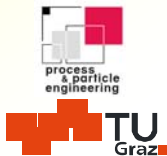
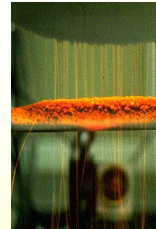


# Großtechnische Verbrennung von Biomasse – erreichte Entwicklung, zukünftiger Ausblick

Prof. Dr. Ingwald Obernberger



Institut für Prozess- und Partikeltechnik  
Technische Universität Graz

TEL.: +43 (316) 481300; FAX: +43 (316) 4813004

E-MAIL: [ingwald.obernberger@tugraz.at](mailto:ingwald.obernberger@tugraz.at)

HOMEPAGE: <http://IPPT.TUGRAZ.AT>



bioenergy2020+



Institut für Prozess-  
und Partikeltechnik  
TU Graz



bioenergy2020+

IEA FORSCHUNGS  
KOOPERATION

## Inhalt

- Allgemeine Informationen zu Task 32 *Biomass combustion and co-firing*
- Thermische Biomassenutzung in Europa
- Biomasse-Verbrennungstechnologien
- Relevante Charakteristika von Biomasse-Brennstoffen sowie fortschrittliche Brennstoff-Charakterisierungsmethoden
- Aschebedingte Probleme bei der Biomasseverbrennung
- Gasförmige Emissionen unter spezieller Berücksichtigung von NO<sub>x</sub>
- CFD-Simulationen als effizientes Tool zur Auslegung und Optimierung von Biomassefeuerungen
- Intelligente Regelungssysteme
- Relevante zukünftige Forschungs- und Entwicklungstrends



Institut für Prozess-  
und Partikeltechnik  
TU Graz

bioenergy2020+



IEA FORSCHUNGS  
KOOPERATION

## Task 32

### Biomass combustion and co-firing



#### Mitgliedsländer

- Belgien
- Dänemark
- Deutschland
- Europäische Kommission
- Finnland
- Italien
- Kanada
- Niederlande (task leader)
- Norwegen
- Österreich
- Schweden
- Schweiz
- UK

Task Homepage: [www.ieabcc.nl](http://www.ieabcc.nl)

3



Institut für Prozess-  
und Partikeltechnik  
TU Graz

bioenergy2020+



IEA FORSCHUNGS  
KOOPERATION

### Relevante Ergebnisse aus der aktuellen Arbeitsperiode 2007 - 2009 (I)

#### ➤ Workshops

(die Präsentationen zu den Workshops können von der Task-Homepage heruntergeladen werden)

- Workshop on **system perspectives in biomass combustion**  
Berlin, May, 2007
- Workshop on **Aerosols in Biomass Combustion**  
Jyväskylä, Finland, September 2007
- Workshop on **biomass cofiring opportunities in China**  
April, 2008
- Workshop on **Next Generation Small Scale Biomass Combustion**  
Amsterdam, Oct 20, 2008
- Workshop on **Increasing Biomass Cofiring percentages in existing power Plants**  
Geertruidenberg, October 21, 2008
- Workshop on **High cofiring percentages in new coal fired power plants**  
Hamburg, June 30, 2009

4



## Relevante Ergebnisse aus der aktuellen Arbeitsperiode 2007 - 2009 (II)

- **Handbook of pellet production and utilisation**  
Veröffentlichung Anfang 2010 geplant
- **Handbook of Biomass Combustion and Co-firing**  
2<sup>nd</sup> Edition (Englisch): 2008  
1<sup>st</sup> Edition (Chinesisch): 2008
- **Berichte**
  - **Technical status of biomass co-firing (2009)**
  - **Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries – Survey on Measurements and Emission Factors (2008)**
- **Updated Database of Biomass Cofiring applications**  
siehe Task-Homepage

5



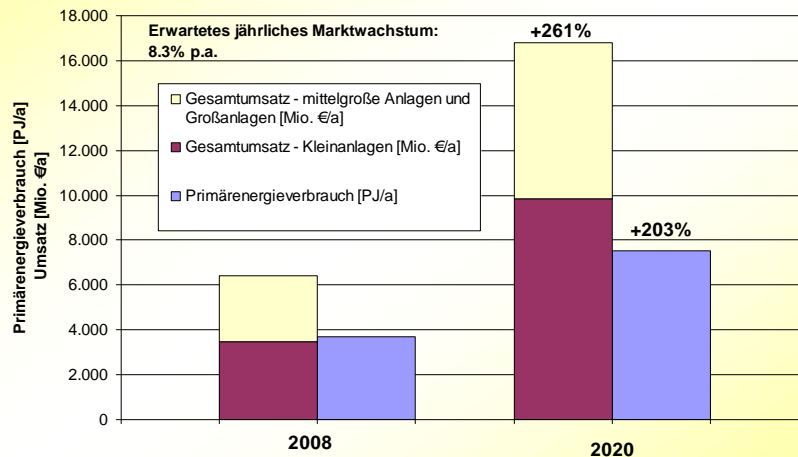
## Geplante Task-Schwerpunkte für die Arbeitsperiode 2010 – 2012

- **Aerosolemissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen**
- **Einsatz von neuen, nicht-holzartigen Brennstoffen und dabei auftretende aschebedingte Probleme**
- **Vorbehandlung, Lagerung, Logistik und Nachhaltigkeit von Biomasse-Brennstoffen**
- **Neue KWK-Konzepte im kleinen Leistungsbereich**
- **Erhöhung des Biomasseanteiles bei der Biomassemitverbrennung**
- **Aschenutzung**

6



## Primärenergieverbrauch und Gesamtumsatz von Biomasse-Feuerungsanlagen in der EU für 2008 und Ausblick auf das Jahr 2020



Erläuterungen: die Berechnungen basieren auf dem derzeitigen Marktvolumen und auf den möglichen Potentialen zur Erreichung der EU 2020-Ziele

7



## Biomasse-Verbrennungstechnologien – Einteilung nach Leistungsgröße

- **Kleinanlagen**  
Leistungsbereich: <100 kW<sub>th</sub>
- **Mittelgroße Anlagen**  
Leistungsbereich: 100 kW<sub>th</sub> bis 20 MW<sub>th</sub>
- **Großanlagen**  
Leistungsbereich: >20 MW<sub>th</sub>
- **Biomasse-Mitverbrennung in kohlebefeuerten Kraftwerken**  
Leistungsbereich: >100 MW<sub>th</sub>

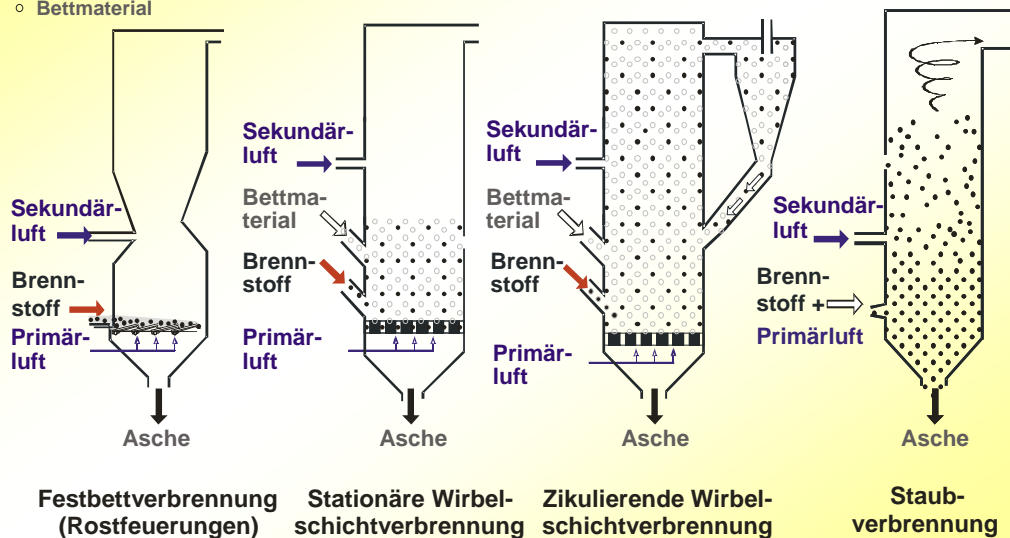
### Biomasseverbrennung

- Derzeit am weitesten entwickelte Biomasse-Konversionstechnologie
- Marktreife Anwendungen in einem weiten Leistungsbereich und für ein breites Brennstoffband verfügbar

8

## Biomasse-Verbrennungstechnologien – Überblick

- Brennstoff
- Bettmaterial



9

## Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen

### Anwendung:

- Heizungen für Ein- und Mehrfamilienhäuser

### Eingesetzte Brennstoffe:

- Scheitholz
- Hackgut
- Pellets

### Feuerungstechnologien:

- Holzöfen
- Einschübe für offene Kamine
- Kachelöfen
- Scheitholzessel
- Pelletkessel
- Hackgutkessel



10

## Mittelgroße Biomassefeuerungsanlagen

### Anwendungen:

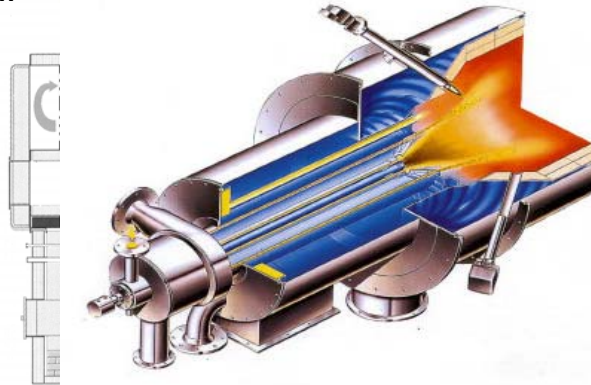
- Fernwärme
- Prozesswärme und -kühlung
- Kraft-Wärme-Kopplungen

### Eingesetzte Brennstoffe:

- Hackgut
- Rinde
- Waldrestholz
- Altholz
- Stroh

### Feuerungstechnologien:

- Unterschubfeuerungen
- Rostfeuerungen
- Staubfeuerungen



11

## Biomasse- Großfeuerungsanlagen

### Anwendungen:

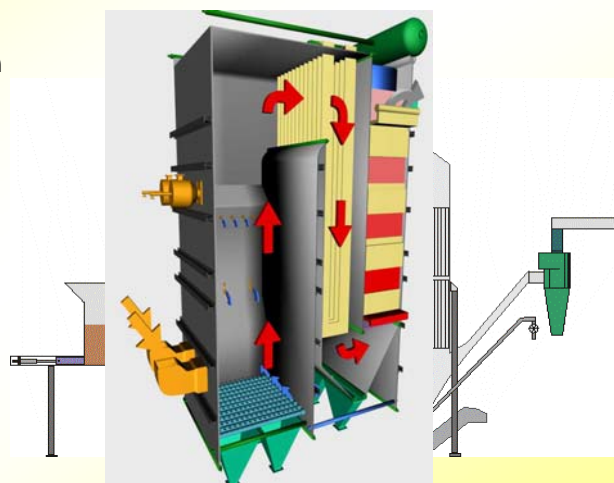
- Kraft-Wärme-Kopplungen
- Stromproduktion

### Eingesetzte Brennstoffe:

- Rinde
- Durchforstungsholz
- Altholz
- Stroh und Ganzpflanzen
- Kerne, Spelzen, Hülsen, Schalen

### Feuerungstechnologien:

- Rostfeuerungen
- Wirbelschichtfeuerungen



12



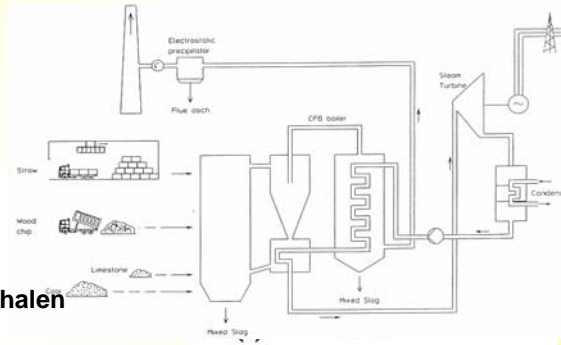
## Biomasse-Mitverbrennung in kohlebefeuelten Kraftwerken

### Anwendungen:

- Stromproduktion
- Kraft-Wärme-Kopplungen

### Eingesetzte Brennstoffe:

- Waldrestholz
- Sägespäne, Hackgut
- Pellets
- Stroh
- Kerne, Spelzen, Hülsen, Schalen



### Mitverbrennungstechnologien:

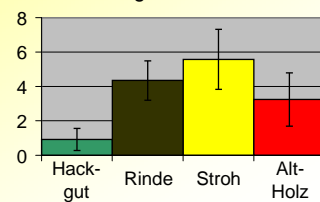
- Mitverbrennung von feingemahlener mit Kohle vermischter Biomasse
- Mitverbrennung von Biomasse in Wirbelschichtfeuerungen
- Mitverbrennung durch getrennte Verbrennungseinheiten und Zusammenführung der Dampfströme
- Biomassevergasung und Verbrennung des Produktgases in Kohlefeuerungen

13

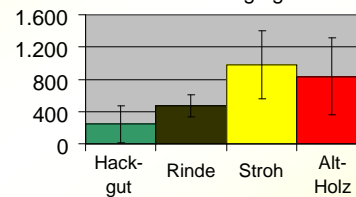


## Chemische Zusammensetzungen verschiedener Biomasse-Brennstoffe – Asche, S, Cl, K

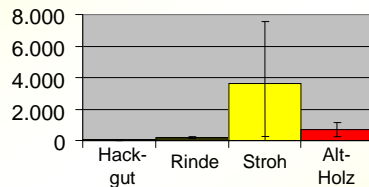
Aschegehalt Gew% TS



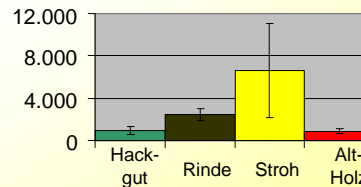
S-Gehalt mg/kg TS



Cl-Gehalt mg/kg TS



K-Gehalt mg/kg TS

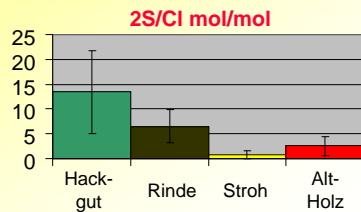


Mittelwerte und Standardabweichung; TS ... Trockensubstanz

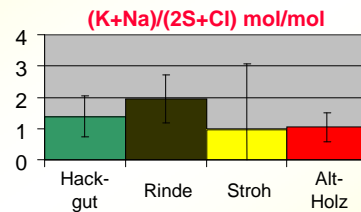
14



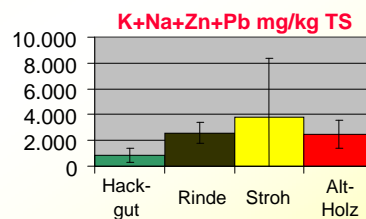
## Chemische Zusammensetzungen verschiedener Biomasse-Brennstoffe – wichtige Leitparameter



Indikator für Korrosionsrisiko



Indikator für die Einbindung von S und Cl in die Aschen sowie für SO<sub>2</sub>/HCl-Emissionen



Indikator für Aerosolbildung

Mittelwerte und Standardabweichung;  
TS: ... Trockensubstanz

15



## Aschebedingte Probleme bei der Biomasseverbrennung

- Feinstaubemissionen
- Ascheschmelzverhalten bzw. Verschlackungsneigung sowie Depositionsbildung
- Korrosion
- Einsatz von Additiven zur Reduktion von aschebedingten Problemen

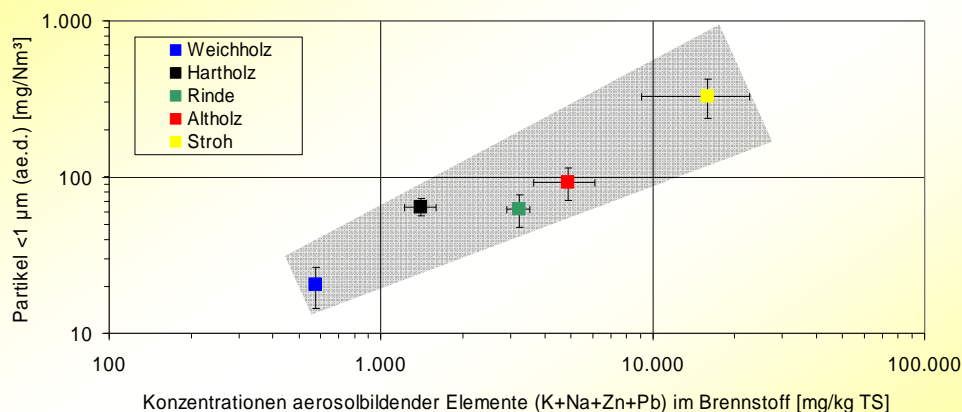


16





## Einfluss des eingesetzten Brennstoffes auf die gebildeten Mengen an Aerosolen

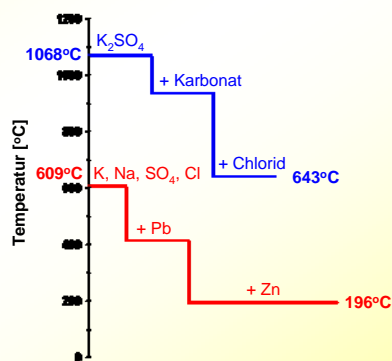
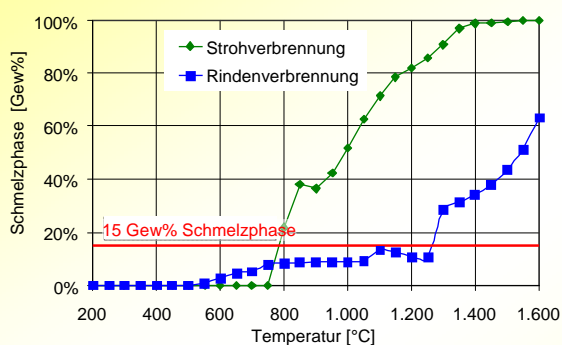


- Emissionen am Kesselaustritt
- Grauer Bereich: Ergebnisse von Messungen an Rostfeuerungen im Leistungsbereich von 350 kW<sub>th</sub> bis 110 MW<sub>th</sub>
- Partikelemissionen bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Vol% O<sub>2</sub>

17



## Abschätzung des Ascheschmelzverhaltens – Ergebnisse von TGA-DSC Analysen und thermodyn. Gleichgewichtsberechnungen

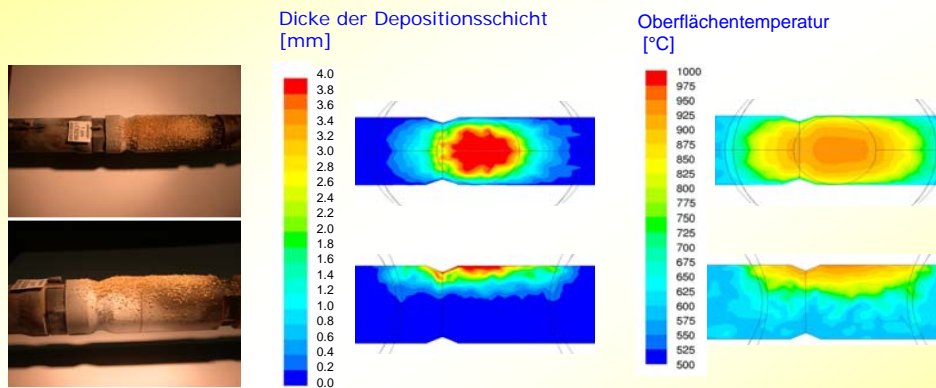


Bildung von Schmelzphasen – Ergebnisse von thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen (links) und Einfluss der Schwermetallgehalte auf die Schmelztemperatur von Alkalimetallsalz-Gemischen (rechts)

- **Entsprechend an den Brennstoff angepasste Feuerungskonzeption und Anlagenregelung ist wesentlich**
- **Einsatz von neuen Tools zur Vorhersage des Ascheschmelzverhaltens wichtig**
- **Feuerraumkühlung wichtig (Rauchgasrezirkulation, Rost- und Wandkühlung)**

18

## Messung und CFD-Simulation der Bildung von Aschendepositionen



Aschendepositionen auf einer wassergekühlten Depositionssonde (links) im Vergleich mit durchgeführten CFD-Simulationen (Mitte) und Einfluss der Aschendepositionen auf die Oberflächentemperatur (rechts);

Erläuterungen: Rauchgastemperatur: 1.050 °C, Oberflächentemperatur der gereinigten Depositionssonde: 590°C; obere Abbildungen ... Draufsicht; untere Abbildungen ... Seitenansicht

19

## Aschebedingte Probleme bei der Biomasseverbrennung – Korrosion

- **Feststoffreaktionen von Alkalimetall- und Schwermetall-Chloriden**  
 $2\text{KCl}(s) + \text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4(s) + \text{Cl}_2(g)$   
 → hohe Relevanz (aktive Oxidation)
- **Reaktionen mit geschmolzenen Alkalimetallchloriden und anderen Chloriden**  
 → wesentlicher Einfluss auf das Korrosionsverhalten



- Entsprechende Brennstoffwahl wichtig
- Höchste zulässige Oberflächentemperaturen für Kesselrohre und Eintrittstemperaturen des Rauchgas in den Konvektionsteil des Kessels wichtig
- (automatische) Kesselreinigung wesentlich
- Einsatz von Additiven interessant
- Höhere Dampftemperaturen sind ein wichtiger Faktor für neue Entwicklungen:  
 → Stroh: 540 °C  
 → Hackgut: >540°C

20

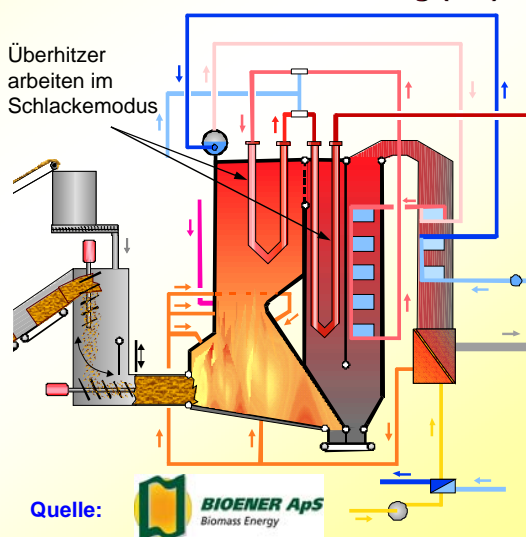
## Aschebedingte Probleme – Beispiel einer innovativen technologischen Lösung

Eingesetzter Brennstoff:	Weizenstroh
Dampfdruck:	92 bar
Dampftemperatur:	542 °C
Elektr. Bruttoleistung:	10,6 MW
Thermische Leistung:	20 MW
Elektr. Bruttowirkungsgrad:	31,7 %
Thermischer Anlagenwirkungsgrad:	60 %
Gesamt-Anlagenwirkungsgrad:	91,7 %



### Maribo-Saksøbing (DK)

Überhitzer arbeiten im Schlackemodus

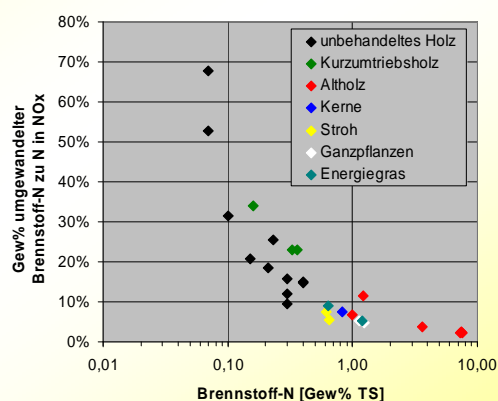
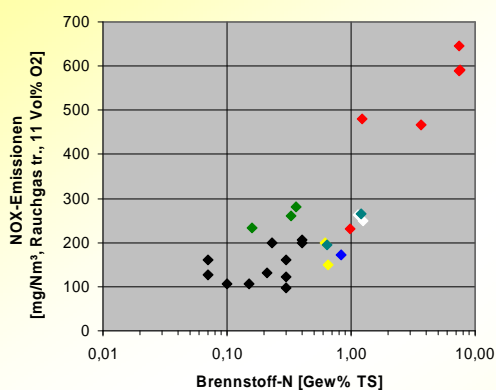


Quelle:



21

## Gasförmige Emissionen - NO<sub>x</sub>

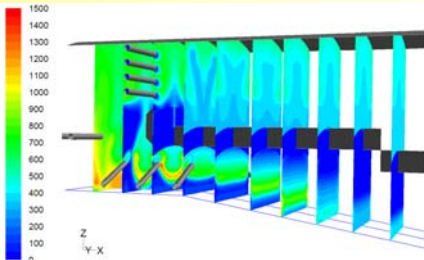


- Brennstoffwahl wichtig
- Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung von großer Bedeutung
- Falls erforderlich, kombinierter Einsatz von Primär- und Sekundärmaßnahmen

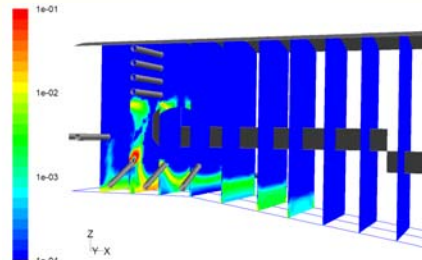
22

## CFD-Simulation der NO<sub>x</sub>-Bildung – Rostfeuerungen

NO [ppmv]



N<sub>2</sub> Nettoproduktionsrate [kg/m<sup>3</sup>s]



	Messung	Simulation	Einheit
CO	7,5 ± 10,2	4,5	ppmV
NO	391,5 ± 68,0	417,4	ppmV
NO <sub>2</sub>	-	8,4	ppmV
NH <sub>3</sub>	-	1,6 E-07	ppmV
HCN	-	3,5 E-05	ppmV

ppmv bezogen auf trockenes Rauchgas

Profile von NO und der N<sub>2</sub>-Nettoproduktionsrate (Indikator für die NO<sub>x</sub>-Reduktion) in einer Biomasse-Rostfeuerung sowie Vergleich von Mess- und Simulationsergebnissen

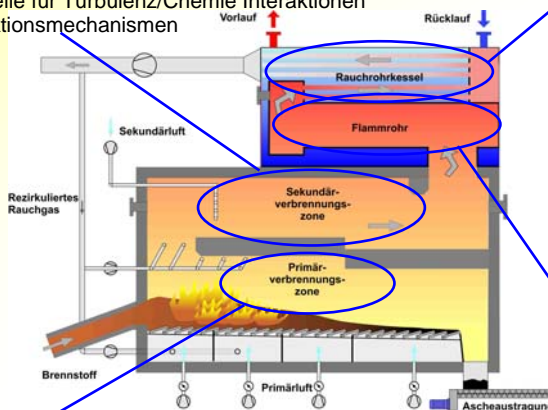
Erläuterungen: Kesselnennleistung: 440 kW<sub>th</sub>;  
Brennstoff: Spanplatten, N-Gehalt: 6,5 [Gew.% TS]

23

## CFD-Simulationen von Biomasse-Feuerungsanlagen – Übersicht über eingesetzte Modelle

### Modelle für die Gasphasenverbrennung und NO<sub>x</sub>-Bildung

- Turbulenzmodelle
- Modelle für Turbulenz/Chemie Interaktionen
- Reaktionsmechanismen



### Modelle für die thermische Konversion fester Biomasse

- Einzelpartikelabbrand und Flüchtigfreisetzung
- Mehrphasenmodelle für Partikel-Partikel und Partikel-Gas-Interaktionen im Festbett und im Flugstrom

### Finites Zellenmodell für konvektive Wärmetauscherbündel

- Für Rauchrohrkessel, Wasserrohr- und Dampfkessel, Thermoölkessel
- Berücksichtigung von Strömung, Wärmetransport, Druckverteilung; Berechnung der Rohroberflächentemperaturen
- Kombination mit Aschedepositionsmodellen (in Bearbeitung)

### Modelle für die Bildung von Aerosolen und Aschedepositionen

- Direkte Wandkondensation, Deposition von Flugaschepartikeln
- Bildung und Deposition von Aerosolen
- Erosion
- Depositionswachstum und Einfluss auf den Wärmetransport

24

## Intelligente Regelungssysteme für Biomassefeuerungsanlagen

- **Großes Optimierungspotential vorhanden**
- **Derzeit angewandte Regelungsstrategien**
  - **unabhängige Regelkreise**  
(eine Regelgröße wird direkt einer Stellgröße zugeordnet  
– Regelkreise werden getrennt voneinander geregelt)
  - **Die verkoppelten und zum Teil stark nichtlinearen Zusammenhänge der unterschiedlichen Prozessgrößen werden nicht oder nur unzureichend berücksichtigt**
  - **Das volle Potential von gut ausgelegten Anlagen wird daher nicht genutzt**
- **Vielversprechendster zukünftiger Ansatz: modellbasierte Regelungsstrategien**
  - + **Explizite Berücksichtigung der physikalischen Zusammenhänge in einer Biomassefeuerung**
  - + **Gut entwickelte Theorie für den Reglerentwurf verfügbar**
  - + **Dem Stand der Regelungstechnik entsprechende Methoden für nichtlineare Mehrgrößensysteme können angewendet werden**
  - **Arbeitsintensiv, falls keine anwendbaren mathematischen Modelle verfügbar sind**

25

## Aktuelle Entwicklungen und zukünftige F&E-Themen

Stand der Forschung		Zukünftige F&E-Ziele
<b>Konventionelle Biomasse-Brennstoffe</b> Hackgut, Rinde, Stroh	⇒	<b>Neue Biomasse-Brennstoffe</b> Ganzpflanzen, Miscanthus, Gräser, Kurzumtriebsholz, Reststoffe aus der Landwirtschaft und aus der Nahrungsmittelindustrie, etc.
<b>Moderne Biomassefeuerungs-systeme</b>	⇒	<b>Biomassefeuerungs-systeme der nächsten Generation</b> in Richtung Zero-Emission Technologien in Richtung neuer Regelungsstrategien
<b>Konventionelle KWK-Technologien</b>	⇒	<b>Fortschrittliche hocheffiziente Systeme</b> in Richtung höherer Dampfparameter in Richtung höherer Verfügbarkeit
<b>Entwicklung von Einzelmodellen</b>	⇒	<b>Die virtuelle Biomassekonversionsanlage</b>

26



Institut für Prozess-  
und Partikeltechnik  
TU Graz

IEA FORSCHUNGS  
KOOPERATION  
bioenergy2020+



BIOENERGIESYSTEME GmbH  
Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz

***Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit***

Prof. Dr. Ingwald Obernberger  
Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Austria  
TEL.: +43 (316) 481300; FAX: +43 (316) 4813004  
Email: [obernberger@bios-bioenergy.at](mailto:obernberger@bios-bioenergy.at)  
HOMEPAGE: <http://www.bios-bioenergy.at>