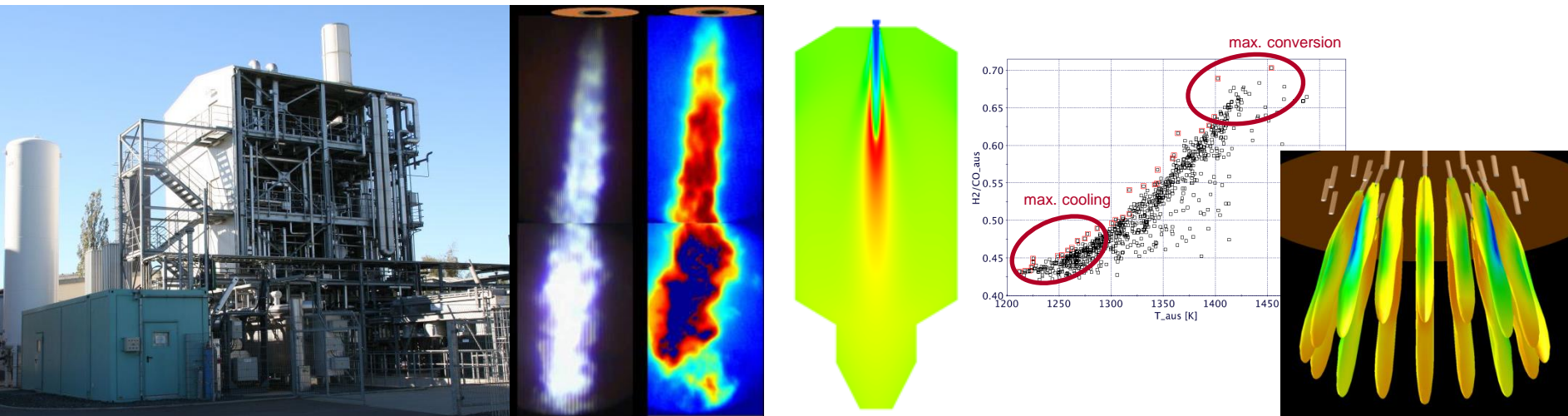


Beschleunigte Entwicklung neuer Hochtemperaturprozesse mithilfe der CFD



Andreas Richter

Transferveranstaltung Energie-Wissenschaft trifft Wirtschaft, 23. August 2016

Brennstoff und Stoffkonversion

- Mineralstoffsysteme
- Thermochemische Konversion

Prozesse & Komponenten

- Anlagenbetrieb
- CFD-Modellierung

Professur für Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung



96 Mitarbeiter
+ Studenten

Systeme

- Technologiefolgenabschätzung
- Prozesskettenentwicklung

Technologien

- Synthesegastechnologien
- Technologien der Feststoffvergasung

Europa

- AIR LIQUIDE
- ENVIRO THERM
Technologie für saubere Energie & Umwelt
- THE LINDE GROUP
- VATTENFALL
- e-on
- Lurgi
- RWE
- Uhde
ThyssenKrupp
- CHOREN
- SIEMENS
- ALSTOM
- C.A.C.
Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH
- ARAL
- bp
- TOTAL

Nordamerika

- NETL
- ConocoPhillips
- EERC
Energy & Environmental Research Center®
Putting Research into Practice
- gti
- GE
- TECO
TAMPA ELECTRIC
AN EMERA COMPANY

Europa

Nordamerika

Asien-Pazifik-Raum

Afrika

- AFRICARY
African Carbon Energy
- SASOL
reaching new frontiers

- SYNFUELS CHINA
中科合成油技术有限公司
- CECO
航天工程
- UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA
- ICCAS
- CSIRO
- VINACOMIN
- JINDAL
STEEL & POWER
- Reliance
Industries Limited
- POSCO
- CRIEPI
Central Research Institute of
Electric Power Industry



Motivation

- kurzfristig wechselnde politische und ökonomische Rahmenbedingungen
- klassische Entwicklung neuer Technologien vom Labormaßstab zur Pilotanlage zu zeitaufwendig
- CFD kann helfen, Zwischenschritte zu beschleunigen oder zu ersetzen (virtuelle Prototypen, virtuelles Skalieren)

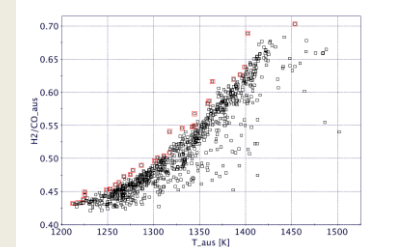
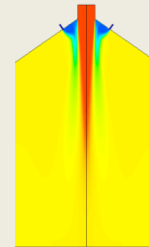
In dieser Arbeit werden Möglichkeiten diskutiert, wie mithilfe der CFD sowohl die Prozessentwicklung als auch die Prozessoptimierung beschleunigt werden können.

Gliederung

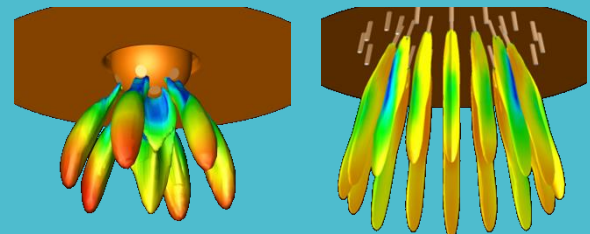
Validierte Modelle für reaktive Hochdruck-/Hochtemperatursysteme



CFD- basierte Optimierungsstrategien



Innovative Brennerkonzepte



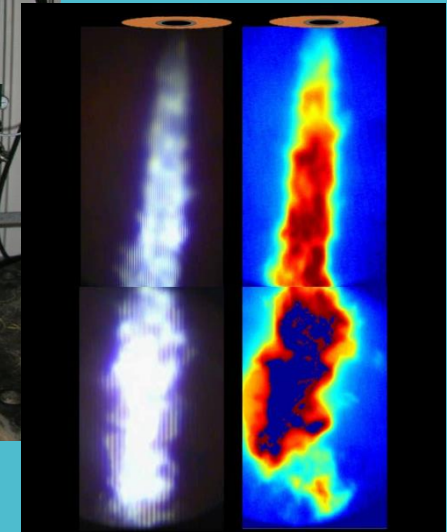
HP-POX-Versuchsanlage

Versuchsanlage



- Max. Druck: 100 bar
- Temperatur: 1000–1500 °C
- Thermische Leistung: 5 MW
- regelbares Reaktorvolumen

Optische Messungen



HP-POX-Modellierung (Virtuhcon Benchmark)

Löser

- ANSYS Fluent 17.0
- achsensymmetrische 2D und komplette 3D Berechnungen

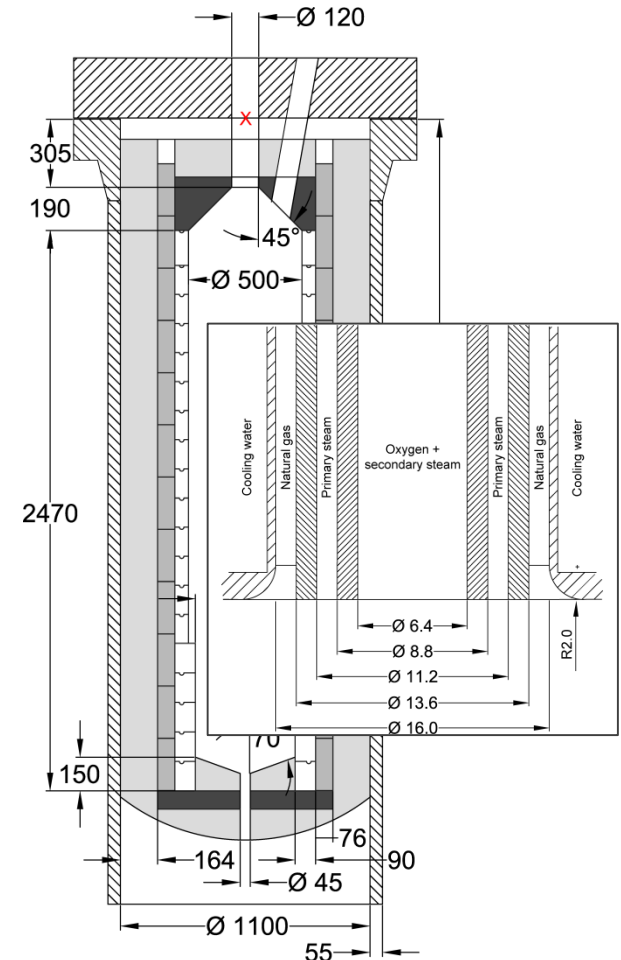
Modelle

- $k-\omega$ SST Turbulenzmodell
- Eddy Dissipation Concept (EDC) Modell für Turbulenz-Chemie-Interaktion
- P1 Strahlungsmodell

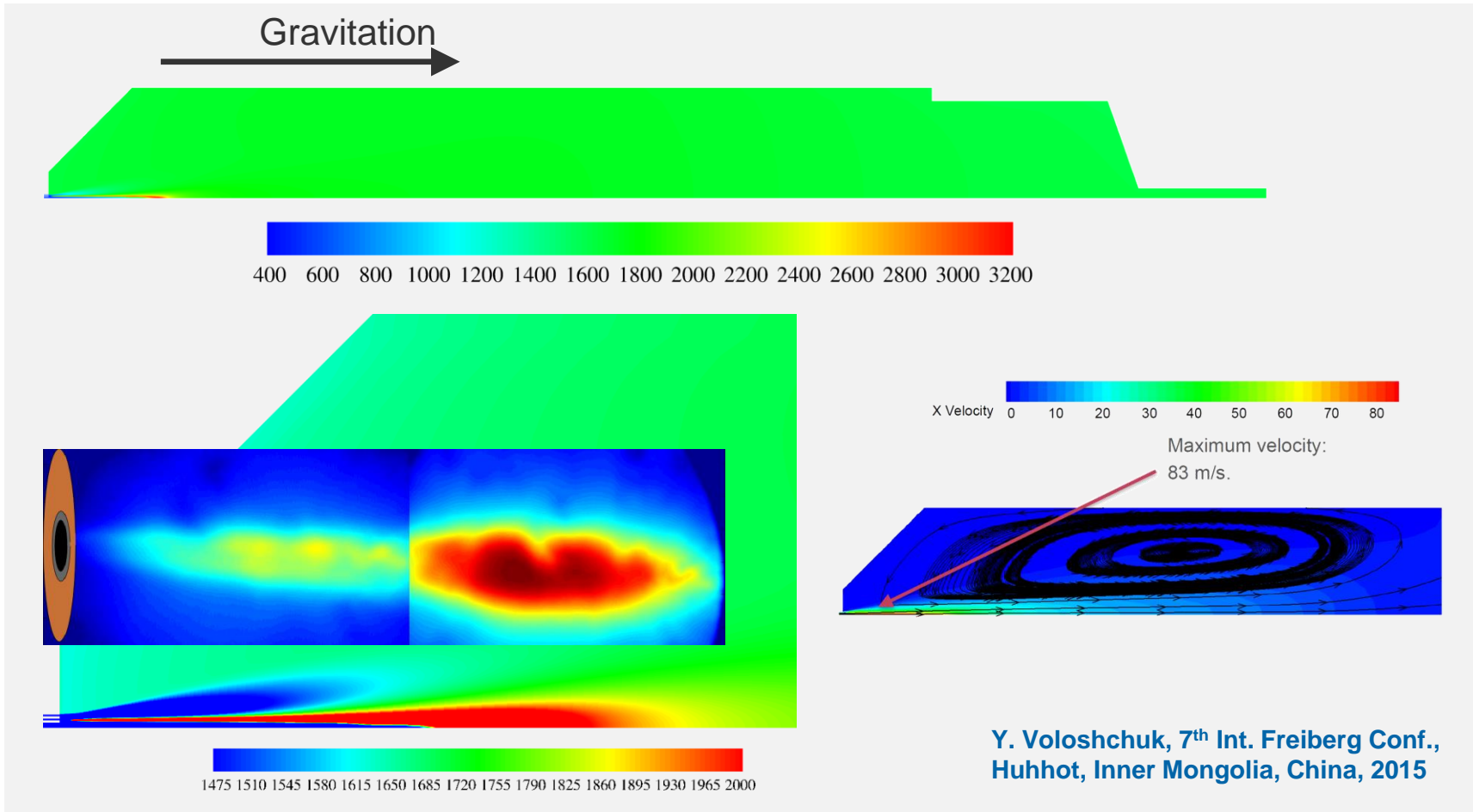
Chemische Mechanismen

- basierend auf eigenem Mechanismus
- 28 Spezies, 112 Reaktionen
- Mechanismus-Optimierung in Arbeit

A. Richter et al., Fuel 152 (2015)



Simulationsergebnisse Virtuhcon Benchmark



Y. Voloshchuk, 7th Int. Freiberg Conf.,
Huhhot, Inner Mongolia, China, 2015

Simulationsergebnisse Virtuhcon Benchmark

	Case 1 Exp.	Case 1 Num.	Case 2 Exp.	Case 2 Num.	Case 3 Exp.	Case 3 Num.	Case 4 Exp.	Case 4 Num.
Druck, bar(g)	50		60		70		50	
Temperatur, °C	1200		1200		1200		1400	
H2, %vol	48.27	46.83	48.32	46.59	48.40	47.68	48.06	48.87
CO, %vol	23.79	23.83	23.73	23.13	23.64	23.61	25.61	26.31
CO2, %vol	4.19	4.06	4.10	3.91	4.13	3.57	3.89	3.29
H2O, %vol	19.33	21.33	19.04	19.77	18.64	18.77	21.71	20.83
CH4, %vol	3.76	5.69	4.17	5.27	4.55	5.10	0.06	0.02
Temperatur am Ausgang, °C	1154	1202	1151	1206	1146	1229	1384	1424
gemessene Flammenlänge, mm	265		271		274		—	
berechnete Flammenlänge, mm	267		278		263		311	
gemessene Flammenbreite, mm	41		43		45		—	
berechnete Flammenbreite, mm	38		40		39		30	

Y. Voloshchuk, 7th Int. Freiberg Conf.,
Huhhot, Inner Mongolia, China, 2015

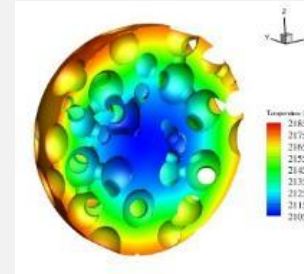
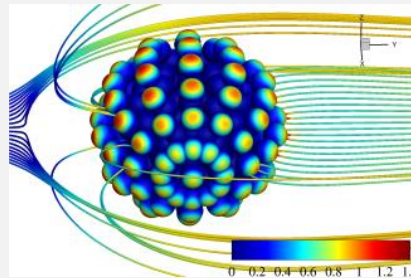
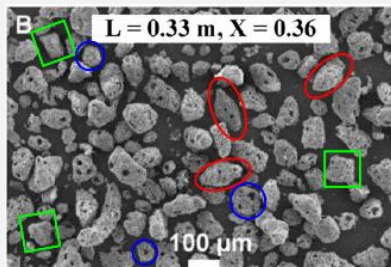
Erweiterte Modelle für die Flugstromvergasung

Numerische Modelle

- ANSYS Fluent 17.0
- basierend auf validierten Modellen der HP POX
- Euler-Lagrange Partikelverfolgung

weitere Partikelmodelle

- Partikelheizung und Trocknung
- Pyrolyse, heterogene Reaktionen
- Partikelkräfte



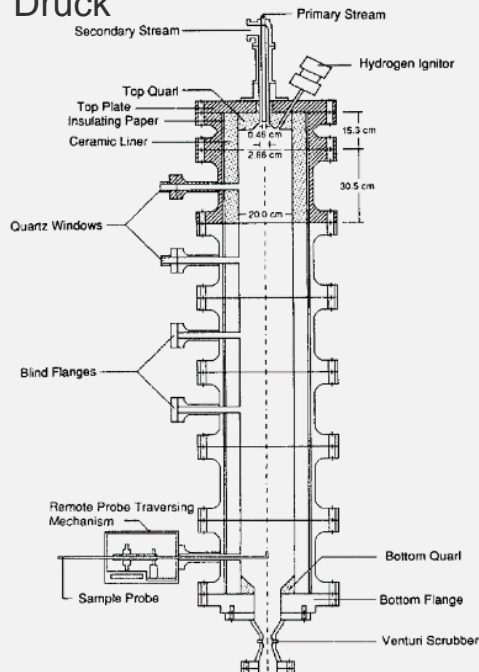
A. Richter et al., Int. J. Heat and Mass Transfer 83 (2015)

S. Schulze, Applied Energy 164 (2016)

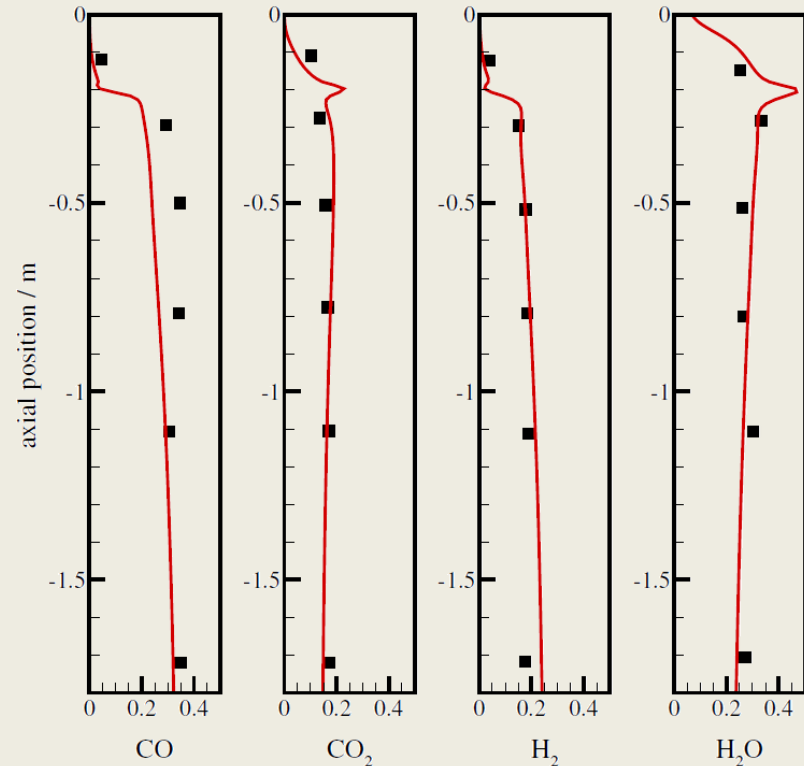
Validierung

BYU Vergaser

- Vergaser wird an Brigham Young University betrieben
- Höhe 2 m, \varnothing 20 cm, 25 kg/h Kohle
- nicht schlackend, atmosphärischer Druck

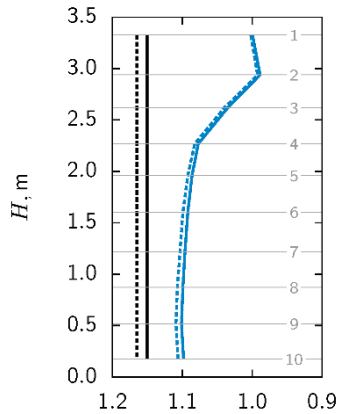


Validierungsergebnisse



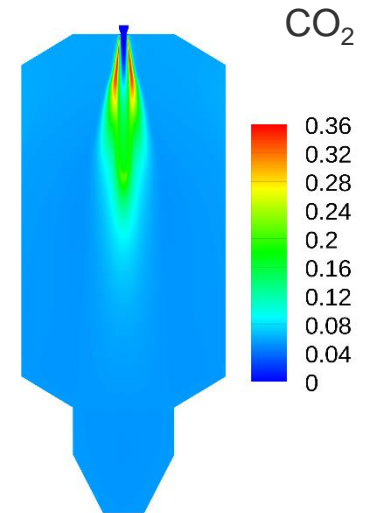
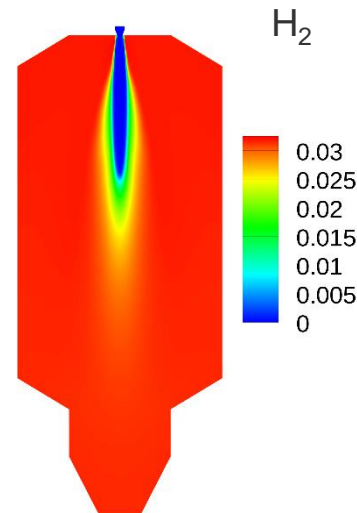
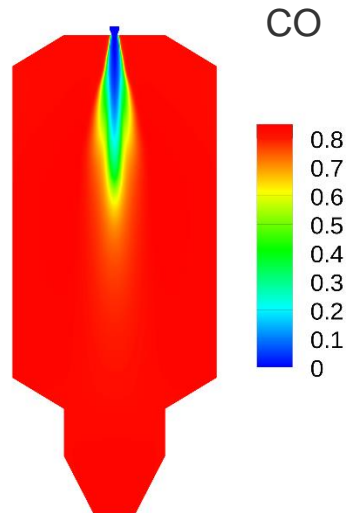
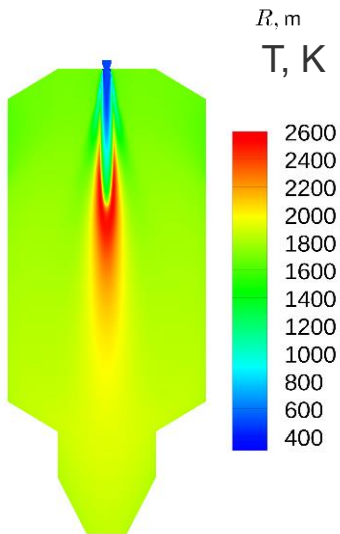
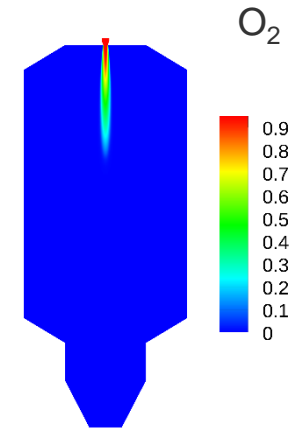
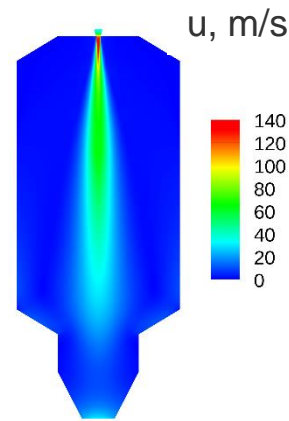
D. Safronov et al., 6th Int. Freiberg Conf., Radebeul, 2014
 K. Uebel et al., Fuel Proc. T. 148 (2016)

Großtechnische Vergaser



gas-liquid —
 liquid-solid - - -
 solid-wall —
 wall-coolant ····

D. Safronov et al., 6th
 International Freiberg
 Conference, Radebeul, 2014



Quenchkonzept

Quench

- rasche Rohgasabkühlung
- neue Idee: gleichzeitige Kühlung & Umsetzung via Shift-Reaktion

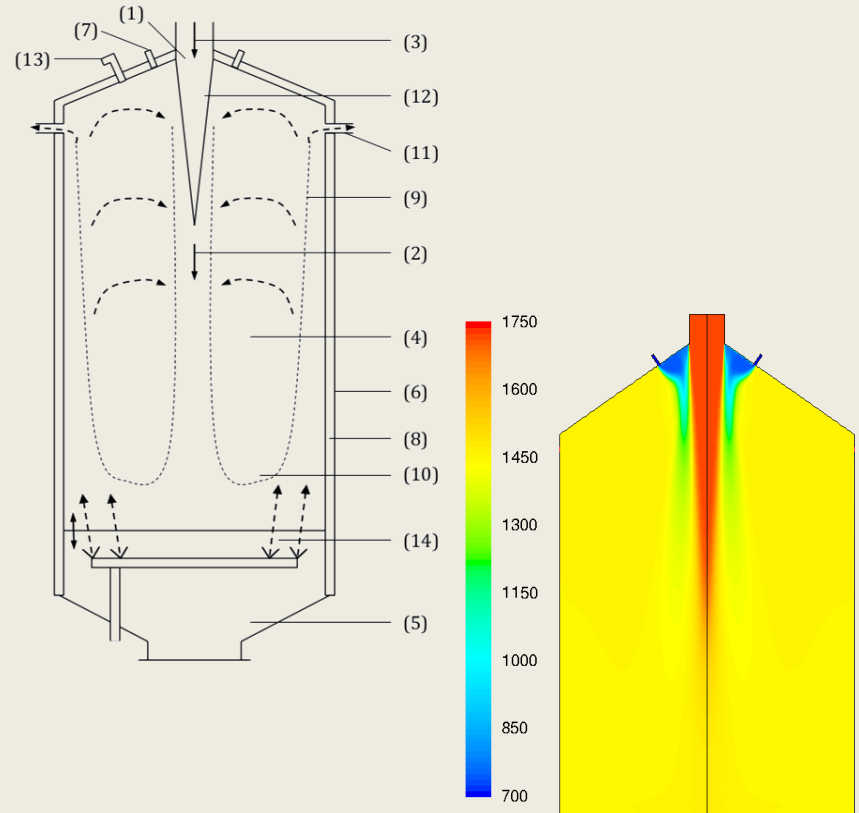
Optimierungsparameter

Geometrie: $4.4 \leq h \leq 8 \text{ m}$
 $2.8 \leq d \leq 5 \text{ m}$
 Wasserdampf: $10 \leq \dot{m}_P \leq 22.8 \text{ kg/s}$
 Wandkühlung: $10 \leq q_w \leq 100 \text{ kW/m}^2$

Programme

CFD: ANSYS Fluent
 Gitternetz: ICEM CFD
 Optimierung: modeFRONTIER

Beispiel

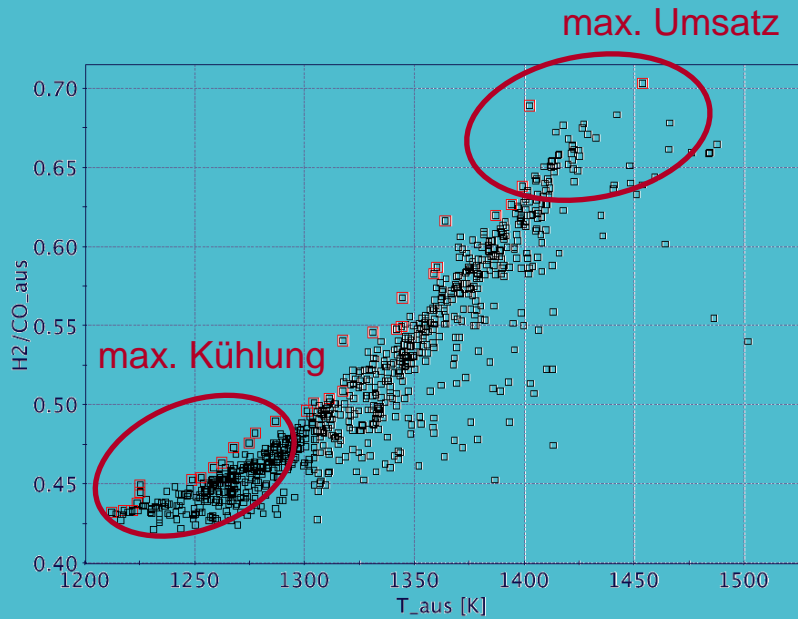


K. Uebel et al., Fuel Proc. T. 148 (2016)

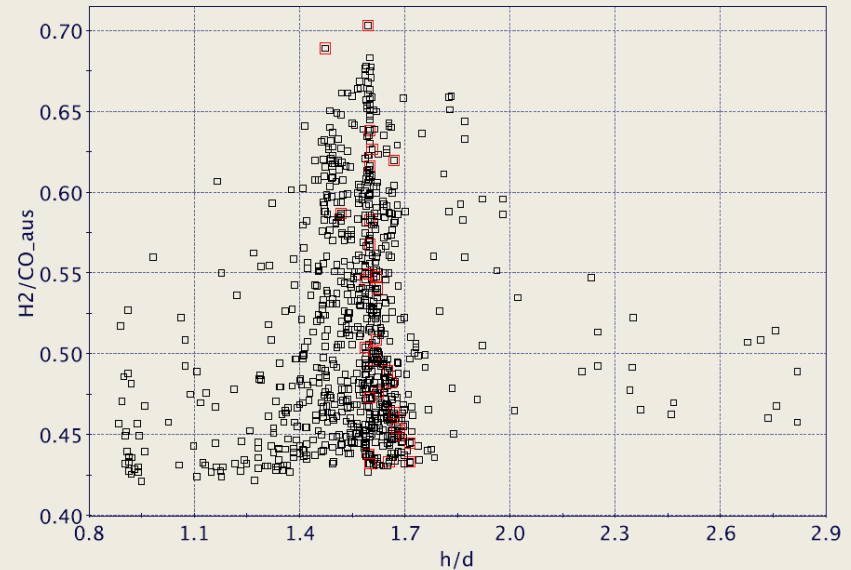
Ausgewählte Ergebnisse

Optimiertes CFD Modell: reduzierte Gitterzahl, reduzierter Reaktionsmechanismus, beschleunigte TCI → 666–1112 Designs pro Woche

Ergebnisse Optimierung



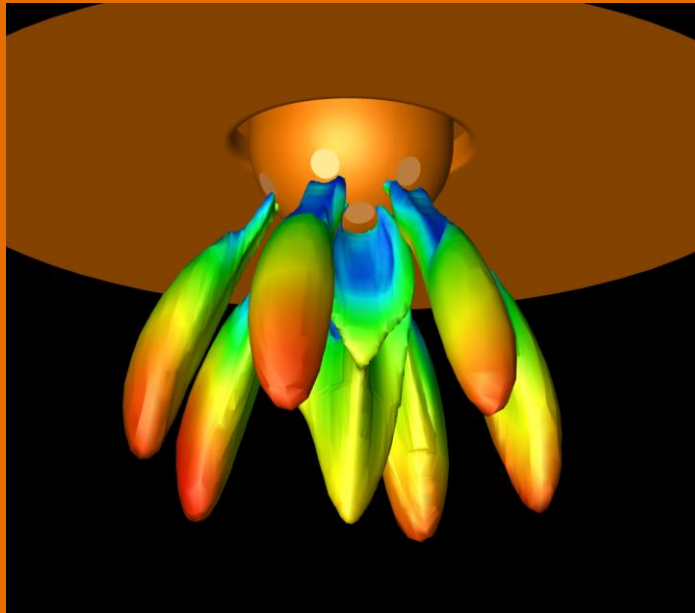
Einfluss Geometrie



K. Uebel et al., Fuel Proc. T. 149 (2016)

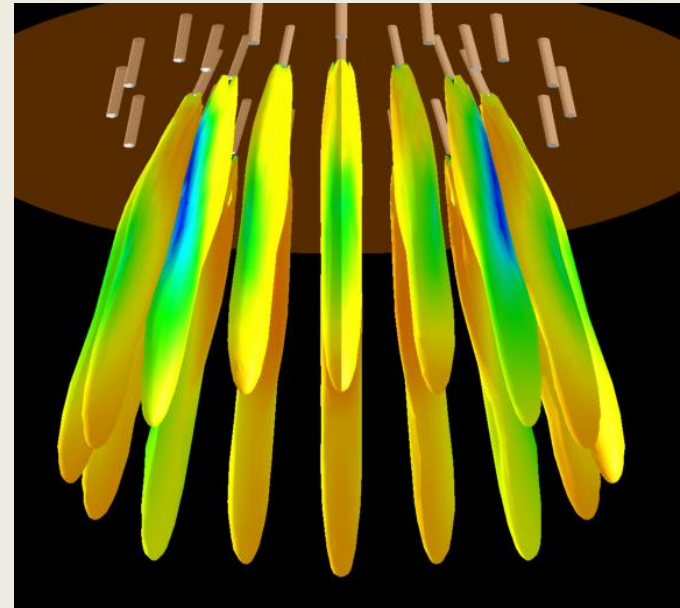
Neuartige Brennerformen – Virtuell getestet

3D-Brenner



Flammenlänge 10% der axialen Flamme

Flächenbrenner



Flammenlänge 10% der axialen Flamme

Neuartige Brennerformen – Virtuell getestet

Nicht veröffentlichte Ergebnisse

Neuartige Brennerformen – erprobt an der HP POX

Nicht veröffentlichte Ergebnisse

Neuartige Brennerformen – Validierte CFD Modellierung

Axialbrenner

3D Brenner

Flächenbrenner

Nicht veröffentlichte Ergebnisse

Zusammenfassung

Validierte CFD-Modelle sind sowohl für ein- als auch für mehrphasige Hochdruck- und Hochtemperatursysteme verfügbar.

Basierend auf validierten CFD-Modellen kann ein signifikant reduzierter Zeitaufwand für die Entwicklung neuer Technologien erzielt werden; bspw. durch virtuelles Prototyping und virtuelles Skalieren.

Die Kombination geeigneter Optimierungswerkzeuge und validierter CFD-Modelle erlaubt es, maßgeschneiderte Technologien zu entwickeln. Der limitierende Faktor ist hierbei der Rechenaufwand der einzelnen CFD-Modelle.

Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen folgender Projekte gefördert:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
COORVED Projekt (03Z27865)
HotVeGas (0327773G)



Bundesministerium für Bildung und Forschung
ZIK Virtuhcon (03Z2FN11 & 03Z2FN12)
Deutsches EnergieRohstoff-Zentrum (03IS2021A)



Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst
ZIK Virtuhcon (4-7531.50-02-0390-09/1)



Europäischer Sozialfonds
ProVirt (100231952)

