

ANSYS CONFERENCE &  
CADFEM USERS' MEETING 2014

Schwerpunktthema  
Produktions- Prozess- und  
Produktoptimierung

Juni 2014, Nürnberg

**aixprocess** gmbh  
process & flow engineering technology

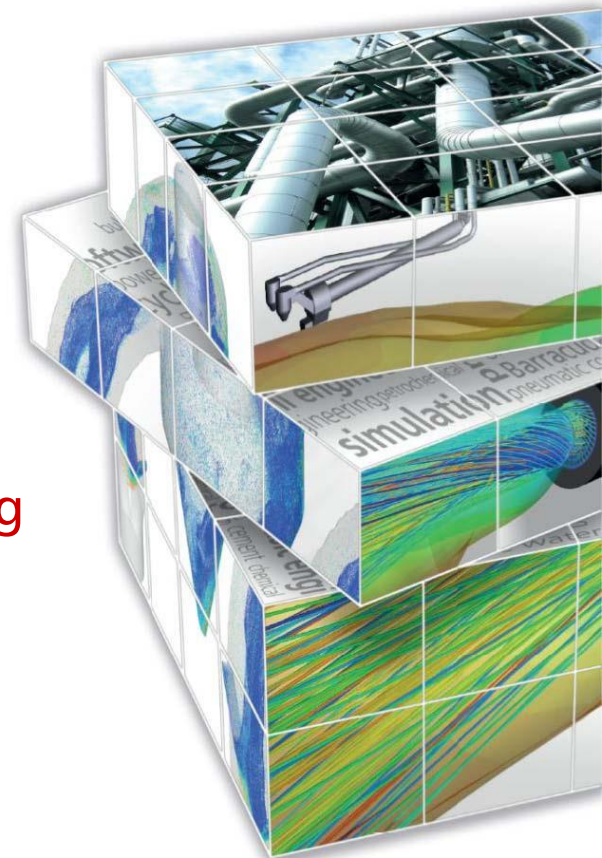
Alfonsstr. 44  
52070 Aachen  
Tel. +49 241 4134492 0

info@aixprocess.de  
www.aixprocess.de

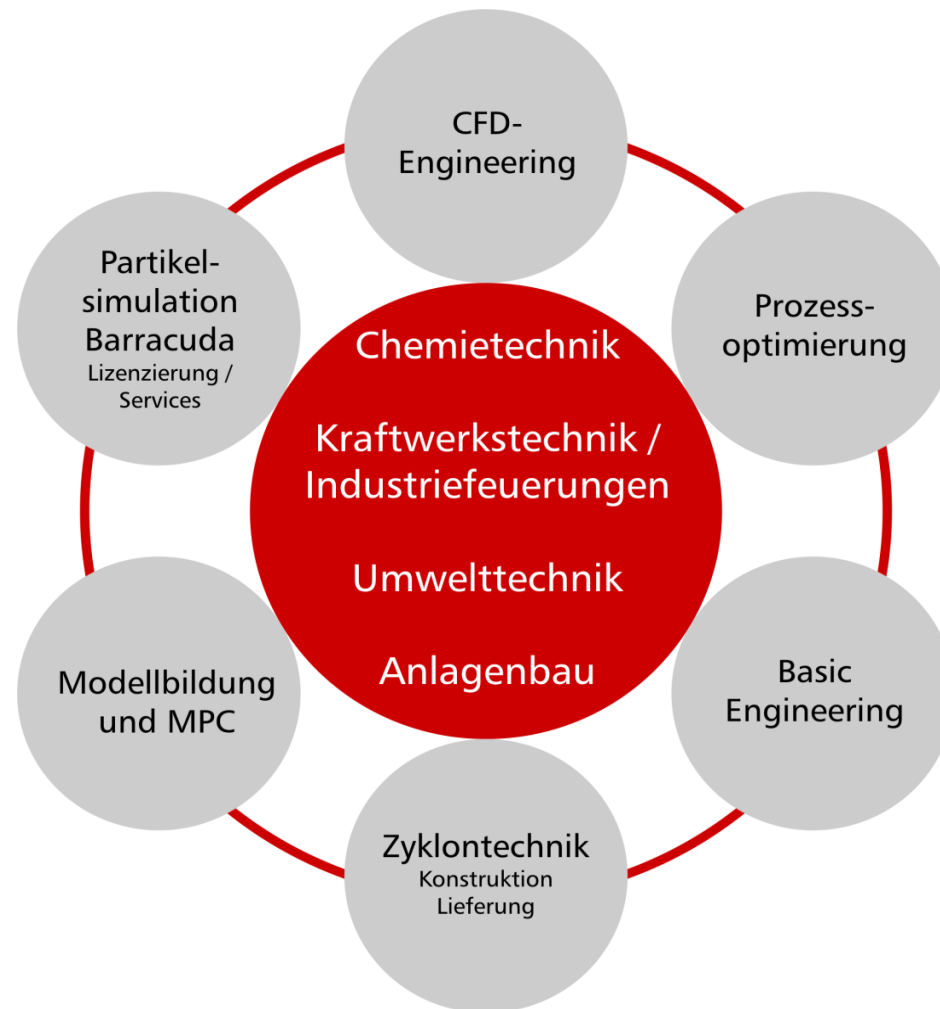
**Kombination aus detaillierter CFD-Berechnung  
und Prozessmodellierung zur Prozessoptimierung  
und –steuerung**

*M. Schumacher, M. Hufschmidt*

*aixprocess GmbH, Aachen (Germany)*

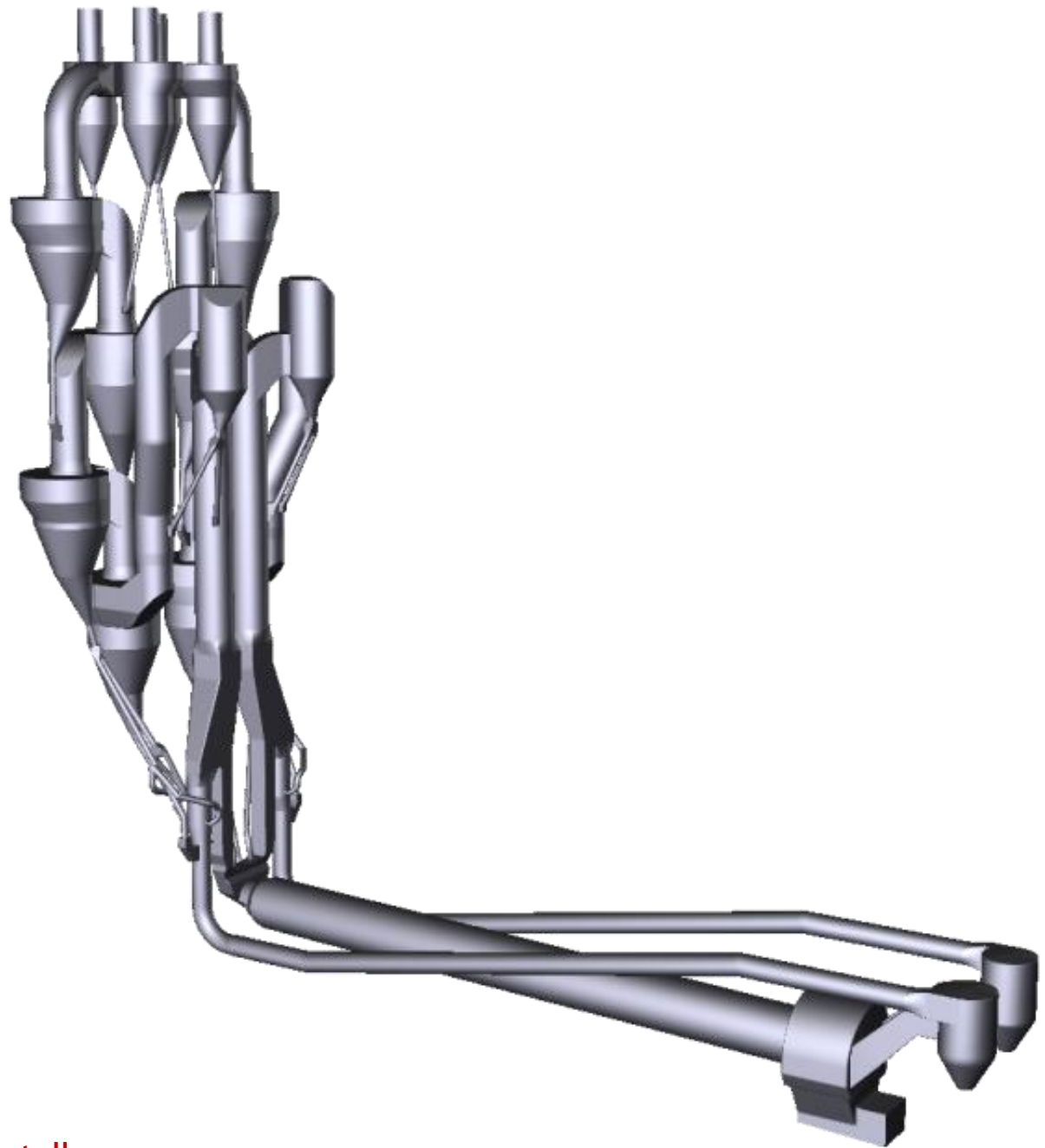


- Ingenieurdienstleistung & Lösungen
- 2001 gegründet
- 11 Ingenieure

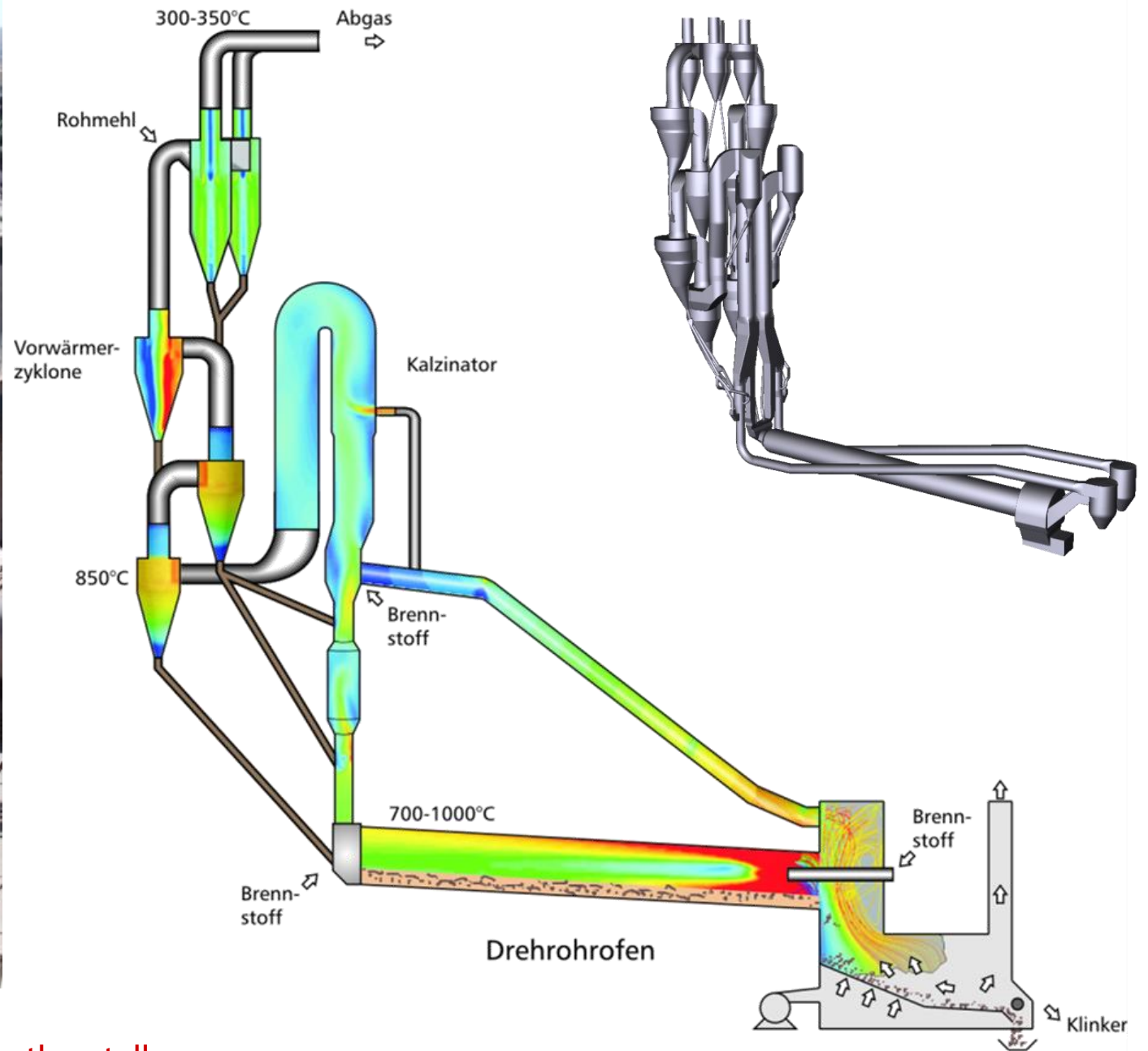


**aixprocess**

Firmenprofil

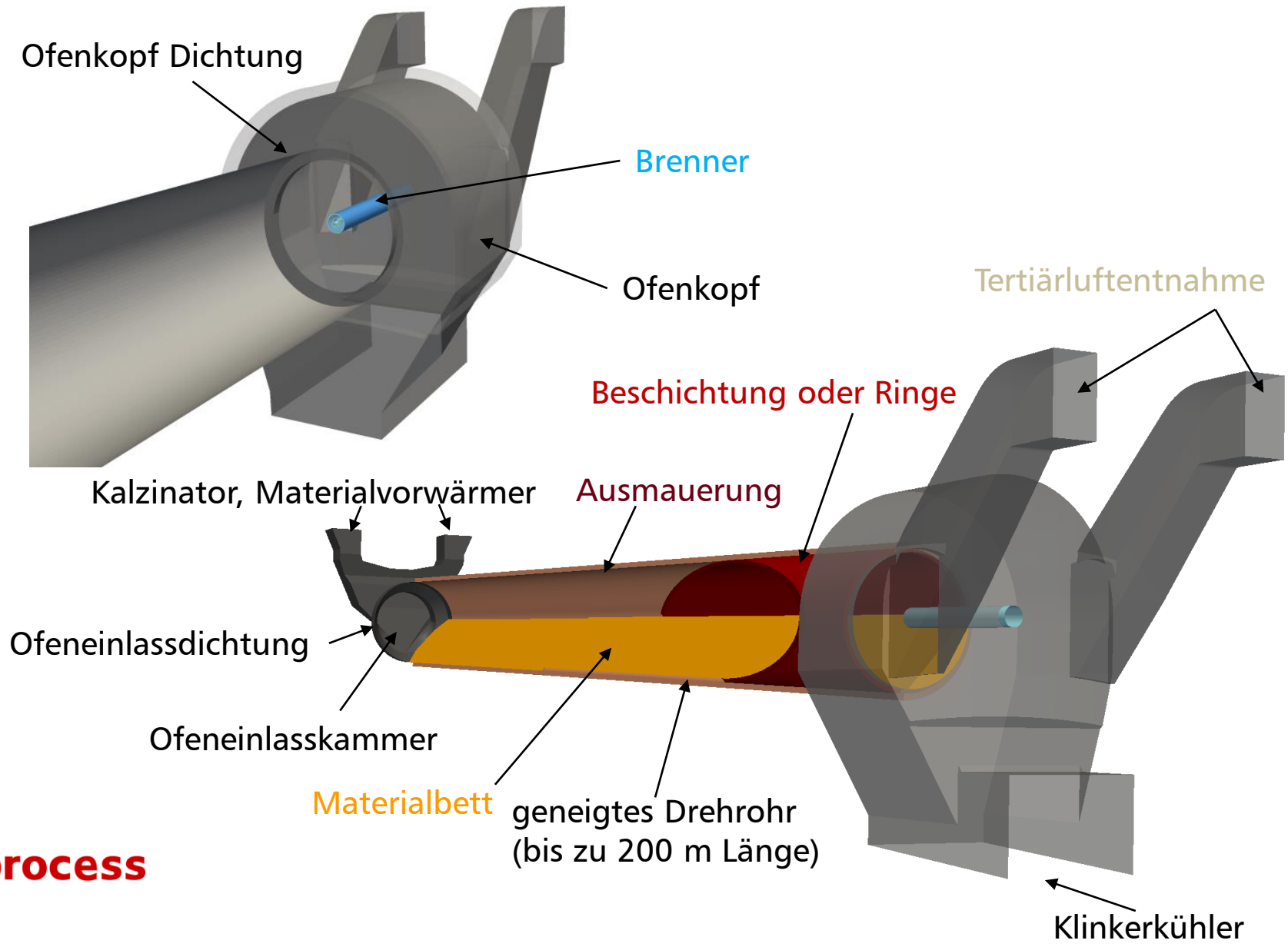


Zementherstellungsprozess



Zementherstellungsprozess

- Energiebedarf 3-4 GJ/t Klinker
- Produktion 3.000 – 10.000 t Klinker pro Tag in einer Anlage (100-400 MW)
- Etwa 4% des jährlichen weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch Zementherstellung
- Ersatz von Kohle (ca. 90-100 €/t) durch preiswertere Ersatzbrennstoffe (z.B. Fluff 10-15 €/t)
- Reduktion des Brennstoffeinsatzes durch Betrieb der Anlage am verfahrenstechnischen Optimum
- Steigerung der Substitutionstrate von derzeit ca. 40% auf bis zu 80% Ersatzbrennstoff angestrebt



Allgemeine Bauform eines Drehrohrofens

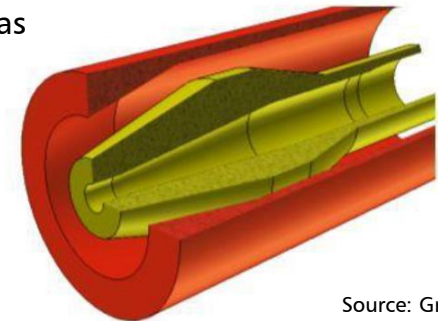
## Mehrkanalbrenner



## Öl- und Gaslanzen



Gas



**aixprocess**

Brennersysteme

## hochwertige Brennstoffe

- Kohle (Braunkohle, Steinkohle, Glanzkohle, ...)
- Erdgas
- Erdöl
- Petrolkoks
- Diesel
- Schweröl

- + hohe Prozessstabilität
- + konstante Produktqualität
- + niedrige Verunreinigungen

- **Kostenintensiv**

## Ersatzbrennstoffe

- Lösungsmittel
- Fette (tierische, Rückstände)
- Tiermehl / Knochenmehl
- getrockneter Klärschlamm
- Industrie- und Hausmüll („Fluff“)
- Holzschnitzel
- lokales Brennmaterial (e.g. Erdnussschalen)

- + niedrige Kosten oder Erträge
- + hohe Anbieterflexibilität

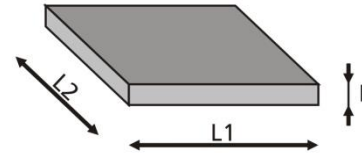
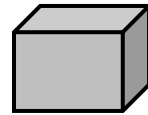
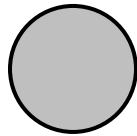
- **geringe Prozessstabilität**
- **schwankende Produktqualität**
- **hohe Verunreinigung**



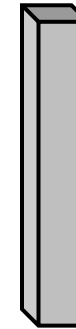
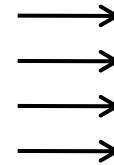
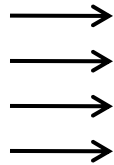
**Brennstoffe**



- Partikelform



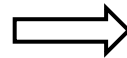
- Partikelorientierung



- Temperaturbedingte Änderung der Morphologie



$T > 80-100^{\circ}\text{C}$



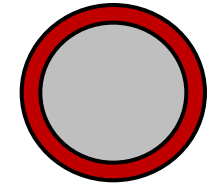
**aixprocess**

Partikeleigenschaften für Sekundärbrennstoffe

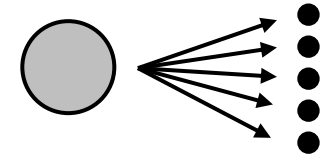
- Wärmeübergang für nicht kugelige Partikel



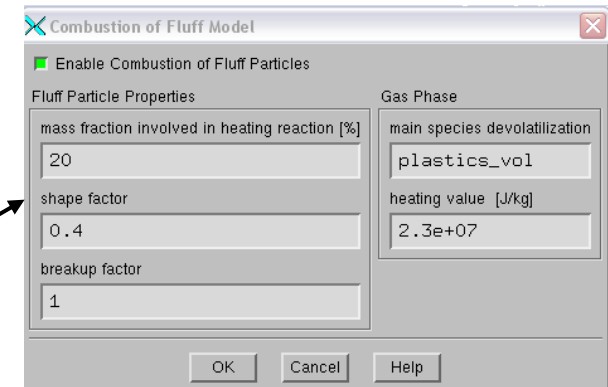
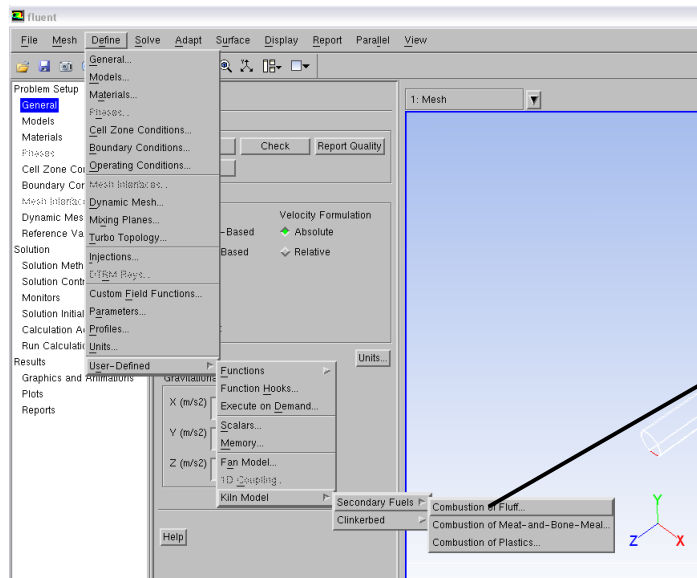
- thermisches Modell für große Partikel mit schlechter Wärmeleiteigenschaft („heiße Schale – kalter Kern“)

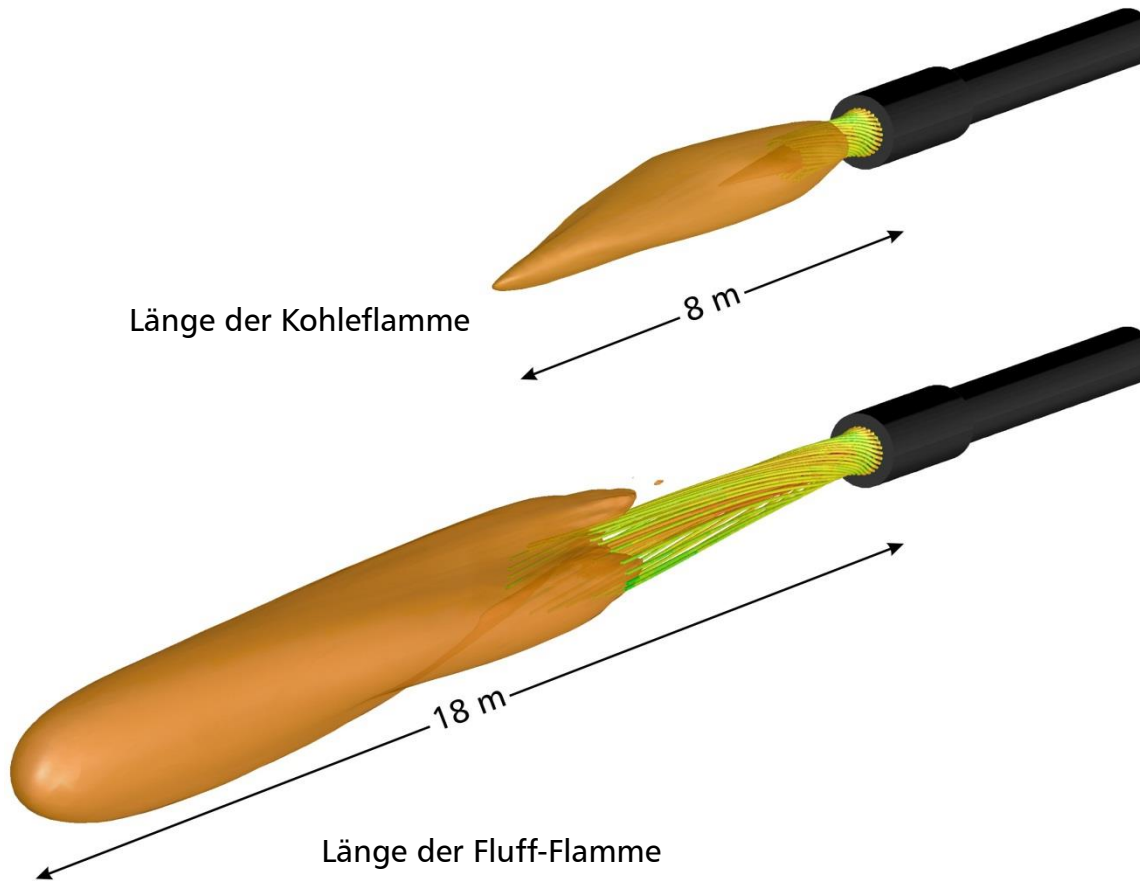


- Partikelbruch nach Pyrolyse (Reifenschnitzel)



- Datenbank für die Materialeigenschaften von Ersatzbrennstoffen





*Kofeuerung von Kohle und Fluff in einem Mehrkanalbrenner*

### Brennstoffe schwanken hinsichtlich :

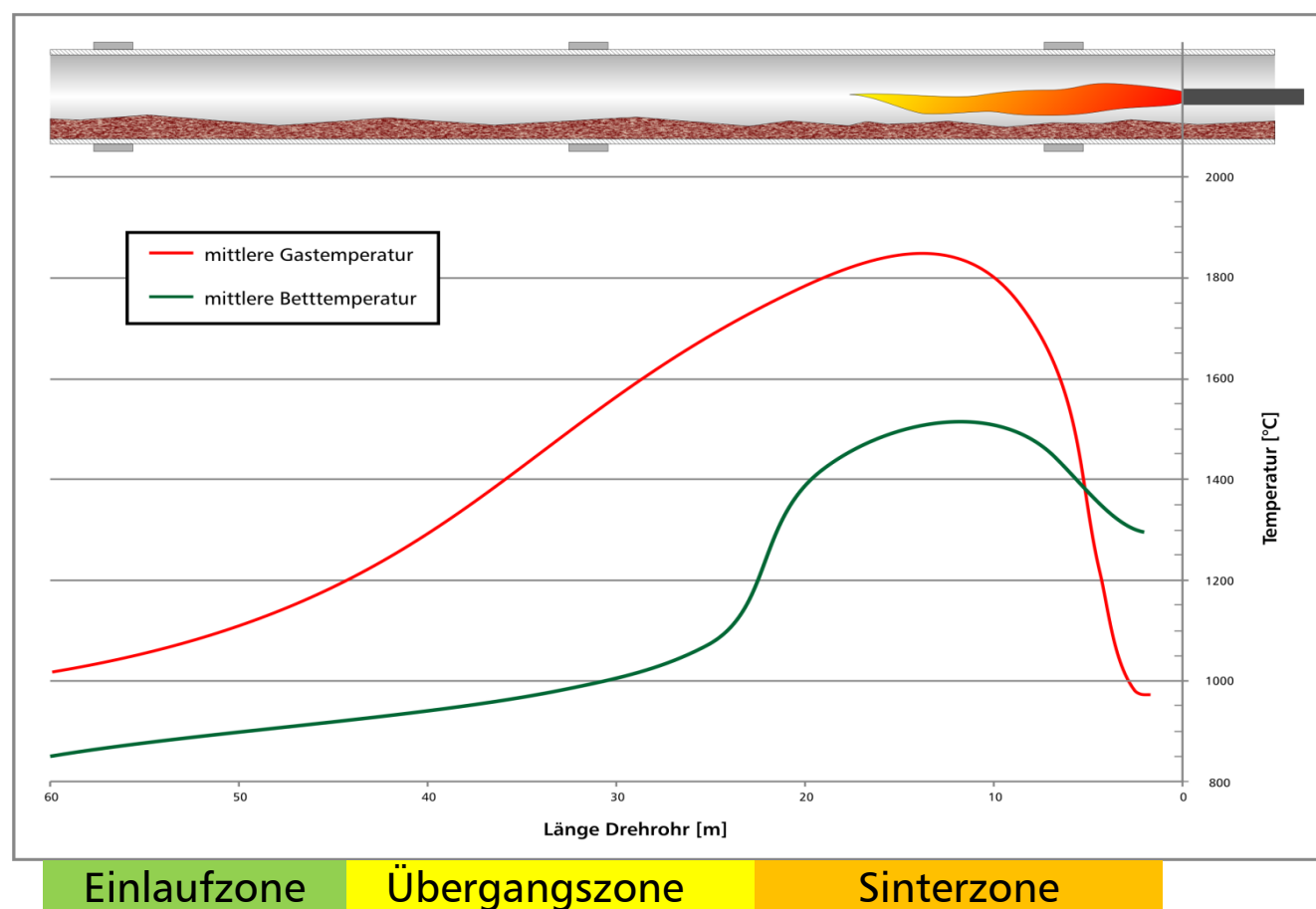
- der chemischen Zusammensetzung
- Feuchtigkeit und Aschegehalt
- Morphologie

### Folge der Schwankungen:

- verändertes Zündverhalten
- unterschiedlicher Ausbrand
- pneumatische Transport

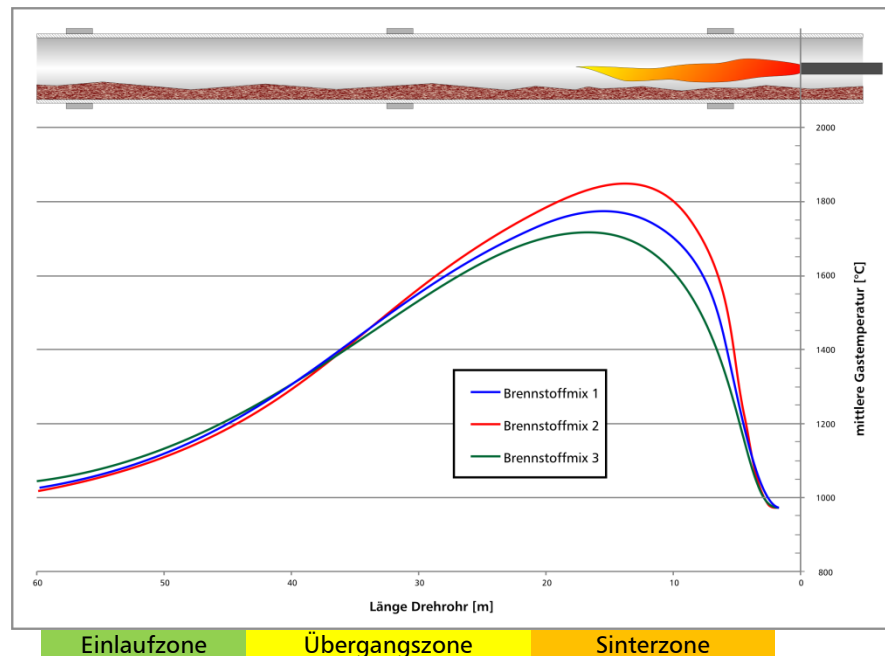
### Bedeutung für den Zementprozess:

- veränderte Flammlänge
- unterschiedliche Wärmefreisetzung
- Temperaturprofilschwankungen



- In Drehrohröfen liefert der Hauptbrenner die gesamte Energie zur Trocknung, Kalzinierung/Pyrolyse und Materialumwandlung.
- Position und Höhe des Temperaturmaximums in der Gasphase wirken sich direkt auf die Produktqualität, Energieeffizienz, thermische Belastung der Ausmauerung und die  $\text{NO}_x$ -Bildung aus.
- Der Prozess reagiert sehr sensitiv auf den oben dargestellten Temperaturverlauf

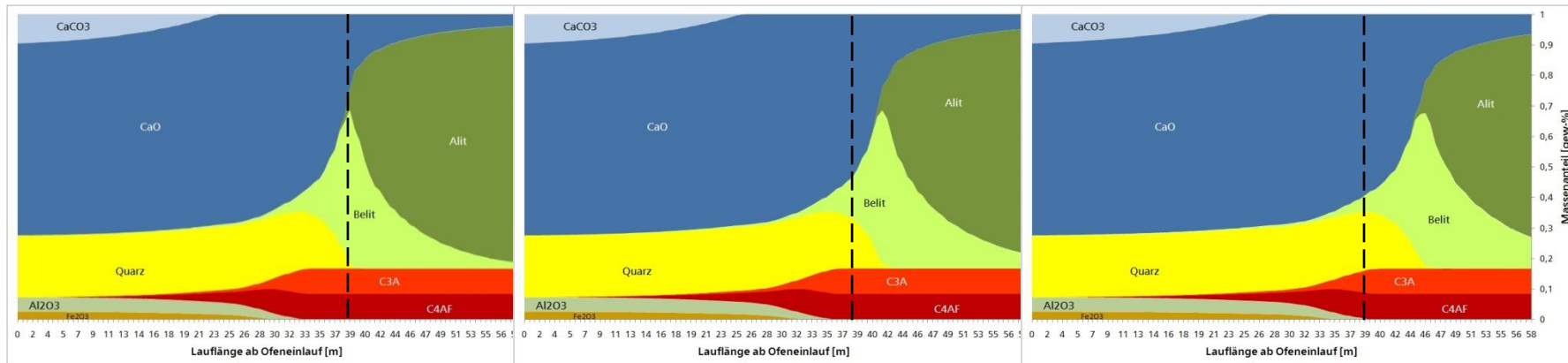
**Drehrohröfen – Temperaturverlauf im Ofen**



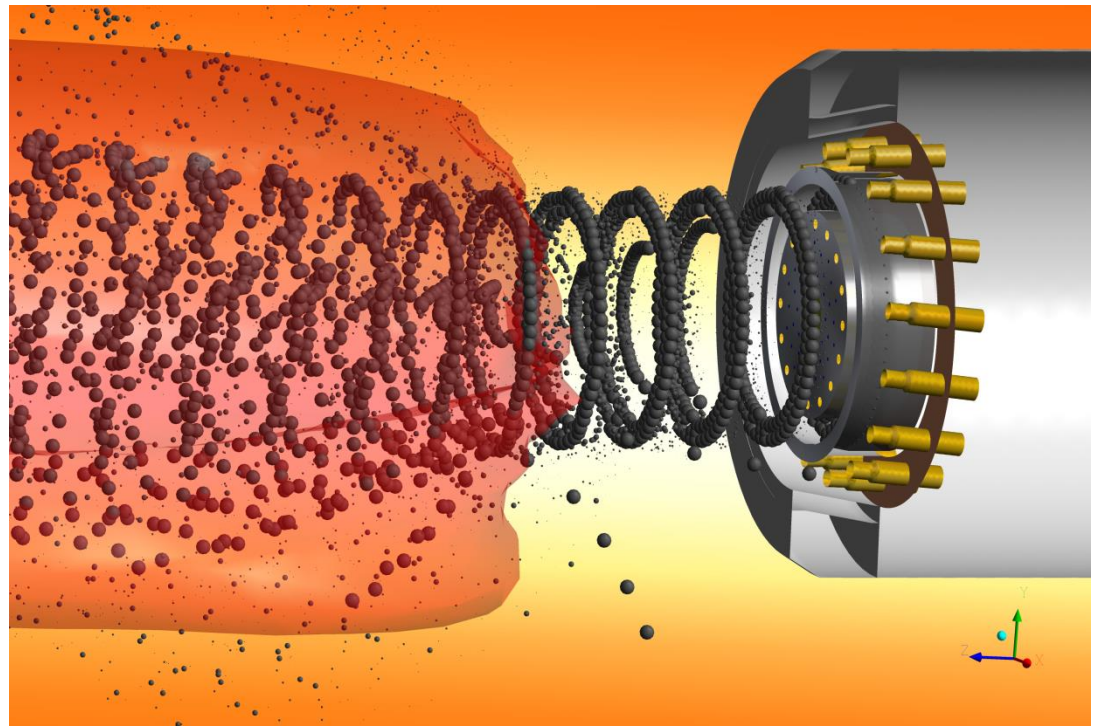
heiße Flamme  
Produkt verbrennt



kalte Flamme  
unzureichende  
Sinterung



Drehrohrofen – Abhängigkeit der Produktbildung und Klinkerqualität vom Flammendesign

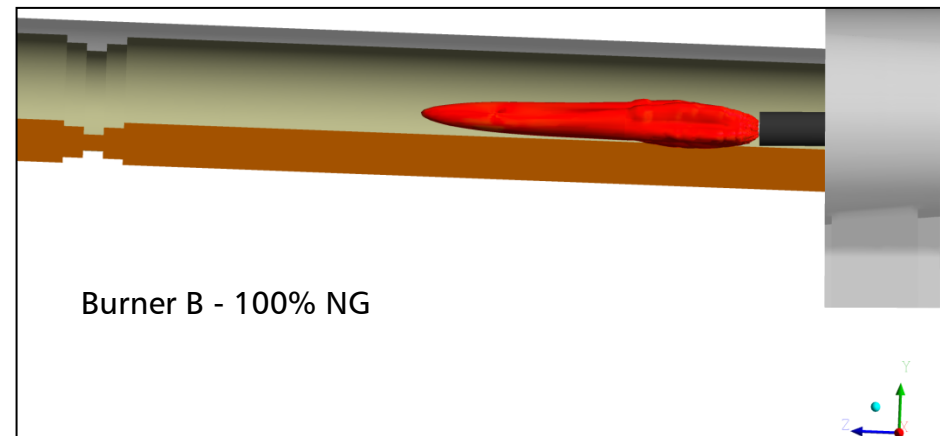
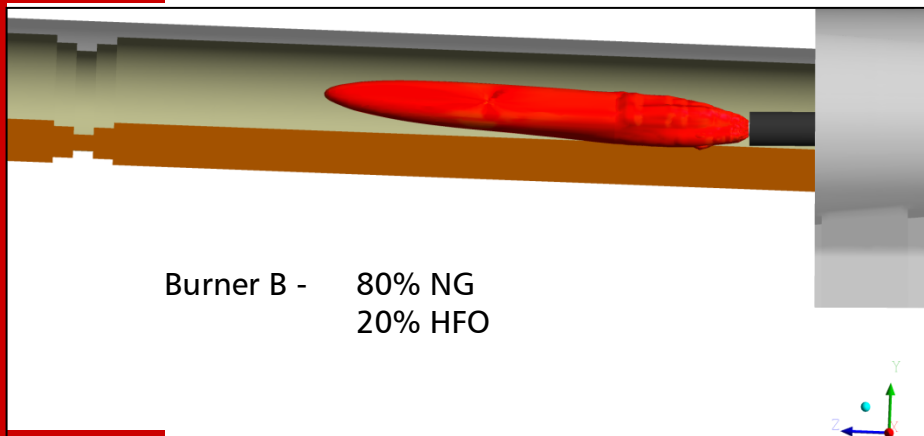
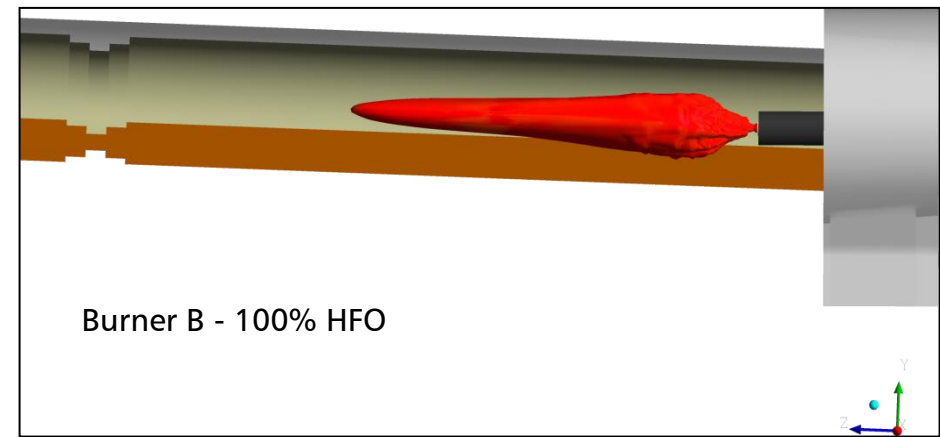
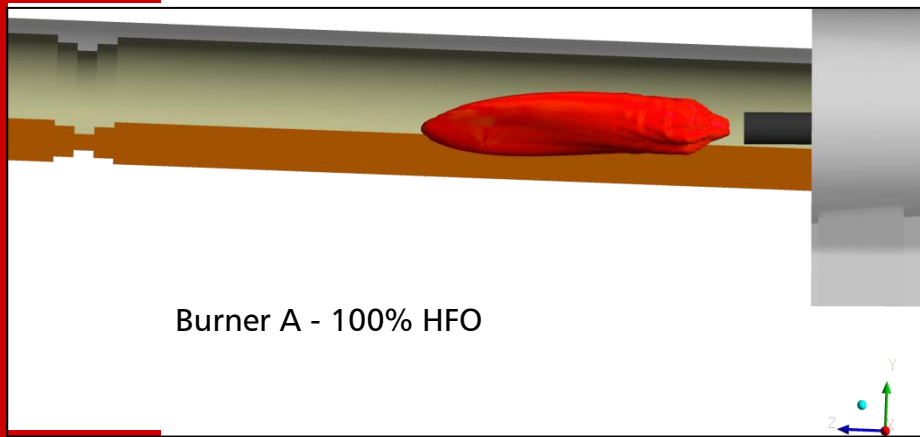


- einstellen eines produktspezifischen Temperaturprofils entlang des Ofens
- effektiver Wärmestrom ins Materialbett durch eine stark strahlende Flamme
- vollständiger Umsatz aller Brennstoffe (Primär- und Sekundärbrennstoffe)
- geringe CO- und NO<sub>x</sub>-Bildung
- minimale Menge an Primärluft und Luftüberschuss
- zulassen hoher Flexibilität hinsichtlich des zu verwendenden Brennstoffs (Kostenreduktion)
- steuerung des Chlor- und Schwefelkreislaufs

**Zielvorgaben und Anforderungen an einen Klinkerbrenner**

## **Optimierungsaufgabe 1**

Brennerwechsel mit Veränderung des Brennstoffs, um Brennstoffkosten zu senken



NG: Natural Gas  
HFO Heavy fuel oil

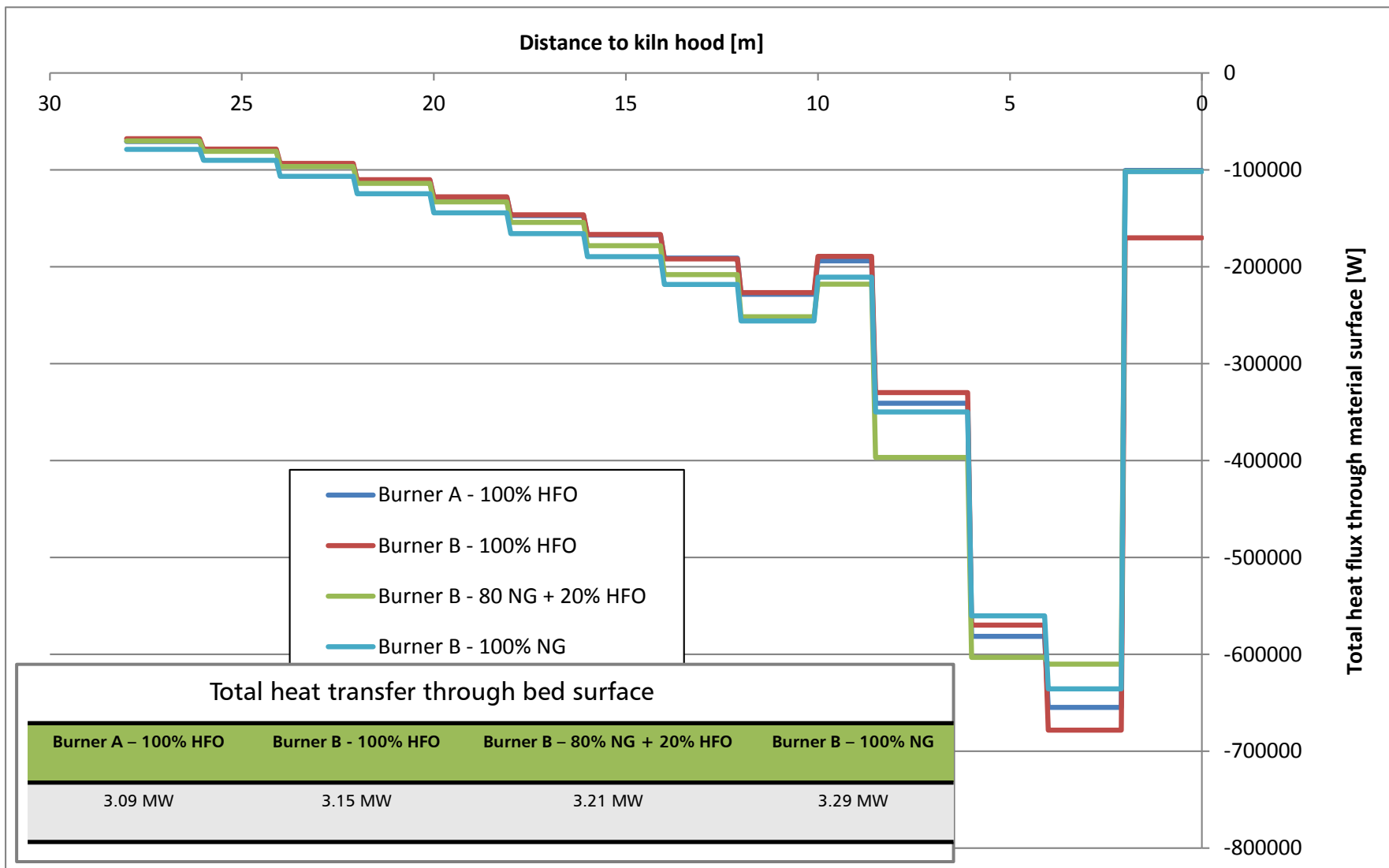
**aixprocess**

### Maßnahmen:

- Anpassung des Brennerspitzen-Designs in Zusammenarbeit mit dem Brennerhersteller
- Identifikation geeigneter Betriebspunkte

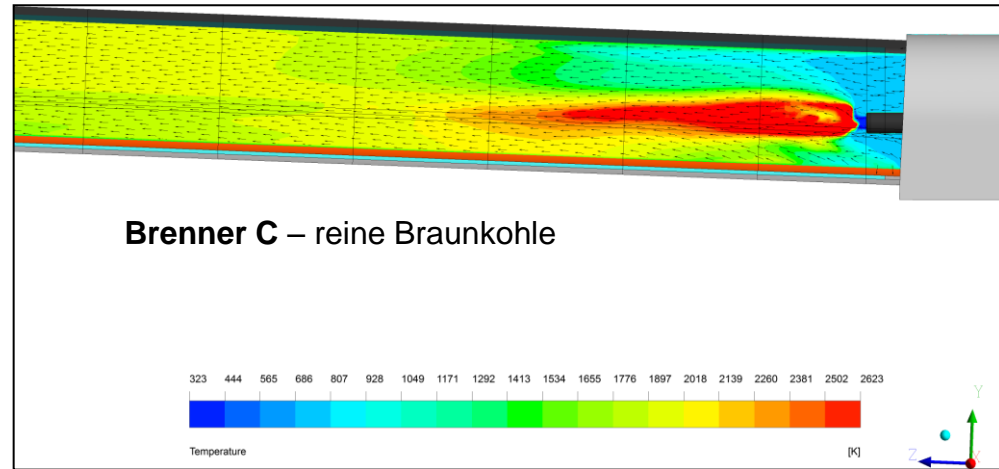
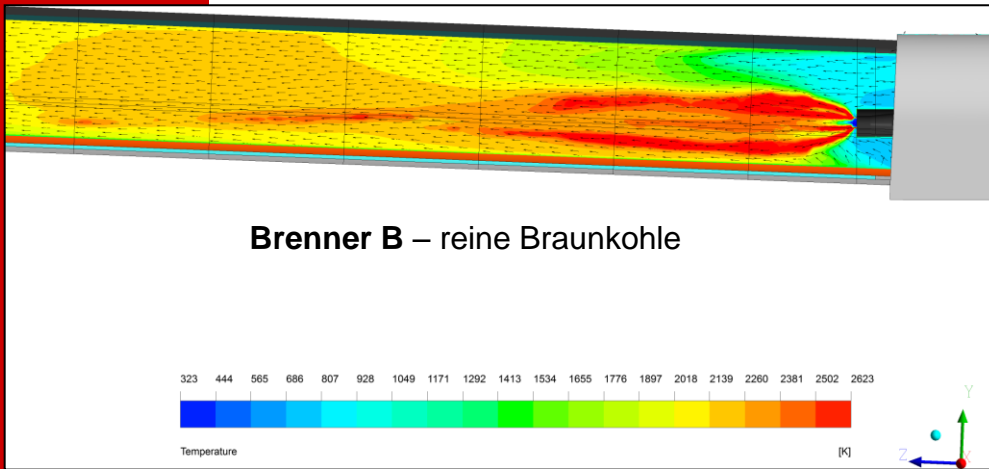
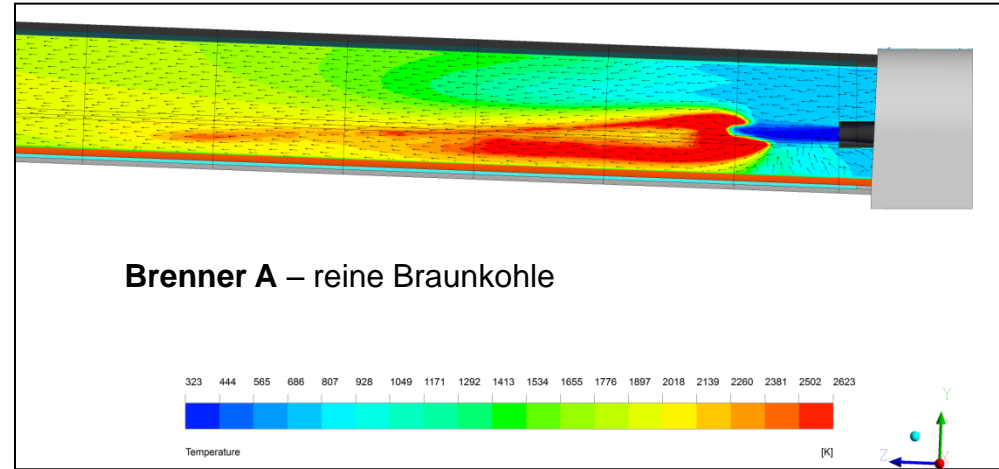
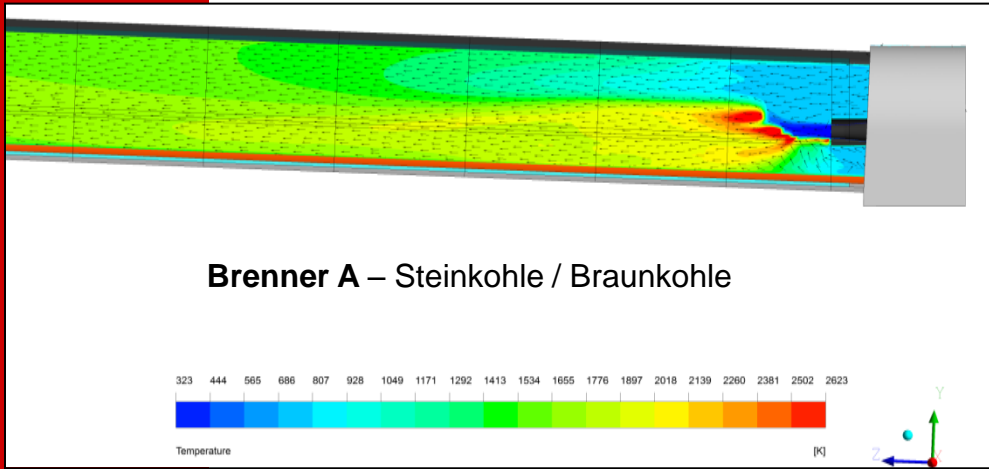
Austausch Brenner und Brennstoff –  
Flammform, -länge, -position





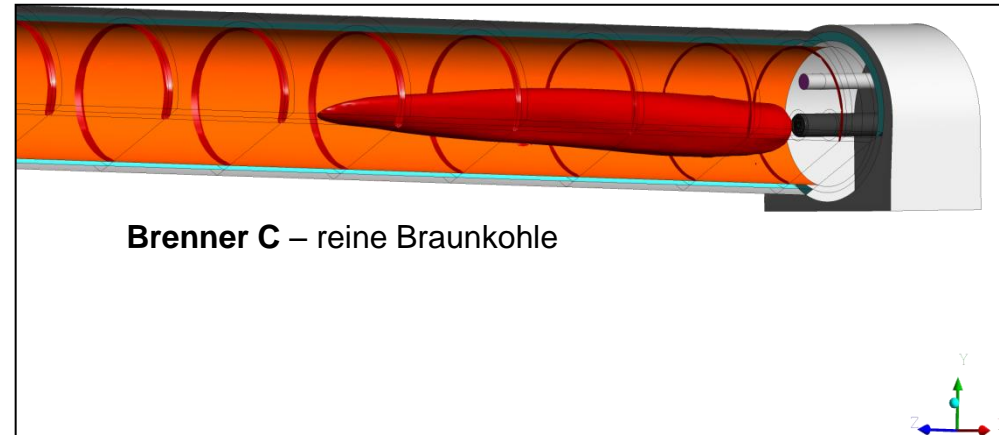
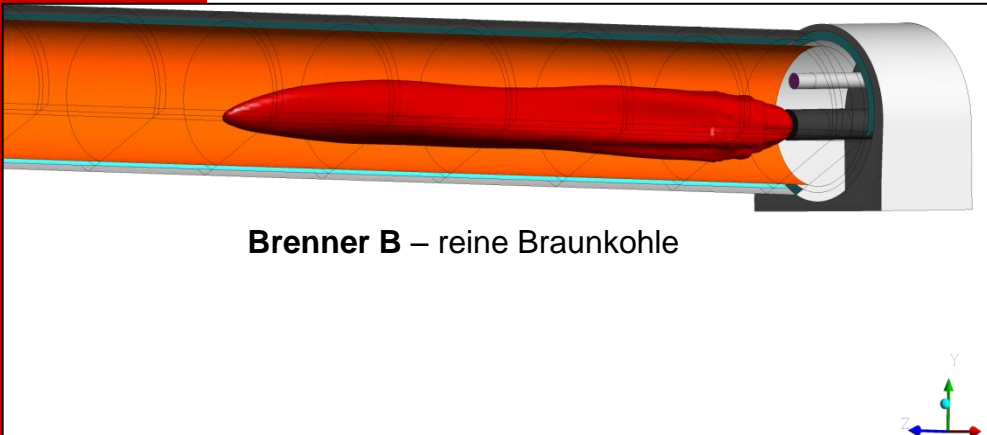
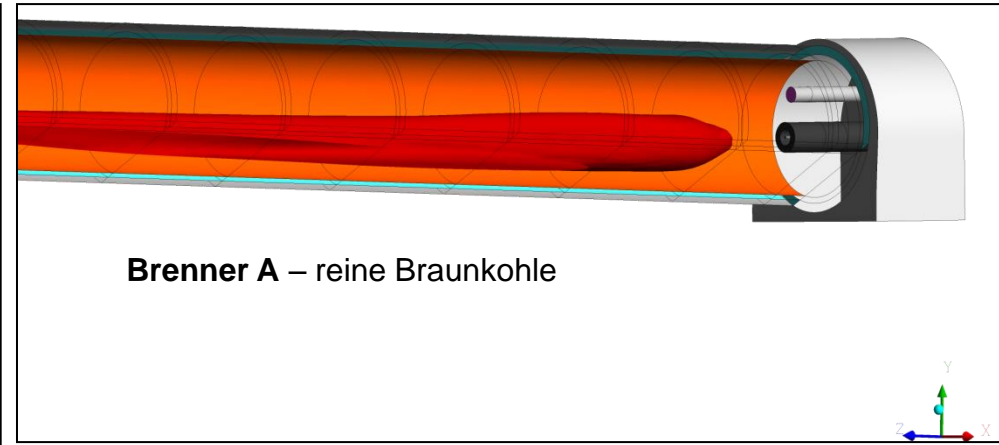
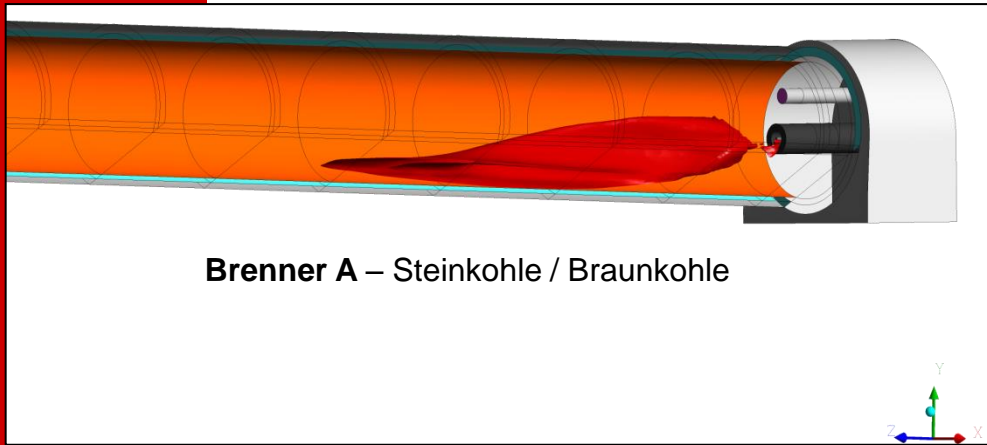
## Optimierungsaufgabe 2

Brennerauswahl für einen sicheren Brennstoffwechsel



**aixprocess**

Brennerauswahl  
lokale Gastemperatur [K]

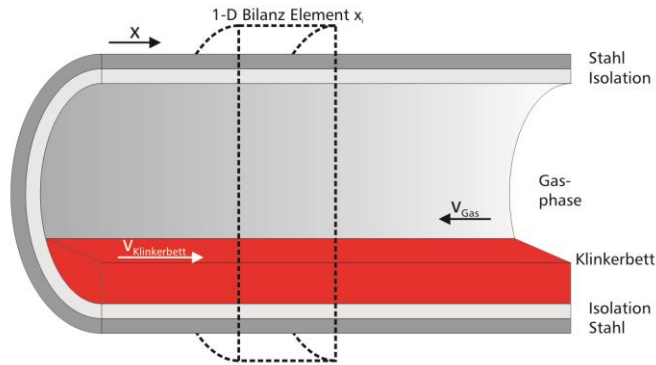


**aixprocess**

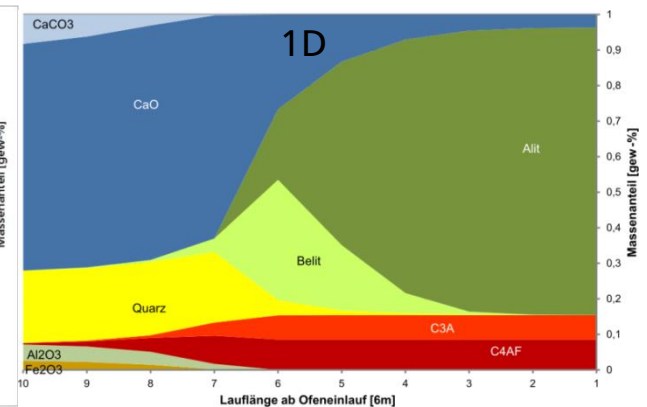
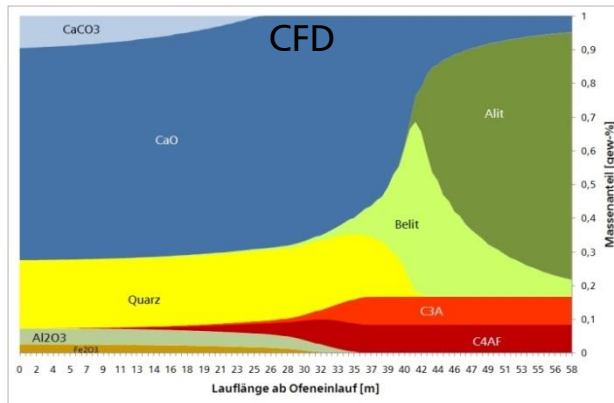
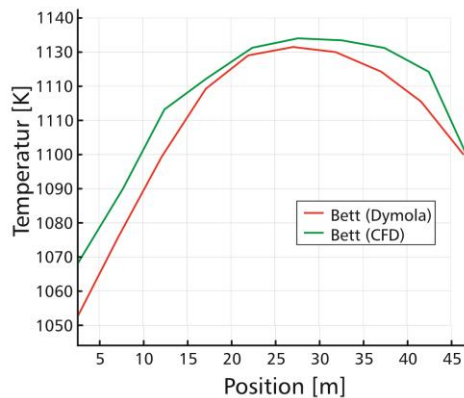
**Brennerauswahl  
Flammform**

# Prozessmodellierung – Modellprädiktive Regelung

- 1D-Kompartementenmodell als Basis für die reduzierte Modellierung

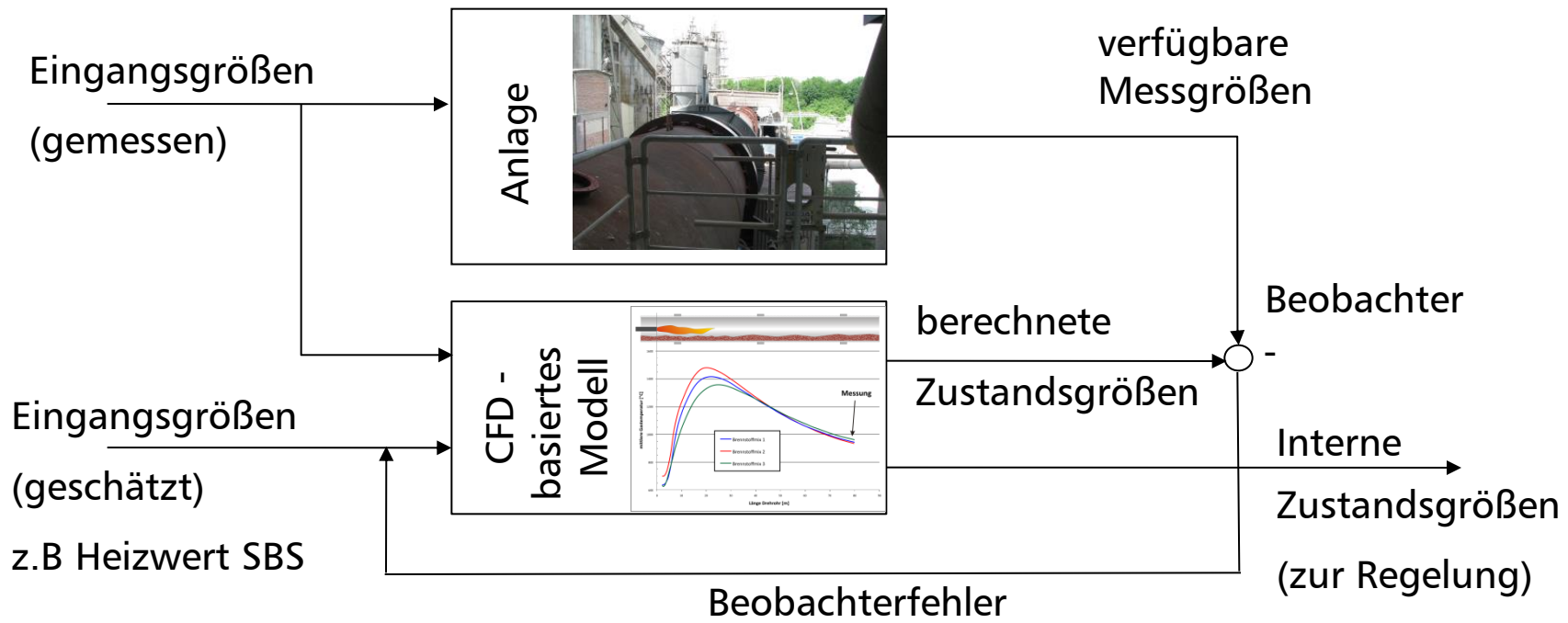


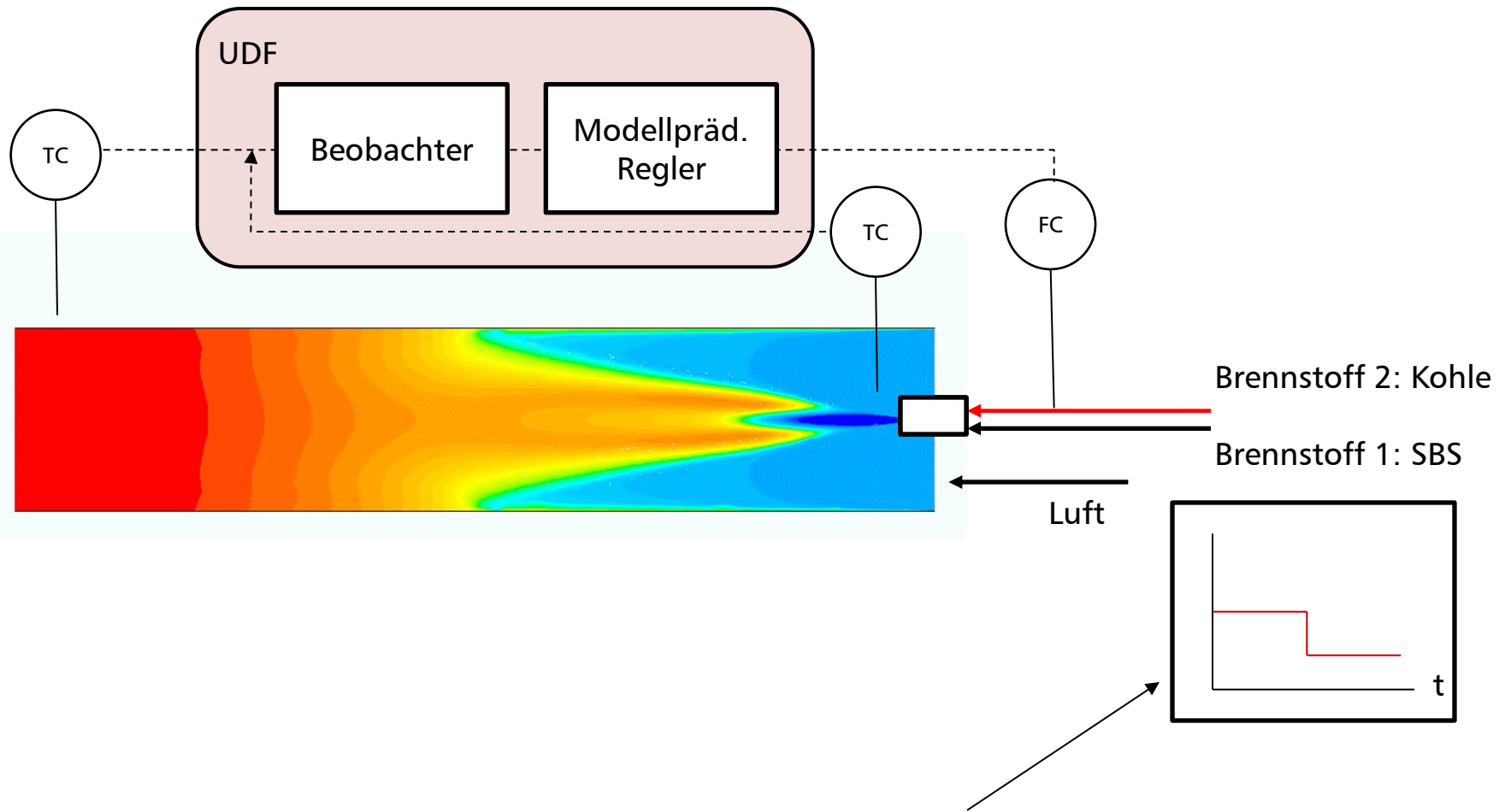
- Erstellung von Pseudo-Kinetiken zur Anpassung des 1D-Modells an die Daten des CFD-Modells (automatisiert)
- Einbindung des Materialbetts in das 1D-Modell



**aixprocess**

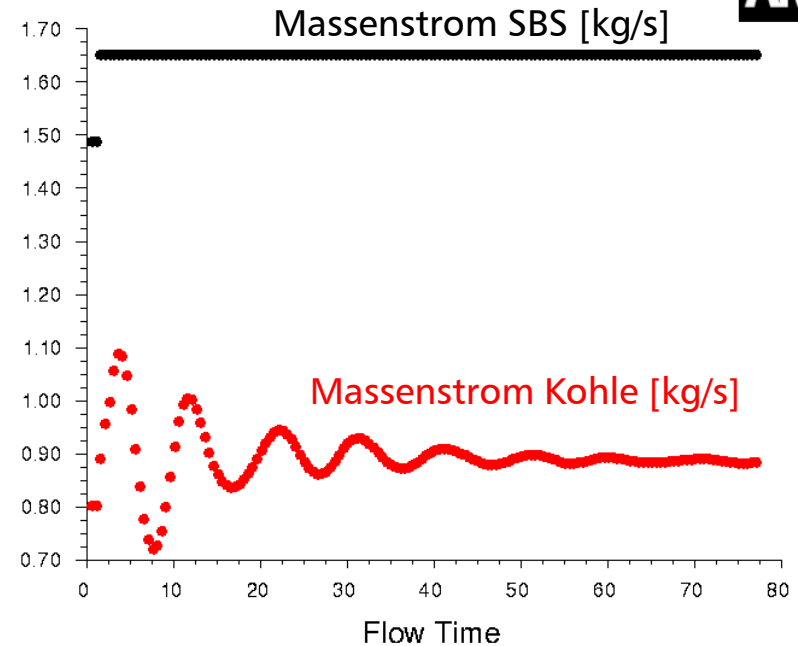
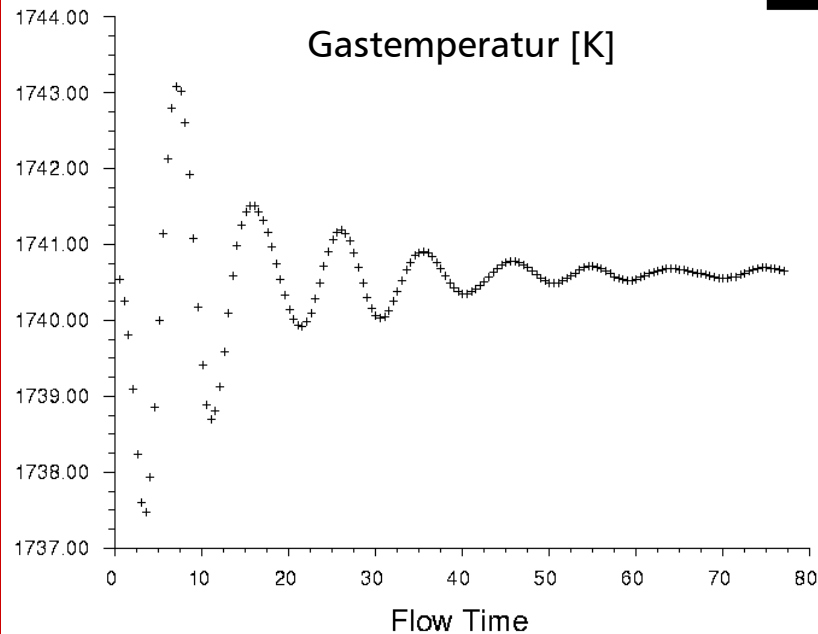
Reduktion des CFD-Modells





Sprung im Heizwert des Brennstoffes 1  
 Regelung des Prozesses durch Brennstoff 2



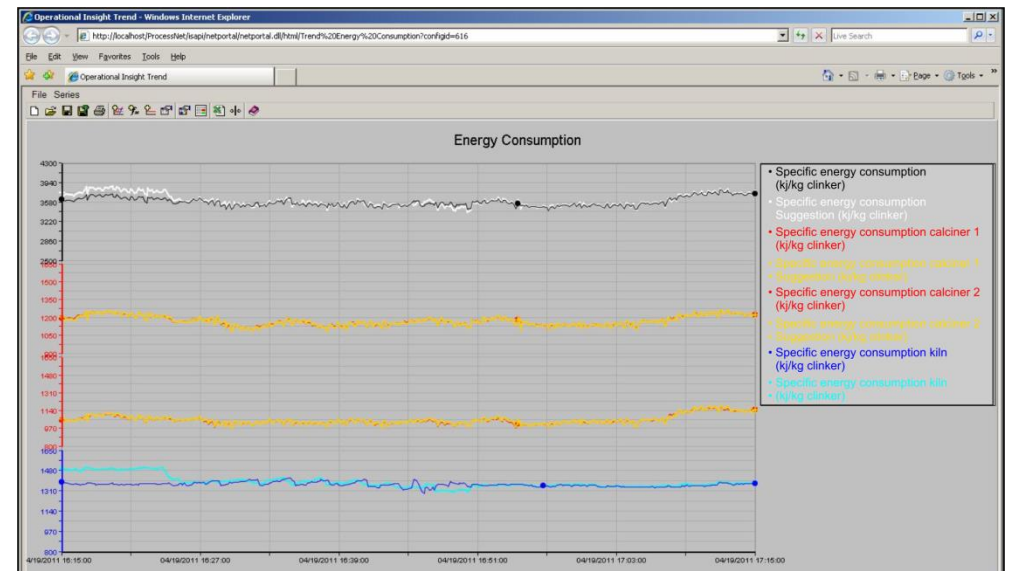


- Erfolgreiche Entwicklung eines modellbasierten Beobachters und eines modellprädiktiven Reglers zur Regelung des Brennstoffmanagements
- Berücksichtigung einer Kostenfunktion im modellprädiktiven Regler

- Zuschaltung des Reglers im laufenden Produktionsbetrieb
- MPR hat komplette Steuerung des Brennstoffmanagements übernommen
- Ziel Steigerung des SBS-Einsatzes erreicht
- Energieeintrag und Produktqualität während des Versuchs konstant
- Abbruch der Versuchsfahrt wegen rechtlicher Grenzen zum SBS-Einsatz



Zeitlicher Verlauf Brennstoffe



Zeitlicher Verlauf Energieeintrag

## Versuchsfahrt CEMEX-OstZement in Rüdersdorf

# Danke