

# **Klärschlamm ein „nachwachsender“ Energierohstoff?**

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich<sup>1,2</sup>  
Dipl.-Wirtschafts-Ing. Eva Hamatschek<sup>2</sup>  
Dr. Mario Mocker<sup>2</sup>  
Dipl.-Ing. Rolf Jung<sup>2</sup>  
Dr.-Ing. Peter Quicker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München  
Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie  
Straubing

<sup>2</sup>ATZ Entwicklungszentrum  
Sulzbach-Rosenberg



## 1. Einleitung

In kommunalen und industriellen Kläranlagen werden im Abwasser enthaltene gelöste und partikelförmig vorliegende Schadstoffe, die aufgrund ihrer hohen Konzentration eine negative Auswirkung auf Gewässer haben, größtenteils entfernt. Die Anreicherung der Feststoffe wird allgemein als Klärschlamm bezeichnet und erfolgt in mehreren Behandlungsschritten. In der mechanischen Reinigungsstufe entsteht Primärschlamm durch physikalische Verfahren zur Abtrennung des Schlammes von Abwasser. Sekundärschlamm, auch Überschussschlamm genannt, entsteht aus der Lebenstätigkeit der am Reinigungsprozess beteiligten Mikroorganismen in der biologischen Abwasserreinigungsstufe. Klärschlämme enthalten generell die in der Abwasserbehandlung umgesetzten und abgetrennten Stoffe. Dazu zählen zum einen anorganische, ungelöste Bestandteile, wie Sand, Salze, Tone, Hydroxide, gelöste Anteile wie Metall- und Phosphationen und zum anderen organische Verbindungen wie Mikroorganismen, Proteine und Polymere. Der Feststoffanteil enthält auch die in den einzelnen Behandlungsstufen zugegebenen Fällungs- und Flockungsmittel. In kommunalen Klärschlämmen beträgt der organische Anteil etwa 60 %. Die Elementarzusammensetzung der organischen Bestandteile des Klärschlammes besteht aus über 50 % Kohlenstoff, circa 35 % Sauerstoff und geringen Anteilen Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel. Der organische Anteil des Klärschlammes beeinflusst den Heizwert, dieser liegt mit rund 11.000 kJ/kg ähnlich hoch wie der Heizwert von Braunkohle oder Hausmüll. [1]

Klärschlamm ist biogenen Ursprungs und somit als klimaneutral einzustufen. Bei der thermischen Verwertung von Klärschlamm entsteht lediglich regeneratives CO<sub>2</sub> womit Klärschlamm als erneuerbare Energiequelle einzustufen ist. Dieser Energierohstoff sollte genutzt werden um fossile Rohstoffe zu substituieren.

Seit dem 1. Juni 2005 ist die Übergangsfrist der TA Siedlungsabfall abgelaufen. Das bedeutet, dass seither die Ablagerung unbehandelter Abfälle – also auch von Klärschlamm – nicht mehr zulässig ist. Aus Gründen des vorsorgenden Boden- und Verbraucherschutzes ist auch die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung kritisch zu betrachten. Die sinkende Akzeptanz und die zu erwartende signifikante Absenkung der Grenzwerte für diese Art der Verwertung trägt zur weiteren Veränderung der Entsorgungssituation des Klärschlammes bei [2]. Entsprechend war in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme der thermisch behandelten Klärschlammmenge zu verzeichnen. Bayern kann als Vorreiter angesehen werden und hat bereits frühzeitig eine neue Strategie für die zukunftsfähige und nachhaltige Klärschlamm-entsorgung ausgearbeitet, die mittelfristig die thermische Verwertung bzw. thermische Behandlung des bisher landbaulich und landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammes vorsieht [3]. Dementsprechend wurden im Jahr 2005 bereits 41,4 % der in Bayern insgesamt angefallenen Klärschlammmenge von 292.699 Mg, bezogen auf die Trockenmasse, thermischen Anlagen zugeführt [4]

Neben der thermischen Behandlung von Klärschlamm stehen noch mechanisch-biologische und chemisch-physikalische Verfahren zur Verfügung. Hierbei wird jedoch meist eine Stofftrennung erwirkt, d. h. nach der Behandlung, liegen mehrere Fraktionen vor, von denen zumindest einige nicht direkt, ohne weitere Behandlung abgelagert werden können. Ein Nachteil der mechanisch-biologischen Behandlung (Kompostierung, Vererdung) – abgesehen von der Faulgaserzeugung – ist zudem, dass die im Klärschlamm enthaltene Energie aufgrund von diffusen Emissionen nicht genutzt werden kann.

Die Eignung von Klärschlamm als „nachwachsender“ Energierohstoff wird nachfolgend an zwei Verfahren gezeigt. Hierbei handelt es sich um zwei innovative, dezentrale Verfahren die vom ATZ Entwicklungszentrum zur Anwendungsreife gebracht wurden.

## **2. Dezentrale Klärschlammverwertungskonzepte**

### **2.1. Vorbehandlung von Klärschlämmen durch das ATZ-TDH<sup>®</sup>-Verfahren**

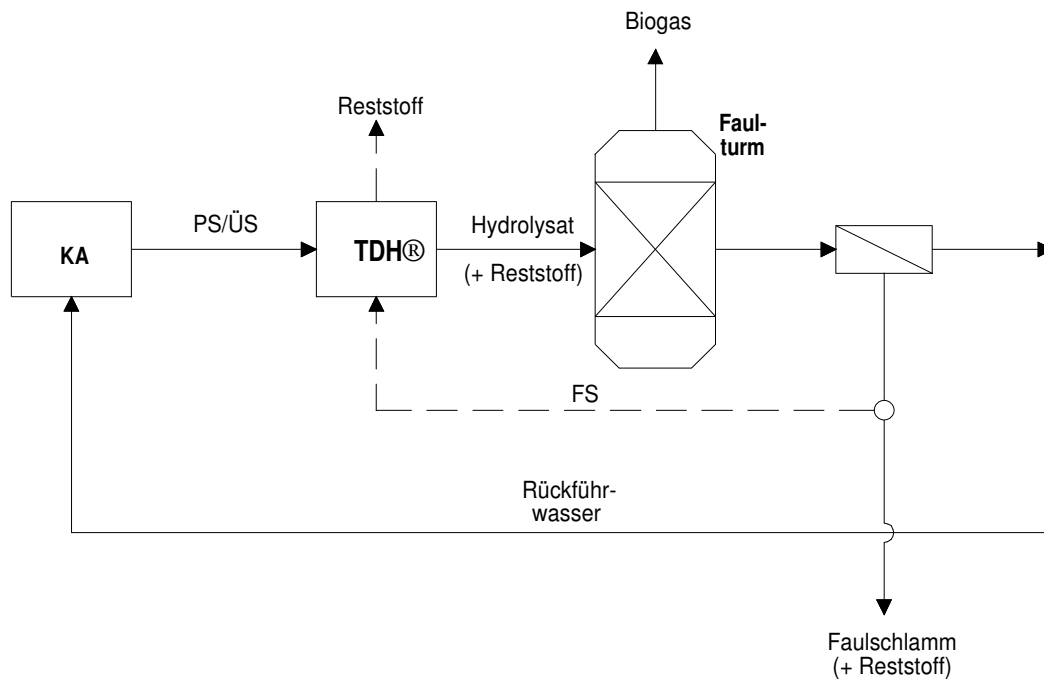
Einen wichtigen Beitrag zur effektiven Klärschlammmassenreduktion auf Kläranlagen mit anaerober Schlammbehandlung kann das vom ATZ Entwicklungszentrum entwickelte Thermodruckhydrolyse-Verfahren (TDH<sup>®</sup>) leisten. Dabei kann die am Standort der Kläranlage vorhandene Infrastruktur, beispielsweise der anaerobe Bioreaktor zur Klärschlammfäulung, bei Nachrüstung mit dem TDH<sup>®</sup>-Verfahren weiterhin genutzt werden. Durch Einsatz der TDH<sup>®</sup> wird der organische Anteil des Faulschlammes bzw. Überschuss- und Primärschlammes durch Druck- und Temperaturerhöhung in einem kontinuierlichen Reaktorsystem in kurzkettinge, biologisch gut verfügbare Bruchstücke gespalten. Nach eventuell erforderlicher Abtrennung des dabei anfallenden festen Stoffes wird das gebildete Hydrolysat im Faulturm in Biogas umgewandelt. Aufgrund des Zellaufschlusses erfolgt eine wesentliche Beschleunigung des biologischen Abbaus in der anaeroben Vergärungsstufe, so dass die Volumina bestehender Faultürme für einen erhöhten Durchsatz an Faulschlamm und „Hydrolysat“ in der Regel ausreichend sind. Im Vergleich zu unbehandelten Schlämmen wird der Biogasertrag um bis zu 30 % gesteigert, was die Energieeffizienz der Kläranlagen deutlich verbessert. Durch die Reduktion der Schlammmenge werden zusätzliche Kapazitäten für die Annahme von externen Schlämmen oder Co-Substraten frei.

Durch die TDH<sup>®</sup>-Behandlung lässt sich weiterhin eine deutlich verbesserte Entwässerbarkeit (ca. 50 % TR) des behandelten Klärschlammes erzielen, da mit dem Zellaufschluss der Biomasse eine Überführung der darin enthaltenen Organik in die flüssige Hydrolysatphase verbunden ist, wodurch die zu entsorgende Klärschlammmenge um bis zu 60 % minimiert wird. Die für die TDH<sup>®</sup> notwendige thermische Prozessenergie kann aus der Abwärme (Abgaswärmetauscher) des zur Verstromung des Biogases eingesetzten Blockheizkraftwerks bezogen werden. Damit ergeben sich wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu anderen Schlamm-aufschlussverfahren (Rührwerkskugelmühlen, Ultraschallaufschlussverfahren, etc.), bei denen elektrische Energie benötigt wird.

Der Einsatz des ATZ-TDH<sup>®</sup>-Verfahrens kann generell dem Faulturm vorgeschaltet oder nachgeschaltet sein.

#### **2.1.1. ATZ-TDH<sup>®</sup>-Verfahren vor Faulturm**

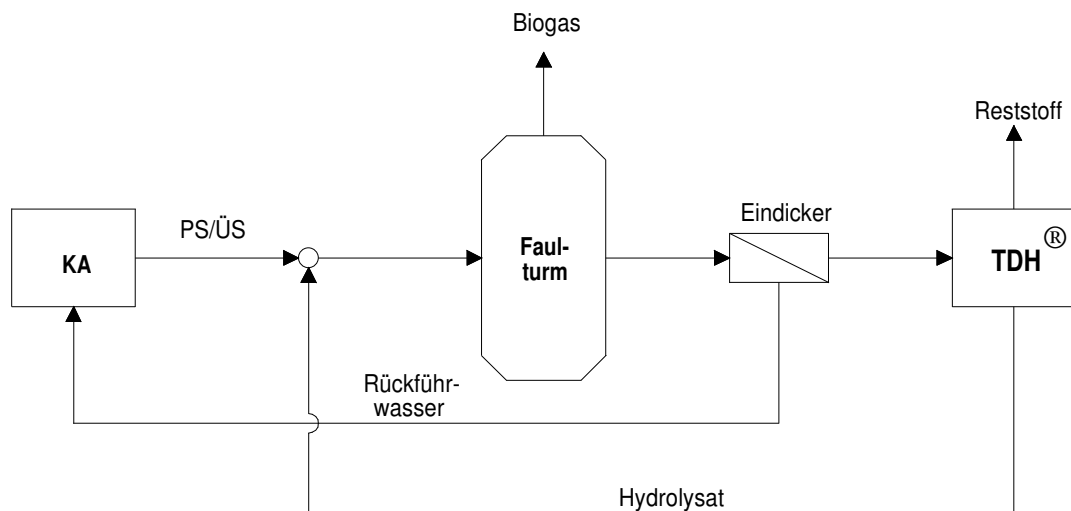
Die Mischung aus Primär- (PS) und Überschussschlamm (ÜS) wird auf ca. 6 - 10 % TR (pumpfähig) eingedickt und über ein Wärmetauschsystem dem Druckreaktor zugeführt. Das prinzipielle Schema der Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt. Im TDH<sup>®</sup>-Reaktor werden die wasserunlöslichen Biopolymere bei erhöhten Temperaturen und Drücken in kurze biologisch gut verwertbare Bruchstücke gespalten. Werden beispielsweise mit Schwermetallen belastete Industrieschlämme eingesetzt, besteht zudem die Möglichkeit die in der festen Phase akkumulierten Schadstoffe auszuschleusen. Nach dem Faulturm wird der Faulschlamm (FS) in konventionellen Vorrichtungen entwässert. Beim Einsatz von feststofffreiem Hydrolysat können die sehr geringen Faulschlammengen erneut in die TDH<sup>®</sup> geleitet werden.



**Abbildung 3: Verfahrensschema ATZ-TDH®-Verfahren vorgeschaltet**

### 2.1.2. ATZ-TDH®-Verfahren nach Faul-turm

Die auf ca. 10 % TR eingedickte Mischung von PS/ÜS wird gemeinsam mit dem rückgeführten, feststofffreien Hydrolysat dem Faul-turm zugeführt. Der anfallende Faulschlamm wird kontinuierlich auf ca. 10 % TR eingedickt und über eine Hochdruckpumpe in die TDH® gefördert. Das abgetrennte Faulwasser wird in die KA zurückgeführt. In der TDH® wird ein großer Anteil des organischen Trockenrückstandes (oTR) in die flüssige Phase überführt. Das prinzipielle Schema der Anlage ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 4: Verfahrensschema ATZ-TDH®-Verfahren nachgeschaltet**

### 2.1.3. Biogasertragssteigerung durch TDH®-Verfahren

Durch die gewählten Reaktionsbedingungen unter hoher Temperatur und entsprechendem Druck wird ohne zusätzlichen Aufwand neben einer vollständigen Hygienisierung des Faulschlammes auch die des Faulwassers gewährleistet. Da der TDH®-Prozess in geschlossenen Anlagen abläuft, ist eine erhöhte Geruchsbelastung ausgeschlossen.

Während der Stabilisierung von Primär- und Überschussschlamm einer Abwasserreinigungsanlage in einem Faulturm werden etwa 40 bis 50 % der enthaltenen Organik zu Biogas umgesetzt. Die verbleibende Restorganik besteht aus der anaeroben Biomasse und aus organischen Verbindungen, die im Laufe des Faulprozesses nicht abgebaut werden konnten. Der mit der thermodruckhydrolytischen Vorbehandlung von Faulschlämmen verbundene Zellaufschluss setzt einen Großteil dieser Organik frei. Die Abbildung 3 verdeutlicht eindrucksvoll das mögliche zusätzliche Biogaspotenzial vorbehandelter Faulschlämmen anhand eines Batch-Versuches.

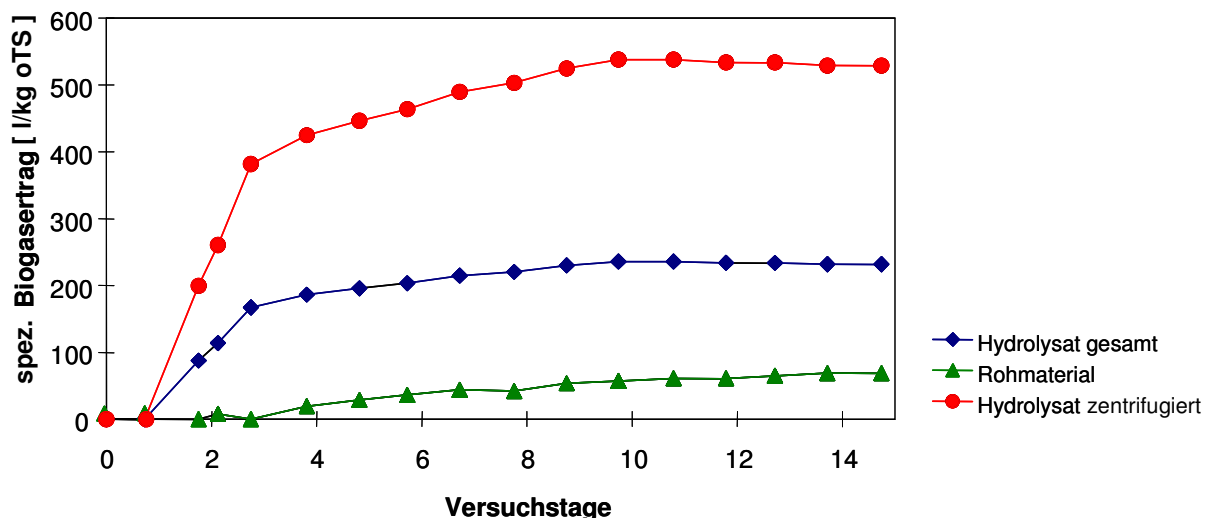


Abbildung 5: Batchversuch, Biogasproduktion Faulschlamm-Hydrolysat

Aufgrund der stark verringerten Klärschlamm Massen muss deutlich weniger Klärschlamm entsorgt werden. Der feste Reststoff enthält einen großen Teil der anorganischen Nährstoffe sowie biologisch inaktive organische Bestandteile.

Klärschlämme stellen jedoch eine für das Pflanzenwachstum wichtige Nährstoffquelle (insbesondere Stickstoff (N) und Phosphor (P)) dar, die bei Einstellung der Klärschlammdüngung durch entsprechende Mengen an Mineraldüngern substituiert werden müssen. Bei der Verbrennung von Klärschlamm ist nachteilig, dass die Nährstoffe N und P bis jetzt nicht wie bei der landwirtschaftlichen Verwertung wieder in den Düngkreislauf zurückgeführt werden. Aktuell laufen jedoch Forschungsvorhaben zur Phosphorrückgewinnung aus Aschen. Eine Rückgewinnung von N und P aus dem Klärschlamm könnte in das ATZ-TDH®-Verfahren integriert werden und somit dem Nährstoffkreislauf wieder zugeführt werden.

Mit den bisher durchgeführten Versuchen des ATZ Entwicklungszentrums zur Faulschlamm-desintegration mit dem ATZ-TDH®-Verfahren im Technikumsreaktor konnte im Technikums- und Pilotmaßstab die grundlegende Eignung des Verfahrens überprüft und erfolgreich gezeigt werden. Eine Optimierung des Verfahrens in Bezug auf das eingesetzte Rohmaterial Klärschlamm und weiterer Abfallstoffe erfolgt sowohl in einer Pilotanlage (Durchsatz 2 Mg/h) des ATZ Entwicklungszentrums, als auch in einer Anlage der Thöni Industriebetriebe GmbH, Telfs, Tirol am Standort einer kommunalen Kläranlage in Österreich.

Das ATZ-TDH®-Verfahren ist auch zur Behandlung von anderen organischen Abfällen und Biomassen geeignet. Die R. Scheuchl GmbH, Ortenburg hat das Verfahren bereits zweimal für eine Substratmenge von 35.000 Mg realisiert. Nach Vorbehandlung mit dem ATZ-TDH®-Verfahren lassen sich in dieser Anlage Gülle und nachwachsende Rohstoffe seuchenhygienisch unbedenklich und in wesentlich schnellerer Zeit in den Energieträger Biogas umwan-

deln. Im Planungsstadium befindet sich eine Großanlage im europäischen Ausland mit einer Jahreskapazität von über 250.000 Mg pro Jahr.

## **2.2. Dezentrale thermische Verwertung für Klärschlamm**

Der Bau und der Betrieb von dezentralen Kleinverbrennungsanlagen war aus Gründen der Wirtschaftlichkeit lange Zeit ein Problem. Es existieren inzwischen jedoch einige Anlagen mit Verbrennungskapazitäten ab etwa 1.000 Mg TR/a, die zumindest teilweise einen wirtschaftlichen Betrieb nachweisen konnten.

Auch das ATZ Entwicklungszentrum hat in Zusammenarbeit mit der Firma Hans Huber AG ein dezentrales Verfahren zur thermischen Klärschlammverwertung entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein energieautarkes dezentrales Klärschlammverbrennungskonzept mit Stromerzeugung durch eine Mikrogasturbine, das aktuell im Rahmen des EU-Förderprogramms LIFE umgesetzt wird. Nachfolgend wird dieses Projekt mit dem Namen „sludge2energy®“ vorgestellt.

### **2.2.1. Grundzüge**

Ziel des hier vorgestellten Konzepts ist die Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Verfahrens zur thermischen Verwertung von Klärschlamm unter gleichzeitiger Gewinnung von elektrischer und thermischer Energie. Neben Klärschlamm könnten auch stückige kommunale Abfälle, z. B. Strauchschnitt, Rechengut oder Kompostierungsreste, mitbehandelt werden. Das beim ATZ Entwicklungszentrum erarbeitete und erprobte Verfahrenskonzept wird in Form einer Demonstrationsanlage der Hans Huber AG in die Praxis umgesetzt. Am Ende der Optimierung stehen der Bau und die kommerzielle Verwertung von standardisierten Anlagen in Systembauweise. Die Anlage kann auf einen jährlichen Schlammanfall von 1.500 - 3.000 Mg TR ausgelegt werden.

Durch das Projekt „sludge2energy®“ soll die energetische Verwertung von Klärschlamm mittels einer effizienten KWK-Anlage im kleinen Leistungsbereich demonstriert werden. Das Projekt wird gemeinsam von den Firmen Hans Huber AG, der Turbec AB (Schweden) und dem ATZ Entwicklungszentrum durchgeführt. Das Verfahren zur Klärschlammverwertung stellt eine umweltfreundliche Alternative zu traditionellen Entsorgungswegen dar. Die Reststoffe aus diesem Prozess eignen sich darüber hinaus als Quelle zur Phosphorrückgewinnung.

Die Stadt Straubing plant, auf dem Gelände der Kläranlage den anfallenden Klärschlamm zu trocknen und anschließend thermisch zu verwerten. Als Brennstoff werden der in Straubing direkt anfallende Schlamm sowie Klärschlämme aus benachbarten kleineren Kläranlagen (Straubinger Modell) eingesetzt. Als weitere Einsatzstoffe können an der Kläranlage anfallende Reststoffe wie beispielsweise Rechenrückstände, Grobstoffe aus der Sandfanggutwäsche, Kompostierrückstände bzw. Siebrückstände aus Rotten und Gärrückstände aus anaeroben Behandlungsanlagen verwendet werden, deren Eignung im Rahmen des Projekts erprobt wird.

### **2.2.2. Verfahrensprinzip**

Prinzipiell handelt es sich bei dem hier vorgestellten ATZ-Verfahren um die spezielle Form eines rekuperierten Gasturbinenprozesses.

Ein Schema der Anlage wird in Abbildung 6 dargestellt. Kernstück des Verfahrens ist der Einsatz der patentierten Pebble-Heater-Technologie in Kombination mit einer Mikrogasturbine, die die Gewinnung von elektrischer Energie aus der Wärme heißer Rauchgase ohne Installation eines Wasser-Dampf-Kreislaufs ermöglichen. Abbildung 4 zeigt das Funktionsprinzip des ATZ-Verfahrens.

Die Wärme der bei der Verbrennung erzeugten heißen Rauchgase wird über radial durchströmte regenerative Wärmetauscher (so genannte Pebble-Heater) an komprimierte Umge-

lungsluft transferiert, die anschließend über eine modifizierte Mikrogasturbine unter Erzeugung von elektrischer Energie entspannt wird. Durch die hohen Wärmerückgewinnungsgrade von bis zu 98 % im Pebble-Heater werden unter bestimmten Bedingungen elektrische Wirkungsgrade um 30 % bei kleinen Baugrößen unterhalb von 1 MWel ermöglicht. Die nach der Stromerzeugung in der entspannten Turbinenabluft verbleibende Abwärme wird sowohl als Verbrennungsluftvorwärmung als auch zur Trocknung von Klärschlamm genutzt. Vor der Trocknung des Klärschlammes erfolgt die Entwässerung mittels Zentrifugen.

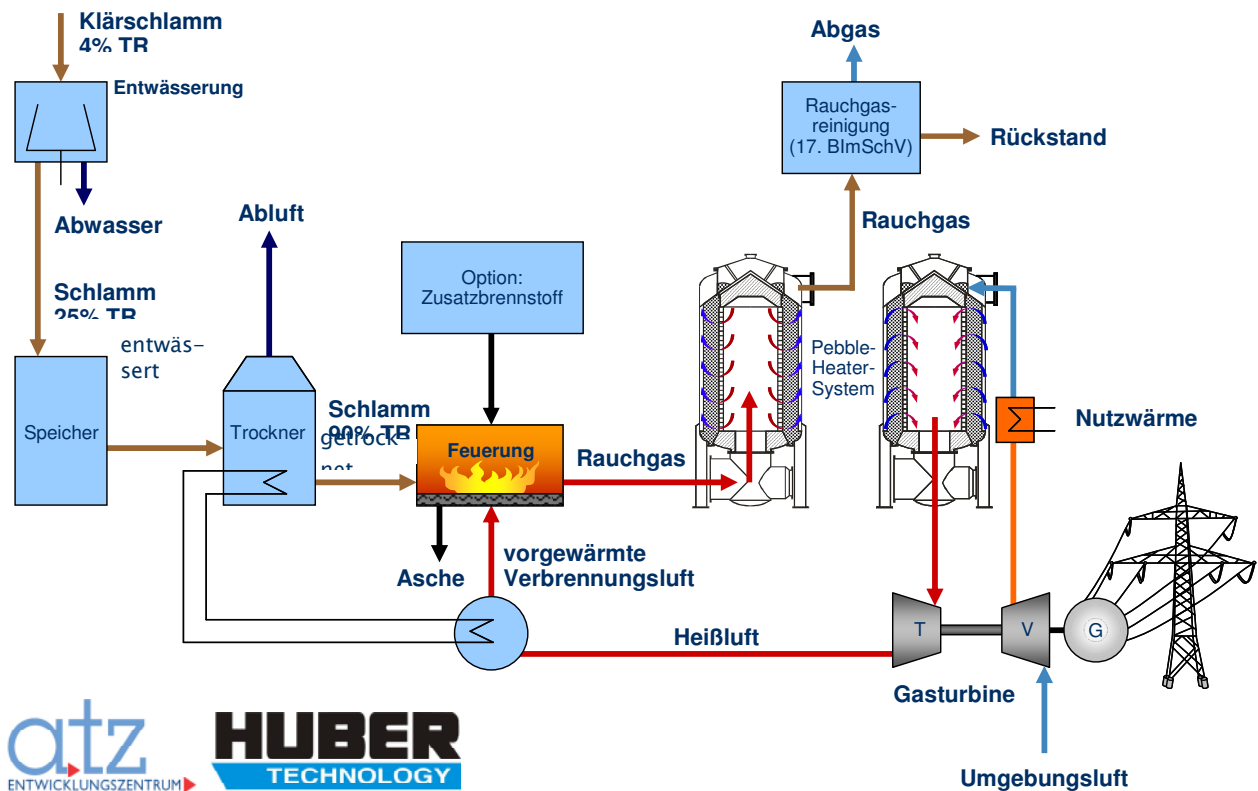


Abbildung 6: Thermisches Klärschlammverwertungskonzept nach ATZ-Verfahren

### 2.2.3. Klärschlammvorbehandlung

Vor der Verbrennung muss der Klärschlamm entwässert und getrocknet werden. Zur Entwässerung des kommunalen Faulschlammes sind innovative, kompakte Aggregate, beispielsweise Dekanterzentrifugen, am Markt verfügbar.

Der Schlamm wird in der Schlammvorlage zwischengepuffert und mit einem Förderorgan dem kontinuierlich arbeitenden Bandtrockner zugeführt. Die Aufgabevorrichtung verteilt den Klärschlamm über die gesamte aktive Breite des Bandes. Dieses transportiert den Klärschlamm in den mit Luft durchströmten Bereich. Die Prozessluft wird mittels Wärmetauschern zum einen aus der Zwischenkühlung der Verdichterstufe der Mikrogasturbine und zum anderen aus der entspannten Luft der Turbine erwärmt.

Bei der Durchströmung der mit Klärschlamm belegten Bänder wird die Luft abgekühlt und mit Wasser aus dem Klärschlamm beladen. Die Prozessluft wird mittels eines Gebläses durch den Trockner gesaugt. Durch diesen Unterdruckbetrieb des Trockners kommt es zu keiner wesentlichen Geruchsbelastung. Durch eine Klappenregelung wird die Prozessluft in einen Abluft- und einen Umluftteilstrom aufgeteilt und somit die Feuchte nach der Trocknerstufe geregelt.

Der Abluftstrom wird über einen Wärmetauscher geführt. Der Luft wird Wärme entzogen, die dem Zuluftstrom über den Wärmetauscher wieder zugeführt wird. Durch diese Wärmerückgewinnung wird der thermische Energiebedarf drastisch reduziert. Die bei der Abkühlung anfallenden Kondensate werden abgeleitet. Der Umluftteilstrom wird mit der vorgewärmten



Zuluft gemischt und wie zuvor beschrieben als Ganzes auf die Temperatur von bis zu 130 °C gebracht.

Die Abluft wird bei Bedarf nachbehandelt und von Feinstaubanteilen, Geruchsstoffen und weiteren Komponenten befreit. Die Abluftqualität entspricht den Anforderungen der TA-Luft.

#### **2.2.4. Feuerung**

Die großtechnisch eingesetzten Feuerungsverfahren zur Klärschlammverbrennung, wie Etagenofen, Wirbelschicht oder Etagenwirbler, sind aus Kostengründen in dem angestrebten Maßstab nicht einsetzbar. Individuell konzipierte Rostfeuerungen, wie sie in Müllverbrennungsanlagen eingesetzt werden, führen ebenfalls zu einem hohen Investitionsbedarf. Interessante Alternativen bietet der Markt für Biomassefeuerungen. Diese in größeren Stückzahlen hergestellten Feuerungen sind nach geringfügigen Anpassungen auch für die Verbrennung von granuliertem, getrockneten Klärschlamm zu verwenden. Systeme wie Vorofenfeuerung oder Einblasfeuerung können ggf. ergänzt werden, um die notwendigen verbrennungstechnischen Eigenschaften zu erreichen.

#### **2.2.5. Pebble-Heater-System und Mikrogasturbine**

Die Pebble-Heater-Technologie arbeitet mit getakteten Schütttschicht-Wärmetauschern, die abwechselnd mit heißem Rauchgas aufgeheizt, bzw. mit komprimierter Umgebungsluft gekühlt werden (vgl. Abbildung 5). Das heiße Rauchgas aus der Verbrennung gibt seine Wärme an die Schüttung der radial durchströmten Pebble-Heater ab, wird dabei bereits teilentstaubt und verlässt im Anschluss an eine weitere Reinigungsstufe nach 17. BImSchV [5] die Anlage über den Kamin.

Während der Heizphase des ersten Pebble-Heaters wird ein anderer, bereits aufgeheizter Wärmetauscher mit verdichteter Luft (ca. 4 bar) beaufschlagt. Nach der Verdichterstufe erfolgt eine Zwischenkühlung z. B. durch Wärmeauskopplung. Alternativ kann die Zwischenkühlung durch Wassereindüsung erfolgen. Beim Durchgang durch den Pebble-Heater erhitzt sich die verdichtete Luft auf über 900 °C und wird anschließend auf die Turbine aufgebracht. Ohne weitere Brennstoffzugabe entspannt sich die Luft in der Turbine und kühlt dabei auf etwa 600 °C ab. Die Turbine treibt sowohl den Verdichter als auch einen Generator zur Stromerzeugung an.

Prinzipiell handelt es sich bei diesem Gasturbinenprozess um die spezielle Form eines rekuperierten Prozesses. Für rekuperierte Prozesse mit Gasturbinen sind moderate Druckverhältnisse zwischen 3 und 6 hinsichtlich des erreichbaren Wirkungsgrads besonders günstig. Das Druckverhältnis solcher Maschinen entspricht den Anforderungen der Demonstrationsanlage. Auch die Turbineneintrittstemperaturen von 900 °C bis 1.000 °C liegen im erforderlichen Bereich. Die Verbrennungstemperatur darf nicht über 1.000 °C liegen, um ein Aufweichen leicht schmelzbarer Fraktionen in der Asche und das Verblocken der Feuerung (z. B. das Verkleben der Roste) zu vermeiden. Die wesentlichen Unterschiede zwischen dem Heißluftbetrieb der Turbine und dem direkt gefeuerten Standardfall liegen in der unterschiedlichen Dynamik von Brennkammer und Pebble-Heater sowie im periodisch getakteten Betrieb. Für die Demonstrationsanlage wurde eine Turbine mit einer elektrischen Leistung von 100 kW gewählt.

#### **2.2.6. Abgasreinigung**

Die Minderung von Stickoxiden erfolgt durch bewährte feuerungstechnische Maßnahmen wie gestufte Verbrennungsführung und Rauchgasrezirkulation sowie durch selektive nichtkatalytische oder katalytische Reduktion. Aufgrund der geplanten Verbrennungstemperatur von ca. 950 °C sind günstige Voraussetzungen für diese Art der Entstickung gegeben. Außerdem ist durch die Auslegung der Brennkammer sowie die konstruktiv bedingte Länge der Heißgasleitung zwischen Feuerung und Pebble-Heater eine ausreichende Verweilzeit sichergestellt.

Selbstverständlich sind auch die übrigen feuerungstechnischen Anforderungen der 17. BImSchV z. B. hinsichtlich der Temperaturüberwachung zu beachten. Zum An- und Abfahren der Anlage wird deshalb eine zusätzliche Stützfeuerung vorgesehen. Zur Entfernung saurer Schadgase, wie SO<sub>2</sub> und HCl, aus dem Abgasstrom wird ein trocken-sorptives Verfahren eingesetzt. Dazu wird in den Abgasstrom ein chemisch reaktives, disperses Material dosiert, das eine basische Komponente (z. B. Ca(OH)<sub>2</sub>) enthält. Die Elimination von unverbrannten Kohlenwasserstoffen, Dioxinen und Furanen sowie flüchtigen Schwermetallen erfolgt durch Adsorption an Aktivkohle. Geeignete Adsorbensmischungen sind im Handel erhältlich. Um die vorgeschriebenen Reingaswerte einzuhalten, ist es notwendig, das Reaktionsmaterial im Überschuss anzubieten. Dadurch wird das Adsorbens nicht vollständig verbraucht. Aus diesem Grund wird ein Teil des Materials rezirkuliert.

### 3. Zusammenfassung und Ausblick

Aus Gründen des vorsorgenden Umwelt- und Gesundheitsschutzes ist eine Abkehr von der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung unausweichlich. Um das energetische Potenzial des Klärschlammes optimal zu nutzen, existieren auf dem Markt Vorbehandlungsverfahren und thermische Verfahren. Die optimale Verwertungsmethode des Schlammes hängt von den Randbedingungen der einzelnen Kläranlage ab. Hier ist im Einzelfall zu klären, ob und in welcher Form ein Desintegrationsverfahren sinnvoll ist, auf welche Art eine Entwässerung oder Trocknung wirtschaftlich durchführbar ist und welche Art der thermischen Verwertung zu bevorzugen ist. Bei all diesen Punkten muss die Frage, ob eine dezentrale oder zentrale Lösung favorisiert wird, beantwortet werden.

In diesem Beitrag wurden zwei dezentrale Verfahren zur Nutzung des Klärschlammes als „nachwachsender“ Energierohstoff vorgestellt. Nachwachsend, da Klärschlamm wie nachwachsende Rohstoffe regenerativ ist. Durch energetische Nutzung des Klärschlammes können somit fossile Rohstoffe geschont werden.

Um die Düngewirkung des Klärschlammes auch zukünftig zu nutzen, müssen nun vermehrt Forschungsaktivitäten hinsichtlich einer wirtschaftlichen Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen unternommen werden. Zur Phosphorrückgewinnung eignen sich jedoch lediglich Aschen aus Monoverbrennungsanlagen. Daher sollten verstärkt Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm entwickelt werden. Das ATZ Entwicklungszentrum und die Hans Huber AG bringen derzeit ein solches dezentrales Verfahren zur thermischen Verwertung von Klärschlamm unter gleichzeitiger Gewinnung elektrischer Energie zur Marktreife. Eine Demonstrationsanlage wird aktuell im Rahmen des EU LIFE Programms in Straubing realisiert.

### 4. Literatur

- [1] Thomé-Kozmiensky, K., Klärschlamm Entsorgung, Neuruppin, 1998
- [2] Bergs, C.-G., Eckpunkte für eine Novellierung der Klärschlammverordnung, in: Perspektiven der Klärschlammverwertung, KTBL-Schrift 453, BMU Expertentagung 6.-7. Dezember 2006, S. 193-200
- [3] Verordnung über den Abfallwirtschaftsplan Bayern (AbfPV) vom 18. Dezember 2001
- [4] [www.abfallbilanz.bayern.de](http://www.abfallbilanz.bayern.de), Oktober 2007
- [5] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1633)

