

waste to energy + recycling 2011

Hydrothermale Carbonisierung – Vorbehandlungsschritt für die effiziente energetische Nutzung von Klärschlamm und Grüngutabfällen

Professor Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Höxter
Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik

Dipl.-Ing. Roland Rebsamen
TFC Engineering AG, Liechtenstein

Hochschule Ostwestfalen-Lippe
University of Applied Sciences



TFC engineering

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 1

Hydrothermale Carbonisierung Übersicht

- Einführung
- Materialien und Methoden
- Eigenschaften der HTC-Biokohlen
- Entwässerungsverhalten der HTC-Biokohlen
- Versuchsreaktor der HS OWL
- Großreaktor der KELAG
- Fazit

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 2

Einführung

Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen

- Veranlassung
 - „Paradigmenwechsel“ in der Abfallwirtschaft
 - energetische statt stoffliche Verwertung
 - Kompostierung relativ teuer, wenig Erlöse
 - Vergärung nur mäßig effizient
- Konsequenz
 - andere Wege zur energetischen Nutzung organischer Abfälle
 - effizienter und kostengünstiger

Einführung

Entwicklung des HTC-Verfahrens

- Friedrich Bergius
 - 1913
 - Beschreibung der elementaren Prozesse
- Professor Dr. Markus Antonietti
 - seit 2004
 - MPI GoIm, Kolloid- und Grenzflächenforschung
 - „Wiederentdeckung“ und Grundlagenuntersuchungen

Einführung

Grundlagen der HTC - Teil 1

- Hydrothermale Carbonisierung
 - „wässrige Verkohlung bei erhöhter Temperatur“
 - Umwandlung von Kohlehydraten
 - Dehydratisierung (Wasserabspaltung) ||
 - Decarboxylierung (Abspaltung von CO₂) ||
 - Druckgefäß mit pflanzlichem Material
 - einige Stunden Erhitzen
 - danach „HTC-Biokohle“ in wässriger Phase

Einführung

Grundlagen der HTC - Teil 2

- Reaktionsgleichung
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow „C_6H_2O“ + 5 H_2O - \Delta E$$
- Prozessparameter
 - 180 - 220 °C, in Wasser ||
 - Druck 15 - 35 bar ||
 - für 4 bis 16 Stunden ||

Einführung

Ausgangsstoffe und Produkte

- Ausgangsstoffe der HTC
 - Siedlungsabfälle, Grünabfälle, Strauchschnitt
 - Klärschlämme und Gärreste
 - organische Abfälle der Industrie
- Produkte der HTC
 - Brennstoff („Biokohle“, ähnlich Braunkohle)
 - Bodenhilfsstoff („Humus“)
 - „Kohlenstoffspeicher“

Einführung

Tätigkeiten der Arbeitsgruppe

- Arbeiten auf dem Gebiet der HTC
 - seit 2007
 - Projekt der DBU zur Bioabfall-Carbonisierung (2007 – 2009)
 - Projekt des BMBF zur Industrieabfall-Carbonisierung (seit 2009)
 - Projekt der DBU zur Landbau-Nutzung von HTC-Biokohle (seit 2009)
 - Industriekooperation mit der KELAG/TFC (seit 2011)
 - mehrere Kleinprojekte zur Carbonisierung

Materialien und Methoden

Versuchseinrichtungen



Autoklav, Volumen 25 L,
mit Steuerung

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 9

Materialien und Methoden

Untersuchungsprogramm

- Übersicht
 - Aufzeichnung der **Prozessparameter**
 - **Massen-, Kohlenstoff-** und Energiebilanzen
 - Carbonisierung zahlreicher Stoffe (> 250 HTC-Versuche)
- Analysen
 - Gasbildungspotential
 - Eigenschaften der „HTC-Biokohle“
 - Untersuchungen der flüssigen Phase
 - Untersuchungen des Gasphase

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 10

Materialien und Methoden

Input-Materialien - Teil 1

- Einsatzstoffe (organisch)
 - **Standardmaterialien**
 - Maissilage/Rübenschnitzel
 - Rübenschnitzel/Stroh/Gärrest
 - Siedlungsabfälle
 - **Bioabfall** (Grüne Tonne)
 - **Grünabfälle**, Strauchschnitt
 - Industrie, Landwirtschaft
 - Treber, Holzspäne, Stroh
 - Schlämme
 - Gärreste, **Klärschlämme**

Materialien und Methoden

Input-Materialien - Teil 2



Bioabfall –
Input- und Outputmaterial

Materialien und Methoden Input-Materialien - Teil 3



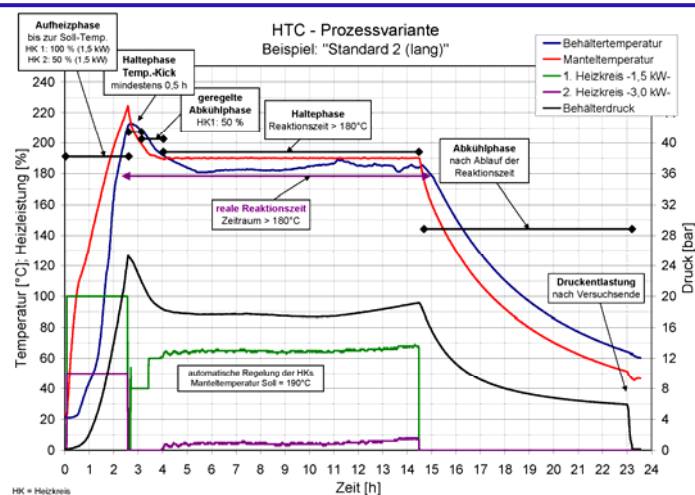
Rasenschnitt –
Input- und Outputmaterial

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 13

Materialien und Methoden Prozessführung



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

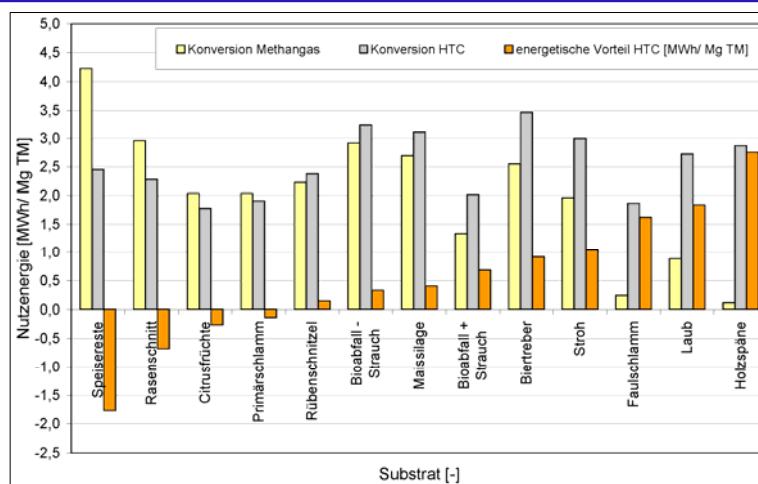
waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 14

Materialien und Methoden Energiegehaltsbilanzierung - Teil 1

- Methode
 - Nutzungspfad 1:
HTC - Brennstoffherstellung - Biomasseheizwerk
 - Nutzungspfad 2:
Biogasgewinnung - BHKW - Verstromung / Wärmegewinnung
- Annahmen
 - energieautarker HTC-Prozess
 - Energiebedarf Entwässerung/Trocknung HTC-Biokohlen
= Eigenenergie der Biogasanlagen

Materialien und Methoden Energiegehaltsbilanzierung - Teil 2



Eigenschaften der HTC-Biokohlen

Charakteristika HTC-Biokohle - Teil 1

- Output-Material - getrocknet
 - Farbe
 - braun
 - Struktur
 - in Vergrößerung **porös**
 - **Pflanzenstrukturen** erkennbar
 - Schüttdichte
 - niedrig
 - Risiken
 - **Staubexplosionen**
 - **Selbstentzündung**

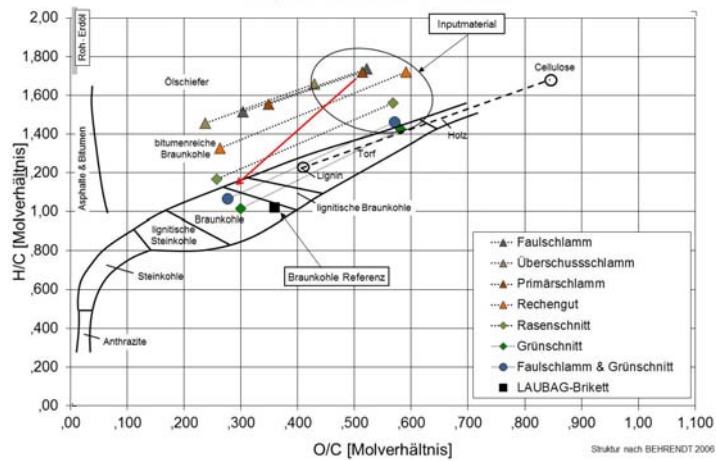
Eigenschaften der HTC-Biokohlen

Charakteristika HTC-Biokohle - Teil 2



Getrocknete HTC-Biokohle aus dem Standard I (Rübenschnitzel und Maissilage)

Eigenschaften der HTC-Biokohlen Inkohlungsdiagramm

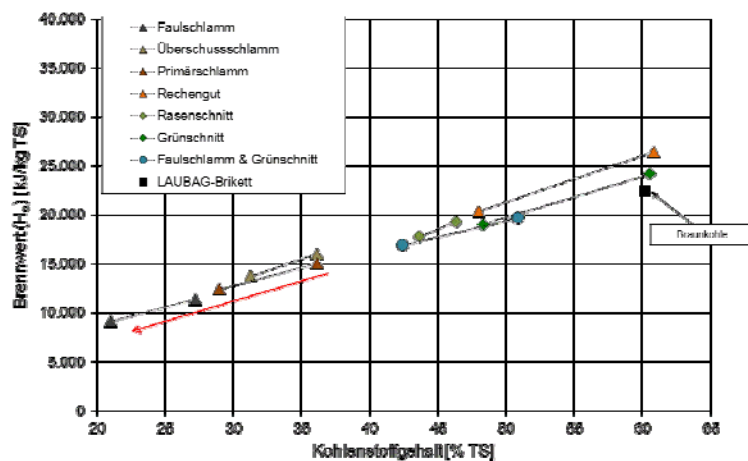


Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 19

Eigenschaften der HTC-Biokohlen Kohlenstoff-Brennwert-Diagramm



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 20

Eigenschaften der HTC-Biokohlen Kohlenstoffverteilung

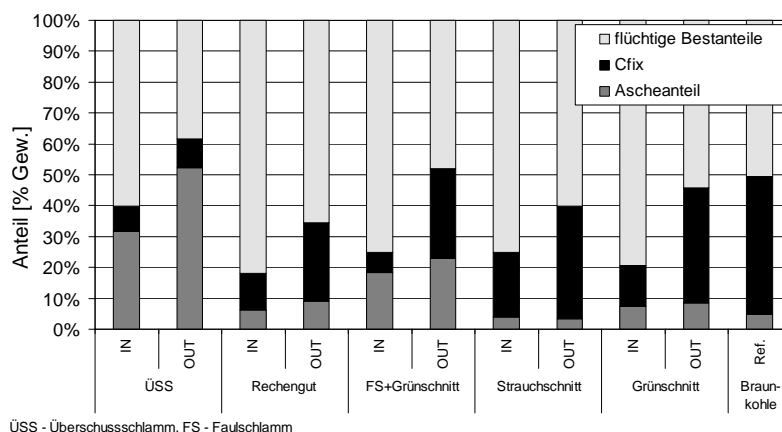
Substrat [-]	C - feste Phase [%]	C - flüssige Phase [%]	C - Gasphase [%]
Strauchschnitt	78,6	15,8	5,6
Grünschnitt	72,4	21,4	6,2
Rasenschnitt	70,6	23,0	6,4
<u>Faulschlamm & Grünschnitt</u>	<u>73,6</u>	<u>17,7</u>	<u>8,8</u>
Rechengut	73,5	21,3	5,2
Überschussschlamm	47,2	48,2	4,6
Primärschlamm	39,8	34,7	25,5
Faulschlamm	44,5	27,9	27,6

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 21

Eigenschaften der HTC-Biokohlen Proximatanalyse (wasserfrei)



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 22

Eigenschaften der HTC-Biokohlen

Bewertung der „Biokohle“

- Eigenschaften

Die erzeugten HTC-Produkte („HTC-Biokohlen“) sind in der Regel hinsichtlich ihrer **Hauptbestandteile** und **Brennwerte** als braunkohleartig zu bezeichnen.

- Kohlenstoffeffizienz

Die **Kohlenstoffeffizienz** der HTC, also das Ausmaß des Verbleibs des **Kohlenstoffs in der festen Phase** (den HTC-Biokohlen), hängt von den Substraten, den Versuchsbedingungen, den nachfolgenden Entwässerungsverfahren sowie den durch den Einsatzzweck definierten Anforderungen ab.

Entwässerungsverhalten

Fest-Flüssig-Separation



Methode:

Fest-Flüssig-
Separation
mittels
Saugfiltration

Wassergehalte
HTC-Bioabfälle:

55 – 70 %

Entwässerungsverhalten

Entwässerungsversuch - 1



- Zylinder \varnothing 8,0 cm
- Druck ca. 15 bar
- Füllhöhe ca. 3,5 cm
- Probenmasse ca. 160 g



Versuchsaufbau zur Bestimmung des Entwässerungsverhaltens

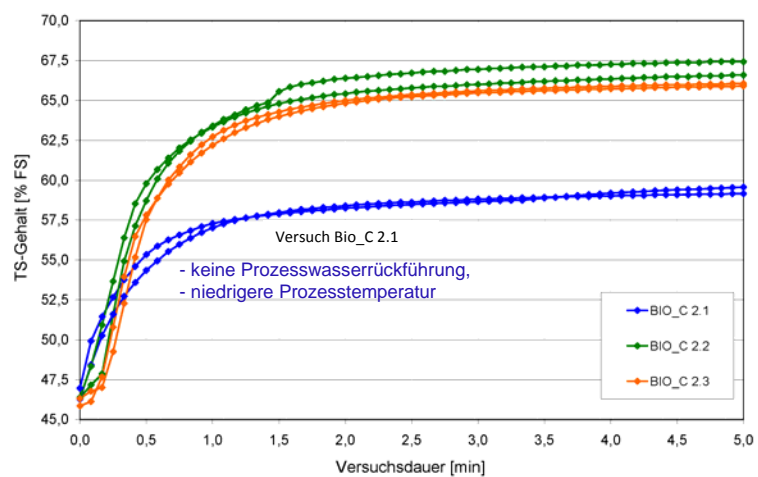
Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 25

Entwässerungsverhalten

Entwässerungsversuch - 2

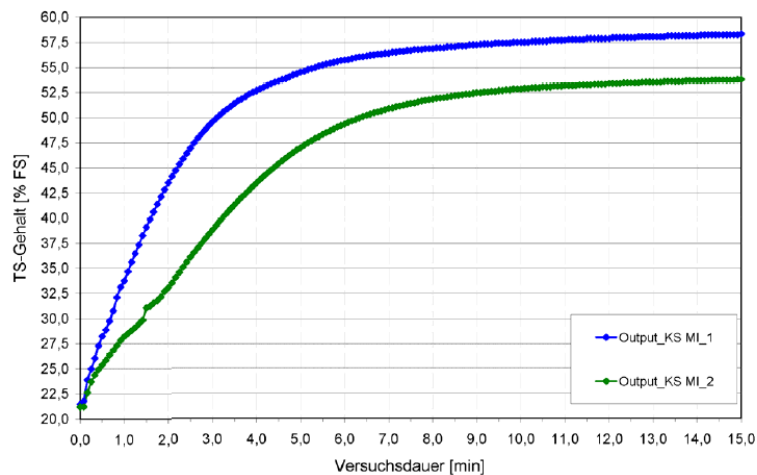


Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 26

Entwässerungsverhalten Entwässerungsversuch - 3



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 27

Versuchsreaktor der HS OWL Projektbeschreibung - Teil 1

- BMBF-Projekt, Förderlinie FHprofUnd
Verbesserte **energetische Nutzung** organischer **Industrieabfälle** durch Hydrothermale Carbonisierung
- Laufzeit: 3 Jahre, ab 01.07.2009
- Ansprechpartner: Dipl.-Ing. **Dennis Blöhse**
- Ziel:
Gezielte Prozessführung der HTC organischer Industrieabfälle
zur **Herstellung** von **HTC-Biokohle** zur energetischen Nutzung

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 28

Versuchsreaktor der HS OWL

Projektbeschreibung - Teil 2

- Arbeitsprogramm
 - **Auswahl** organischer **Industrieabfälle**
(Vorauswahl, Test im 25-L-Reaktor)
 - Bau und Betrieb eines **quasi-kontinuierlichen Reaktors**
(Nachweis der Energieautarkie, Optimierung des HTC-Prozesses)
 - Ermittlung **verfahrenstechnischer Parameter** für Großanlage
(Reaktionskinetik, Energieeffizienz, Anlagenparameter)
 - Untersuchung des **Verbrennungsverhaltens**
(Brennstoffeigenschaften, Verbrennungsverhalten, Abgastests)

Versuchsreaktor der HS OWL

Industriekooperation

- Ziele der Industriekooperation
 - Bau eines **quasi-kontinuierlichen Reaktors**
für F & E - Zwecke (200 L-Reaktor)
 - Ermittlung von Prozessparametern für Großanlagen

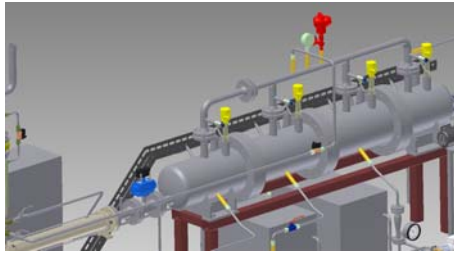
Hochschule Ostwestfalen-Lippe
University of Applied Sciences



Versuchsreaktor der HS OWL

Reaktorspezifikation - Teil 1

- Reaktorauslegung
 - quasi-kontinuierlich arbeitender Reaktor
 - optimiertes **Wärmemanagement**
 - Volumen Reaktionsbehälter 200 L
 - Temperaturen bis **250 °C**
 - Drücke bis **50 bar**



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 31

Versuchsreaktor der HS OWL

Reaktorspezifikation - Teil 2



Mobiler
halbtechnischer
Versuchsreaktor

Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 32

Großreaktor der KELAG

Ausgangsüberlegungen

- Die **Konversion** muss **ökonomisch** sein!
- Der Betrieb der HTC-Anlage muss kostengünstig und **zuverlässig** sein!
- Der **ökologische Fußabdruck** muss positiv sein
 - minimale CO₂-Belastung
 - minimaler externer Energiebedarf
 - kurze Transportwege für die Schließung der Stoffkreisläufe
 - minimale und beherrschte Emissionen



Großreaktor der KELAG

Zielsetzung

- Kooperation mit der HS OWL
 - wissenschaftlich aktuellster Stand
 - Prozessoptimierung
- Dezentrale HTC-Anlage
 - Optimierung der Stoffflüsse
 - Rohstoff- und Energiegewinnung aus biologischen Abfällen
 - nachhaltiges System

Großreaktor der KELAG Pilotanlage Buchs - Teil 1

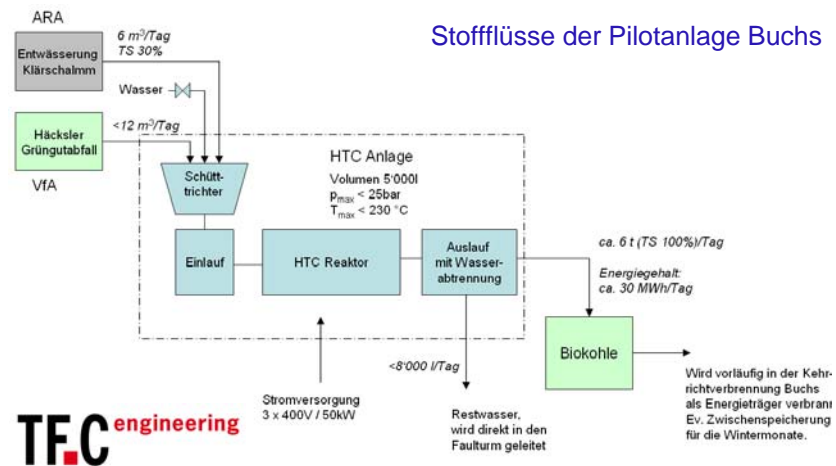
- Standort
 - **ARA Buchs** Kanton St. Gallen (CH)
 - 20.000 Einwohnereinheiten
- Stoffe
 - **Grüngutabfall** (Küche, Garten)
 - **entwässerter Klärschlamm**
- Inbetriebnahme
 - bis Ende 2011



Großreaktor der KELAG Pilotanlage Buchs - Teil 2

- Anlagenauslegung
 - kontinuierlich arbeitende HTC-Anlage
 - Reaktorvolumen 5.000 l
 - Durchlaufzeit 3 - 4 h
- Aufbereitung der HTC-Restwässer
 - über den Faulturm und die ARA
 - Steigerung der Biogasproduktion (10 - 15%)
 - Nutzung der Restwärme für den anaeroben Abbau im Faulturm ↻ Effizienzsteigerung

Großreaktor der KELAG Pilotanlage Buchs - Teil 3



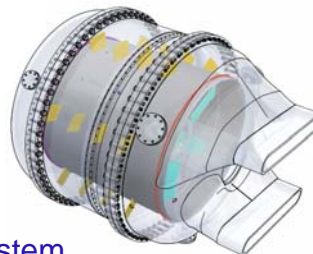
Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 37

Großreaktor der KELAG Reaktorspezifikation

- Reaktorauslegung
 - zwei Reaktoren sind ineinander verschachtelt
 - optimale Wärmenutzung der frei werdenden Bindungsenergie
- Flexibler Innenreaktor
 - flexibler Arbeitspunkt
 - Entkopplung von Prozessdruck und Prozesstemperatur
- Beschickungs- und Entnahmesystem
 - Eigenkonstruktion, optimiert (Wärmeverlust und Dichtung)



Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke
FG Abfallwirtschaft und Deponietechnik

waste to energy 2011
Hydrothermale Carbonisierung

Mai 2011
Folie 38

Großreaktor der KELAG

Ausblick



T.F.C engineering

Besuchen Sie uns im
Herbst auf der ARA
Buchs in der Schweiz!



Fazit

- Carbonisierung
 - Carbonisierung von **Bio-/Grünabfällen** und **KS** gut möglich
 - wichtige **Prozessparameter**: Dauer und Temperatur
- HTC-Biokohlen
 - HTC-Biokohlen sind **braunkohleartig**
 - HTC-Biokohlen sind **sehr gut entwässerbar**
- Effizienz
 - **Kohlenstoffeffizienz** ca. 75 %
 - energetisch vorteilhaft bei vielen Input-Materialien

Adressen

Professor Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Höxter
Fachbereich Umweltingenieurwesen und Angewandte Informatik
Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik
An der Wilhelmshöhe 44, 37671 Höxter
Tel. 05271/687-130; Telefax 05271/687-200
E-Mail hans-guenter.ramke@hs-owl.de
Web <http://www.hs-owl.de/fb8/fachgebiete/abfallwirtschaft/>