

Autarke Klärschlammverwertung an dezentralen Standorten mittels Drehrohrkessel

Vom Entsorgungsproblem mit P-Rückgewinnungsverpflichtung zum regionalen Wertstoff

Decentralized sewage sludge recycling with water-cooled rotary kiln burning dry sludge using the energy for drying
Powder-Ash used directly as fertilizer

Nils Moggert, Thimo Niers und Peter Erik Jörgensen

Zusammenfassung

Die einleitenden Worte der vergangenen Jahre von Herrn Prof. Dr.-Ing. Olaf Holm lauteten ‚Deutschland baut eine neue Infrastruktur für die Klärschlammverwertung [1]‘.

Auch im Jahr 2021 treffen diese Worte wieder zu, bloß wurde der Kuchen, insbesondere mit Blick auf die Großanlagen, weitestgehend verteilt. Die ersten Standorte sind mit der teilweise deutlich verzögerten Inbetriebnahme gestartet, andere befinden sich noch in der Planungs- bzw. Genehmigungsphase und wiederum andere stecken noch in der organisatorischen Findungsphase bzw. werden von äußeren Impulsen in Ihrem Vorhaben behindert oder gar davon abgehalten.

Bei den kleineren, dezentral organisierten Verwertungsstandorten für Klärschlamm zeigt sich hingegen ein anderes Bild. Hier gibt es zahlreiche kleinere und mittelgroße Kommunen oder Abwasserzweckverbände, die ihren eigenen und unabhängigen Weg in einer regionalen Lösung suchen.

Dass die autarken Lösungen am eigenen Standort oder in kleinen Zusammenschlüssen sowohl genehmigungsrechtlich konform als auch wirtschaftlich gegenüber den Großanlagen konkurrenzfähig sein müssen, sollte sich von selbst verstehen. Den Nachweis darüber liefern die Werkstätten heating-systems GmbH in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Abwasserberatung mbH mit ihrem Verwertungskonzept an Standorten wie beispielsweise der Ems-Vechte-Klärschlamm-Versorgung GmbH (Schüttorf/Niedersachsen), der Guldborgsund Forsyning (Frejlev, Dänemark) oder der Kommunalen Klärschlammverwertung Region Altenkirchen GmbH (Wallmenroth, Rheinland-Pfalz), die entweder bereits seit Jahren den Klärschlamm mit diesem Verfahren thermisch autark trocknen und im Drehrohrkessel verbrennen oder beabsichtigen dies in Kürze so umzusetzen.

Da die entstehenden Verbrennungssaschen den Anforderungen zur Pflanzenverfügbarkeit und zu maximal zulässigen

Schwermetall-Gehalten entsprechen, können mit den phosphorhaltigen Aschen regionale Kreisläufe geschlossen werden. Eine nachgeschaltete, aufwendige P-Rückgewinnung ist nicht erforderlich.

Abstract

In past years, the introduction by Prof. Dr.-Ing. Olaf Holm was ‚Germany is building a new infrastructure for recycling of sewage sludge [1]‘.

For 2021 the main message is relevant again, however, in the market for sewage sludge treatment a significant proportion is already taken by large-scale plants.

The initial installations are experiencing long delays in commissioning, and some projects are still in planning or approval phase. In other cases, they are still organizing or are being hindered or even blocked by external resentment.

In the case of smaller, decentralized recycling sites for sewage sludge, a different picture emerges. There are numerous small and medium-sized municipalities or wastewater associations that are looking for their own and independent way to realize a regional solution by recycling fertilizer locally.

Obviously local solutions or small regional mergers must both comply with law regulation and be economically competitive compared to large-scale plants.

Proof of this is provided by Werkstätten heating-systems GmbH at locations such as Ems-Vechte-Klärschlamm-Versorgung GmbH (Schüttorf, Lower Saxony, Germany), Guldborgsund Forsyning (Frejlev, Denmark) or Kommunalen Klärschlammverwertung Region Altenkirchen GmbH (Wallmenroth, Rhineland, Germany).

For years our partners have been or soon intend to be drying sewage sludge using thermal energy provided from rotary kiln's burning the dried sludge.

Nils Moggert
Werkstätten heating-systems GmbH
Geschäftsführender
Gesellschafter

Thimo Niers
Gesellschaft für
Abwasser mbH
Geschäftsführender
Gesellschafter

Peter Erik Jörgensen
Multifuel Aps
Geschäftsführender
Gesellschafter

Werkstätten rotary kiln's fulfil regulatory criteria for plant availability of P and heavy metal removal and makes it possible to use P-containing powder ashes directly. Therefore, a complex downstream P-recovery is not required.

1. Dezentrale, thermische Klärschlammverwertungsanlagen mit Drehrohrkessel

Das dezentrale Klärschlammverwertungskonzept ist ideal geeignet für kleinere und mittelgroße Kommunen oder Abwasserzweckverbände.

Dabei wird mechanisch entwässerter Klärschlamm entweder direkt hinter der eigenen Entwässerung abgenommen oder mechanisch entwässerter Klärschlamm von anderen Standorten angenommen.

Für die Annahme dient ein ausreichend großer Vorlagebehälter mit hydraulischem Deckel, einem Störstoffabscheider und einer robusten Austragstechnik.

Von der Vorlage wird der Klärschlamm bedarfsgerecht zur Trocknung gepumpt oder via Schnecken-technik gefördert. Mittels kontinuierlicher Betriebsdatenüberwachung und -Regelung des hocheffizienten Trockners wird ein homogener TS-Gehalt > 85 bzw. 90 % im getrockneten Klärschlamm gewährleistet. Die Trocknerabluft wird entstaubt, über einen Abluftwäscher gereinigt und durch einen Biofilter an die Atmosphäre abgegeben. Bei der Abluftwäsche fallen je nach Auslegung des Wäschers nur geringe Abwassermengen an.

Der getrocknete Klärschlamm wird über einen entkoppelten Vorlagebehälter der Mono-Klärschlamm-Verbrennung zugeführt und dort in einem wassergekühlten Drehrohrkessel umgesetzt, sodass die ausgebrannten und Schwermetall angereicherten Verbrennungsrückstände nicht verschlackt sind und der aufkonzentrierte Phosphoranteil pflanzenverfügbar bleibt. Prozentual liegt der Anteil Verbrennungsrückstände im Vergleich zum entwässerten Klärschlamm bei ca. 10 Prozent.

Die Rauchgase werden mittels SNCR und Grobpartikelabscheidung gereinigt, bevor sie in die Rauchgasreinigungsanlage (Trockensorption) gelangen. Das Reingas verlässt den Prozess über einen Kamin.

1.1 Anlagenkonzepte und -Größen

Der Fokus liegt bei diesen Konzepten unabhängig von der Klärschlammmenge auf der ganzheitlichen Lösung und der Schaffung von Kreisläufen.

Energetisch

So sollen die Klärschlamm möglichst ohne großen Transportaufwand lokal verwertet werden. Die für die Trocknung des mechanisch entwässerten Materials benötigte thermische Energie wird über den Heizwert des Klärschlamm ins System eingebracht. Brennstoff- oder prozessbedingte Schwankungen werden bei üblichen kommunalen Klärschlämmen weitestgehend über systemtechnische Entkopplungen und Puffer abgefangen.

Besonders heizwertarme Schlämme, wie beispielsweise Mengen aus Vererdungsbecken, oder schlecht entwässerte Schlämme sind ebenfalls für die Verwer-

tung geeignet. Das entstehende Energiedefizit wird durch die Zugabe von heizwertreichen, getrockneten Klärschlämmen oder die Zugabe von naturbelassenem Holz in die Verbrennung kompensiert.

Besonders heizwertreiche oder überdurchschnittlich gut entwässerte Schlämme sorgen für einen Energieüberschuss. Dieser thermische Überschuss steht dem Betreiber in Form von Warmwasser (100 °C) zur weiteren Nutzung zur Verfügung.

Aufgrund des geringen elektrischen Gesamtenergiebedarfs der Anlagenkonfiguration kann dieser zu großen Teilen über eine Photovoltaik-Anlage auf der Verbrennungshalle gedeckt werden.

Modular und kompakt

Das Anlagenkonzept ist je nach erforderlicher Größenordnung bzw. anfallender Klärschlammmenge modular aufgebaut und somit erweiterbar. Die Zusammenstellung der Linien erfolgt entsprechend den Vorgaben des Betreibers und ist Basis des anschließenden Genehmigungsverfahrens.

Insbesondere im kleinen Leistungsbereich bis 2,0 MW wird die Gesamtanlage mittels mehrerer Linien à 500 kW umgesetzt. Oberhalb dessen kommt der 2,5 MW Drehrohrkessel zum Einsatz. Die Vorteile des Liniengedankens liegen vor allem in der Redundanz/Verfügbarkeit, der Flexibilität, der Nutzung eines Serienproduktes sowie dessen Zusammenspiel mit bewährten vor- und nachgelagerten Betriebseinheiten.



Abbildung 1
Modulare Aufstellung mit 4 Drehrohrkesseln à 500 kW
©Werkstätten GmbH

In Bezug auf die umsetzbaren Klärschlamm-mengen sieht das bei gängigen Projektgrößen wie folgt aus: (s. Abbildung 2)

Dabei beziehen sich die „Linien“ im Wesentlichen auf die Verbrennung und dessen jeweils eigenständige Rauchgasreinigung. Hingegen werden insbesondere die Annahmesysteme für den mechanisch entwässerten Klärschlamm, die Trockenschlamm-lagerung und -Beschickung, die Additivlagerung, die Entschlammungssysteme, die hydraulische Einbindung sowie die kontinuierliche Emissionsmesstechnik und Kaminanlage zentralisiert, um Synergieeffekte zu nutzen.

Die Trocknung kann ebenfalls in mehreren Linien aufgebaut werden, wobei die getrockneten Mengen anschließend in Vorlagesystemen zusammengeführt

und somit die Schnittstellen zur Verbrennung entkoppelt werden.

Der Platzbedarf ist aufgrund der kompakten Bauweise bei allen Baugrößen sehr gering. Für die reine Anlagentechnik einer 6.000 t OS/a genügen 400 m² (200 m² Verbrennungshalle, 200 m² Außenaufstellung). Sowohl die Anlage für 18.250 t OS/a mit 3 Linien als auch die Anlage für 30.000 t OS/a lassen sich auf einer reinen Aufstellfläche von 1.000 m² platzieren.

Umfahrungen bzw. Rangierflächen erfordern in etwa den gleichen Platzbedarf, sodass die kleine Anlage am Standort rund 800 m² und die größeren rund 2.000 m² in Anspruch nehmen.

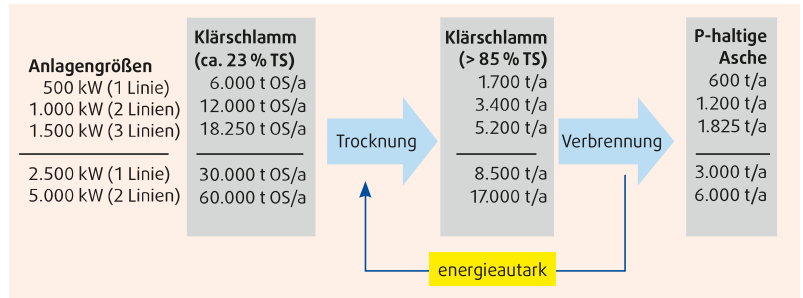


Abbildung 2
Übliche Anlagengrößen mit Drehrohrkessel

Bei den oben genannten maximalen Durchsatzkapazitäten der Anlagen (bis 18.250 t OS/a) handelt es sich somit um genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne der 4. BImSchV. Es ist ein immissionsschutzrechtlicher Antrag gemäß § 4 in Verbindung mit § 16 BImSchG in einem vereinfachten Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung zu beantragen („V“ in Spalte c des Anhangs 1 zur 4. BImSchV).

Bei den in der Abbildung 2 dargestellten Anlagengrößen zur Trocknung und Verbrennung von 30.000 t OS/a und 60.000 t OS/a ist diese Möglichkeit der Vereinfachung aufgrund der Tagesdurchsatzleistung des Trockners nicht gegeben. Hier erfolgt das Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung.



Abbildung 3
Drohnenaufnahme eines Klärschlamm-Trocknungs- und -Verbrennungsstandortes zur Veranschaulichung des geringen Platzbedarfes ©Werkstätten GmbH

Vereinfachte genehmigungsrechtliche Einstufung in Abhängigkeit der Anlagengröße

Bei der genehmigungsrechtlichen Einstufung der oben aufgeführten, gängigen Anlagengrößen ergeben sich in Abhängigkeit der beabsichtigten zu verarbeitenden Klärschlamm mengen unterschiedliche Vorgehensweisen.

Für die Anlagengrößen 6.000 t OS/a, 12.000 t OS/a und 18.250 t OS/a gelten diverse Vereinfachungen, sodass das Genehmigungsverfahren ohne die klassische Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgt.

Gemäß der 4. BImSchV werden die Anlagen bei kommunalen Klärschlämmen (Abfallschlüsselnummer 190805; nicht gefährlicher Abfall im Sinne der Verordnung über den Europäischen Abfallkatalog) wie folgt eingestuft:

- ◆ 8.1.1.4 (V): Anlagen zur Beseitigung oder Verwertung fester, flüssiger oder in Behältern gefasster gasförmiger Abfälle, Deponiegas oder anderer gasförmiger Stoffe mit brennbaren Bestandteilen durch thermische Verfahren, insbesondere ... Verbrennung oder eine Kombination dieser Verfahren mit einer Durchsatzkapazität von weniger als 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen je Stunde, ... (Hauptanlage)
- ◆ 8.10.2.2 (V): Anlage zur physikalisch-chemischen Behandlung, insbesondere zum Destillieren, Trocknen, oder Verdampfen, mit einer Durchsatzkapazität an Einsatzstoffen bei nicht gefährlichen Abfällen von 10 Tonnen bis weniger als 50 Tonnen je Tag (Nebenanlage),

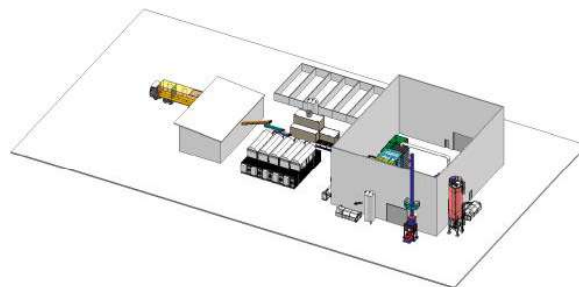


Abbildung 4
Trocknung und Verbrennung für 30.000 t OS/a, für die eine Genehmigung mit Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgt; 5 x 500 kW Paddeltrocknung und eine Linie 2,5 MW Drehrohrkessel inkl. Rauchgasreinigung

Darüber hinaus ist es auch möglich Standorte mit ungleichen Trocknungs- und Verbrennungsleistungen im vereinfachten Verfahren genehmigen zu lassen.

Dies ist der Fall bei Anlagenkonfigurationen mit einer Trocknungsleistung von bis zu 18.250 t OS/a und einer weitaus höheren als für die Trocknung notwendige Verbrennungsleistung (Durchsatzkapazität von weniger als 3 Tonnen nicht gefährlichen Abfällen je Stunde entspricht je nach Heizwert 7–8,5 MW).

In der Genehmigung sind Brennstoff- und Energiedifferenzen zwischen der Trocknung und der Verbrennung zu erläutern. Das Nutzungskonzept muss bilanziell aufgehen und im Genehmigungsantrag beschrieben werden.

1.2 Anlagentechnische Kernkomponenten – Trocknung mit Abluftbehandlung und Verbrennung im Drehrohrkessel mit Rauchgasbehandlung

Die technische Ausführung von vor- und nachgelagerten Komponenten, wie bspw. Annahme- und Lagerbunker des Nassschlammes oder das Entaschungssystem der phosphathaltigen Verbrennungsaschen, können

Durchsatzkapazität Trocknung	18.250	t OS/a	
Leistungsbedarf Trocknung	1.500	kW	
Getrocknete Menge 85% TS	5.200	t/a	
Verbrennungsleistung (NWL)	8.500	kW	
Erforderliche getrocknete Menge 85% TS	26.250	t/a	
Brennstoff Defizit	21.200	t/a	⇒ Trockenschlammannahme
Energieüberschuss	7.000	kW	⇒ Energieauskopplung

Tabelle 1
Übersicht der jährlichen Energie- und Massenströme inklusive Deckung des Massenstroms mittels Fremd-Trockenschlammannahme und Verwendung des Energieüberschusses durch Auskopplung am Beispiel der größtmöglichen Anlagenkonfiguration mit vereinfachtem Genehmigungsverfahren; Trocknung von 18.250 t OS/a (entspricht 1,5 MW) und Verbrennungsleistung von 8,5 MW.

projekt- und standortspezifisch sehr unterschiedlich sein und ausgeführt werden. So hängen Auslegungsgrößen/Fassungsvolumen von dem Transportmanagement sowie den Verfügbarkeiten ab und technische Ausführungen wie Schneckentechnik versus Pumpentechnik oder pneumatischer Förderung basieren oftmals auf Vorgaben und Vorlieben des Auftraggebers.

Bei der Klärschlamm-trocknung und -Verbrennung wird bei diesem Verfahren bisher nur in wenigen Fällen von den Kernkomponenten abgewichen; insbesondere nicht bei den Anlagengrößen bis 18.250 t OS/a.

Klärschlamm-trocknung mittels Paddeltrockner/n

Der Klärschlamm wird dem Trockner in stichfester Konsistenz mit einem TS-Gehalt von 18–35% zuge-

führt. Die Füllmenge im Trockner wird mit der integrierten Waage unterhalb der Trocknungswanne und einem Füllstandssensor überwacht. In der Trocknungswanne arbeiten zwei horizontale Rührwerke, die sich langsam gegenläufig drehen und das Trockengut permanent durchmischen. Mit dem Zuluftventilator wird Frischluft angesaugt, die dann durch den Wärmetauscher gedrückt wird. Der Wärmetauscher wird mit heißem Kühl-Wasser der Klärschlammverbrennung versorgt. Die über den Wärmetauscher erhitze Luft wird durch den Luftkanal und durch den Schlitzboden in das Trockengut eingeblasen. Dieser Schlitzboden, im unteren Bereich der Trocknungswanne, ist mit einer automatischen Reinigung ausgestattet. Der Schlitzboden gewährleistet ein widerstandsarmes Eintreten der Trocknungsluft in das Trockengut. Da das Trockengut permanent durchmengt wird, kann die Trocknungsluft leicht durch das Material strömen und gleichzeitig wird eine große Oberfläche geschaffen, die eine effektive Übergabe der Feuchtigkeit auf die Trocknungsluft gewährleistet. Die maximale Füllung in der Trocknungswanne wird erreicht, wenn der Füllstand bis an die Rührwerkswellen reicht. Wenn dieser maximale Füllstand erreicht ist und das Input-Material den eingestellten Trockengehalt erreicht hat, wird eine definierbare Füllmenge aus dem Trockner ausgetragen. Es verbleibt eine Grundfüllmenge in der Trocknungswanne. Auf diese schon getrocknete Grundfüllmenge wird das frische, noch zu trocknende Material schrittweise in kleinen Portionen aufgegeben. So wächst die Füllmenge wieder bis zur maximalen Füllung an. Durch stetiges Mischen und die Zugabe von kleinen Mengen frischem Klärschlamm, entsteht eine homogene Masse, die nicht verkleben kann. Das Trocknungsverfahren ist somit kontinuierlich, der Materialaustrag hingegen schubweise.

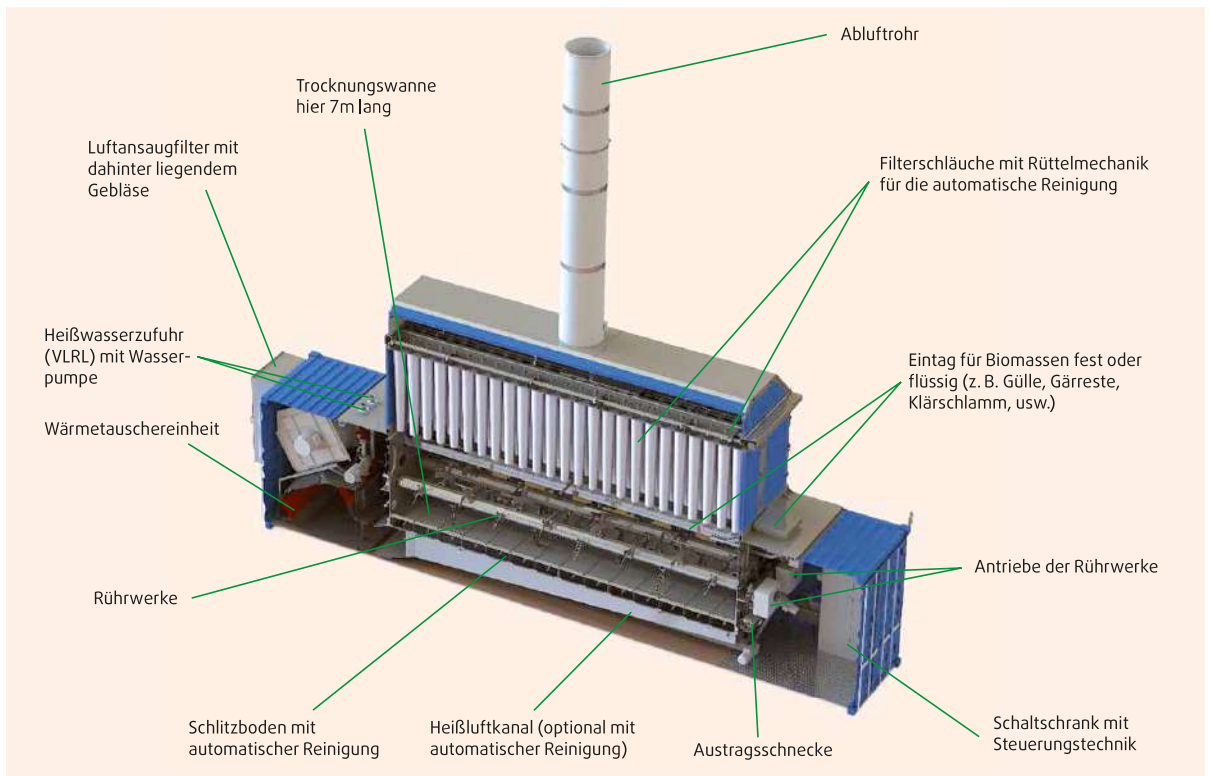


Abbildung 5
Schematische Darstellung des Paddeltrockners zur dezentralen Trocknung von Klärschlamm und landwirtschaftlichen Nebenprodukten (RHS Maschinen- u. Anlagenbau GmbH)

Austrag des getrockneten Materials:

Das getrocknete Material wird aus der Trocknungswanne ausgetragen, wenn ein Mindestfüllstand vorliegt und der vorgegebene Trocknungsgrad erreicht sind. Der Trocknungsgrad wird mit einem Feuchtesensor ermittelt. Die Füllstände werden mittels der integrierten Waage in Verbindung mit den Füllstandsensoren überwacht.

Die Rührwerke durchmengen das Material nicht nur permanent, sondern sorgen mit den sichelförmigen Förderelementen auch für eine horizontale Zirkulation des Trockenguts in der Trocknungswanne. So wird die Füllhöhe in der gesamten Wanne auf einem Niveau gehalten, sodass eine stirnseitig angebrachte Austragsschnecke ausreicht, um die gesamte Trocknungswanne zu leeren. Bei dem automatisierten Austragsvorgang während des Normalbetriebs, läuft die Austragsschnecke so lange, bis der Mindestfüllstand erreicht wird. Das Trockengut wird mit Hilfe von Schnecken in einen Vorlagebunker für die Verbrennung ausgeworfen.

Steuerungstechnik:

Der unbemannte Betrieb der Anlage erfordert eine umfangreiche und innovative Steuerung des Trocknungsverfahrens. Sämtliche Prozessdaten werden kontinuierlich erfasst, mitgeschrieben und bei Überschreitung von Grenzwerten an den Betreiber kommuniziert. Die Steuerung stellt die effiziente Trocknung mit hohen Wasserverdampfungsleistungen sicher.

Abluftbehandlung mit Staubfiltertechnik:

Durch eine, auf der Trocknungswanne montierte Staubfilteranlage wird die Abluft kontinuierlich gereinigt. Der Staub und die an ihn gebundenen Gerüche legen sich auf die Filterschläuche und bilden dort einen sogenannten Filterkuchen. Dieser Filterkuchen wächst während des Trocknungsprozesses und erhöht den Luftwiderstand, sodass der Gegendruck innerhalb der Trocknungswanne ansteigt. Erreicht nun dieser Gegendruck einen festgelegten Schwellenwert wird die automatische Filterreinigung ausgelöst. Dafür wird das Gebläse in seiner Leistung kurzzeitig heruntergeregelt und die Filterschläuche werden durch einen Exzenter abgerüttelt. Der Filterkuchen fällt zurück in die Trocknungswanne und wird hier in das noch feuchte Trockengut eingemischt. Die durch die Filterschläuche gereinigte und mit Wasser beladene Abluft wird über die Abluftkammer und durch das Abluftrohr, an die Abluftbehandlung übergeben.

Chemischer Abluftwäscher:

Der Luftwäscher wird der Klärschlamm-trocknung nachgeschaltet. Durch die dem Trockner vorgeschalteten Ventilatoren wird eine Abluft erzeugt und durch den Trockner sowie den Luftwäscher befördert. Diese Luft enthält unter anderem Ammoniak, je nach Klärschlamm-beschaffenheit und Trocknerleistung, welches durch den Luftwäscher herausgefiltert wird. Die Grenzwerte zu den maximalen Geruchseinheiten nach TA Luft (< 500 GE) werden in Kombination mit dem nachgeschalteten Biofilter eingehalten.



Abbildung 6
Trockner, Abluftwäscher und Biofilter im Zusammenspiel am Standort einer dezentralen Klärschlamm-trocknung und -verbrennung
©Werkstätten GmbH

Der Abluftwäscher arbeitet als sogenannter Integral-Luftwäscher mit senkrechter Schichtung. Die Abluft wird vom Trockner in den Luftwäscher gedrückt und strömt durch die Füllkörper. Von oben und unten wird pH-Wert abgesenktes Waschwasser auf die Füllkörper gesprüht, welches sich in der Waschwasserwanne sammelt und über eine Pumpe wieder auf die Füllkörper aufgebracht wird. Dabei handelt es sich um einen geschlossenen Kreislauf, dem regelmäßig Frischwasser zugeführt wird, welches die Verluste der Verdunstung und des Schlammabzuges ausgleicht.

Damit das Ammoniak gebunden werden kann, muss dem Waschwasser Schwefelsäure zugeführt werden. Die Säuredosierung wird mittels pH-Wert-Sensor und Dosierpumpe geregelt. Der pH-Wert ist einstellbar und liegt i. d. R. bei 2–4. Durch die Bindung von Ammoniak mit Schwefelsäure entsteht das neutrale Ammoniumsulfat, wodurch der pH-Wert kontinuierlich erhöht wird. Die Ammoniumsulfat-Konzentration wird mittels einer Leitwertmesssonde überwacht und ein Teil des Waschwassers bei Überschreitung des Sollwertes (bspw. Konzentration 3–5%) abgepumpt.

Der dem System nachgeschaltete Tropfenabscheider verhindert, dass hohe Anteile an Aerosolen den Wäscher verlassen und damit im Wasser gelöste Schadstoffe, Säure oder Salze in die Umwelt gelangen.

Durch die Konstruktion des Luftwäschers, die Materialauswahl der Bauteile und die große Oberfläche resultiert eine hohe Benetzungsfähigkeit, bei geringem Druckverlust und einer minimalen Verschmutzungsanfälligkeit. Die exakte Wasserverteilung wird durch Vollkegel-Sprühdüsen gewährleistet.

Dadurch wird eine 100%ige Sättigung der Luft mit Wasser erreicht und das System arbeitet selbstreinigend. Die den aggressiven Medien ausgesetzten Bauteile des Luftwäschers sind aus korrosionsbeständigen Materialien, wie PVC, PP und VA-Stahl gefertigt.

Die Abluftwäsche ist ebenfalls ein modulares Seriensystem und wird als Plug-and-Play Lösung, inkl. Technikraum und Raum für den Schwefelsäure-IBC auf die Baustelle geliefert. Die Installation und Inbetriebnahme sind zeitlich überschaubar.

**Klärschlammverbrennung im Drehrohrkessel
Trockengutvorlagebunker:**

Die Trockengutvorlage besteht aus einem oder mehreren geschlossenen Containern. Dieser ist mit einer im Boden verbauten, mittig liegenden Förderschnecke ausgerüstet. Die Wände sind jeweils zur Außenkante des Schneckensumpfes abgeschrägt. Das Volumen des Containers wird gezielt verringert und eine optimale Entleerung der Vorlage kann gewährleistet werden.

Zusätzlich ist die Vorlage mit einer Sicherheitsentleerung und -Technik ausgestattet; bspw., wenn die Grenztemperatur überschritten wird. Um Selbstzündung durch Feuchtigkeitsnester vorzubeugen, wird das Material durch die Trocknung auf einen lagerstabilen TS-Gehalt > 85 % TS getrocknet. Zudem ist eine Absaugung im Bunker installiert, die eine Kondensation verhindert.



Abbildung 7
Klärschlammverbrennungslinie 500 kW mit vorgeschaltetem Trockenschlamm-bunker zur Entkopplung von Trocknung und Verbrennung
©Werkstätten GmbH

Drehrohrkessel:

Die Verbrennung im Drehrohrkessel erfolgt nach dem Gleichstromprinzip (Verbrennungsluft und Brennstoff) in einem horizontal geneigten, ausgemauerten und wassergekühlten Rohr. Bedingt durch die Neigung, die Drehzahl und die Kühlung lassen sich die für die optimale Verbrennung in den unterschiedlichen Laststufen notwendigen Verweilzeiten flexibel regeln. Das Zusammenspiel ist automatisiert und wird mit Blick auf die optimale Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit der Verbrennungaschen reguliert.

Die Brennstoffbeschickung erfolgt kontinuierlich über einen Stoker/eine Eintragsschnecke, sodass entsprechend auf die jeweils anstehende Laststufe reagiert wird. Die Verbrennung erstreckt sich mit einem turbulenten Flammenwirbel über die gesamte Länge des Rohrs. Sämtliche Kesselkomponenten, die einem Verschleiß und/oder hohen thermischen Belastungen ausgesetzt werden, sind mit verschleißarmen und wärmespeichernden Feuerfestmaterialien ausgekleidet. Zum Schutz gegen punktuelle Überhitzung und zur Regelung der Brennraumtemperaturen wird das Drehrohr zusätzlich über einen wassergeführten Kühlmantel gekühlt. Mit der Kühlung und der permanenten Wendung des Materials wird eine der wichtigsten Betriebsanforderungen erfüllt: Vermeidung von Schlackebildung.

Schlackebildung wäre negativ für die Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit der Aschen, würde einen erhöh-

ten Reinigungsaufwand erfordern und die Betriebsstabilität durch schwankende Betriebsbedingungen gefährden.

Die im Drehrohr entstehenden Verbrennungsgase werden bei Temperaturen oberhalb von 850°C und Verweilzeiten von mehr als 2 Sekunden gestuft und vollständig ausgebrannt, bevor diese in den Wärmetauscher geführt werden. Die Reinigung des Wärmetauschers erfolgt automatisiert.

Die Emissionswerte für Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxide, Schwefeloxide und Staub unterschreiten bei konventionellen Klärschlämmen die Anforderungen der 17. BImSchV deutlich. Extrem niedrige CO-Gehalte im Rauchgas verhindern Anbackungen im Wärmetauscher.

Um die in der 17. BImSchV geforderte Verweilzeit von 2 Sekunden bei mehr als 850°C auch in An- und Abfahrprozessen sicherstellen zu können, wird eine vollautomatisierte und temperaturüberwachte Stützfeuerung mit Erd-, Flüssig- oder Biogas installiert. Diese arbeitet ebenfalls in kleinen Teillastbereichen oder Phasen minderwertiger Brennstoffqualität unterstützend und gewährleistet die Erfüllung der Anforderungen aus der 17. BImSchV. Die Regelung der Stützfeuerung ist eine Permanentüberwachung und startet automatisch bei Grenztemperaturunterschreitung. Im Vollastbetrieb liegen die Verbrennungstemperaturen oberhalb der Mindesttemperatur, sodass die Stützfeuerung deaktiviert ist.

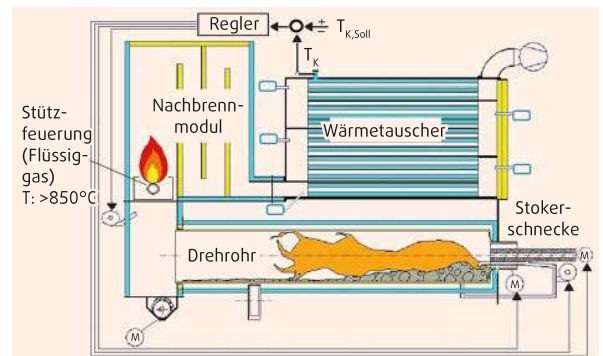


Abbildung 8
Funktionsschema des wassergekühlten Drehrohrkessels, bestehend aus Brennstoffaufgabe, Drehrohr, Nachbrennkammer und Wärmetauscher

Emissionen

Bedingt durch die permanente Umwälzung des Brennstoffs, die Verbrennung über die gesamte Länge des Drehrohrs, den turbulenten Flammenwirbeln sowie die nachgeschaltete Nachbrennkammer ergeben sich insbesondere für Kohlenstoffmonoxid äußerst niedrige Emissionswerte. Der Einsatz des SNCR-Verfahrens ist bei den meisten kommunalen Klärschlämmen erforderlich.

Rauchgasreinigung:

Zur gesicherten Einhaltung der Reingas-Emissionsgrenzwerte ist der Verbrennung im Drehrohrkessel eine mehrstufige Rauchgasreinigung nachgeschaltet, wobei die Schritte eng verzahnt ineinandergreifen.

1. Schritt: Vorabscheidung von Flugaspartikeln mittels eines Trägheitsabscheiders zur Entlastung des Gewebetuchfilters.

2. Schritt: Gasrezirkulation, um Klärschlämme mit hohen Schwefelanteilen mit gleicher Anlagentechnik verwerten zu können.

3. Schritt: Trockensorptionsstufe mit Natriumhydrogencarbonat zur Einbindung und Abscheidung der chlor-, fluor-, schwefelhaltigen Rauchgasbestandteile sowie verschiedener Schwermetalle, Dioxine/Furane und anderer hochmolekularer organischer Verbindungen.

4. Schritt: Partikelfilter einschließlich Partikelrezirkulation zur Verbesserung der Abscheidung aller oben genannten Schadstoffe aus dem Abgas bei gleichzeitiger Optimierung der Additivausnutzung (d. h. auch Reststoffminimierung).

Bei der Trockensorptionsstufe mit Natriumhydrogencarbonat und Herdofenkoks handelt es sich – in Kombination mit dem Flachschauchfilter – um die zentrale Schadgasminderungsstufe, in der die Abreinigung der Schadstoffe erfolgt.

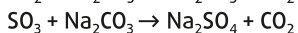
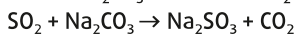
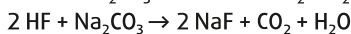
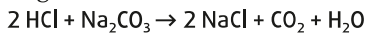
Dabei wird dem Rauchgas kontinuierlich die erforderliche Menge Additiv (NaHCO_3) als trockenes Pulver mittels Additivdosiereinrichtung und Förderung zugeführt. Die Zugabe sowie eine Rückführung von Partikeln erfolgt im Bereich der Rohgasleitung vor dem Reaktor. Verteilt wird das Additiv mit Hilfe des Kugelrotors.

Das Reaktionsprodukt aus der Rauchgasreinigungsstufe wird auf der Oberfläche der Gewebefiltereinheiten feinteilig abgeschieden. Der Rauchgasstrom durchdringt die auf den Filtereinheiten aufgebaute Schicht. Hierbei erfolgen weitere Reaktionen, wie z. B. die Sorption von HCl und HF, von organischen Schadstoffkomponenten einschließlich der Dioxine/Furane, Schwermetalle und die Abscheidung von Stäuben einschließlich der an den Stäuben angelagerten Schadstoffe. Die Abreinigung der Gewebefiltereinheiten erfolgt mittels Druckluft, die impulsförmig in die zu reinigenden Filterschläuche eingeblasen wird.

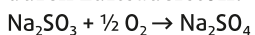
Damit das Trockensorptionsverfahren mit Natriumhydrogencarbonat funktioniert und die Reaktionen stattfinden, muss die Rauchgastemperatur oberhalb von 140°C liegen. Erst dann kommt es zur thermischen Umwandlung und Aktivierung von NaHCO_3 :

$$2 \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$

Diese Aktivierung ist erforderlich, damit die chemische Umwandlung der Säurebildner mit Na_2CO erfolgen kann:



Außerdem erfolgt die Oxidation von Sulfid in Sulfat durch Luftsauerstoff:



Um den Additivverbrauch zu reduzieren, werden Teile des bei der Filterreinigung abgereinigten Gemisches aus Filterstaub, reagiertem und nicht-reagiertem Additiv rezirkuliert und in den Rohgasstrom gefördert. Die Rückführung verbessert die Stöchiometrie auf 1–1,2. Übliche Rezirkulationsmengen liegen bei $50\text{--}100 \text{ g/m}^3$ i. N. f.

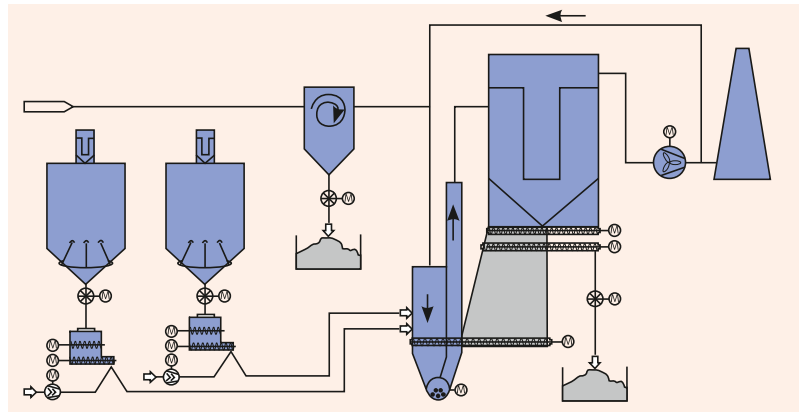


Abbildung 9
Schematische Darstellung der Trockensorption mit Natriumhydrogencarbonat (Lühr Filter GmbH)

1.3 Verbrennungsasche als pflanzenverfügbare, regionaler Wertstoff für Landwirtschaft und Düngemittelindustrie

Der Anfall der Verbrennungs-Aschen ist stark abhängig vom Input (Klärschlamm). In der Regel beträgt der mineralische Anteil $30\text{--}60\%$ des getrockneten Klärschlammes, was in etwa 10% der Originalsubstanz (Input in die Trocknung) entspricht. Die Verbrennungs-

SCHULUNGSTERMINE 2021 - JULI 2022

Probenahme von Feststoffen

Erlangung der **Sachkunde** nach LAGA PN 98 / DIN 19698-1

Dienstag, 26.10.2021 Tübingen
22.02.2022 Tübingen
17.05.2022 Tübingen
05.07.2022 Tübingen
05.10.2021 Chemnitz
01.03.2022 Chemnitz

Erhaltung der **Fachkunde** nach DepV. §8 (Aufbauseminar)

Mittwoch, 27.10.2021 Tübingen
23.02.2022 Tübingen
18.05.2022 Tübingen
06.07.2022 Tübingen
06.10.2021 Chemnitz
02.03.2022 Chemnitz

Selbstverständlich sind alle unsere Schulungen auch als Inhouseschulung bei Ihnen vor Ort buchbar.

Interesse an Schulungen und Vorträgen zu einem speziellen Thema?
Sprechen Sie uns an!

Informationen & Anmeldung unter:
www.berghof-analytik.com/schulung
 Demnächst sind unsere Schulungen auch als Onlineschulungen möglich



Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH
Tübingen | Chemnitz

www.berghof-analytik.com



asche wird automatisch und trocken aus dem System ausgetragen und je nach Standort in einen staubdichten Silo oder Container befördert. Die Aschen können per Hackenliffahrzeug bzw. von einem Silo-LKW abtransportiert werden.

Je nach Herkunft und Beschaffenheit des Input-Klärschlammes werden die Verbrennungsaschen an die Landwirtschaft, die Düngemittelindustrie oder an Aufbereitungsstandorte zur Konfektionierung abgegeben. Hier werden insbesondere die physikalischen Eigenschaften zur Streufähigkeit optimiert und die Beimischung von weiteren Nährstoffen durchgeführt, um einen vollwertigen Dünger zu erzeugen. Dabei stammen die Phosphatanteile in Form von P_2O_5 aus den Verbrennungsaschen. Übliche Phosphorpentoxid-Konzentrationen bei Aschen aus kommunalem Klärschlamm liegen bei 15–20%. Davon sind im Anschluss an die Verbrennung im Drehrohrkessel ca. 70–80% für die Pflanzen verfügbar (gemäß durchgeführten Analysen mit Aschen aus kommunalen Klärschlämmen). Die gute Pflanzenverfügbarkeit lässt sich wie oben beschrieben über die Betriebsweise und die gezielte Temperaturregelung des Drehrohrkessels begründen.

Eine weitere wichtige Grundvoraussetzung für die oben beschriebenen Verwertungswege ist die Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte der Düngemittelverordnung. Diese wird insbesondere bei den leichter flüchtigen Schwermetallen, wie bspw. Zink, Blei, Cadmium, Thallium, Kupfer, Chrom und Quecksilber, erfüllt, da die Verbrennungstemperaturen oberhalb der für die Volatilisierung notwendigen Temperaturen liegen.

Darüber hinaus haben im Rahmen der Machbarkeitsstudie (*Verifizierung und Konkretisierung der Drehrohrtechnologie zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm*) durchgeführte Versuche mit der Technischen Hochschule Mittelhessen (*Prof. Harald Weigand*) gezeigt, dass die Zugabe von bestimmtem Additiv in den getrockneten Klärschlamm sich positiv auf die Qualität der Verbrennungsaschen auswirken können. Zum einen kann die Zugabe zur Minderung schwer flüchtiger Schwermetalle, wie bspw. Nickel, beitragen und zum anderen eine weitere Zunahme des in Zitronensäure löslichen P-Anteils bewirken. Diese Erkenntnisse aus den Versuchsreihen decken sich mit den Einschätzungen aus der Branche, dass durch die Zugabe von Additiven eine Reduzierung von Schadstoffen in Verbrennungsaschen erreicht und eine zumeist höhere Pflanzenverfügbarkeit hervorgerufen werden kann [2].

Die laufenden Arbeiten aus dem Projekt lassen erwarten, dass sich dieser Effekt für kommunale Klärschlämme verallgemeinern lässt.

1.4 Fazit

Die dezentrale thermische Klärschlammverwertung, bestehend aus der vorgeschalteten Klärschlamm-trocknung und der anschließenden Verbrennung im Drehrohrkessel, ist viel mehr als nur eine Entsorgungsalternative zu zentral organisierten Mono-Verbrennungsanlagen.

Das am Markt etablierte Gesamtkonzept zeichnet sich vor allem durch die auf den Betreiber angepasste, ganzheitliche Lösung, die Abwicklung über einen Ge-

neralunternehmer zur Vermeidung von Schnittstellen und die Schließung von Energie- und Nährstoffkreisläufen aus.

Unabhängig von der Anlagengröße, ob zur Verwertung von 6.000 t OS/a oder an Standorten von bis zu 60.000 t OS/a, arbeitet die Gesamtanlage massen- und thermisch energieautark. Der mechanisch entwässerte Klärschlamm wird mit der bei der Verbrennung freigesetzten Wärme auf 85–90% TS getrocknet. Die bei der Verbrennung ausgetragene, trockene Verbrennungsasche enthält hohe Phosphatgehalte, die aufgrund der permanenten Materialumwälzung und des geregelten Kühleffektes pflanzenverfügbar bleiben. Ebenfalls positiv ist, dass bei der Verbrennung Schwermetalle in die Gasphase überführt und somit in den Filterstäuben anstatt nicht in den Verbrennungsaschen aufkonzentriert werden. Diese beiden Faktoren ermöglichen den Absatzweg in die Düngemittelindustrie und/oder die Landwirtschaft.

Aufgrund der modularen Bauweise und wiederkehrenden Nutzung von Standardkomponenten, können sowohl beim Engineering und der Umsetzung als auch bei der Erstellung der Genehmigungsunterlagen für das vereinfachte Verfahren schnelle Durchlaufzeiten realisiert werden. Der übliche Umsetzungszeitraum, inklusive Antragsstellung, Installation und Inbetriebnahme, für eine Anlage bis 18.250 t OS/a beträgt 15–18 Monate.

Bei kleineren und mittleren Kläranlagen und Abwasserzweckverbänden besticht das Konzept zudem durch den geringen Platzbedarf, den unbemannten 24/7 Betrieb und die Robustheit sowie Simplität der einzelnen Anlagenteile.

Literatur

- [1] **Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Stefan Kopp-Assemacher:** Verwertung von Klärschlamm, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Neuruppin 2020.
- [2] **Wittstock, R., Thiess, J.:** Einsatz eines Drehrohrrofens zur dezentralen Klärschlammverbrennung am Beispiel einer Kläranlage < 50.000 EW; Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.KG/Müll und Abfall, Berlin, 5-2021

Anschrift der Autoren

Nils Moggert, Thiemo Niers und Peter Erik Jörgensen
Werkstätten heating-systems GmbH
Alfred-Mozer-Straße 61, 48527 Nordhorn