

# Neues Verfahren zur thermischen Klärschlammbehandlung für kleinere Kläranlagen

Helmut Gerber, Jochen Scherer; Gemünden; Klaus Siekmann, Thür; Winfried Sehn, Bingen

## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Abwasserreinigung hat zwischenzeitlich einen Stand erreicht, dass hier nur noch wenig Optimierungspotential möglich erscheint. Mit zunehmender Qualität der Abwasserreinigung haben auch die Klärschlammengen ständig zugenommen. Nach neuesten Erhebungen des statistischen Bundesamtes [1] fielen im Jahr 2008 in Deutschland rund 2,1 Mio. Tonnen Klärschlamm, bezogen auf die Trockenmasse, an, von denen 52,5 % thermisch entsorgt wurden. In vorwiegend ländlich strukturierten Gebieten ist jedoch, soweit politisch toleriert, die landwirtschaftliche Verwertung vorrangig. So werden z. B. in Rheinland-Pfalz nur ca.  $\frac{1}{4}$  der Schlämme thermisch entsorgt, während die landwirtschaftliche Verwertung mit ca. 74 % deutlich überwiegt. Dabei ist zu beachten, dass ca. 80 % der rheinland-pfälzischen Kläranlagen der Größenklasse 3, d. h. bis 10.000 EW, zuzuordnen sind.

Bei minimalen Schadstoffgehalten des Klärschlammes ist selbstverständlich auch heute noch eine landwirtschaftliche Verwertung zu befürworten, da hierdurch der Stoffkreislauf geschlossen wird. Da jedoch aus Gründen der Nachhaltigkeit die Grenzwerte für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung durch die novellierte Klärschlammverordnung weiter verschärft werden sollen (etwa 25 % der bislang landwirtschaftlich verwerteten Schlämme sind in diesem Fall anderweitig zu entsorgen) und gleichzeitig Hygienisierungsauflagen zu erwarten sind, werden bei den ländlich strukturierten Kommunen Überlegungen angestellt, Alternativen zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung aufzuzeigen.

In Baden-Württemberg und in Bayern hat dies bereits dazu geführt, den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu propagieren.

Alternativen sind jedoch nur dann sinnvoll, wenn neben einer sicheren Entsorgung gleichzeitig auch die Wirtschaftlichkeit gewährleistet ist. Des Weiteren sind vor allem im ländlichen Raum Verfahren gefragt, die auch auf kleineren Kläranlagen einsetzbar sind.

Die Alternative der Mitverbrennung stellt gerade für die Betreiber kleinerer Kläranlagen im ländlichen Raum ein erhebliches finanzielles Risiko dar. Zum einen sind die Kosten des Klärschlammtransports bis zum Standort der Verbrennungsanlage zu berücksichtigen. Zum anderen herrscht das subjektiv begründete Gefühl vor, dass die großen Energiekonzerne, die ja im Wesentlichen Betreiber der Verbrennungsanlagen

sind, den Kläranlagenbetreibern mittelfristig den "Preis diktieren". Des Weiteren ist Phosphor als endlicher Rohstoff bei einer Mitverbrennung unwiderruflich verloren.

Ein Ausweg aus dieser Problemstellung kann nur über dezentrale thermische Behandlungseinrichtungen erfolgen. Dies bedingt natürlich, dass die Umweltauflagen eingehalten werden und eine wirtschaftliche Betriebsführung gewährleistet wird.

Bislang werden für einen wirtschaftlichen Einsatz von Monoverbrennungsanlagen Anschlussgrößen von mehreren Hunderttausend Einwohnerwerten (EW) genannt. Selbst die in jüngster Zeit zur Marktreife geführte Klärschlammvergasung verlangt eine Wirtschaftlichkeitsgrenze von etwa 100.000 EW. Diese Technologien sind demnach für den ländlichen Raum nicht bzw. nur bedingt geeignet. Versuche, eine Vielzahl von Gebietskörperschaften für eine gemeinsame Lösung zu begeistern, sind extrem aufwändig und schlagen in der Regel fehl.

Ein Alternativverfahren zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung hat demnach folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Einsatz auch bei kleineren Kläranlagen (ab 10.000 EW)
- Einhaltung der Umweltauflagen nach 17. BImSchV
- ggfls. Nutzung der Klärschlammasche als Phosphorquelle bzw. sichere Reststoffentsorgung
- Sicherstellung der Hygienisierung
- Energieautarkie
- Einbindung in die Verfahrenskette der Abwasser- und Schlammbehandlung
- hohe Wirtschaftlichkeit

## **2. Lösungsansatz**

Vor etwa 4 Jahren wurde von den Verfassern die Thematik "Entwicklung kleiner Klärschlammverbrennungsanlagen" aufgegriffen. Erste Versuche wurden mit Herstellern von Festbrennstofföfen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass die einfache Verbrennung von getrocknetem Klärschlamm in mehr oder weniger handelsüblichen Festbrennstofföfen nicht zielführend ist.

In Modifikation des angedachten Konzepts wurde daraufhin in Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Pelletiermaschinen der Zwischenschritt einer Pelletierung des Klärschlammes angedacht bzw. umgesetzt. Mit der Transferstelle für rationale und regenerative Energienutzung (TSB) an der Fachhochschule Bingen wurde weiterhin ein kompetenter Partner für die wissenschaftliche Betreuung und Durchführung der anstehenden Verbrennungsversuche mit einem Pelletofen gewonnen. Jedoch waren auch hier die Ergebnisse eher negativ. Im Vergleich zu beispielsweise Holzbrennstoffen führte insbesondere die geringe Ascheerweichungstemperatur des Klärschlammes zu einer zügigen Verschlackung des Brennraumes, so dass ein kontinuierlicher Betrieb des Brennofens nicht möglich war.

In Kenntnis der verbrennungstechnischen Eigenschaften des Materials bzw. der nicht zufriedenstellenden Ergebnisse der bisherigen Versuche wurden daraufhin weitere Versuche mit einer thermischen Vergasung (PYREG-Reaktor) durchgeführt. Mit dieser patentierten und vergleichsweise einfachen Anlagentechnik, die zum damaligen Zeitpunkt in Bingen getestet wurde, konnten umgehend gute Ergebnisse hinsichtlich der Erzeugung von Biogas aus den Klärschlamm pellets erzielt werden. Das entstehende Gas wird in einem sogenannten FLOX<sup>â</sup>-Brenner (FLOX  $\triangleq$  flammenlose Oxidation) verbrannt. Hierdurch kann die notwendige Wärmeenergie zum Betrieb des PYREG-Reaktors zur Verfügung gestellt werden.

Die guten Anfangsergebnisse, die einfache Anlagentechnik und die Eignung zur Umsetzung in kleineren Anlageneinheiten führten dazu, dieses Lösungskonzept eingehender zu untersuchen.

Es wurde bei der Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz (ISB) GmbH ein Förderantrag gestellt, der vom Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau genehmigt wurde.

Nach ersten erfolgreichen Vorversuchen bei der FH Bingen wurde mit den bereitgestellten Mitteln eine Pilotanlage mit einer thermischen Leistung von 100 kW<sub>th</sub>, dies entspricht dem anfallenden Klärschlamm von ca. 15.000 EW, auf der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes "Untere Selz" in Ingelheim errichtet.

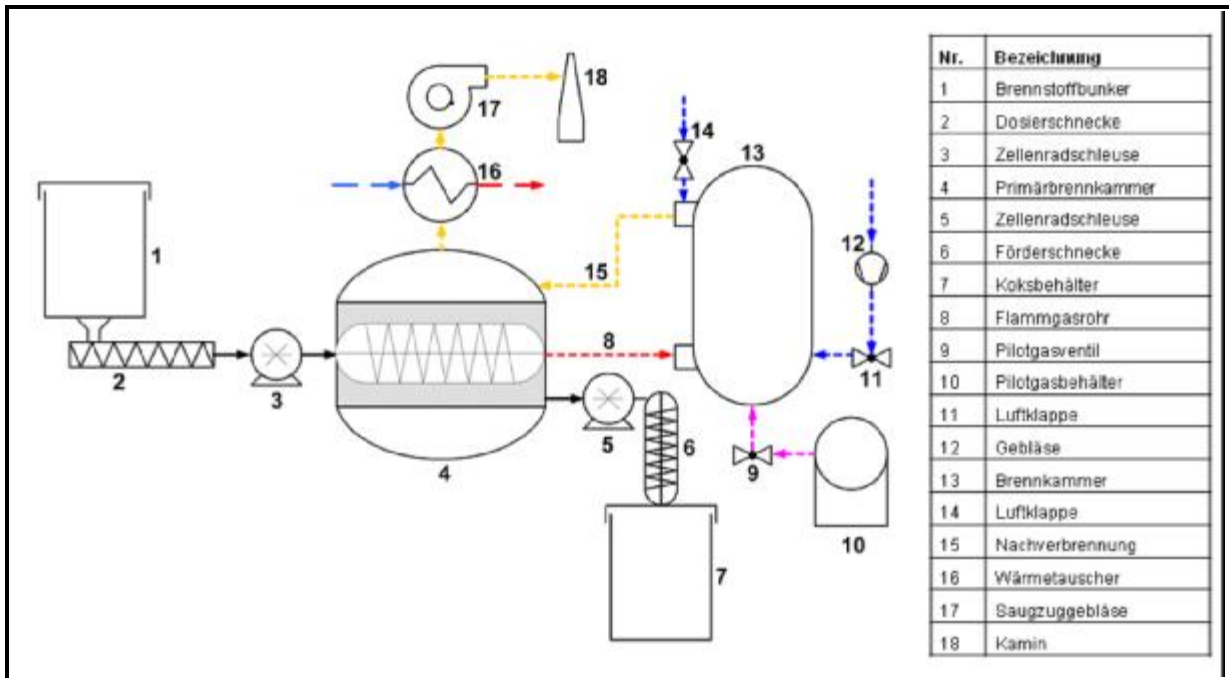
**Arbeitsgemeinschaft:**

PYREG Ingenieurbüro Helmut Gerber	ð	Anlagenentwicklung
Scherer GmbH	ð	Fertigung
FH Bingen, Fachbereich 2, Prof. Sehn	ð	Wissenschaftliche Begleitung
Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH	ð	Projektleitung

Das Land Rheinland-Pfalz ist mit seinen zuständigen Ministerien seit Beginn des Vorhabens in das Projekt eingebunden und unterstützt das von rheinland-pfälzischen Unternehmen entwickelte Verfahren vorbildlich.

### 3. Verfahrensbeschreibung

Das Verfahrensschema ist nachfolgend dargestellt.



**Abb. 1: Verfahrensschema der thermischen Klärschlammverwertung**

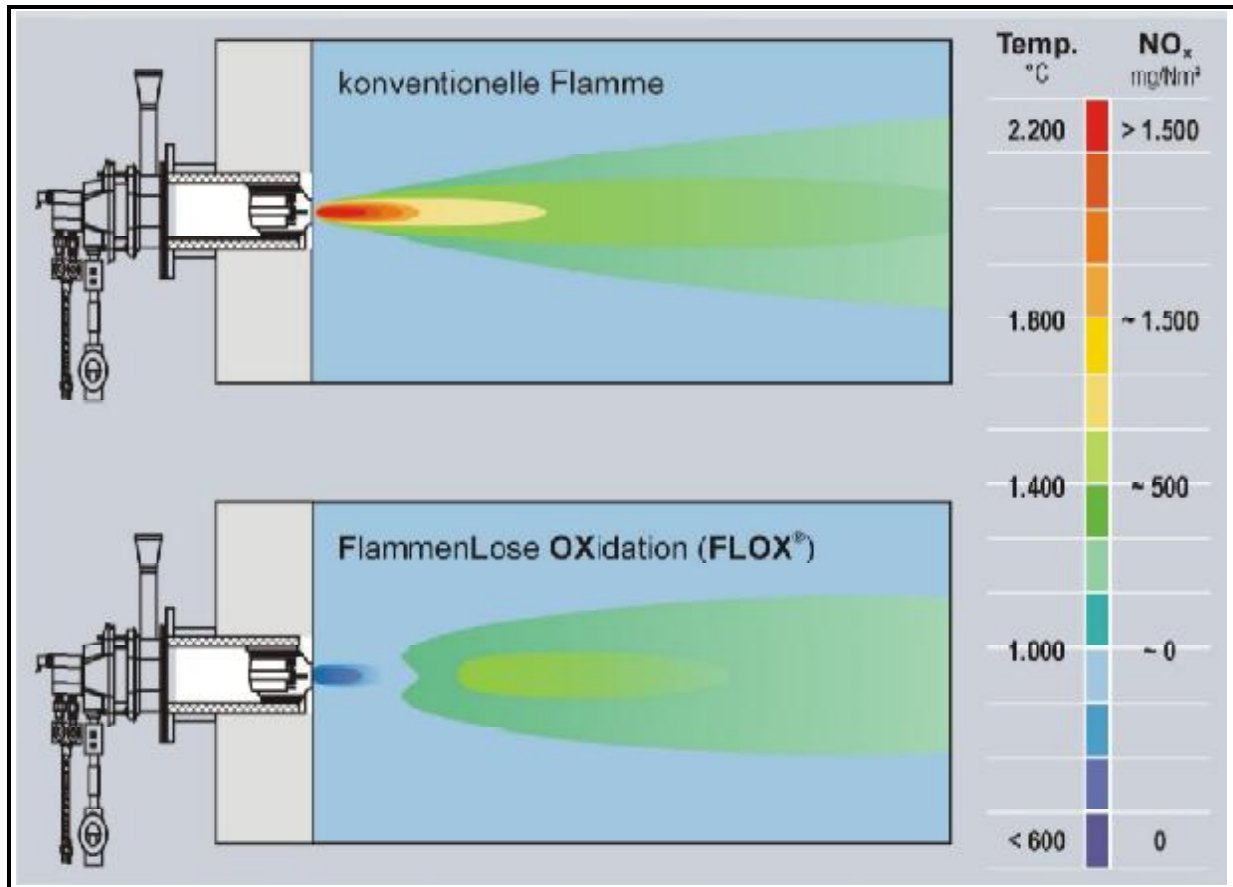
Der Brennstoff (getrockneter Klärschlamm) wird aus dem Lagerbehälter über eine gasdichte Dosiereinrichtung (Zellenradschleuse) dem Doppelwellenreaktor (Primärbrennkammer) zugeführt. Im Reaktor sorgen zwei gekoppelte Förderschnecken, welche zur Vermeidung von Anbackungen ineinander kämmend angeordnet sind, für den kontinuierlichen Transport und unterstützen die gleichmäßige Erwärmung. Der Schneckenantrieb erfolgt über einen außenliegenden Elektromotor.

Der getrocknete Klärschlamm wird durch die im Gegenstrom über den Außenmantel des Reaktors geführten Abgase der nachgeschalteten Gasfeuerung und die im Reaktor ablaufenden exothermen Zersetzungsprozesse bis zu einer Temperatur von ca. 700° C beheizt.

Die Vergasung des Klärschlammes erfolgt unter weitgehendem Luftabschluss im selbstreinigenden Doppelwellenreaktor unterhalb der Ascheerweichungstemperatur (< 800° C), so dass im Gegensatz zu bekannten Verfahren keine Betriebsstörungen durch aufschmelzende Aschen zu beobachten sind.

Bedingt durch das Verfahrensprinzip sind die Staubemissionen wesentlich geringer im Vergleich zu einer herkömmlichen Biomassefeuerung ähnlicher Leistung, die dem bisherigen Stand der Technik entspricht.

Das auf diese Weise gewonnene Biogas wird anschließend im Gegensatz zu anderen Verfahren als bereits brennendes Flammgas in den FLOX<sup>®</sup>-Brenner geführt.



**Abb. 2: Funktionsprinzip FLOX<sup>®</sup>-Brenner**

Durch indirekten Ausbrand der Festbrennstoffe im Gasbrenner werden die Staubemissionen reduziert. Gleichzeitig wird durch den Betrieb der Brennkammer mit interner Rauchgasrückführung zur Reduzierung der Spitztemperatur eine thermische NO<sub>x</sub>-Bildung verhindert. NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Oxidation von brennstoffgebundenem Stickstoff durch Nutzung der Redoxreaktionen in reduzierender Atmosphäre nahe  $\lambda = 1$  werden reduziert (LEA: Luftmangelreaktion mit Nutzung von Reburning-Effekten). Zur Nachverbrennung von CO erfolgt eine Verbrennungsluftstufung mit Oberluft.

Durch die Kombination der FLOX<sup>®</sup>-Brenner-Technik mit effizienter Wärmenutzung zur Vergasung, Trocknung und ggfls. Kraft-Wärme-Kopplung wird die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens deutlich erhöht.

Die Abgasemissionen liegen im Vergleich mit anderen Feststofffeuerungen auf einem sehr geringen Niveau. Mit einer kleineren dezentralen und somit kostengünstigeren Anlagentechnik ist somit die Einhaltung der Grenzwerte nach der 17. BImSchV (Müllverbrennungsanlagen) technisch möglich.

Die Reststoffe, im Wesentlichen bestehend aus Kohlenstoff, Phosphor, Stickstoff und weiteren Spurenelementen, werden nach Durchlauf einer Abkühlstrecke mit einer

weiteren Zentralschleuse in einen Absetzbehälter verbracht. Der Kohlenstoffgehalt des Pyrolyserestes kann durch eine in den Reaktor integrierte Nachschmelzzone in weiten Grenzen variiert werden.

Die Reststoffe der Ingelheimer Pilotanlage unterschreiten die Grenzwerte der Klärschlammverordnung sowie der Düngemittelverordnung deutlich und können somit in die Landwirtschaft verbracht werden.

#### **4. Pilotanlage**

Auf dem Gelände der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes "Unter Selz" (AVUS) in Ingelheim wird seit Beginn des Jahres 2008 eine Pilotanlage zur thermischen Klärschlammbehandlung mit einer Brennerleistung von ca. 100 kW<sub>th</sub> betrieben. Bei einem Durchsatz an getrocknetem Klärschlamm von ca. 40 kg TR/h bzw. 300 t TR/a entspricht dies einer Anlagengröße von ca. 15.000 EW.

Das nachfolgende Foto zeigt die Pilotanlage im ursprünglichen Zustand. Die Anlage wurde zwischenzeitlich mit vorgeschaltetem Trockner gleicher Bauart ausgerüstet und technisch komplett überholt.



**Abb. 3: Pilotanlage auf der Kläranlage "Untere Selz" in Ingelheim**

## **5. Bisherige Untersuchungsergebnisse**

### **Gasemissionen**

Vom 31.03. - 02.04.2009 wurden von der Wessling Laboratorien GmbH, Ingelheim, die Einstufungsmessungen nach 17. BImSchV an der Pilotanlage mit Erfolg durchgeführt.

Die Untersuchungsergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

**Tabelle 1: Emissionsmessungen nach der 17. BImSchV**

<b>Parameter</b>	<b>Messwert</b> Mittelwert [mg/m <sup>3</sup> ]	<b>Grenzwert</b> Mittelwert [mg/m <sup>3</sup> ]
Gesamtstaub	<b>28,4</b>	10
Gesamt-C (org. Stoffe)	3,8	10
NO <sub>x</sub>	140,6	200
CO	20,3	50
Dioxine und Furane	0,000013	0,0001

Bei den Messwerten handelt es sich um Mittelwerte. Diese werden mit den in der 17. BImSchV geforderten Tagesmittelwerten verglichen. Die Messergebnisse beziehen sich auf einen Bezugssauerstoffgehalt von 11 Vol.-%. Dieser wird gefordert, um eine Verdünnung des Abgases mit Luft auszuschließen und so die Messergebnisse mit den Grenzwerten vergleichbar zu machen.

Die oben dargestellten Parameter sind durch Eingriffe in die Feuerung beeinflussbar. Dazu zählen vor allem Primärmaßnahmen wie die Lambda- und Temperatursteuerung sowie die OFA-, FGR- und LEA-Zonen (Ovrt Fire Air, Flue Gas Recirculation, Low Express Air).

Es wird deutlich, dass insbesondere die als kritisch einzustufenden Parameter, wie z. B. Dioxine und Furane, bei den Emissionen kein Problem darstellten. Grenzwertüberschreitungen traten hier nur beim Staub auf, was jedoch im Vorfeld zu erwarten war.

Die Konzentrationen der anderen Inhaltsstoffe des Abgases (Schwermetalle, Schwefeldioxyde, Halogene etc.) hängen im Wesentlichen von der Qualität des eingesetzten Klärschlammes ab und sind nicht durch die Verfahrensparameter der thermischen Behandlung beeinflussbar.

Zur prozessstabilen Einhaltung der Grenzwerte ist daher der Betrieb eines Venturiwäschers geplant, der den Staub und daran anhaftende Schwermetalle sowie waserlösliche Inhaltsstoffe (HCl, HF, SO<sub>2</sub>) abscheidet.

### **Reststoffe**

Die Klärschlammmasche wurde am 31.07.2008 und 31.03.2009 durch das Labor CLD GmbH, Kaiserslautern, untersucht.



Die Analysenergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

**Tabelle 2: Analyse der Klärschlammasche**

<b>Parameter</b>	<b>Messwert</b> [mg/kg TS]	<b>Grenzwert</b> [mg/kg TS]
Blei	64	900
Cadmium	1,91	10
Chrom	45	900
Kupfer	339	800
Nickel	44	200
Quecksilber	0,26	8
Zink	1468	2500
AOX	135	500
PCB	< 0,01	0,2
LHKW	< 0,01	<b>1</b>
BTXE	< 0,01	<b>1</b>
PAK	0,65	<b>5</b>

Die aufgeführten Grenzwerte wurden der Klärschlammverordnung bzw. der Depo-nieverwertungsverordnung (**fett dargestellt**) entnommen. Die Analysen zeigen, dass die geforderten Grenzwerte deutlich, z. T. unterhalb der Nachweisgrenze, eingehalten werden. Weiterhin entspricht die Asche der Düngemittelverordnung und ist als organischer NPK-Dünger deklarierbar.

Die Verwertung der Klärschlammasche weist gegenüber einer Nassschlammverwertung folgende Vorteile auf:

- Die Transportkosten für die Ausbringung werden erheblich reduziert, da nur noch vollständig trockenes Material anfällt, während bei der Nassschlammverwertung mehr als 95 % Wasser transportiert werden muss. Die Lagerfähigkeit wird verbessert.

- Die auszubringenden Mengen lassen sich im Vergleich zu Nassschlamm wesentlich besser quantifizieren. Eine einfache Ausbringung mit Kunstdüngerstreuern, auch in Hanglage, ist möglich.
- Der auszubringende Trockenschlamm hat gegenüber dem Nassschlamm deutliche "Emissionsvorteile". Es entstehen keine Geruchsbelästigungen. Optische Beeinträchtigungen werden ausgeschlossen.
- Der Schlamm ist auf Grund der thermischen Behandlung vollständig hygienisiert, das heißt, sämtliche Krankheitserreger sind abgetötet.
- Weiterhin ist davon auszugehen, dass sich der Gehalt an endokrinen Stoffen durch die thermische Behandlung in erheblichem Maß reduziert.

Im Vergleich zur Nassschlammverwertung kann dem Landwirt demnach ein erheblich attraktiveres Produkt zur Verfügung gestellt werden, was zu einer deutlichen Erhöhung der Akzeptanz führen wird.

Sollte eine landwirtschaftliche Verwertung nicht möglich sein, können die Reststoffe zur Phosphorrückgewinnung bzw. zur Herstellung von Terra Preta verwendet werden sowie gemäß geltendem Recht (AbfklärV) auch direkt auf einer Deponie endgelagert werden.



**Abb. 4: Klärschlammmasche**

## 6. Wirtschaftlichkeit

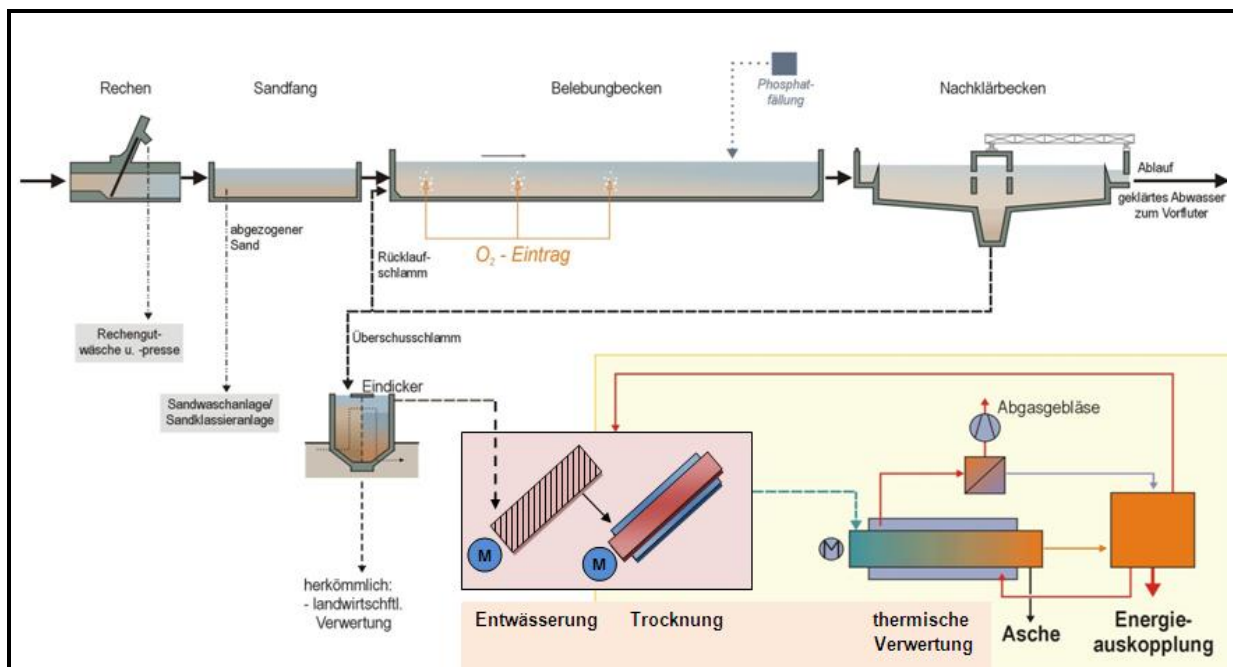
Die Kapazität der PYREG-Anlage orientiert sich an der dezentralen Verfügbarkeit und der geringen Energiedichte des Brennstoffes, um unnötige Transportaufwendungen zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund wird eine Brennstoffleistung zwischen 100 und 500 kW als sinnvoll angesehen. Eine Kläranlagenanschlussgröße von 10.000 bis 50.000 EW sollte hiermit abgedeckt werden. Die Anlage kann in einem handelsüblichen 20' ISO-Container (Abmessungen: 6,06 x 2,44 x 2,59 m) installiert werden. Eine Kapazitätserweiterung erfolgt durch Parallelbetrieb mehrerer Container.

Die Anlagentechnik befindet sich derzeit noch in der Erprobungsphase, so dass die genauen Investitionskosten nicht angegeben werden können.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Gesamtkosten (Investition und Betrieb) im Vergleich zu bisher bekannten thermischen Verwertungsanlagen anderer Größenordnung mit vorgeschalteter Trocknung deutlich günstiger liegen.

Nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Einbindung der thermischen Verwertung in den Betriebsablauf einer Kläranlage mit gemeinsamer aerober Stabilisierung. Gleiches ist für eine Kläranlage mit Faulung möglich.



**Abb. 5:** Einbindung des PYREG-Reaktors mit FLOX<sup>â</sup>-Feuerung und vorgeschalteter Entwässerung/Trocknung in den Betriebsablauf einer Kläranlage

## **7. Zusammenfassung und Ausblick**

Auf dem Gelände der Kläranlage des Abwasserzweckverbandes "Untere Selz" (AVUS) in Ingelheim wird die im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelte Versuchsanlage zur thermischen Klärschlammverwertung betrieben. Das von den Projektpartnern FH Bingen, PYREG Ingenieurbüro Helmut Gerber, Metallbau Scherer GmbH sowie Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH entwickelte innovative Verfahren ermöglicht auf kleineren Kläranlagen die dezentrale thermische Verwertung von Klärschlämmen ohne den Einsatz fossiler Energieträger und stellt eine wirtschaftliche Alternative zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung dar.

Im Frühjahr 2009 wurden an dieser Pilotanlage (PYREG-Anlage) die Emissionsmessungen nach der 17. BImSchV, bezuschusst durch das Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, mit Erfolg durchgeführt.

Auf Grund der positiven Ergebnisse wurde der seit März 2008 laufende Probetrieb zur Integration eines vorgeschalteten Trockners sowie eines Abgaswäschers von der SGD Süd zwischenzeitlich verlängert.

Nach erfolgreicher Durchführung abschließender Emissionsmessungen wäre auch der letzte Baustein für ein funktionierendes System in seiner Gesamtheit eingepasst. Somit stünde als Alternative zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ein wirtschaftliches Verfahren zur thermischen Verwertung zur Verfügung, das zu einer nachhaltigen Entlastung der Entsorgungskosten und der Abwasserbeseitigungsgebühren beitragen kann.

Neben dem bisher praktizierten Betrieb mit ausgefaultem Schlamm der Kläranlage "Untere Selz" wird weiterhin ein Probetrieb mit einem aerob stabilisierten Schlamm einer rein ländlich strukturierten Kommune vorgesehen. Im Rahmen dieser Versuchsserie sollen gleichzeitig mögliche Unterschiede zwischen einem aerob stabilisierten und einem ausgefaulten Schlamm aus energetischer Sicht herausgearbeitet werden.

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Verfahrenskette zur Klärschlammbehandlung soll der zur thermischen Behandlung des Klärschlammes vorgesehene Doppelwellenreaktor quasi baugleich auch als Trockner genutzt werden. Gerade bei kleineren Kläranlagen werden systemgleiche Aggregate neben einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit zu einer deutlichen Vereinfachung des Betriebs führen.

In den noch ausstehenden Untersuchungen ist insbesondere auch die Wertigkeit der Klärschlammmasche als Düngemittel zu überprüfen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Organik und die hieraus resultierenden Belastungen nach der thermischen Verwertung nicht mehr vorhanden sind. Das mit der Novellierung der Klärschlammverordnung zu erwartende Hygienisierungsgebot wird mit vorhandener Anlagentechnik ohne weitergehende Investitionen problemlos eingehalten.

Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in den Reststoffen ist detailliert nachzuweisen. Des Weiteren werden Untersuchungen zur Phosphorrückgewinnung aus der

Asche durchgeführt. Phosphor ist ein endlicher Rohstoff, der unbedingt in den Stoffkreislauf zurückzuführen ist. Während bei einer Mitverbrennung des Klärschlammes in Zementwerken bzw. Kohlekraftwerken der Phosphor unwiderrufflich verloren ist, kann er beim PYREG-Verfahren als Reststoff weiterhin genutzt werden.

Nach Abschluss der noch durchzuführenden Untersuchungen steht ein von rheinland-pfälzischen Unternehmen entwickeltes Verfahren zur thermischen Klärschlammverwertung zur Verfügung, das auf einer Vielzahl kleinerer Kläranlage wirtschaftlich eingesetzt werden kann.

Ziel ist es, dieses Verfahren anlässlich der IFAT in diesem Jahr der breiten Öffentlichkeit vorzustellen.

## **Literatur**

[1] Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 504 vom 22.12.2009

### Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Helmut Gerber

Dipl.-Ing. Jochen Scherer

PYREG GmbH

Schlossstraße 2

55490 Gemünden

Dr.-Ing. Klaus Siekmann

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH

Segbachstraße 9

56743 Thür

Prof. Dr.-Ing. Winfried Sehn

Fachhochschule Bingen

Berlinstraße 109

55411 Bingen