

# Erneuerbare Energien



## Erneuerbare Energien, Band 1

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

ISBN: 978-3-935317-44-3  
Erscheinung: 2009  
Gebundene Ausgabe: 329 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 30.00 EUR

## Erneuerbare Energien, Band 2

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

Michael Beckmann  
ISBN: 978-3-935317-43-6  
Erscheinung: 2009  
Gebundene Ausgabe: 713 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 40.00 EUR

## Erneuerbare Energien, Band 3

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

ISBN: 978-3-935317-54-2  
Erscheinung: 2010  
Gebundene Ausgabe: 366 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 40.00 EUR

## Erneuerbare Energien, Band 4

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

Michael Beckmann  
ISBN: 978-3-935317-55-9  
Erscheinung: 2010  
Gebundene Ausgabe: 393 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 40.00 EUR

## Erneuerbare Energien, Band 5

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

ISBN: 978-3-935317-64-1  
Erscheinung: 2011  
Gebundene Ausgabe: 353 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 40.00 EUR

## Erneuerbare Energien, Band 6

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky

Michael Beckmann  
ISBN: 978-3-935317-65-8  
Erscheinung: 2011  
Gebundene Ausgabe: 417 Seiten  
mit farbigen Abbildungen  
Preis: 40.00 EUR

## Paketpreis

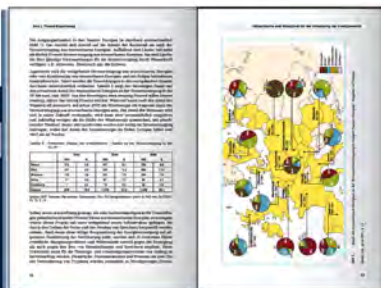
Erneuerbare Energien, Band 1 • Erneuerbare Energien, Band 2 • Erneuerbare Energien, Band 3  
Erneuerbare Energien, Band 4 • Erneuerbare Energien, Band 5 • Erneuerbare Energien, Band 6

**150.00 EUR**  
statt 230.00 EUR

Bestellungen unter [www.vivis.de](http://www.vivis.de)  
oder

**vivis**  
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

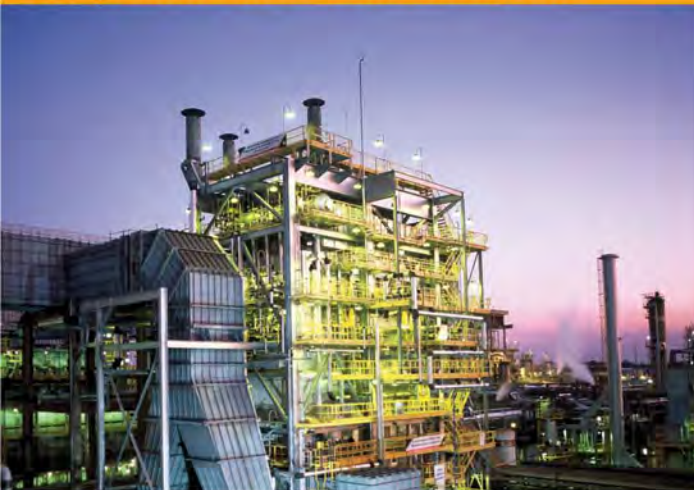
Dorfstraße 51  
D-16816 Nietwerder-Neuruppin  
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10  
E-Mail: [tkverlag@vivis.de](mailto:tkverlag@vivis.de)





# Kesseltechnik Drehrohrtechnik

Wir planen für Sie und liefern ...



- Abfall- und Sonderabfallverbrennungsanlagen
- Verbrennungsanlagen für Biomasse und Sekundärbrennstoffe
- Komplett Verbrennungsanlagen für andere Brennstoffe

- Modulare Dampferzeuger hinter Gasturbinen
- Abhitzedampferzeuger



- Dampferzeuger  
Direkt befeuert  
Für Öl-/Gasfeuerung  
Für Rostfeuerung



- Drehrohröfen und Drehrohtrockner
- Pyrolyse und Vergasungsanlagen



# Klärschlamm Entsorgung

## – Drehrohranlagen in der Trocknung und energetischen Nutzung von Klärschlamm –

Franz Hormes

1.	Einleitung.....	977
2.	Drehrohrtypen.....	978
2.1.	Konvektive Drehrohrprozesse.....	978
2.2.	Indirekte Drehrohrprozesse.....	978
2.3.	Energiebedarf .....	979
3.	Praxisbeispiele .....	980
4.	Fazit.....	985

### 1. Einleitung

Klärschlamm fällt heute in allen Abwasserkläranlagen an. Die üblichen Klärschlammqualitäten, mit 70 % Feuchte und einem Heizwert der kaum ausreicht eine selbstgängige Verbrennung sicherzustellen, sind kein gefragtes Handelsgut. Da er keine Wertstoffe oder Rohstoffe enthält, die heute rentabel zu recyceln sind, stellt sich die Aufgabe diesen umweltgerecht und möglichst preisgünstig zu entsorgen.

So verursacht die Entsorgung von Klärschlamm üblicherweise Zahlungen an einen Entsorgungsbetrieb und belastet die Kommune bzw. die Bürger über die Abgaben. Um die betriebswirtschaftlich günstigste Variante mit langer Vertragsdauer zu finden, sind alle Möglichkeiten der Entsorgung in Betracht zu ziehen. Bei der Entscheidung spielen die mittelfristig kalkulierbaren Aspekte eine Rolle, wobei heute die Energiekosten immer entscheidender werden. Bei der Auswahl werden auch ökologische Aspekte genannt, die aber bei der Entscheidung erfahrungsgemäß den ökonomischen untergeordnet werden.

Die Entsorgung in eigenen Anlagen ist nur eine Option für große Kommunen, da auch hier gilt, je größer die Anlage je günstiger die spezifischen Kosten. Konkret heißt das, dass Anlagen mit kleinen Kapazitäten nicht mit großen Anlagen oder der Mitverbrennung in Kraftwerken, Verbrennungsanlagen oder Zementwerken konkurrieren können.

Als Feststoff, bzw. pastöser Abfall ist Klärschlamm verlässlich in Drehrohranlagen zu behandeln, ob zur Trocknung, Pyrolyse oder Verbrennung. Drehrohre finden seit etwa 100 Jahren immer mehr Anwendungen für unterschiedlichste Verfahren zur Feststoffbehandlung. Die einfache Förderwirkung und die vielfältige und robuste Ausführung unterschiedlichster Drehrohranlagen ermöglichen die thermische Behandlung von klebenden, feinkörnigen oder gemischten Stoffströmen.

## 2. Drehrohrtypen

Drehrohre sind in thermischen Prozessen in erster Linie Wärmetauscher.

### 2.1. Konvektive Drehrohrprozesse

Die einfachste Ausführung eines Drehrohres ist ein Stahlrohr mit zwei Laufrollen, mit einem Antrieb und einem Brenner zur Beheizung. Dieser einfache Typ findet Anwendung für einfache Verfahren zur Erwärmung, Trocknung oder Kalzination in Prozessen, in denen keine Schadstoffe freigesetzt werden.

Die Ausführung mit Gehäusen ein- und austragseitig, ausgestattet mit einer Dichtung, erlaubt die gezielte Erfassung des Prozessgases.

Für den Dauerbetrieb unter hohen Temperaturen wird das Stahlrohr mit einer feuerfesten Schicht geschützt. Das erlaubt Verfahren wie die Klinkerproduktion für die Zementherstellung, Kalköfen, Aktivkohle Herstellung, Abfall bzw. Sondermüllverbrennung und andere Prozesse.

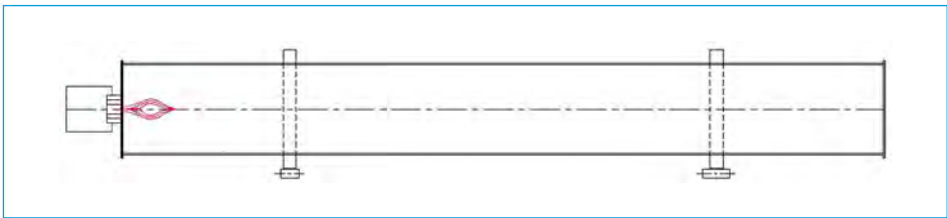


Bild 1: Einfaches Schema eines Drehrohrofens

### 2.2. Indirekte Drehrohrprozesse

Die indirekte Beheizung bedeutet, dass das Heizmedium, z.B. Sattdampf oder Abgas seine Energie über eine Kontaktfläche in den Prozess abgibt.

Für Niedertemperatur Prozesse wie die Trocknung erfolgt dies über viel Fläche, wie Rohrbündel oder große Rohre wie bei einem Sektionalkühler. Der Wärmeübergang erfolgt überwiegend durch Wärmeleitung, der Energieeintrag ist also linear zur verfügbaren Wärmetauscher Fläche.

Für Hochtemperaturprozesse wie Pyrolyse oder Kalzination feinkörniger Stoffe und Pulver erfolgt dies mittels einer Muffel, die das Drehrohr aus Hochtemperaturstahl umgibt. In dieser Muffel, die mit feuerfester Isolierschicht ausgekleidet ist, zirkuliert Abgas, direkt mittels Brennern erzeugt oder aus einer externen Brennkammer. Die Drehrohrtemperaturen betragen üblicherweise 600 – 850 °C. Spezielle Drehrohre können bis 1.200 °C beheizt werden. In diesem Temperaturbereich dominiert der Wärmeübergang durch Strahlung. Physikalisch und soweit das Verfahren es zulässt ermöglicht die Variation der Wandtemperatur die Anpassung des Wärmeaustausches.

Kennzeichnend ist, dass Heizmedium und Prozessgas getrennt bleiben und Energienutzung und Prozessgasbehandlung sehr gezielt erfolgen. Bei Feststoffen, die wenig Flüchtige oder Energie enthalten kann die Abgasstrecke kleiner und effizienter ausfallen als bei direkten Verfahren.



Bild 2: CAD Foto indirekt beheizter Drehrohröfen

### 2.3. Energiebedarf

Für die thermische Trocknung muss Wasser verdampft werden und diese Wasserverdampfung bestimmt den Energiebedarf, variiert durch die realen Betriebsbedingungen. Interne Rückgewinnungssysteme gehen meist auf Kosten der Verfügbarkeit und verursachen höheren Stromverbrauch. Direkte und indirekte Trocknervarianten haben ihre Vor- und Nachteile. Die Wahl des Trockners beeinflusst auch das übrige Equipment wie Fördertechnik, Lagerung Trockengut, Energiebereitstellung oder die Brüdenbehandlung zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte.

Eine einfache Bauweise des Trockners erfordert meist höhere Investkosten für die übrigen Apparate.

Vergleicht man die Direkte mit der Kontakt Trocknung ist einleuchtend, dass bei der Kontakt Trocknung z.B. mit Sattdampf oder Thermalöl die Temperaturen niedrig sind und die Brüden sehr konzentriert anfallen, deshalb gering belastet mit Organik.

Da die direkte Trocknung oft mit Abgasgemischen von etwa 400 °C arbeitet, um die Abgasmenge gering zu halten, kommt es immer auch zur lokalen Überhitzung, bei der Pyrolyseprodukte freigesetzt werden. Das Abgas aus der direkten Beheizung ist vorzugsweise einer thermischen Nachverbrennung zu unterziehen.

Für den teureren Kontakt Trockner fallen die übrigen Apparate prozessbedingt kleiner aus.

Die Trocknung erfordert bei üblichen Klärschlammqualitäten netto etwa 800 kWh/t Wasserverdampfung. Die Trockensubstanz die aus 1 t Wasserverdampfung resultiert ist etwa 500 kg mit 10 % Restfeuchte. Diese enthält bei einem  $H_u$  von 8.500 kJ/kg etwa 1,2 MWh. Eine nachfolgende thermische Verwertung, sprich Verbrennung, setzt genügend Energie für die Trocknung frei.

Um mittels Abgas 800 kW in den Prozess zu bringen, sind je nach Abgastemperatur etwa 5.000 bis 10.000 Nm<sup>3</sup> Abgas erforderlich. Zusammen mit den Brüden ergeben sich also 6.000 bis 11.000 Nm<sup>3</sup> Abgas/Brüden je Tonne Wasserverdampfung.

Mit einem Kontakttrockner ergeben sich entsprechend etwa 2.000 bis 3.000 Nm<sup>3</sup>, die zudem sehr konzentriert anfallen bei geringer Temperatur und effizient kondensiert werden können.

Anhand ausgeführter Anlagen und Anlagenergänzungen/Kombinationen werden nachfolgend Praxisbeispiele gezeigt, die teilweise Jahrzehnte in Betrieb waren oder sind, jedenfalls aber über Jahre ihre Praxistauglichkeit bewiesen haben.

### 3. Praxisbeispiele

#### **Trocknung in einer Monoanlage – Klärschlamm-trocknung im dampf-beheizten Drehrohr-trockner**



Bild 3:

Blick in einen Rohrbündel-drehrohr-trockner

15 Jahre Betrieb der Klärschlamm-trocknung Backnang

- Rohrbündel-drehrohr-trockner,
- 2 Rohrkränze Dampfrohre in Normalstahl,
- Außenrohr in Normalstahl (Reparatur nach etwa 10 Jahren),
- Dampfproduktion mittels Satt-dampf-kessel beheizt durch Erdgasbrenner,
- die Bauart findet baugleich auch Anwendung in der Trocknung von Industrie-, Schleif- oder Zunderschlamm und kontaminiertem Boden.

#### **Einstufige Trocknung und Verbrennung in einem Reaktor – Klärschlamm-verbrennung im direkt beheizten Drehrohr-Ofen**

In einer Anlage zur Abfall-verbrennung in der Schweiz wird ein Drehrohr-Ofen betrieben, der im Bypass zur Rostfeuerung betrieben wird.



Bild 4:

Monotrocknung Kläranlage  
Backnag; Containerbauweise

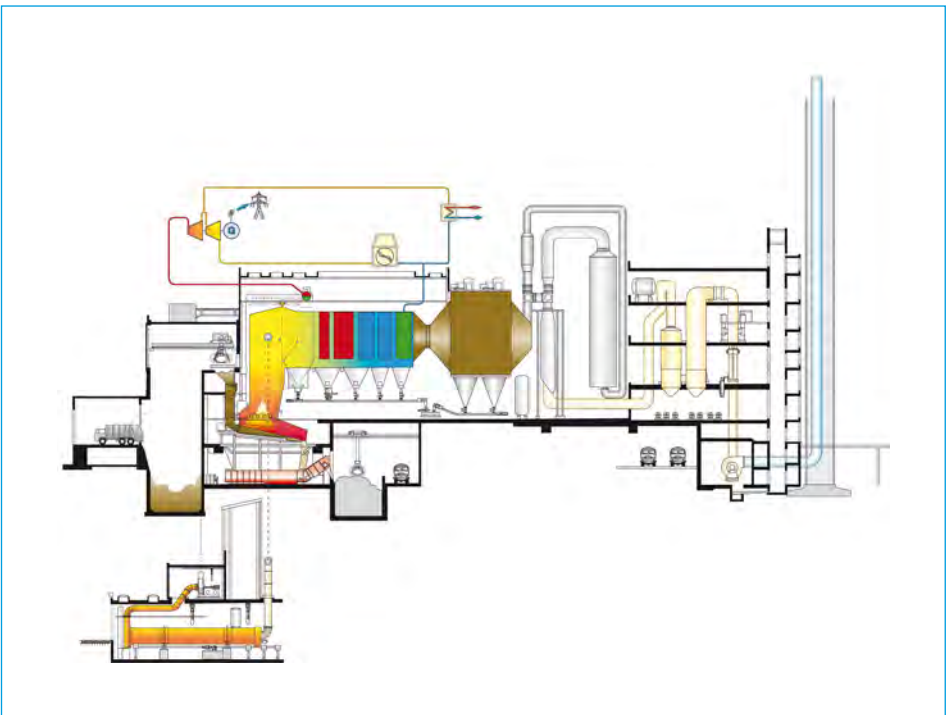


Bild 5: Schema der Anlage erzo in Zofingen, Schweiz

- 20 Jahre Betrieb der Schlammverbrennung mit Kadaverentsorgung,
- ein Drehrohrofen mit Trocknungszone in Edelstahl und einer Verbrennungszone feuerfest ausgekleidet,
- heißes Abgas aus der Rostfeuerung und Verbrennungsluft werden im Gegenstrom in den Drehrohrofen geführt; das heiße Gas zündet und verbrennt den getrockneten Klärschlamm und trocknet im Gegenstrom den zugeführten Klärschlamm,
- das Brüden-Gas-Gemisch strömt zur Nachverbrennung wieder zurück in den Abfallkessel und passiert die Abgasbehandlung.

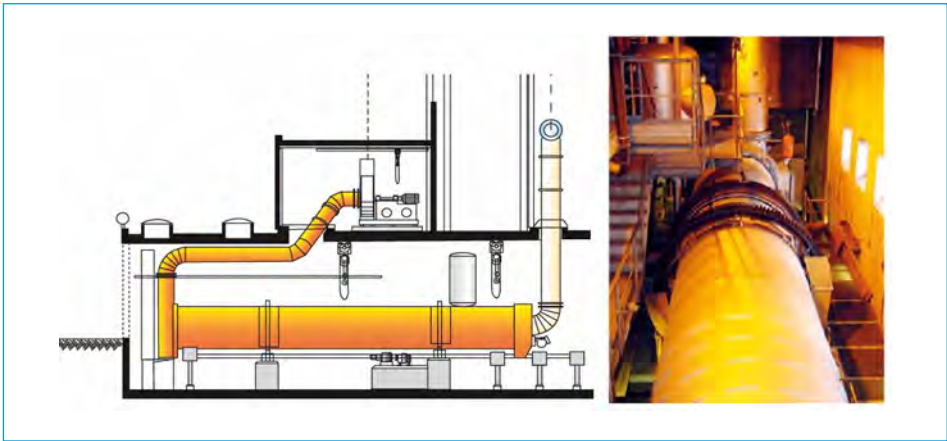


Bild 6: Bild des Verbrennungsdrehrohres

### **MPA Burgau – Pyrolyse von Abfall und Klärschlamm mit Dampfturbine zur Stromerzeugung**

Seit etwa 1982 ist die MPA Burgau in Betrieb und entsorgt den Abfall des Landkreises Günzburg. Die Klärschlammmenge beträgt etwa 5.000 t/Jahr und stellt damit etwa 20 % des anfallenden Abfalls.

Die Anlage ist Muster für weitere Anlagen.

- In zwei Pyrolysedrehrohren wird das Abfallgemisch pyrolysiert,
- je nach Zusammensetzung wird 60 – 70 % der Energie freigesetzt und mittels Wasser-Dampf-Kreislauf zur Stromerzeugung genutzt,
- die übrige Energie verbleibt als fixer Kohlenstoff im Pyrolysekoks,
- das Pyrolysegas wird in einer Brennkammer ausgebrannt und erzeugt in einem Abhitze Kessel Dampf für die Stromerzeugung,
- die Abgasreinigung erfolgt mittels Trockensorption.

Die Anlagenplanung erfolgte in den siebziger Jahren ohne Trocknung und mit geringem Wirkungsgrad. Dennoch arbeitet die Anlage bis heute sehr kostengünstig, weil einfach.



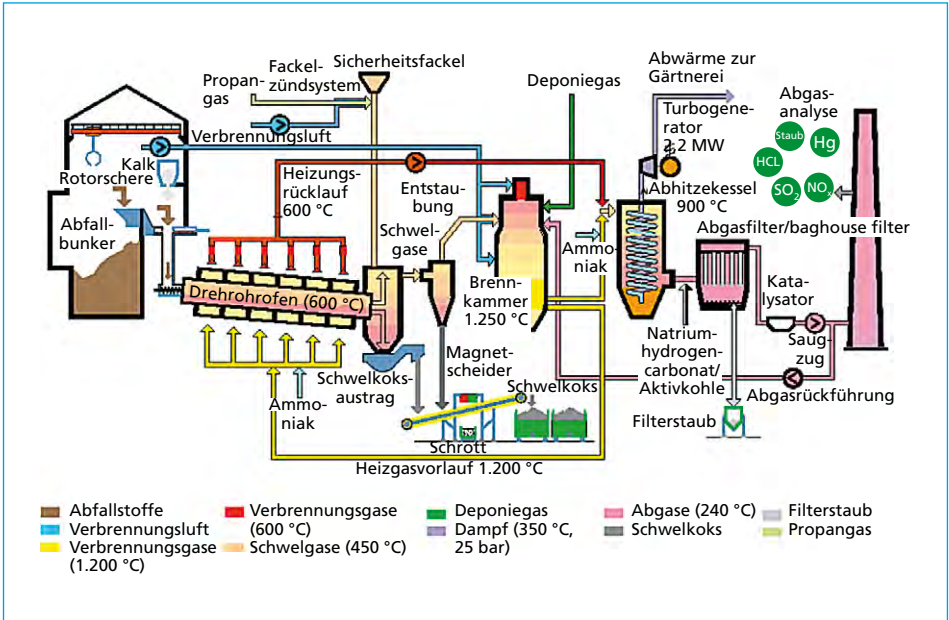


Bild 7: Schema der MPA Burgau

**Gesamtanlage in Japan – Trocknung und Pyrolyse mit Energienutzung für die Eigenversorgung**

Im Großraum Tokio betreibt eine Tochtergesellschaft von TEPCO eine Anlage für Klärschlamm aus mehreren Kläranlagen. Errichtet wurde die Anlage von MHI nach eigenem Anlagenkonzept. Das Design für Pyrolyse und Brennkammer wurde geliefert, MHI hat die eigene direkte Trocknertechnologie installiert. Die Anlage steht still seit dem Reaktorunfall in Fukushima, wegen radioaktiver Kontamination im Klärschlamm von Tokio. Vermutlich wird der derzeit anfallende Klärschlamm deponiert.

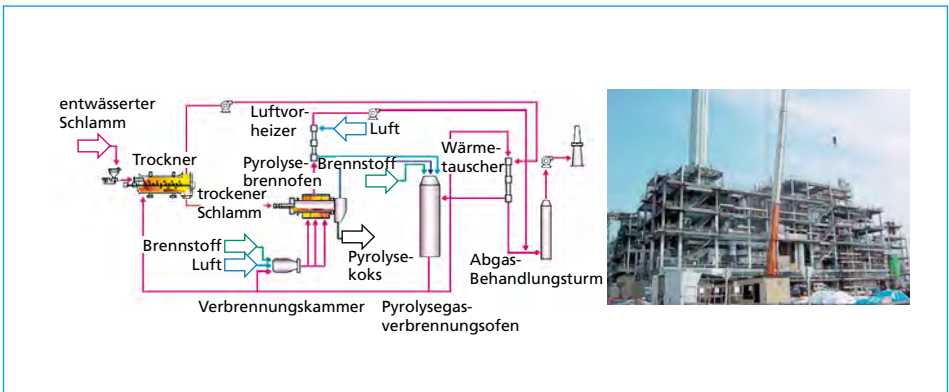


Bild 8: Schema und Foto aus der Montagephase der Anlage BioFuel Co. in Japan (TEPCO)

- In zwei direkt beheizten Trocknern (Konvektionstrockner) wird mittels Heißgasgemisch getrocknet,
- das Trockengut wird in einem Pyrolysedrehrohr entgast und die enthaltene Energie dadurch weitgehend freigesetzt,
- das Pyrolysegas wird in einer Brennkammer ausgebrannt und dient der Beheizung von Pyrolyse und Trocknung,
- die Art der Abgasreinigung ist derzeit nicht bekannt.

### **Gesamtanlage im Bau – Trocknung und Pyrolyse mit Energienutzung für die Eigenversorgung**

In der Provinz YIWU ist eine Anlage im Bau, in der Klärschlamm aus mehreren Kläranlagen entsorgt wird. Standort ist eine neu errichtete Kläranlage auf der eine Gesamtanlage zur Schlammbehandlung errichtet wird. Die Anlage entspricht verfahrens- und apparatetechnisch ähnlichen Anlagen zur Bodenreinigung und Abfallpyrolyse in Deutschland, die seit über 20 Jahren betrieben werden.

- In zwei Kontakttrocknern mit Satttdampf beheizt erfolgt die Trocknung auf etwa 10 % Restfeuchte,
- in einem Pyrolysedrehrohr wird das Trockengut entgast und die enthaltene Energie dadurch weitgehend freigesetzt,
- das Pyrolysegas wird in einer Brennkammer ausgebrannt und erzeugt in einem Abhitze Kessel Satttdampf für die Trocknung,
- die Abgasreinigung erfolgt mittels Trockensorption,
- da die Dekanter nur 20 % TS liefern, wird dem Trockengut zur Pyrolyse Ersatzbrennstoff wie Brennstoff aus Abfall oder Holzspäne zugemischt, um genügend Energie bereitzustellen.

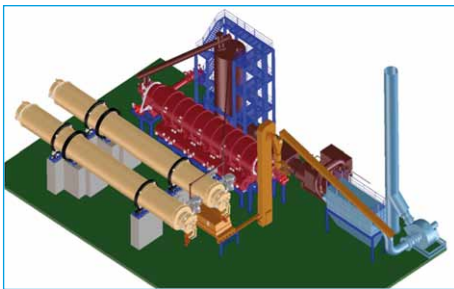


Bild 9: 3D CAD Bild der Anlage in YIWU in China, Provinz Zheijian



Bild 10: Blick in einen der beiden Rohrbündeldrehrohr Trockner

### Versuchsanlage zur Trocknung und/oder Pyrolyse von festen oder pastösen Stoffen

In Japan betreibt Mitsubishi Heavy Industries eine Demonstrationsanlage zur Pyrolyse.

- Ein indirekt beheiztes Drehrohr zur versuchsweisen Trocknung und/oder Pyrolyse,
- beheizt wird mit Abgas aus der Brennkammer zur Pyrolysegasverbrennung,
- die Anlage in der Größe eines Standardcontainers ist komplett bis zum Abgasrohr.



Bild 11:

Foto der Versuchsanlage bei MHI in Japan, Yokohama

## 4. Fazit

Die Beispiele geben einen Einblick in die Anlagentechnik zur thermischen Behandlung von Klärschlamm, zur Minimierung oder vollständigen thermischen Verwertung. Wie die Beispiele zeigen gibt es, wie in vielen Fällen, nicht die eine Lösung.

Die gesetzlichen Vorgaben, jeder Standort und Infrastruktur setzten Rahmenbedingungen, die die Verfahrensauswahl entscheiden oder für die externe Entsorgung sprechen. Höhere Ziele zum Recycling oder zur Effizienz werden erfahrungsgemäß schließlich dem ökologischen Aspekt untergeordnet.

Im Allgemeinen gilt

- Mitverbrennung ist preiswerter als jede Monoanlage,
- Kosten für Transport von Feuchtschlamm sind oft günstiger als für die Trocknung,
- Anlagen für kleine Kapazitäten sind spezifisch teuer.

Die Kriterien die zukünftig zunehmend Gewicht erlangen sind

- Energiekosten, Energierückgewinnung,
- Recycling von Phosphor aus Klärschlamm,
- Reduzierung der Schwermetalleinträge, um der Düngemittelverordnung zu entsprechen.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Energie aus Abfall** – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

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.