

## Abstract

### **Sewage sludge monocombustion by dust firing - Process-integrated heavy metal removal and ash quality**

Erich Eder, Lasse Fabian Köhl, Marc Lincke, Uwe Petasch, Peter Schöfmann

In order to comply with the Fertilizer Ordinance and to meet the requirement of phosphorus recycling, different processes are currently under discussion. The integration of heavy metal separation in the patented technology of the impulse burner as a dust firing system from Carbotechnik offers an outstanding alternative to the widespread thermal recycling in a fluidized bed system or by means of a rotary kiln and subsequent heavy metal reduction by acidulation of the ash.

With the concept of dust-fired thermal recycling of sewage sludge and generation of a high-quality ash, Carbotechnik provides a system that is scalable to practically any size and can also be operated economically for small plants from around 10,000 t/a 25% dry matter. Due to the compact plant construction with the realisation of decentralised or local solutions, the concept offers an economic as well as ecologically attractive solution.

Thermal treatment alone leads to a significant reduction of heavy metals. Initial studies at the existing pilot plant have shown this, and relatively high phosphorus solubilities are also achieved. If an additive is also added to the incineration process and the sewage sludge ash is filtered and discharged in a zone of the plant that is as heated as possible, the heavy metal load of the ash can be significantly reduced. To analyse the additive effect, various experiments were carried out in cooperation with Fraunhofer's Institute of Ceramic Technologies and Systems.

In connection with the DreiSATS project, process-integrated pollutant removal is being further investigated with the project partners. In addition to the removal of pollutants, an increase in phosphorus solubilities is also expected by the addition of additives.

# **Klärschlammmonoverbrennung durch Staubfeuerung – Prozessintegrierte Schwermetallentfrachtung und Aschequalität**

Erich Eder, Lasse Fabian Köhl, Marc Lincke, Uwe Petasch, Peter Schöfmann

1. Konzept der thermischen Klärschlammverwertung
2. Funktionsweise des Staubbrenners (Impulsbrenner)
3. Beeinflussung der Aschequalität
  - 3.1 Verbrennungsversuche ohne Additivzugabe an Technikums-Anlage
  - 3.2 Verbrennungsversuche mit Additivzugabe im Laborreaktor
4. Zusammenfassung

Um die Düngemittelverordnung einzuhalten und dem Anspruch des Phosphorrecyclings gerecht zu werden, sind aktuell unterschiedliche Verfahren in der Diskussion. Die Integration einer Schwermetallabtrennung in die patentierte Technik des Impulsbrenners als Staubfeuerungsanlage der Fa. Carbotechnik bietet hier eine herausragende Alternative zur weit verbreiteten thermischen Verwertung anderer Systeme und anschließender Schwermetallreduktion durch Säureaufschluss der Asche.

Durch den kompakten Anlagenbau mit der Realisierung dezentraler bzw. lokaler Lösungen bietet das Konzept eine wirtschaftliche als auch ökologisch attraktive Lösung. Allein die thermische Behandlung führt schon zu einer signifikanten Reduktion der Schwermetalle. Wird dem Verbrennungsprozess zusätzlich ein Additiv hinzugegeben und die Klärschlammmasche in einer möglichst heißen Zone der Anlage gefiltert und ausgeschleust, kann die Schwermetalllast der Asche deutlich reduziert werden. Zur Untersuchung der Additivwirkung wurden verschiedene Experimente in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) durchgeführt.

# 1. Konzept der thermischen Klärschlammverwertung

Im Konzept der dezentralen thermischen Verwertung von Klärschlamm steht die Schlüsselkomponente des Staubrenners in Ausführung des von Carboteknik patentierten Impulsbrenners. Der mechanisch entwässerte Klärschlamm wird einer Trocknung zugeführt und auf etwa 10% Restfeuchte getrocknet. Der Heizwert wird dabei deutlich erhöht und das Material ist hygienisiert sowie lagerstabil. Im Anschluss wird das Material gemahlen und über eine Dosiermaschine in den Brenner eingetragen und verbrannt. Ein Teil der erzeugten Wärmeenergie wird zur Trocknung des entwässerten Klärschlammes verwendet. Überschüssige Wärmeenergie kann für die Stromerzeugung oder für andere Zwecke (z.B. Einspeisung in ein Wärmenetz) verwendet werden. Ein Großteil der Asche wird bereits unterhalb des Brenners in einem Zyklon abgeschieden. Vor der Rauchgasreinigung befindet sich ein Filter, der die verbliebene Asche vor der eigentlichen Rauchgasreinigung abzieht. Die Verbrennung sowie Rauchgasreinigung erfolgen gemäß Anforderung der 17. BImSchV.

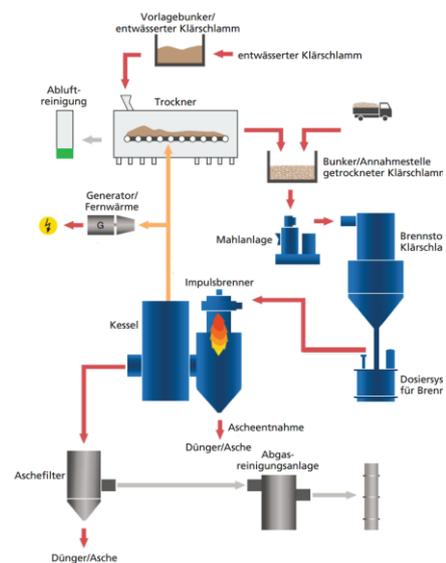


Bild 1: Übersichtsschema zum Gesamtverfahren

Die Anlagengröße ist praktisch beliebig skalierbar und individuellen Anforderungen anpassbar. Insbesondere für dezentrale bzw. lokale Anlagen bietet das Konzept eine flexible sowie wirtschaftliche, als auch ökologisch attraktive Lösung.

Extern getrockneter Klärschlamm (z.B. durch Nutzung von Überschusswärme an Biogasanlagen) kann in den Prozess mit aufgenommen werden. Energietechnisch positive Effekte können ausgenutzt und das Transportaufkommen reduziert werden.

## 2. Funktionsweise des Staubrenners (Impulsbrenner)

Der Staubbrenner wurde für staubförmige Feststoffe entwickelt, wobei auch flüssige oder gasförmige Brennstoffe verbrannt werden können. In die konisch verlaufende

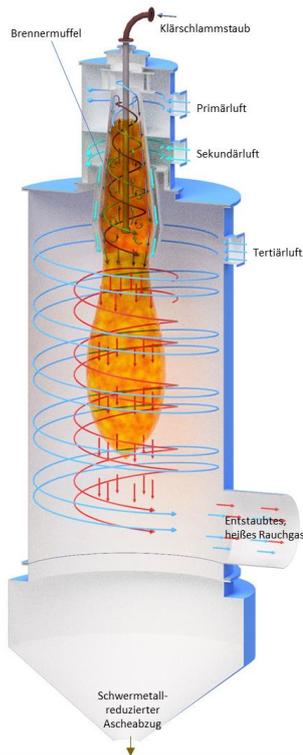


Bild 2: Schematische Darstellung des patentierten Staubbrenners (Impulsbrenners) mit integrierter Schwermetallentfrachtung

Brennermuffel wird kopfseitig Primärluft eingebracht, über ein radiales Schaufelgitter strömt die Primärluft schraubenförmig in Richtung Muffelaustritt. Etwa die Hälfte der Primärluft kehrt radial nach innen bis zum Eintritt zurück. Die Rückströmung stülpt sich an der Stirnplatte (Brennerkopf) nach außen und strömt mit der Frischluft wieder zum Austritt. Es bildet sich eine intensive röhrenförmige Turbulenz. Über eine Brennerlanze wird der Brennstoff in Richtung Stirnplatte pneumatisch eingetragen. Brennstoff und Luft werden optimal durchmischt und mit einem integrierten Zündbrenner einmalig gezündet. Die zentrale Rückströmung bringt ständig heißes Flammgas zum Brennstoffeintritt und sorgt für eine ständige Nachzündung. Die Flamme wird durch eine sehr stabile Kaltluftschicht von der konischen Wand getrennt, wodurch die Muffel von innen gekühlt wird. Eine zusätzliche Kühlung der Brennermuffel erfolgt von außen über die Primär- als auch über die Sekundärluft. Die Einbringung der Tertiärluft erfolgt ebenfalls radial in das bestehende Strömungsbild und bildet die letzte Luftstufe für den Verbrennungsprozess. Die

Nachbrennkammer ist so dimensioniert, dass die geforderte Verweilzeit und Temperaturniveau gemäß Anforderungen der 17. BImSchV sicher eingehalten werden. Die drei Luftzuführungen werden kontinuierlich erfasst und geregelt, sodass sich ein optimaler gestufter Verbrennungsverlauf einstellt.

Mit dem intelligenten Steuerungs- und Regelungskonzept ist es möglich auf Qualitätsschwankungen im Heizwert des Brennstoffes mit ausreichender Genauigkeit zu reagieren. Je nach Abweichung zum O<sub>2</sub>-Sollwert wird die Brennstoffzuführung über das patentierte Dosier- und Fördersystem präzise und nahezu verzugslos angepasst. Es herrscht stets das gewünschte Brennstoff-Luftverhältnis und garantiert einen stets optimalen Verbrennungsprozess.

Die komplette Einheit erfordert keine Ausmauerung und bringt deutliche Vorteile. Die Wartung von feuerfesten Mauerwerken ist vergleichsweise zeit- und kostenintensiv und entfällt. Auf- oder Abkühlphasen, um beispielsweise das Mauerwerk nicht zu beschädigen, bedarf es nicht. Insbesondere die fehlende Ausmauerung erleichtert den Start insbesondere aus dem völlig kalten Zustand, da nur der Stahlteil der Nachbrennkammer aufgewärmt werden muss. Die Anlage kann zu jedem Lastpunkt ausgeschaltet werden, ein anschließender Neustart über einen kleinen Zündbrenner ist nach ca. 1-2 Minuten abgeschlossen. Eine Stützflamme ist über den gesamten stufenlosen Regelbereich nicht erforderlich.

### Brennstoffeigenschaften für den Staubbrenner (Impulsbrenner)

Die ausgereifte Technik von Carbotechnik für die Dosierung, Förderung und Verbrennung von staubförmigen Stoffen ist bereits in einer Vielzahl von

unterschiedlichen Applikationen im Einsatz. Ein Großteil der Anlagen wird dabei mit Braunkohlenstaub (BKS) befeuert. Technologisch unterscheiden sich Dosierer und Brenner im Vergleich zur Klärschlammstaubbefeuierung nicht. Die Frage, ob und wie gut sich ein Brennstoff für den Impulsbrenner eignet hängt nicht zwangsläufig von einem Brennstoffparameter alleine ab.

Grundsätzliche Voraussetzung für eine selbständige Verbrennung ist ein ausreichend hoher Heizwert. In Abhängigkeit von anderen Kriterien wie die Anlagenkonfiguration, ist die untere Grenze bei etwa 4.000 kJ/kg anzusetzen. Die Höhe des Heizwertes ist jedoch nicht alleine maßgeblich für die Eignung des Brennstoffes. Petrolkoks oder Anthrazit besitzen einen hohen Heizwert mit >28.000 kJ/kg. Sie weisen jedoch einen geringen Anteil (<20 Ma.-%) an flüchtigen Bestandteilen auf, was die Verbrennung erschwert und eine angepasste Bauart erfordert. Einfluss auf den Grenzgehalt an flüchtigen Bestandteilen hat die Ausmauerung. Bei einer Ausführung ohne Ausmauerung liegt die Grenze bei etwa 30 Ma.-% flüchtige Bestandteile, bei Ausführung mit Ausmauerung deutlich niedriger.

Für den Impulsbrenner liegen die relevanten Brennstoffeigenschaften von kommunalem Klärschlamm innerhalb der erforderlichen Bandbreite.

Über den Kontakt mit Asche kann es zu abrasivem Verschleiß an Anlagenteilen kommen. Durch die Auslegung von Dosierung, Förderung und Brennerlanze stellt der abrasive Ascheanteil keinen negativen Einfluss auf die Verfügbarkeit oder Wartungsintervalle dar. Bezogen auf die Aschefracht bestätigen Referenzanlagen mit entsprechendem Mengendurchsatz das Engineering-Konzept für einen zuverlässigen Anlagenbetrieb.

Durch den Abzug des größten Ascheanteils unterhalb der Nachbrennkammer kann potenziellen Verschmutzungen im Kessel wirkungsvoll entgegengewirkt werden. Zudem wird die Schwermetallentfrachtung durch das bestehende Temperaturniveau begünstigt.

Innerhalb der Brennermuffel herrschen Temperaturen um 1.300°C. Eigentlich müsste dies zwangsläufig und unmittelbar zu Verschlackungen führen. Die Verweilzeit mit deutlich unter 500 Millisekunden ist sehr kurz und die zirkulierenden Staubpartikel kommen nicht mit heißer Wandoberfläche in Berührung. Wie bei der Funktionsweise des Brenners beschrieben bildet sich innerhalb der Brennermuffel ein Strömungsbild, welches zum einen für eine gute Durchmischung zwischen Primärluft und Brennstoff verantwortlich ist, und zum anderen eine Kaltluftschicht an der Muffelinnenwand bildet. Die Kühlung der Brennermuffel wird über die Primär- und Sekundärluft von außen unterstützt. Somit ist es nicht möglich, dass Partikel auf eine ausreichend heiße Oberfläche treffen und dort Anbackungen entstehen. In der Nachbrennkammer sinkt das Temperaturniveau deutlich unter den Ascheschmelzpunkt. Daher wurden auch bei keiner Versuchsfahrt verglaste Aschen gefunden.

Auch die bei der Wirbelschichtverbrennung benötigten Materialien für das Wirbelbett entfallen. Hier können durch die Reaktion von Brennstoffasche mit Bettmaterialien (vornehmlich Sand) Phasensysteme mit Eutektika mit sehr niedrigem Schmelzpunkt entstehen, die beim Impulsbrenner systembedingt ausgeschlossen sind.

### **3. Beeinflussung der Aschequalität**

#### **3.1 Verbrennungsversuche ohne Additivzugabe an Technikums-Anlage**

## Aufbau der Technikums-Anlage

Aus dem Vorlagebehälter wird der Klärschlammstaub in die darunter stehende Dosiermaschine gefüllt. Das patentierte Dosier- und Fördersystem transportiert den Klärschlammstaub pulsationsfrei und mit hoher Genauigkeit in den Brennraum des Staubbrenners. An diesen nicht isolierten Teil der Anlage schließt die isolierte Nachbrennkammer an. Gut zu erkennen sind die drei Lufteintritte: Primär-, Sekundär- in den Brenner, die Tertiärluft in die Nachbrennkammer. Nachgeschaltet sind die nicht abgebildeten Anlagenteile wie Wärmetauscher und Filteranlagen.

Der Brenner ist für eine Feuerungswärmeleistung von rund 1 MW ausgelegt. Die maximale Brennstoffmenge beträgt heizwertabhängig etwa 250 kg/h 90%TS (vergl. 1.000 kg/h 25% TS). Die Verbrennungsanforderungen gemäß 17. BImSchV werden eingehalten.



Bild 3: Technikums-Anlage 1MW  
Feuerungswärmeleistung

## Versuchsfahrt ohne Additivzugabe

In verschiedenen Versuchsfahrten an der Technikums-Anlage konnten bereits Erfahrungen mit kommunalem Klärschlamm gesammelt werden. Der Verbrennungsversuch diente der Untersuchung der Aschequalität hinsichtlich der Phosphorlöslichkeiten sowie der erreichten Schadstoffreduzierung.

Für den Brennerstart wird ein Flüssiggas-Pilotzündbrenner verwendet. Nach Parallelbetrieb zwischen Zündbrenner und Hauptbrennstoff von 30 Sekunden wird der Zündbrenner ausgeschaltet. Die Flamme mit Klärschlammstaub als Brennstoff steht stabil über den gesamten Leistungsbereich. Die Zündung aus dem völlig kalten Zustand als auch ein später durchgeführter Warmstart erfolgte analog problemlos. Der Aufheizvorgang aus dem völlig kalten Zustand bis zum Erreichen der 850°C Grenze dauerte ca. 90 Minuten.

Im Vorfeld wurden relevante Parameter für die Brennstoffdosierung und Heizwert bestimmt. Nach Abschluss des Versuchslaufes wurde die tatsächliche Brennstoffmenge mit den ermittelten Werten verglichen, diese deckten sich exakt.

Der während des Versuchslaufes niedrige CO Wert indiziert eine ideale und vollständige Verbrennung. Die spätere Ascheauswertung bestätigt mit einem ermittelten Glühverlust von 0,21% die optimale Verbrennung.

Der Teil der Klärschlamm-Asche welcher in der Nachbrennkammer liegen bleibt wird durch die hohen Temperaturen nicht negativ beeinflusst. Die Asche ist und bleibt staubförmig, es gibt keinerlei Anbackungen oder Verschlackungen in der gesamten Anlage. Bisherige Untersuchungen konnten so untermauert werden.

## Auswertung der Ascheanalysen

Als Ausgangsgrößen wurden die Untersuchungsergebnisse des Klärschlamminputs verwendet. Es waren keine besonderen Ausreißer erkennbar, die Werte lagen innerhalb der Grenzen gemäß AbKlärV. Bei besonders niedrigen Werten wurden diese nicht weiter betrachtet. Die Parameter der entnommenen Asche aus der Nachbrennkammer wurden in einem externen Labor ermittelt.

Innerhalb des Brenners (Brennermuffel) herrschen Temperaturen um 1.300°C, über die gestufte Luftführung wird in der Nachbrennkammer die Zieltemperatur von etwa 900°C eingestellt. Genau unterhalb des Brenners befindet sich auch die Abscheidung. Neben der Rauchgastemperatur von etwa 900°C ist die Asche auch der Flammstrahlung ausgesetzt.

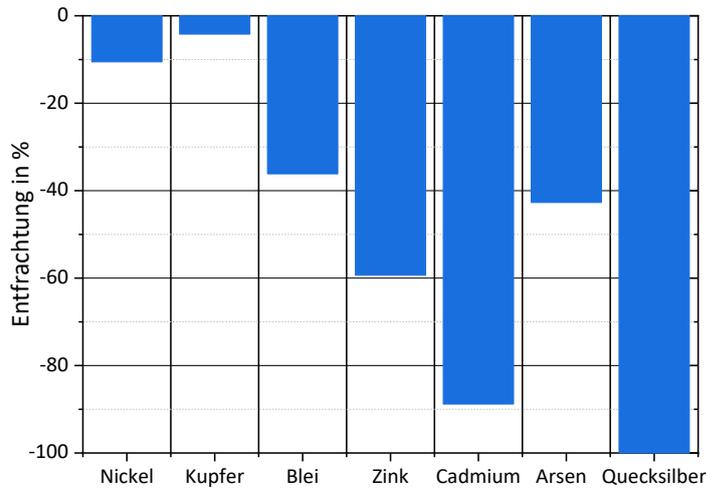


Bild 4: Schwermetallentfrachtung der Asche

Die Partialdrücke von Kupfer und Nickel liegen bei den in der Brennermuffel bzw. in der Nachbrennkammer herrschenden Temperaturen deutlich niedriger als die der anderen Schwermetalle. Eine Entfrachtung wäre für diese Elemente folglich nicht zu erwarten gewesen. Über die Probenahmen, Analysen etc. sind Fehler nicht gänzlich auszuschließen, jedoch wurden auch bei anderen Versuchsreihen teils ähnliche

Werte festgestellt. Eine Möglichkeit wäre beispielsweise, dass die Stoffe in Verbindungen vorliegen bei denen die Siedetemperatur auf einem niedrigeren Niveau liegt oder sich bestimmte Stoffe in einzelnen Kornbändern gehäuft wieder finden und die Inerten Partikel nicht über die Schwerkraft bei der Nachbrennkammer abgezogen werden.

Für die weiteren Komponenten ist die Abreicherung gut nachvollziehbar und korreliert mit den vorherrschenden Temperaturniveaus und dem Verdampfungsdruck der jeweiligen Elemente.

## Phosphor

Die Asche wurde weiter auf deren Phosphorlöslichkeiten untersucht. Nebenstehende Tabelle zeigt die untersuchten Löslichkeiten mit deren prozentualen Anteilen auf das Gesamtphosphat. In der letzten Spalte sind die Anforderungen der Mindestlöslichkeit

Tabelle 1 Phosphorlöslichkeiten der Klärschlamm-Asche aus Staubfeuerung

Parameter	Gehalt [mg/100g] FM	Anteil auf Gesamtphosphat	Mindestlöslichkeit
Gesamtphosphat	18.827	100%	
Wasserlösliches Phosphat	845	4,5%	2,5%
Neutral- ammonicitratlösliches Phosphat	14.500	77,0%	5,0%
mineralsäurelösliches Phosphat	3.727	19,8%	2,0%
In 2%- Zitronensäure lösliches Phosphat	15.100	80,2%	-

nach DüMV (DüMV Anlage 2, Tabelle 5, Zeile 5.7) aufgeführt. In der aktuellen DüMV wird die Löslichkeit in 2%-Zitronensäure lösliches Phosphat nicht mehr

aufgeführt, jedoch in Publikationen genannt und ist deshalb mit aufgenommen worden.

Die verschiedenen Löslichkeiten des Phosphates sind durchaus positiv zu bewerten. Die Werte liegen deutlich über den Mindestanforderungen und stellen damit eine sehr gute Grundlage für spätere Verwertungswege z.B. in der Düngemittelindustrie dar.

Zur weiteren Einordnung der Aschequalität bzw. Verwendbarkeit als Düngemittel wurde eine „Deklaration nach Düngemittelverordnung“ angefordert. Gemäß Prüfbericht ergibt sich eine Typenbezeichnung „PK-Dünger, fest, 18,9-1,1 aus der Verbrennung von Klärschlamm ...“. Der Prüfbericht belegt die Einsatzmöglichkeit als landwirtschaftlichen Dünger.

### 3.2 Verbrennungsversuche mit Additivzugabe im Laborreaktor

Um die Schwermetallfracht der bei der Klärschlammverbrennung mittels Impulsbrenner entstehenden Aschen weiter zu verringern und die Phosphorlöslichkeit weiter zu steigern, können dem Verbrennungsprozess Additive zugeführt werden. In der Vergangenheit wurden verschiedenen Studien und Untersuchungen zur thermochemischen Modifikation von Klärschlämmen mit Hilfe von Additiven durchgeführt. Besonders effektiv haben sich hierbei chlorhaltige Additive herausgestellt (z.B.  $MgCl_2$  und  $CaCl_2$ ). Diese besitzen die Fähigkeit bei Temperatureinwirkung Schwermetalle aus den bei der Verbrennung von Klärschlamm entstehenden Aschen herauszulösen und so die Schwermetallfracht der Asche zu reduzieren. Die Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung möglicher Additive mit ihren Eigenschaften.

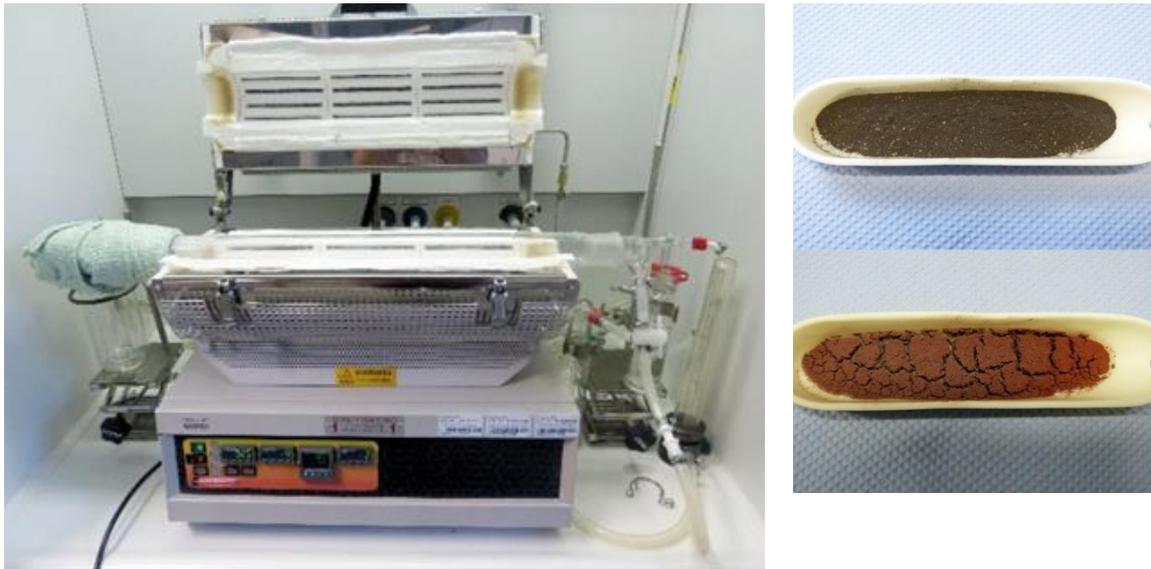
Tabelle 2: Liste von möglichen Additiven mit zugehörigem Temperaturverhalten und wichtigen Hinweisen

Additiv	Zünd- / Schmelz- / Verdampfungs-temperatur	Hinweise
Calciumchlorid	Schmelzen ab 772 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>nicht staubexplosionsfähig</li><li>bildet an Luft <math>CaCO_3</math> (hygroskopisch)</li><li>Verbesserung P-Löslichkeit (Ash-Dec-Verfahren)</li></ul>
Magnesiumchlorid	Schmelzen ab 712 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>nicht hygroskopisch</li><li>nicht staubexplosionsfähig</li><li>Verbesserung P-Löslichkeit (Ash-Dec-Verfahren)</li></ul>
Natriumchlorid	Schmelzen ab 801 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>nicht hygroskopisch</li><li>nicht staubexplosionsfähig</li></ul>
Ammoniumchlorid	Sublimation ab 338 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>hygroskopisch</li><li>Selbstentzündung &gt; 400 °C</li><li>Risiko der Ammoniakabspaltung</li></ul>
Natriumsulfat	Sublimation ab 890 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>nicht staubexplosionsfähig</li><li>Selbstentzündung &gt; 400 °C</li></ul>
Natriumcarbonat	Schmelzen ab 854 °C	<ul style="list-style-type: none"><li>nicht staubexplosionsfähig</li><li>Verdampfen ab 1.800 °C</li><li>Verbesserung P-Löslichkeit (Ash-Dec-Verfahren)</li></ul>

Nur Ammoniumchlorid und Natriumsulfat sublimieren, sodass keine Schmelzbildung während der Feuerung zu erwarten ist, die möglicherweise das Flambild und die Verbrennung stören könnte. Zu weiteren wichtigen Parametern für die Reaktion des Additivs und des Klärschlammes zählen neben der Schmelz-, Sublimations- und Verdampfungstemperatur die Abreicherungsraten der Schwermetalle aus der Verbrennungasche, das Potential zur Verbesserung der Phosphorlöslichkeit sowie die granulometrischen Parameter. Die Partikelgröße des Additivs muss auf die des zu verbrennenden Klärschlammes angepasst sein, da es sonst durch den Fluidisierungsprozess bei der Dosierung in die Staubfeuerungsanlage zu Entmischungserscheinungen kommen kann. Durch die vorherige Mahlung des Schlammes und des Additivs können die Partikelbänder gezielt aufeinander eingestellt werden, wodurch die Entmischung, aufgrund des Partikelgrößeneffektes, reduziert wird.

Für erste Evaluationsuntersuchungen zur Bestimmung geeigneter Additive wurden Verbrennungsversuche in einem Laborrohrreaktor durchgeführt. Der zu modifizierende Klärschlamm wurde mit dem jeweiligen Additiv als Pulver vermischt

und in den Rohrreaktor eingeführt. Die Mischung wurde auf 900°C erhitzt und für eine Stunde gehalten. Während des gesamten Prozesses wurde synthetische Luft über die Probe geleitet. Bild 5 zeigt den Ofen sowie Klärschlammproben vor und nach dem Versuch.



*Bild 5: Klappofen (links), Probenschiffchen mit Asche und Additiv vor und nach einem Sublimationsversuch (rechts).*

In ersten Versuchen wurde Klärschlamm bei verschiedenen Temperaturen ohne die Zugabe von Additiv verbrannt. In weiteren Untersuchungen wurde dem Klärschlamm Ammoniumchlorid als Additiv beigemischt. Verglichen wurde die Reduzierung der Schwermetallkonzentration zwischen dem eingesetzten Klärschlamm und der erhaltenen Asche. Durch die Zugabe von Additiven können bei der industriellen Verbrennungsanlage nachempfundenen Temperaturen Schwermetalle deutlich reduziert werden. Die Kupfer-, Cadmium- und Zinkfracht des mit Additiv versetzten Klärschlammes kann erheblich gemindert werden. Im Vergleich zum Verbrennungsversuch in der Technikums-Anlage konnten in den Laborexperimenten keine Reduzierung der Nickelfracht festgestellt werden. Die Stoffe Arsen und Quecksilber konnten mit dem angewendeten analytischen Verfahren (Röntgenfluoreszenzanalyse) nicht mehr bestimmt werden, da die Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

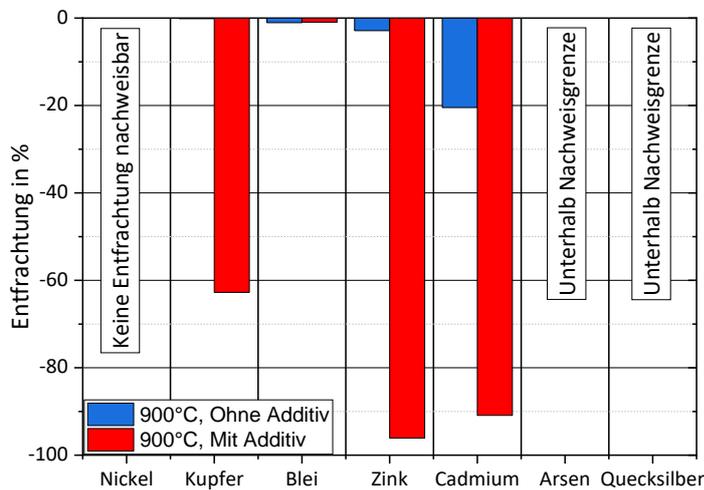


Bild 6: Schwermetallentfrachtung der Asche mit und ohne Additivunterstützung bei 900°C

Die Verminderung der Schwermetallfracht beruht auf der Flüchtigkeit der Metallverbindungen. Generell steigt mit Erhöhung der Temperatur der Partialdruck an, was dazu führt, dass mehr Material in die Dampfphase übergeht und dementsprechend der Klärschlammasche entzogen wird. Beim Vergleich der Partialdruckkurven zwischen Schwermetalloxiden und Schwermetallchloriden ist eine

Differenz zwischen den Partialdrücken ersichtlich. Die Schwermetallchloride weisen deutlich höhere Partialdrücke auf. Dieser Effekt wird bei der thermochemischen Modifizierung ausgenutzt und kann, wie im Beispiel der additivunterstützten Verbrennung, zu einer deutlichen Schwermetallentfrachtung führen. Je nach betrachtetem Schwermetall weisen die unterschiedlichen Schwermetall-Halogenid-Verbindungen unterschiedliche Partialdrücke und damit Flüchtigkeiten in die Gasphase auf, was zu unterschiedlichen Entfrachtungen führt. Im realen Experiment liegen die Schwermetalle jedoch nicht als reine Oxide vor, sondern sind mit anderen Elementen vergesellschaftet. Dieses kann zu einer verminderten Entfrachtung führen. Das zugeführte Additiv kann zudem mit anderen Verbindungen im Klärschlamm reagieren, was ebenfalls Einfluss auf die Verbrennung und Entfrachtung im Staubfeuerungsprozess haben könnte. Die höheren Temperaturen der Staubfeuerung sollten sich dagegen positiv auf die Schwermetallentfrachtung auswirken.

Daher ist Bestandteil weiterer Untersuchungen die großtechnische Umsetzung der additivunterstützten Schwermetallreduktion von Klärschlämmen mit Verifizierung der Additiveffektivität. Außerdem sollen Optimierungen der Anlagenparameter hinsichtlich der Feuerung erfolgen. Weiterer Bestandteil ist die Entwicklung und Integration eines Heißgasfiltermoduls mit keramischen Filtern zur Ascheabtrennung im Heißgasbereich.

#### 4. Zusammenfassung

Die beschriebenen Ergebnisse sind aus einem Versuchslauf entnommen worden, und decken sich im Wesentlichen mit durchgeführten Verbrennungsuntersuchungen.

Im Zuge des DreiSATS-Projektes wird mit den Projektpartnern die prozessintegrierte Schadstoffentfrachtung weiter untersucht. Die durchgeführten Laboruntersuchungen lassen eine weitere Steigerung der Schadstoffentfrachtung durch Additivzugaben erwarten. Diese können sich auch auf eine Erhöhung der Phosphorlöslichkeiten auswirken.

Mit dem Konzept der staubbefeuerten thermischen Verwertung von Klärschlamm und Generierung einer hochwertigen Asche stellt Carbotechnik ein System zur Verfügung

welches praktisch beliebig skalierbar ist und auch für kleine Anlagen ab rund 10.000 to/a 25%TS wirtschaftlich zu betreiben ist.

[1] Adam, C.; Peplinski, B.; Michaelis, M.; Kley, G.; Simon, F. G.: Thermochemical treatment of sewage sludge ashes for phosphorus recovery. In: Waste Management 29, 2009, pp. 1122-1128

[2] DreiSATS: Technologiedemonstration zur Kombination von Staubfeuerung und Säureaufschlussgranulierung mit integrierter Schwermetallabscheidung für das regionale Phosphorrecycling im „Mitteldeutschen Dreiländereck“ Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen. www.DreiSATS.de, Markranstädt, 2020

[3] Heindl A.; Göbl T., Görlich M. Graf M.: Thermische Behandlung von Klärschlamm. In: DWA (Hrsg.): DWA Korrespondenz Abwasser-Abfall. Hennf: GFA, 04/2020, S. 286-294.

[4] Herzel, H.; Kugler, S. A.; Schaaf, T; Adam, C.: Herstellung neuer Düngemittelausgangsstoffe durch thermochemische Behandlung von Klärschlammaschen. In: Holm, O.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P.; Kopp-Assenmacher, S. (Hrsg.): Verwertung von Klärschlamm, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2018, S. 495-511

[5] Otte-Witte R.; DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5: Technische Hinweise zu bewährten Behandlungsverfahren für Klärschlamm. In: DWA (Hrsg.): DWA Korrespondenz Abwasser-Abfall. Hennf: GFA, 2019 (66) Nr. 3, S. 210-218

### **Ansprechpartner**

Erich Eder  
Carbotechnik Energiesysteme GmbH  
Vertriebsbeauftragter  
Lauterbachstraße 12  
82538 Geretsried  
+49 8171 9282-26  
+49 177 2913815  
eder@carbotechnik.de

Lasse Fabian Köhl  
Fraunhofer IKTS Dresden  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Carbidkeramik und Filterkeramik  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
+49 351 2553-7612  
lassefabian.koehl@ikts.fraunhofer.de