

Energy-Efficient High-Temperature Fluidised Dryer for Sewage Sludge Processing

Christian Struve

With a fluidised dryer approach, it is possible to dry fine and sticky sludge – such as sewage sludge – highly energy efficient. One key for this approach is a base compound of pressed sludge and rework-material in a compulsory mixer. The dryer itself consists of three chambers with paddle shafts which keep the material continuously in suspense. The drying air moves slowly through each chamber with an ingoing temperature of about 360 °C. Due to the enormous surface of the base compound the water evaporates easily with a huge efficiency. For a kilogram of water evaporation only 0,75 kW is needed. About 40 % of the thermal energy can be reused on a low calorific temperature level (50 °C) for other processes (e.g. building or fermenter heating). The net thermal energy consumption is thus 0,45 kW per kilogram evaporated water. With the energy recovery, a fraction of the evaporated water in the exhausted air condensates and needs to be treated, for instance in a sewage treatment plant. An alternative option in the exhausted air treatment is to abstain from energy recovery and keep the exhausted air at the temperature. In this case the air treatment is executed quasi free of condensate / wastewater. This is most interesting for sites with missing wastewater treatment.

The fluidised dryer enables to dry sludge to a dry mass content above 90 %. Due to the high ingoing temperature the output mass is constant throughout the entire year and does not depend on climate varying conditions. Moreover, the base compound allows to handle pressed sludge with varying dry mass content from 3 to 30 %. The dry material has a size < 1 mm and is suited for injection, ideal for the use in power plants or in the cement industry.

In 2018 the fluidised dryer approach was developed and tested. Since the beginning of 2019 our own dryer is continuously working. SeNa-Tec is a joint venture between an engine builder and a user and thus combines the expertise of both worlds.

Energieeffiziente Hochtemperatur-Wirbeltrocknung für Klärschlämme

Christian Struve

1.	Der Wirbeltrockner	187
2.	Abluftreinigung	189
2.1.	Energieoptimierung – Gewinnung niederkalorischer Energie.....	190
2.2.	Brüdenminimierung – quasi abwasserfreie Trocknung	190
3.	Trockengranulat	191
4.	Zusammenfassung	192

Klärschlämme bringen unterschiedlichste Zusammensetzungen und Eigenschaften mit sich, bspw. was die Struktur und Korngrößenverteilung sowie die chemische Zusammensetzung und physikalisch / biologischen Eigenschaften anbelangt. Diese variieren von Kläranlage zu Kläranlage und im Jahresverlauf. Typischerweise weisen diese Schlämme Wassergehalte von 75 bis 80 % auf. Eine Trocknung bietet sich häufig bei Klärschlamm an, um Entsorgungskosten sowie die Anzahl an Entsorgungsfahrten drastisch zu reduzieren. Zudem stellt die Trocknung einen notwendigen Schritt für die Verbrennung von Klärschlamm dar.

Besonders anspruchsvoll wird es, wenn Schlämme mit besonders feinen Feststoffanteilen getrocknet werden müssen. Es fehlt dann Strukturmaterial für den Trocknungsprozess. Dieses wird im Allgemeinen benötigt, um Oberfläche zu erzeugen, eine ausreichende Durchmischung im Rework-Verfahren zu ermöglichen und somit u.a. Klumpenbildung zu vermeiden. Um feines und klebriges Material homogen zu trocknen stellt ein Wirbeltrockner eine effiziente Möglichkeit dar.

1. Der Wirbeltrockner

Der abgepresste Klärschlamm wird von einem Vorlagebehälter bspw. mittels einer Förderschnecke in einen Mischer (Bild 1: ①) befördert. In dem zweiwelligen Zwangsmischer wird der Nassschlamm mit bereits vorgetrocknetem Material zu einer krümeligen Struktur vorgemischt und anschließend über eine Eintragschnecke in den Wirbeltrockner gefördert. Die Vormischung ist dabei entscheidend. Über die Länge der Mischstrecke, Paddelgeometrie und Anordnung sowie über die Umdrehungszahl kann eine optimale Vormischung ohne größere Klumpen erzielt werden. Die Einschubschnecke befördert das Gemisch in Intervallen in die erste Kammer (Bild 1: ②).

In den Kammern (Bild 1: ②③④) befinden sich Wellen auf denen Paddel montiert sind. Die Wellen werden durch die rot dargestellten Asynchronmotoren angetrieben. Da intervallabhängig sich jede zweite Welle in die entgegengesetzte Richtung dreht, arbeiten die Wellen gegenläufig. Der Klärschlamm wird so von den Paddeln aufgewirbelt (Wirbeltrockner) und kontinuierlich in der Schwebelage des heißen Luftstroms gehalten. Durch die Vormischung auf eine krümelige Struktur ergibt sich eine maximale Trocknungsfläche für das Trockengut. Die Trocknungstemperatur kann entsprechend der Anforderungen unter Beachtung der Schmelztemperatur des Trockenguts variabel eingestellt werden. Betrieben als Hochtemperaturtrocknung wird das Zellwasser in den Schlämmen aufgebrochen und es kommt zur spontanen Verdampfung, was einen sehr hohen thermischen Wirkungsgrad erzeugt. Am Ende jedes Intervalls ändert sich die Drehrichtung jeder zweiten Welle und ein Schieber öffnet die Verbindung zwischen je zwei Kammern. Da dann alle Wellen das Material in dieselbe Richtung paddeln, wird das Material in die nächste Kammer befördert. Nach dem Schließen der Klappe ändert jede zweite Welle wieder ihre Drehrichtung und der Prozess beginnt von vorn. So wird das Material zyklisch getrocknet und dabei von der vorderen in die hintere Kammer befördert.

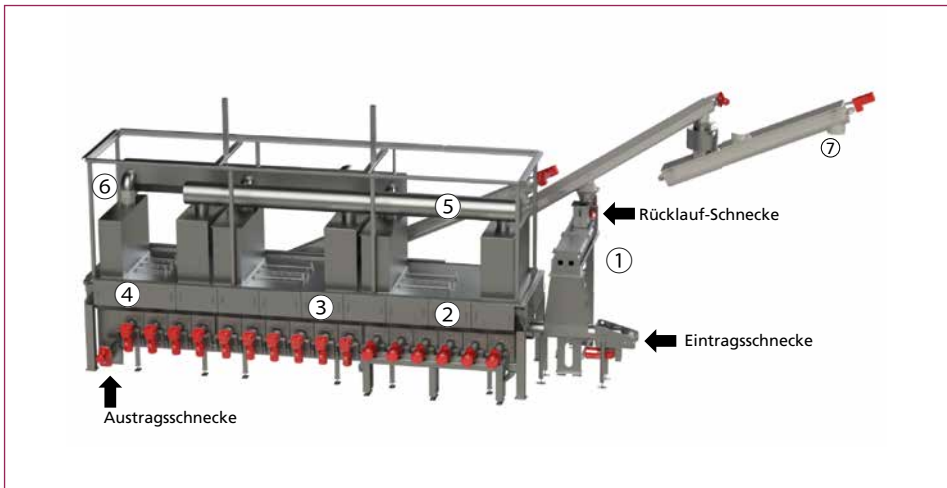


Bild 1: Aufbau des Trockners: 1 - Zweiwellen-Zwangsmischer; 2, 3, 4 - Trocknungskammern; 5 - Zuluft; 6 - Abluft; 7 - Rückführungs-Schnecken

Nach dem Trocknungsvorgang in der dritten Kammer (Bild 1: ④) wird das Material in die Austragsschnecke geworfen und über diese zu den Rückführungs-Schnecken (Rework-Schnecken, Bild 1: ⑦) transportiert. Diese fördern das Material in ein Lager. Ein Teil des Materials wird dabei über eine Rücklaufschnecke zurück in den Kreislauf (Mischer, Bild 1: ①) gegeben. Durch entsprechende Feuchtesensoren kann über die Anlagensteuerung ein gewünschter Trockensubstanzgehalt für das fertige Trockengut festgelegt werden. Abhängig vom Ausgangsschlamm und dem Wärmeeinsatz können problemlos Trocknungsgrade über 90 % erzielt werden.

Als Wärmeenergie werden die heißen Abgase aus einer Wärmequelle genutzt. Neben Abwärme aus einem Industrieprozess können das die Abgase eines BHKWs oder eines Hackschnitzelofens sein. Auch der Einsatz von Thermoöl zur Heißluftzerzeugung ist möglich. Vor dem Eintritt in den Trockner werden die Abgase mit Frischluft so weit vermischt, dass die gewünschte Trocknungstemperatur erreicht wird. Bei der Klärschlamm-trocknung haben sich Temperaturen von etwa 360 °C etabliert. Bei anderen Schlämmen können die Trocknungstemperaturen je nach Bedarf höher oder niedriger liegen. Frischluft wird zur Temperaturregulierung beigemischt. Die heiße Luft wird dann angesaugt und der Trockner im Unterdruck gefahren. Über die Zuluftleitung wird die heiße Mischluft parallel in die jeweiligen Kammern gefördert. In dem aufgewirbelten Material mit seiner großen Oberfläche kommt es zur schlagartigen Verdampfung der einzelnen Wassermoleküle. Die jetzt wassergesättigte Luft wird in einer über der Kammer stehenden Beruhigungszone der Abluftreinigung zugeführt.

Tabelle 1: Leistungsparameter des Wirbeltrockners

Parameter	Wert
Jahresdurchsatzmenge entwässerter Schlamm	~ 12.000 t
Durchsatzmenge entwässerter Schlamm	1,5 t/h
Jahresbetriebsstunden	≥ 8.000 h
TS-Gehalt Eingangsschlamm	3 bis 30 %
TS-Gehalt getrockneter Schlamm	> 90 %
Partikelgröße	≤ 1 mm
Netto-Wärmebedarf ohne Energierückgewinnung	0,75 kW/kg H ₂ O
Netto-Wärmebedarf mit Energierückgewinnung	0,45 kW/kg H ₂ O
Trocknungswärme Trocknereingang	~ 360 °C
Ablufttemperatur Trocknerausgang	~ 80 °C

2. Abluftreinigung

Im wasserbeladenen Abluftstrom beim Trocknerausgang sind neben Staubpartikeln insbesondere Stickstoff/ Ammoniak-Belastungen sowie Gerüche rauszufiltern. Die Ablufttemperatur beträgt etwa 80 °C. Werden feine Schlämme getrocknet entsteht bei der Trocknung automatisch eine Staubfracht. Der Einsatz herkömmlicher Zyklone ist dann meist nicht ausreichend. Alternativ bzw. ergänzend kann ein Gewebefilter eingesetzt werden, der es ermöglicht die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten. Auch der Einsatz von Elektrofiltern ist möglich, was durchaus Vorteile beim Stromverbrauch mit sich bringt. Auch können Anbackungen aufgrund von Kondensation im Staubfilter leichter gereinigt werden. Unabhängig vom Staubfiltersystem ist die Beibehaltung der Ablufttemperatur entscheidend. Sowohl der Gewebefilter als auch der Elektrofilter müssen ausreichend isoliert werden, damit Kondensation vermieden wird.

Die weiterführende Art der Abluftbehandlung bestimmt die Energieausbeute und den Kondensatanfall. Hierbei kann entweder die Energieausbeute maximiert oder die Vermeidung von Kondensaten / Brüden optimiert werden.

2.1. Energieoptimierung – Gewinnung niederkalorischer Energie

Zur Energieoptimierung beruht die Abluftbehandlung auf einem Wäscherprinzip mit nachgeschaltetem Biofilter. Die den Staubfilter verlassende Abluft, wird in dem Wäscher zunächst durch einen Luft-Wasser-Wärmetauscher geführt, um den Energiegehalt (Temperatur) des Luftstroms zu senken. Der Wärmetauscher besteht aus einer Vielzahl an feinen Kunststoffröhren, durch die das Kühlmedium gepumpt wird. Die wiedergewonnene Energie ist niederkalorisch ($\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) und kann als Prozesswärme bspw. zur Gewächshaus-, Fermenter- oder Gebäudebeheizung eingesetzt werden. Bis zu 40 % der eingesetzten Energie kann so wiedergewonnen werden.

Der Abluftstrom wird mit Wasser bedüst. Durch die Temperatursenkung kommt es zur Kondensatbildung, das Abwasser wird (zusammen mit dem Waschwasser aus der zweiten Wäscherstufe; s.u.) der Kanalisation / Kläranlage zugeführt. Der eigentliche Wäscher ist zweistufig ausgelegt. Die Abluft wird vor der ersten Filterwand intensiv mit feinsten schwefelsäureversetzten Wassertropfen in Verbindung gebracht. Die Staubpartikel werden von den Tropfen erfasst. Der flüchtige Ammoniumstickstoff wird dabei durch die im Waschwasser befindliche Schwefelsäure gebunden und in Ammoniumsulfat umgewandelt. An der zweiten Filterwand wird mit demselben Waschwasser wie beim Wärmetauscher die Abluft befeuchtet. Durch die große Oberfläche der Filterwand können sich die einzelnen noch in der Abluft befindlichen Feststoffanteile sehr gut absetzen. Gleichzeitig wird die weitergehende Rückhaltung des im Abluftstrom enthaltenen Wassers sichergestellt. Die dritte Filterwand dient abschließend der Abscheidung von Feinstropfen. Ein Abluftventilator hinter dieser saugt die Luft vom Staubfilter kommend durch den kompletten Wäscher. Anschließend wird die Abluft einem Biofilter zugeführt, um die restlichen Gerüche aus dem Abluftstrom zu reduzieren, sodass sie – unter Einhaltung der Immissionsgrenzwerte der TA-Luft – an die Atmosphäre abgegeben werden kann.

2.2. Brüdenminimierung – quasi abwasserfreie Trocknung

Alternativ zum Energieaustausch aus dem Abluftstrom können auch durch den Einsatz einer UV-Ionisation die Gerüche reduziert werden. Eine sehr gute Vorabscheidung von Staubpartikeln ist hierfür zwingend notwendig. Durch das UV-Licht werden die Geruchsmoleküle oxidiert. Im Anschluss an eine UV-Oxidationsstufe ist stets eine Reaktionsstrecke notwendig, um den Oxidationsvorgang abzuschließen. Der Oxidationsstufe wird ein Aktivkohlefilter nachgeschaltet, der mögliche verbliebene Restgerüche absorbiert.

Der Einsatz eines chemischen Wäschers kann vorgesehen werden und ist abhängig vom Stickstoffanteil im Klärschlamm sinnvoll. Der Abluftstrom hat bei Eintritt in den Wäscher eine relative Feuchte von etwa 60 %. Durch eine gezielte Besprühung des Abluftstroms bei überschaubaren Wassermengen kann eine Auskondensation (weitestgehend) vermieden werden.

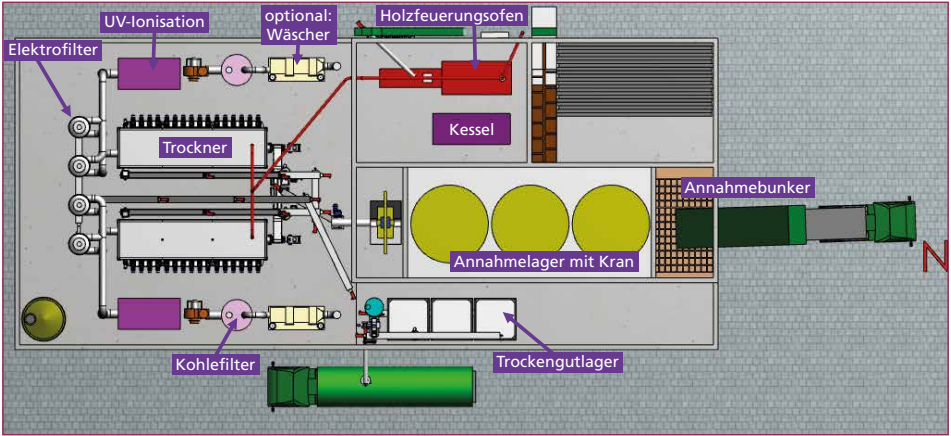


Bild 2: Anlagenplanung für einen Standort mit zwei Wirbeltrocknern und einem Hackschnitzelofen zur Wärmebereitstellung

3. Trockengranulat

Der große Vorteil des Wirbeltrocknungsverfahrens ist es, dass durch die Vormischung im Zwangsmischer sowie die Verwirbelung durch die Paddelwellen das Trockengut nicht nur äußerst homogen getrocknet wird, sondern auch eine sehr feine Struktur entsteht, bei der > 95 Massenprozent einen Durchmesser von < 1 mm aufweisen. Je höher der Trocknungsgrad, desto feiner wird das Material. Bild 3 zeigt eine Nahaufnahme des getrockneten Materials bei 90 % sowie bei 80 % TS-Gehalt. Bei TS = 80 % zeigt sich, dass die Granulatteilchen signifikant größer sind (etwa 1 bis 4 mm)

Das feine Material mit einem TS-Gehalt $\geq 90\%$ ist problemlos einblasfähig und kann bspw. in Kraftwerken oder der Zementindustrie als Brennstoff eingesetzt werden. Aufgrund der sehr großen Oberfläche eignet es sich auch hervorragend für die Monoverbrennung. Aufgrund der kleinen Korngröße und der damit resultierenden vollständigen Verbrennung ist die Phosphorverfügbarkeit in der Asche maximiert.



Bild 3:

Trockengranulat nach der Trocknung im Wirbeltrockner; links: 90 % TS-Gehalt, rechts: 80 % TS-Gehalt

4. Zusammenfassung

Der Wirbeltrocknungsansatz bietet die Möglichkeit Klärschlamm und andere Schlämme mit feiner, klebriger Struktur extrem energieeffizient zu trocknen – insbesondere auch bei schwankenden TS-Einganggehalten. Aufgrund der hohen Trocknungstemperatur kann der Schlamm zudem ganzjährig mit gleichbleibender Durchsatzleistung getrocknet werden. Neben einer Brüdenminimierung kann auch der effektive Wärmeeinsatz über Wärmerückgewinnung minimiert werden. Das Verfahren wurde 2018 entwickelt und im Realmaßstab getestet. Seit Anfang 2019 läuft der eigene Wirbeltrockner im Dauerbetrieb. Die SeNa-Tec ist ein Zusammenschluss zwischen einem Anwender und einem Maschinenbauer und verfügt so über die Expertise des Anlagenbaus und des Betriebs des Trockners. Derzeit sind einige Vorhaben in der Planungs- und Genehmigungsphase. Die Realisierung soll ab 2021 erfolgen.

Ansprechpartner



Dr. Christian Struve

SeNa-Tec GmbH

Geschäftsführer

Zur Burg 6

49593 Bersenbrück, Deutschland

+49 152 26989203

struve@sena-tec.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Peter Quicker, Stefan Kopp-Assenmacher (Hrsg.):

Verwertung von Klärschlamm 3

ISBN 978-3-944310-52-7 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Olaf Holm
Erfassung und Layout: Martin Graß, Claudia Naumann-Deppe, Janin Burbott-Seidel

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.