelle 1 Wesentliche Merkmale der Schlammbehandlungsmöglichkeiten

Behandlungsmöglichkeit	Gesamtkosten	P-Rückgewinnung	Bemerkungen
Monoverbrennung	mittel-hoch	ja	Vollständig autonome Lösung
Integrierte Verbrennung in einer Müllverwertungsanlage	mittel	ja	Müllverwertungsanlage muss vorhanden sein
Mitverbrennung in einer Müllverwertungsanlage	niedrig	nein	Müllverwertungsanlage muss vorhanden sein Nur begrenzte Schlammengen
Mitverbrennung in einem Kohlekraftwerk	niedrig	nein	Abhängigkeit von Kohlekraftwerk
Trocknung und Verbrennung in Zementöfen oder Kohlekraftwerk	mittel-hoch	nein	Abhängigkeit von Zementfabrik oder Kohlekraftwerk Interessant für lange Transportwege
Trocknung und Verbrennung in Monoverbrennung oder integrierter Verbrennung	mittel-hoch	ja	Interessant für lange Transportwege

Faktoren, die einen Einfluss auf die Kosten haben, sind zum Beispiel:

- Grösse der Anlage: Monoverbrennung z. B. ist erst ab Schlammengen von 30'000 t/a (25 % Trockensubstanz) wirtschaftlich interessant
- Bereits vorhandene Anlagen
- Eingesetzte Anlagekomponenten: Ofentyp, System der Rauchgasreinigung; auch abhängig von lokalen Umweltvorschriften

- Energiekosten: Art der eingesetzten externen Energie, Strompreis
- Entsorgungskosten für Rückstände
- Transportkosten des Schlammes: Entfernung zwischen der Abwasserreinigungsanlage und der Schlammbehandlungsanlage

Zementfabriken und Kraftwerke befinden sich meist in Privatbesitz, womit Möglichkeiten und Bedingungen für Schlammlieferungen an diesen Anlagen aufgrund nicht beeinflussbarer Faktoren ändern können. Müllverwertungsanlagen befinden sich im Gegensatz dazu oft in öffentlichem Besitz, die Abhängigkeit von ihnen ist also mit weniger Risiken verbunden.

Generell gibt es keine absolut beste Lösung für die Schlammbehandlung, aber es gibt optimale Lösungen für jede einzelne Situation je nach ihren spezifischen Rahmenbedingungen.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

In naher Zukunft wird sich in den europäischen Ländern die Sensibilität für durch Klärschlamm-Wiederverwertung in der Landwirtschaft verursachte Probleme wahrscheinlich erhöhen, womit alternative Entsorgungswege gefragt sind.

Alternative Lösungen für die Schlammbehandlung stehen zur Verfügung und sind auch aus fachlicher Perspektive einsetzbar. Bei der Auswahl der optimalen Lösung sind zu berücksichtigen:

- Die lokalen und regionalen Bedingungen
- Der Kapazitätsbedarf
- Bestehende Anlagen

Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm wird als zukünftiges sensibles Thema auch einen Einfluss auf die Auswahl der besten Lösung haben.

Da die Realisierung von notwendigen Einrichtungen ein langwieriger Prozess ist – nicht zuletzt aufgrund von Widerstand aus der Öffentlichkeit – sind Entscheidungsträger gefordert, bald mit der Definition der richtigen Strategie und dem Aufbau eines langfristigen Umsetzungsprogramms zu beginnen.