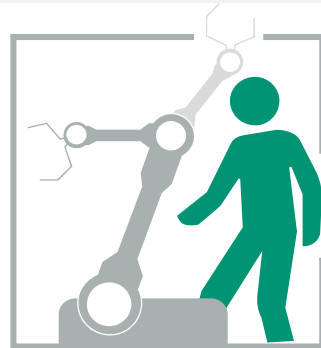
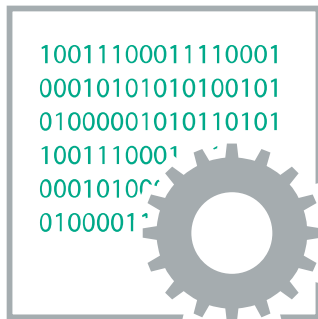


ERGEBNISSE ZUR VERBRENNUNG UND VERGASUNG VON STROH UND SPREU IN WIRBELSCHICHT-ANLAGEN

M.Sc. Betty Appelt, Dipl.-Ing. Torsten Birth



Inhalt:

1. Geschäftsfeld Prozess- und Anlagentechnik PAT
2. Motivation
3. Brennstoffcharakteristik
4. Emissionen und Minderungsmaßnahmen
5. Verbrennung vs. Vergasung
6. Fazit

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF Magdeburg

Geschäftsfeld Prozess- und Anlagentechnik PAT



Biomasse



Abfallstoffe

Energiewandlung

Thermische Energie

(Heizung/Kühlung für industrielle/gewerbliche und kommunale Prozesse)



Elektrische Energie

(autarke Energieversorgung von Produktionsprozessen und/oder Netzeinspeisung)



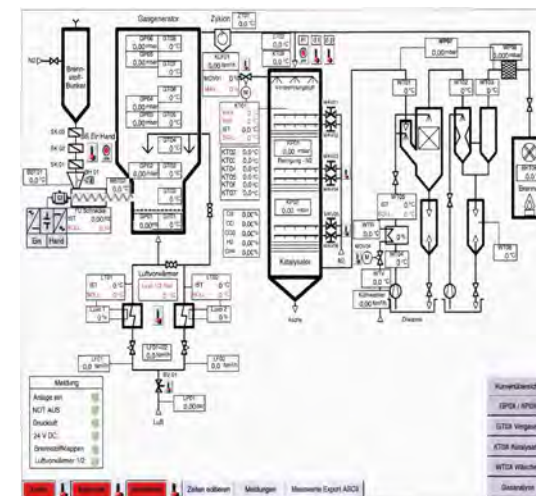
Prozessentwicklung



Anlagentechnik



Steuerung und Regelung



Motivation

Nutzung agrarischer Reststoffe zur Energiebereitstellung

- unausgeschöpftes Reststoffpotential
- - 8 bis 13 Mio. Tonnen Stroh für die Bioenergiebereitstellung verfügbar
 - entspricht einem energetischen Potential von 450 PJ/a

Ziele

- Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten
- - Anlagengröße mit 1-10 MW im mittleren Leistungsbereich
 - Einhaltung geltender Emissionsbegrenzungen
 - Begrenzung der Brennraumtemperatur bzw. Brennstoff-Additivierung zur Vermeidung von Verschlackungen
 - KWK-Lösung mit Vermeidung von Taupunktunterschreitung an Wärmeübertragerflächen
 - Synthesegasbereitstellung für die chemische Industrie

Aufgabenstellung

Überblick

Forschungsvorhaben zur energetischen Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen des Kompakternteverfahrens mittels thermo-chemischer Konversion in Wirbelschichtanlagen

Untersuchung energetischer Verwertungsmöglichkeit von SpreuStroh

Verfahren:

- Wirbelschicht-Verbrennung und -Vergasung
- Brennstoffe: Spreu/Spreuartiges: Weizen, Soja, Raps, Gerste
- Additiv: Weißkalkhydrat, Magnesiumhydroxid
- Transportverhalten
- Ascheschmelzpunkte
- Entstehung von Emissionen
- Dauerversuch
- Produkt-und Reststoffuntersuchungen



Brennstoffcharakteristik

Besonderheiten der Brennstoffe

	Strohhäcksel	Holzhackschnittzel	
Energie-dichte	1200 MJ/m ³	3700 MJ/m ³	<ul style="list-style-type: none"> ■ Niedrige Energiedichte ➤ hohe Anforderungen an Transportsysteme
Stickstoff-gehalt	0,4-1,0 Ma. %	0,1-0,2 Ma. %	
Schwefel-gehalt	0,1 Ma. %	0,02 Ma. %	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chlor und Schwefel durch zusätzliche Düngung leicht erhöht ➤ Korrosive Wirkung auf Anlagenteile ➤ Erniedrigung des Schmelzverhaltens der Aschen
Chlorgehalt	0,1-0,5 Ma. %	<0,01 Ma. %	
Asche-gehalt	3,5-6,5 Ma. %	0,5-0,6 Ma. %	<ul style="list-style-type: none"> ■ Witterungsbedingungen großen Einfluss auf Brennstoffqualität ➤ Auswaschung von mineralischen Begleitstoffen
Kalium-gehalt	0,8-1,4 Ma. %	<0,2 Ma. %	
Sintertemp.	750°C	1370°C	
Erweichungs-temp.	900°C	1400°C	

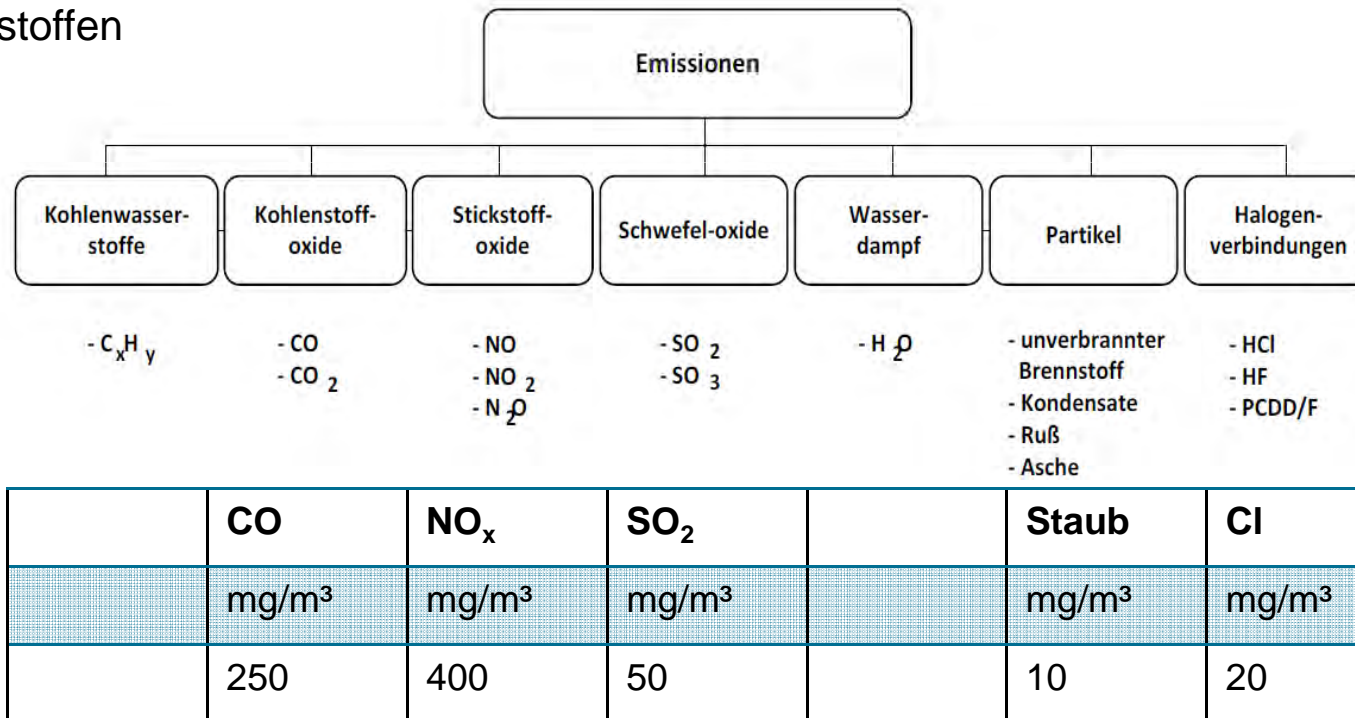
5

Technisch relevante Emissionen

Grenzwerte nach TA-Luft und 17. BimSchV

§1 Brennstoffe

8. Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe, nicht als Lebensmittel bestimmtes Getreide wie Getreidekörner und Getreidebruchkörner, Getreideganzpflanzen, Getreideausputz, *Getreidespelzen* und Getreidehalmreste sowie Pellets aus den vorgenannten Brennstoffen



Schadgasminderungsmaßnahmen

Schadstoff	Primäre Minderungsmaßnahme	Sek. Minderungsmaßnahme	Optimale Prozesstemperatur	λ
CO	Verbrennungsführung (Temperatur, Verweilzeit, Sauerstoffangebot)	Thermische und katalytische Nachverbrennung	> 800 °C	>1
NO _x	Luftstufung und Rauchgasrückführung	Selektive Reduktion mit Ammoniak- oder Harnstoffeindüsung	< 900 °C	<1
SO _x	Additivzugabe bei 850 °C	Alkalische Nasswäsche mit Kalkmilch	900 °C < T < 1050 °C	>1
Chlor	Nur unterhalb 400 °C möglich	Trockensorption mit Weißkalkhydrat	< 400 °C	-
Staub	Optimierung Rauchgasgeschwindigkeit	Zyklone, Gewebe- und Elektrofilter	-	>1

Brennstoffcharakteristik

Transportverhalten

Untersuchung mittels verschiedener Schneckenpaare

- **Problematiken**
 - Geringe Schüttdichte
 - Aufschwimmen des leichteren Strohs (Entmischung)
 - Brückenbildung im Vorlagebehälter
- **Empfehlung**
 - Doppelkonkav-Schnecke bestes Förderverhalten
 - Pelletierung des Materials – homogenes Eintragsverhalten



Doppelkonkav-Schnecke
fein



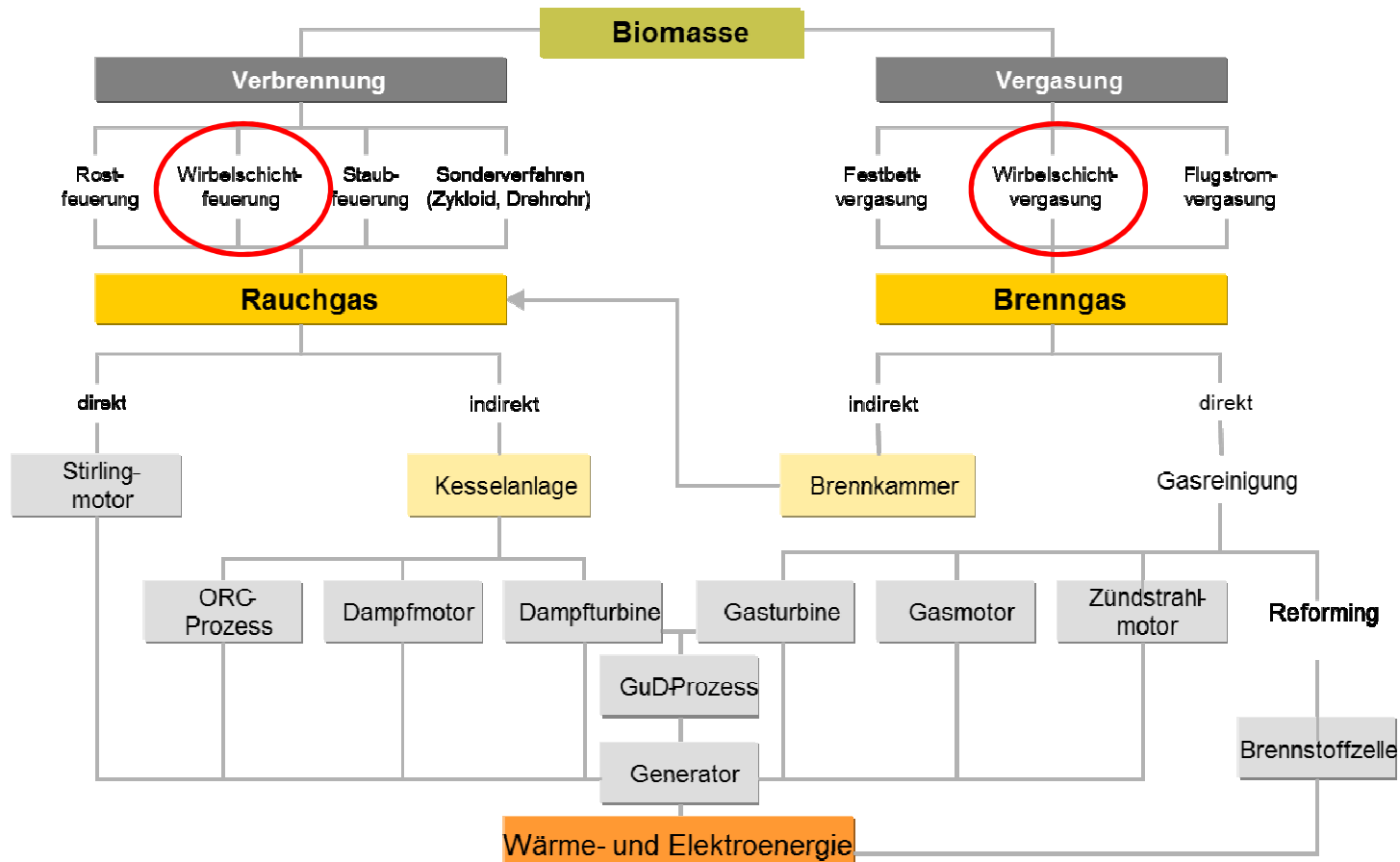
Doppel-Vollblatt-Schnecke
fein



Doppel-Vollblatt-Schnecke
grob

Verbrennung vs. Vergasung

Verwertung im Rahmen von Verbrennungs- und Vergasungsanlagen



Wirbelschicht-Verbrennung

stationäre Wirbelschichtfeuerung SWSF

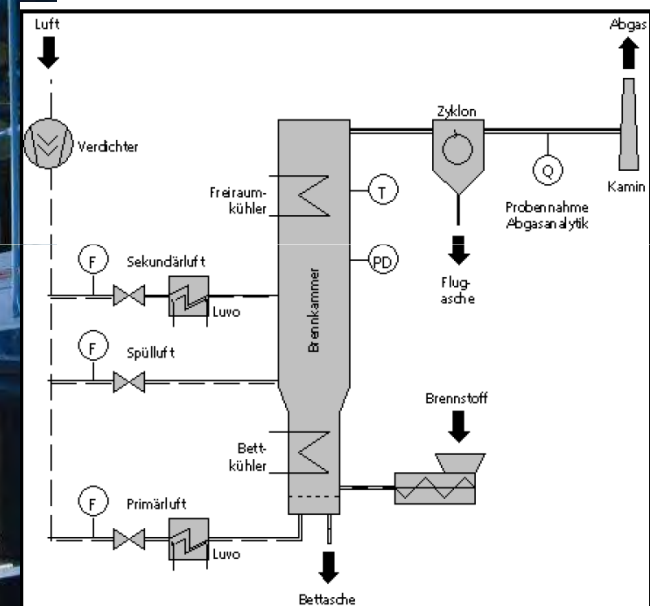
- **Wirbelschichtversuchsanlage**

- Stationäre Wirbelschicht
- Durchmesser Wirbelschicht: 100 mm
- Höhe Reaktor: 4240 mm
- Feuerungswärmeleistung: 15 kW

- **Gasanalyse**

- O_2 , H_2O , CO_2 , NO_2 , N_2O , SO_2 , C_nH_m ,
 HCl , NH_3 , CO_2 , H_2O , NO , CO , SO_2

- Brennstoffadditive vs. additierte Bettmaterialien
- Basisversuche vs. Luftstufung vs. RG-Rezi



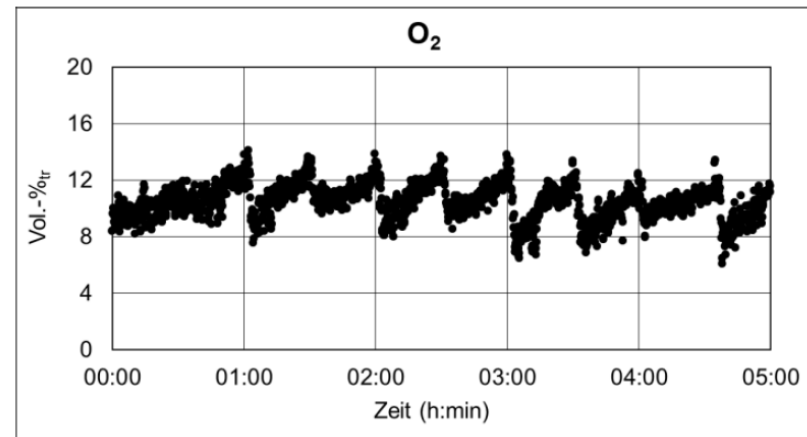
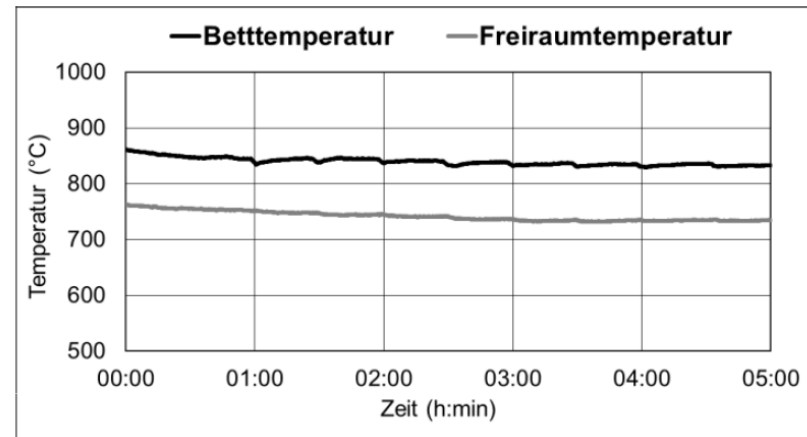
Wirbelschicht-Verbrennung

Versuchsumfang der stationären Wirbelschichtverbrennung

Untersuchte Parameter

- Winter- und Sommerweizen
- Gerste

- Bett-Temp. [750 – 850 °C]
- Rest-O₂ [8 – 11 Vol.-%]
bei Luftzahl [1,4 – 1,8]
- Luftstufung
- Additiv (-verhältnis)
 - Weißkalkhydrat
 - Kalkstein



Dauerversuch mit Sommerweizen

Wirbelschicht-Verbrennung

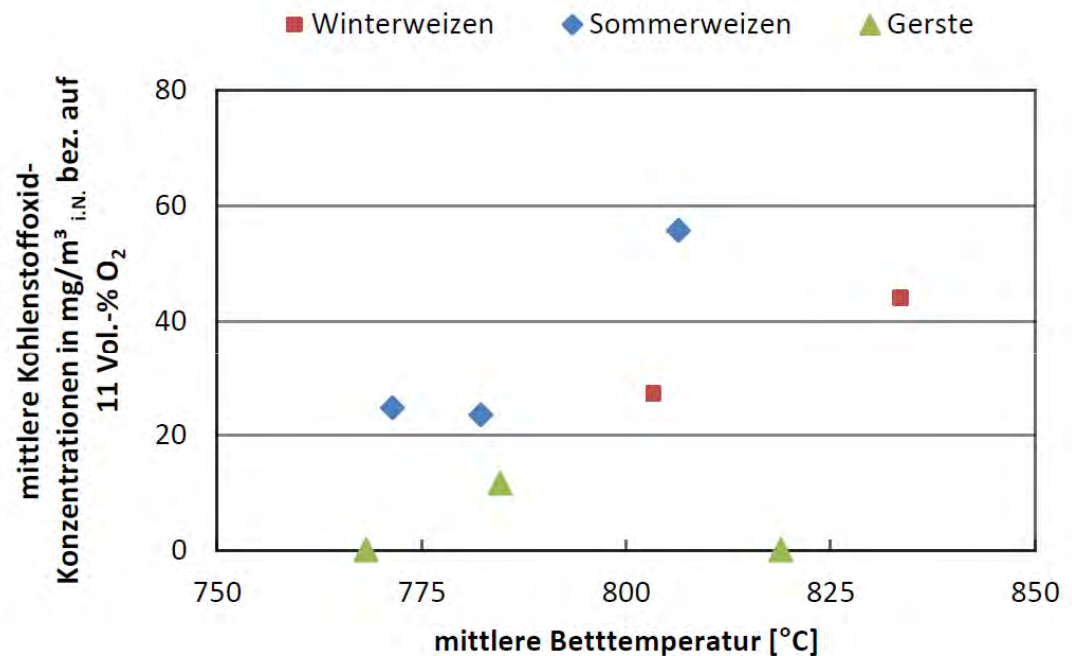
Versuchsergebnisse der stationären Wirbelschichtverbrennung

Kohlenstoffmonoxid-Emissionen

- Grenzwert CO (250 mg/m³)
- in allen Fällen eingehalten

Betttemperaturen

- 770 – 830 °C



Wirbelschicht-Verbrennung

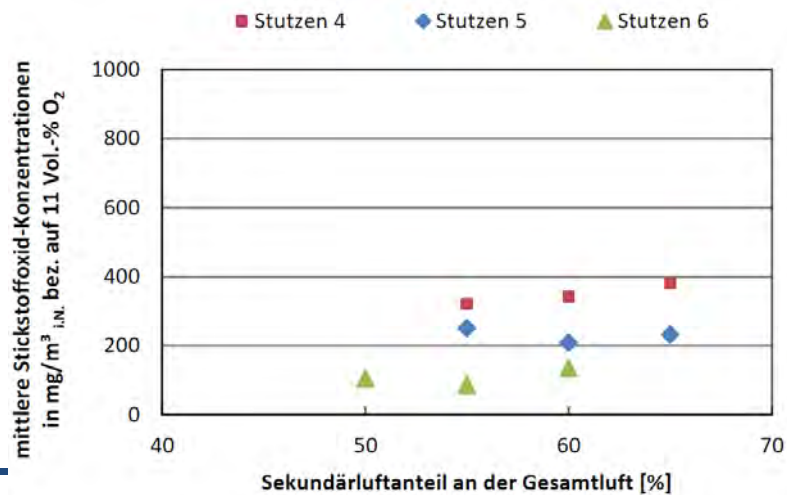
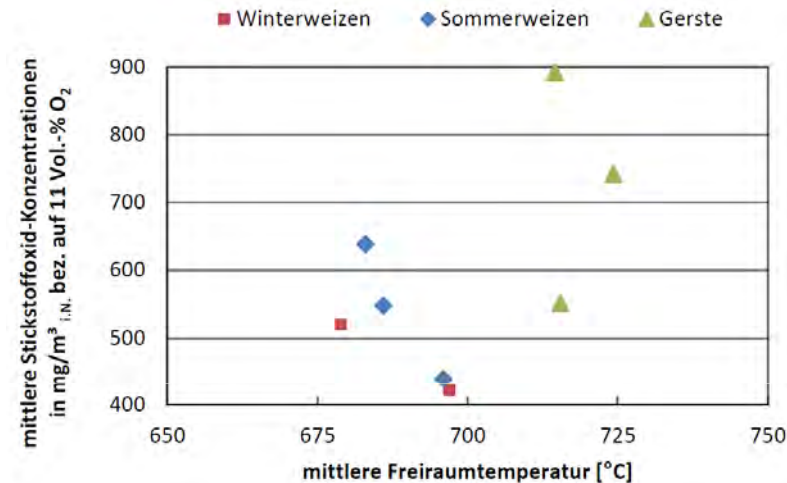
Versuchsergebnisse der stationären Wirbelschichtverbrennung

Stickstoffoxid-Emissionen

- Grenzwert NO (400 mg/m³)
- Überschreitung des Grenzwertes

Betttemperaturen

- 770 – 830 °C
- Weitere Schadgas-minderungsmaßnahme
- Luftstufung in unterschiedlicher Höhe des Freiraums
- Absenkung NO_x-Konzentration unter Grenzwert



Material:
Winterweizen

Wirbelschicht-Verbrennung

Verschlackungsverhalten

Problematiken in der Versuchsführung

- Inhomogenes Eintragsverhalten
- Agglomerationen im Bett- und Freiraumbereich
 - Bei Betttemperatur $> 800\text{ °C}$
- Keine ausreichende Fluidisation im Bettbereich gewährleistet
-
- Versuchsabbruch



Blick durchs
Schauglas in
den
Bettbereich



Demontierter
Anström-boden

Blick von unten
in den
Bettbereich

Wirbelschicht-Vergasung

Labor-Wirbelschichtvergaser



1. Gasbereitstellung
4. Zyklon
7. Messtechnik

2. Brennstoffzufuhrsystem
5. katalytische Nachverbrennung

3. Wirbelschichtvergaser
6. Wärmeübertrager

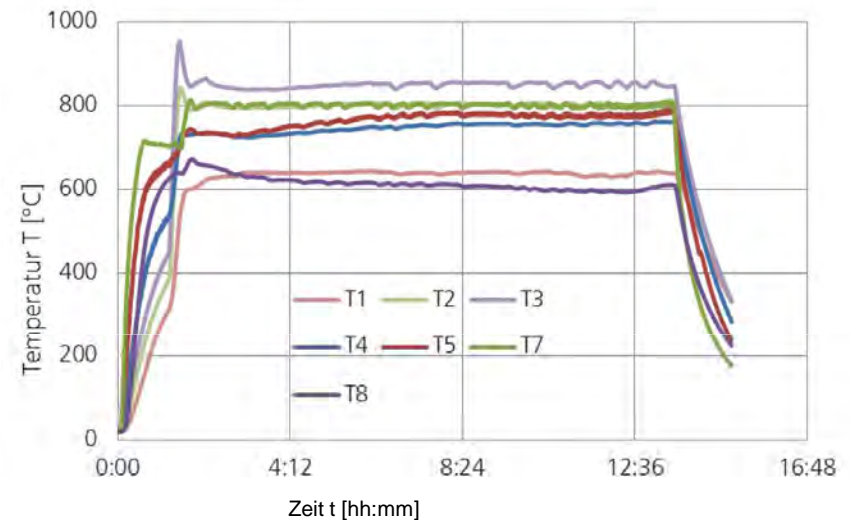
Wirbelschicht-Vergasung

Versuchsumfang der Labor-Wirbelschichtvergasung

Untersuchte Parameter

- Winter- und Sommerweizen
- Soja
- Raps

Bett-Temperatur	800 °C
Bett-Material	Kalkstein, Quarzsand
Luftzahl	0,3 – 0,4
Additiv (-verhältnis)	Weißkalkhydrat



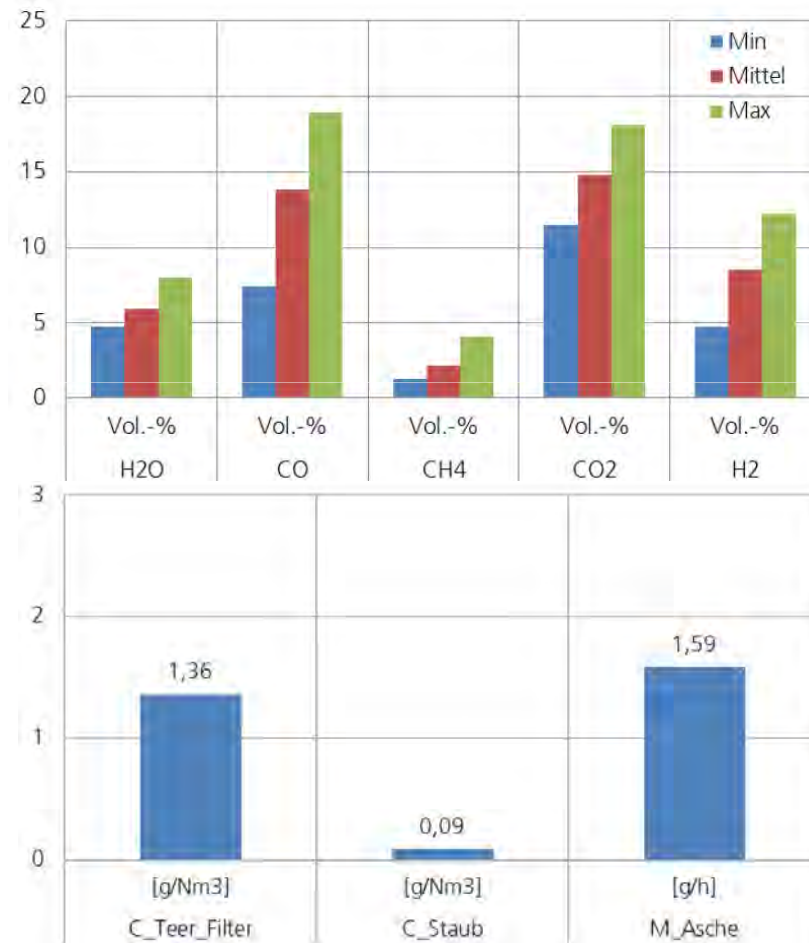
Dauerversuch mit Sommerweizen

Wirbelschicht-Vergasung

Versuchsergebnisse der Labor-Wirbelschichtvergasung

Sommerweizen

- Luftzahl 0,3
- Betttemperaturen 800°C
- Bettmaterial Quarzsand
- Starke Schwankungen der Konzentrationen aller Spezies
- Geringe Teerwerte
- Anreicherung Kohlenstoff in Bettbereich über Versuchsverlauf
- **Verschlackung**
- Additiveinsatz zur Erhöhung der Schmelztemperatur



Wirbelschicht-Vergasung

Versuchsergebnisse der Labor-Wirbelschichtvergasung

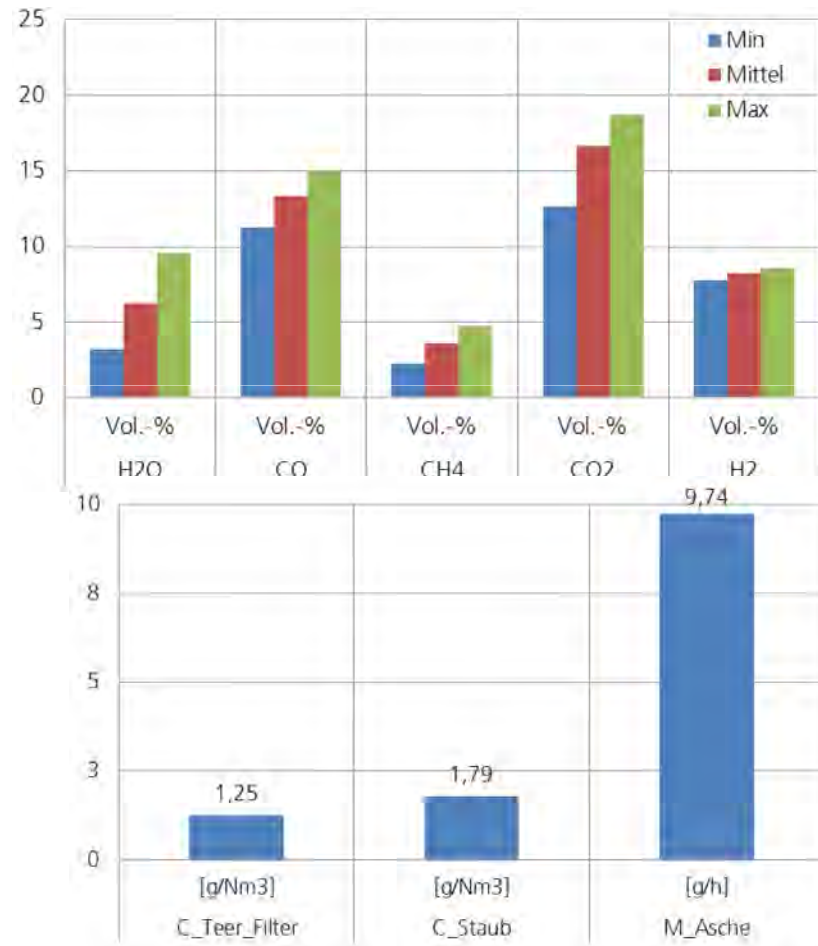
Soja

- Luftzahl 0,3
- Betttemperaturen 800°C
- Bettmaterial Quarzsand

- Starke Schwankungen der Konzentrationen aller Spezies

- Geringe Teerwerte

- Anreicherung Kohlenstoff in Bettbereich über Versuchsverlauf
- **Keine Verschlackung**

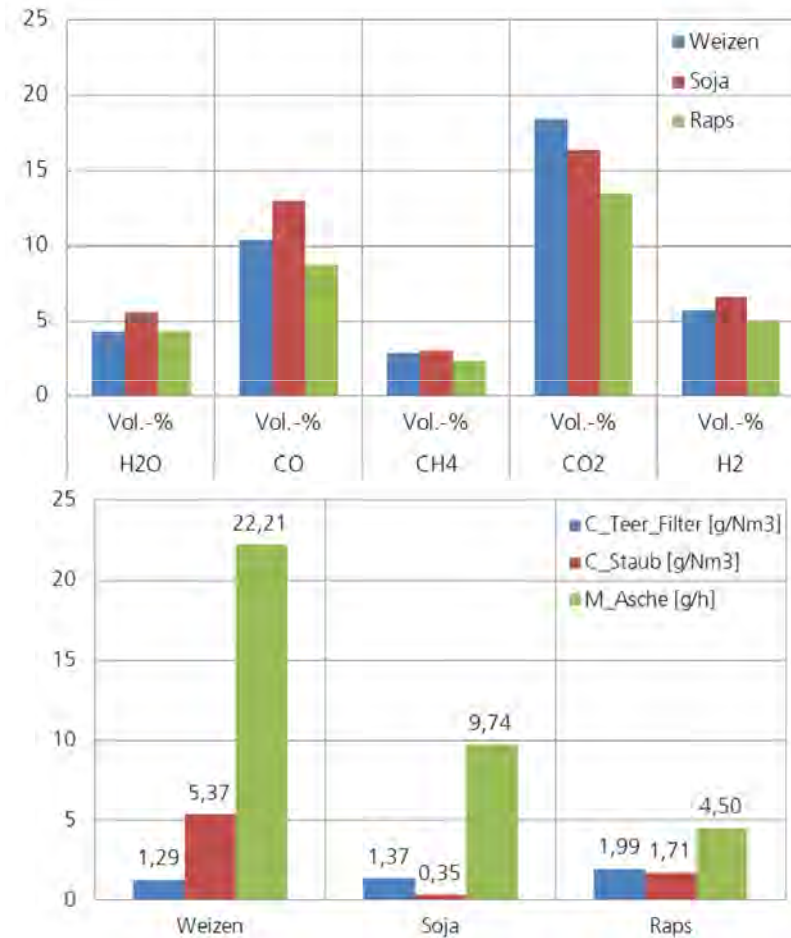


Wirbelschicht-Vergasung

Versuchsergebnisse der Labor-Wirbelschichtvergasung

Vergleich Sommerweizen und Soja

- Luftzahl 0,3
- Betttemperaturen 800°C
- Bettmaterial Quarzsand
- Hohe CO Werte bei Soja
- Geringe Teerwerte
- Hohe Staubwerte bei Weizen
- Hohe Aschewerte bei Weizen
- Soja am geeignetsten



Fazit

Beurteilung der energetischen Verwertung von SpreuStroh

Transortverhalten

- inhomogenen Eintragsverhaltes -> Kompaktierung

Materialien

- Gerste hohe Verschlackungsneigung
- Weizen nur mittels Additivierung geeignet
- Raps geeignet
- Soja geeignet

Verbrennung und Vergasung

- Einhalten aller Grenzwerte der TA-Luft und 17. BimSchV
- Quartierskonzepte bis 10 MW FWL mit ORC-Modul scheinen möglich
- Niedrige Teergehalte zeigen die Möglichkeit der Umsetzung mittels Reformierung

Weitere Untersuchungen

- Langzeitverhalten
- Up-Scaling

ERGEBNISSE ZUR VERBRENNUNG UND VERGASUNG VON STROH UND SPREU IN WIRBELSCHICHT-ANLAGEN

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Torsten Birth
Dipl.-Ing.

IFF



Projektleiter | Laborleiter
Prozess- und Anlagentechnik
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg
Telefon +49 391 4090-355 | Fax +49 391 4090-93-355
torsten.birth@iff.fraunhofer.de



Betty Appelt
M. Sc.

IFF



Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Prozess- und Anlagentechnik
Fraunhofer-Institut für
Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg
Telefon +49 391 4090-3495
Betty.appelt@iff.fraunhofer.de

Ihr Technologiepartner für angewandte Forschung in Sachsen-Anhalt



Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
-automatisierung IFF
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg
Telefon: +49 391 4090-349
Betty.appelt@iff.fraunhofer.de
www.iff.fraunhofer.de



Virtual Development and Training Centre des
Fraunhofer IFF Magdeburg
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 1
39106 Magdeburg