



Energetische Biomassenutzung

Das Vorhaben wird bearbeitet von



Lehrstuhl für
Energiesysteme



SUNCOAL

SunCoal Industries GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Programmbegleitung:



Flugstromvergasung von hydrothermal karbonisierter Biomasse

FKZ-Nr.: 03KB074B

TU München: L. Briesemeister, S. Fendt, M. Gaderer, H. Spliethoff
SunCoal Industries: T. Wittmann

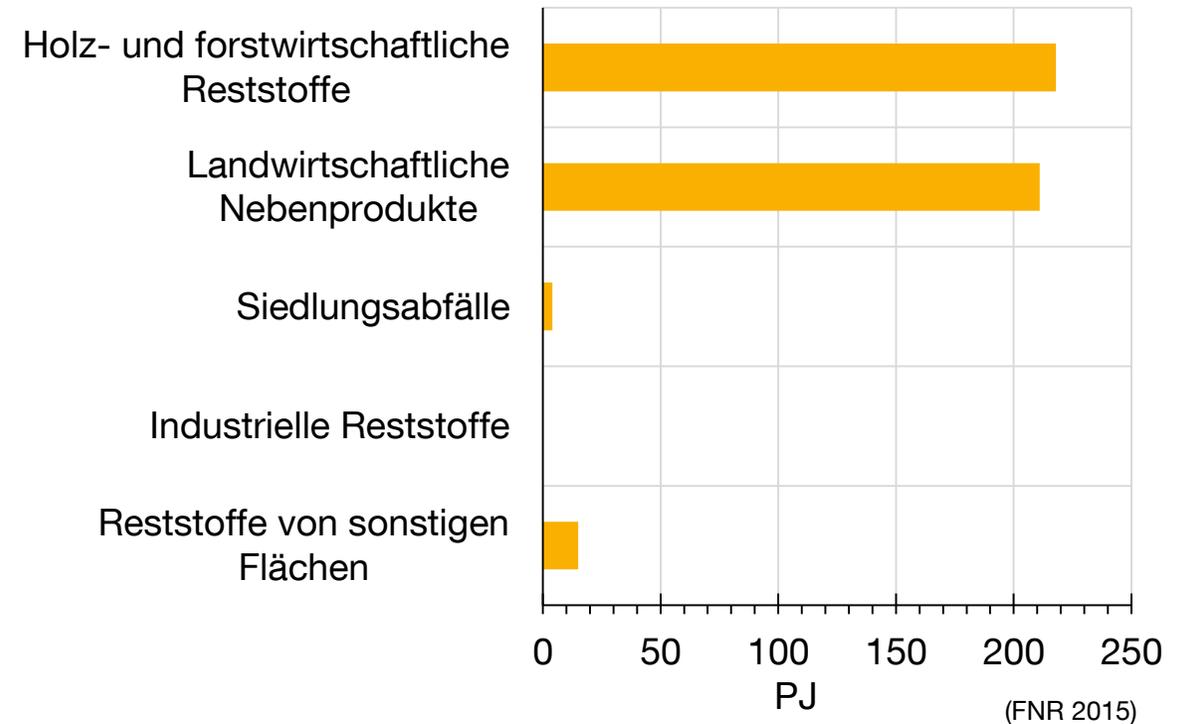
Laufzeit: 10.2012 – 03.2016

6. Statuskonferenz, Leipzig, 12.11.2015

Motivation

- Energetische Nutzung von biogenen Reststoffen
- Hydrothermale Karbonisierung (HTC) als Vorbehandlungsschritt
 - Homogenes und gut entwässerbares Produkt
 - Verbesserte Mahlbarkeit
- Erzeugung eines energiereichen, teerarmen Produktgases mittels Flugstromvergasung
- Verstromung mittels Gasmotor-BHKW

Technisches Biomassepotenzial ungenutzter Reststoffe





Vorgehen

Suncoal

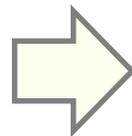
- Produktion von HTC Biokohle
- Aufbereitung der Biokohle (Trocknen und Mahlen)
- Prozessoptimierung der HTC für die Vergasung bei Verwendung verschiedener biogener Reststoffe

TUM

- Entwicklung eines autothermen 100 kW_{th} Flugstromvergasers (FSV)
- Nicht schlackender Betrieb bei atmosphärischem Druck
- Messung der Gasqualität
- Prozessoptimierung FSV für Biokohle

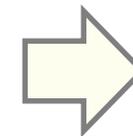
Brennstoff

- Einsatzstoffe
- Einfluss Vorbehandlung
- Aufbereitung



Betriebsparameter

- Stöchiometrie (λ)
- B.S. Leistung
- Verweilzeit
- Brennerdesign



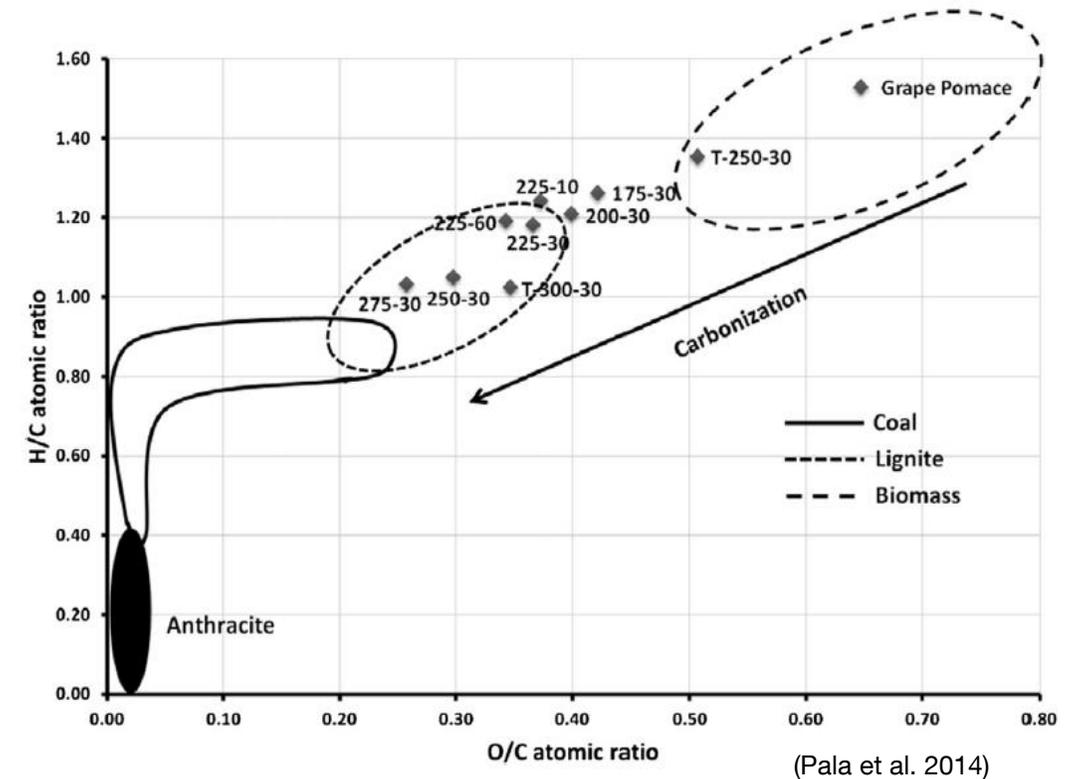
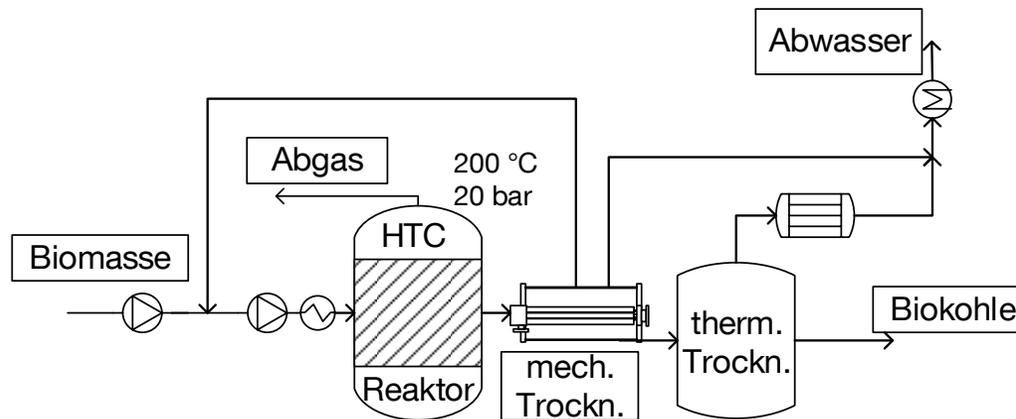
Ergebnisse

- Gasqualität (Heizwert)
- Teerentstehung
- Koks-Umsatz
- Verluste



Was ist hydrothermale Karbonisierung?

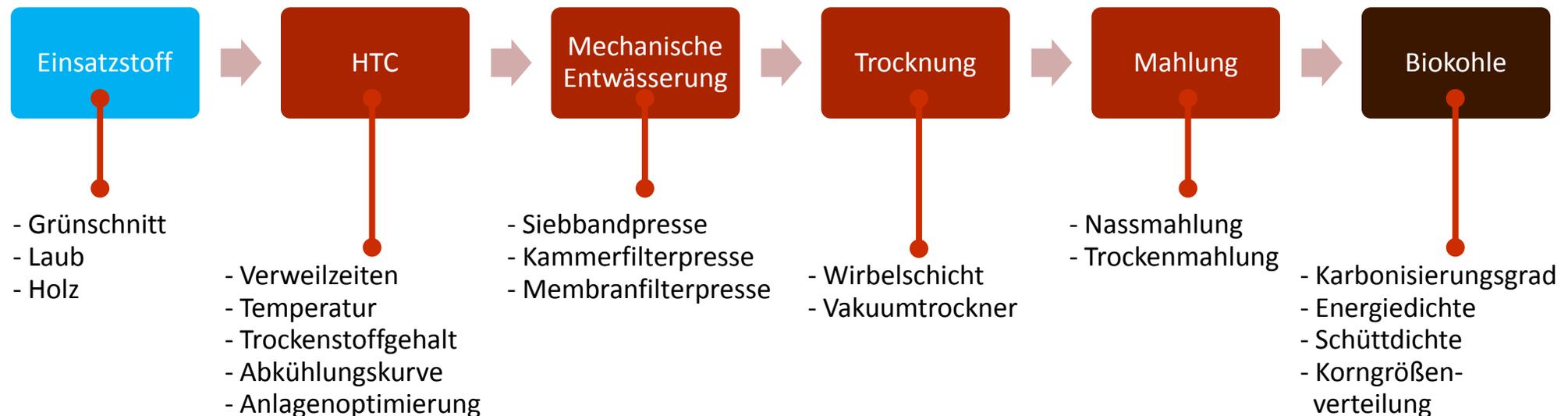
- Karbonisierung von Biomasse in Wasser bei hohen Drücken und Temperaturen
- Heizwertsteigerung
- Homogenisierung
- Steigerung der Hydrophobie
- Verbesserung der Mahlbarkeit





Anforderungen an den Brennstoff

- Fluidisierbarkeit
 - Voraussetzung für Dosierung
- Hoher Karbonisierungsgrad
 - Gute Mahlbarkeit
 - Hoher Wirkungsgrad in der Vergasung
- Hohe Schüttdichte
 - Geringe Transportkosten
 - Gute Fluidisierbarkeit
- Kleine Korngrößenverteilung
 - Hoher Umsatz in der Vergasung

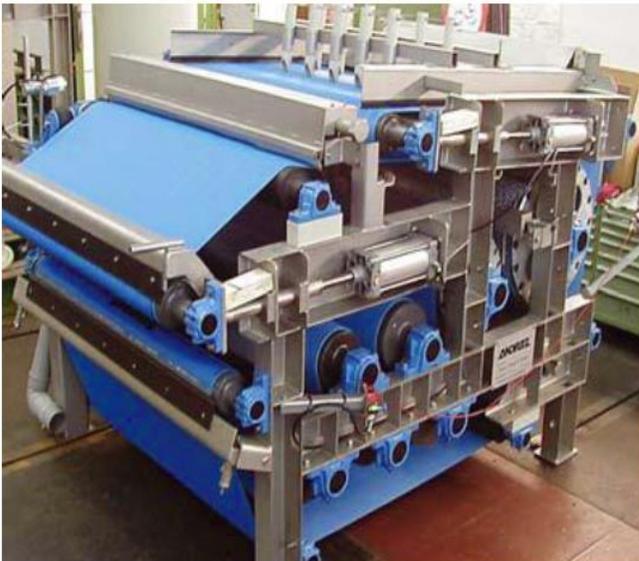


Mechanische Entwässerung

- Siebbandpresse
- Membranfilterpresse

Ziel:

- maximaler TS-Gehalt
- maximale Partikeldichte



Thermische Trocknung

- Wirbelschichttrocknung
- Röhrenbündeltrockner

Ziel:

- Restwasseranteil
- Produktstaubanteil



Zerkleinerung / Mahlung

- Prallmühle
- Schlagnasenmühle

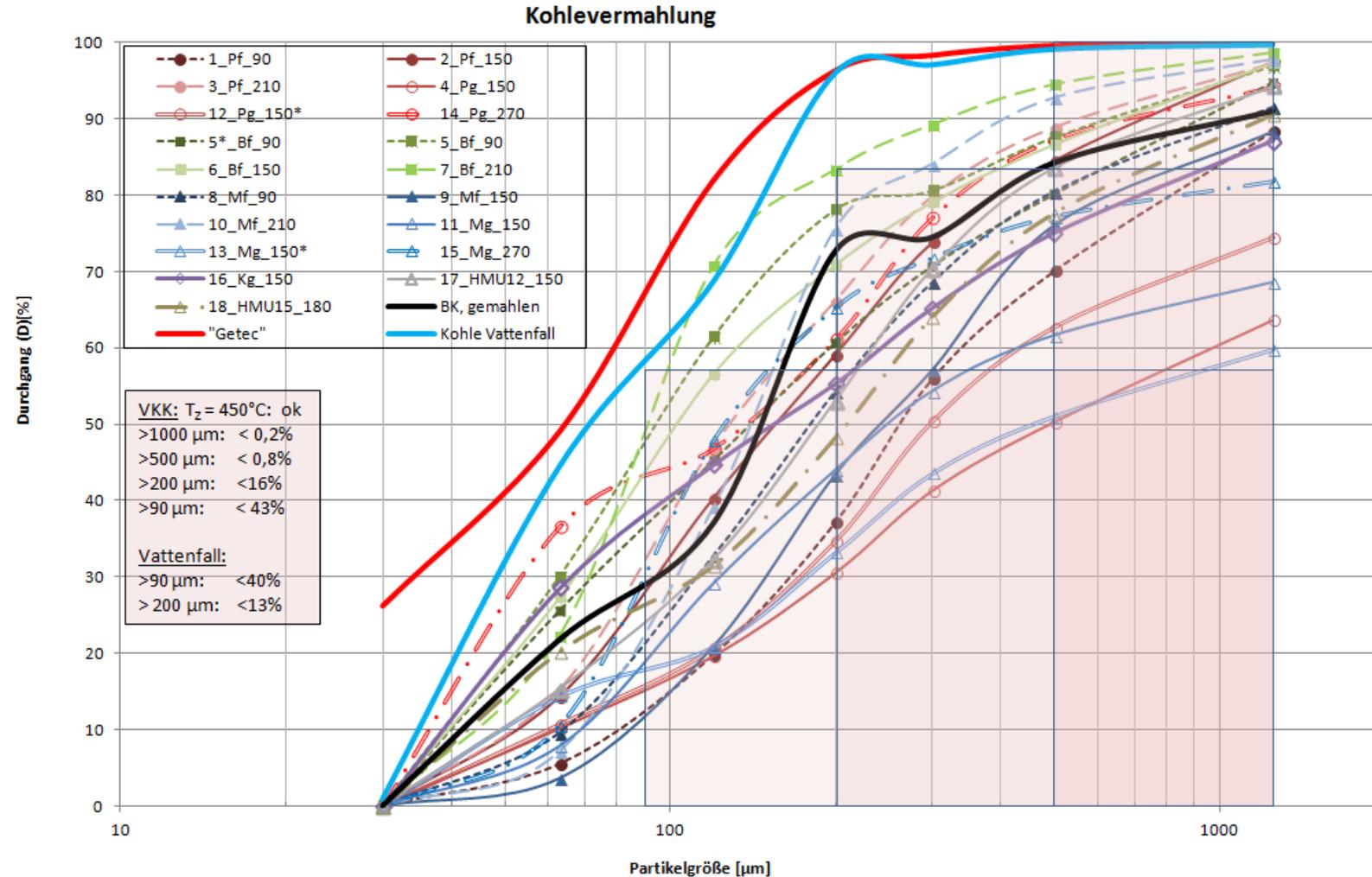
Ziel:

- Partikelgrößenverteilung
- geringer Energieeinsatz



Einfluss der HTC auf die Mahlbarkeit

Durch Variationen der Prozessbedingungen und der Einsatzstoffe kann die Mahlbarkeit der Kohle direkt beeinflusst werden.

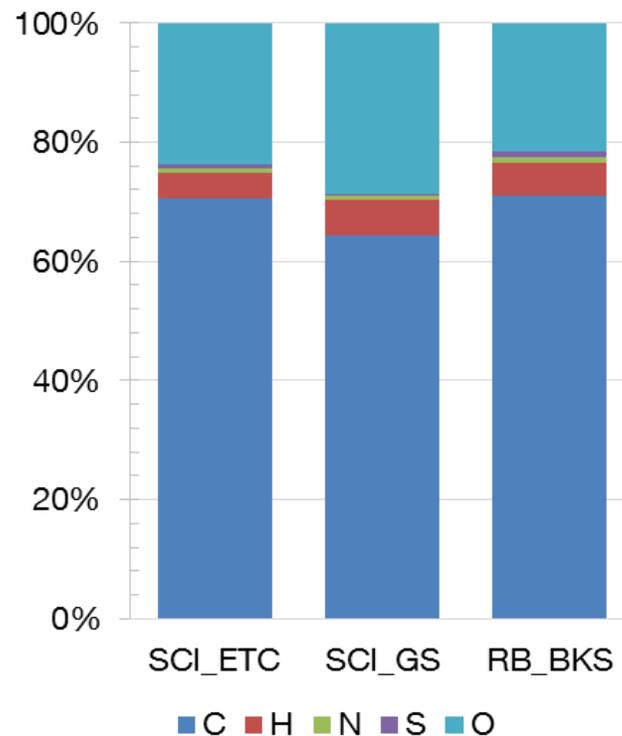




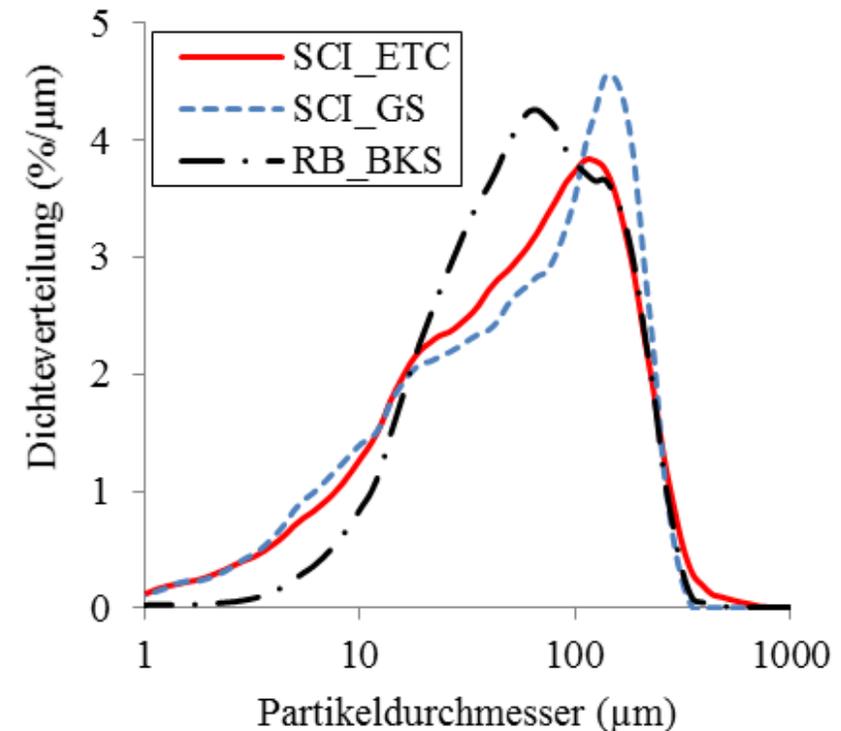
Erzielte Brennstoffqualität

- Definition von Spezifikationen für die Aufbereitung
- Erreichte Heizwerte und Partikelgrößenverteilung ähnlich wie Braunkohlestaub

Chemische Zusammensetzung



Partikelgrößenverteilung



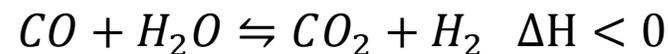


Grundlagen der autothermen Vergasung

- Modellierung des Koks-Umsatzes:

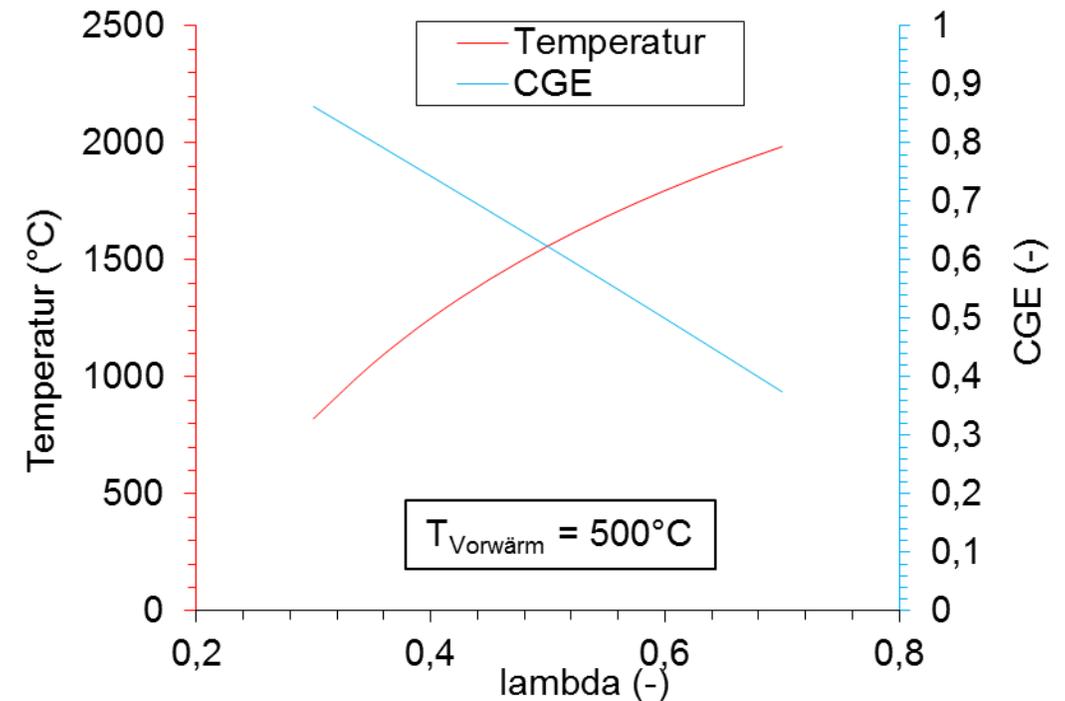
$$r_{int} = k_0 \cdot \exp\left[\frac{-E_A}{RT}\right] \cdot p_i^n$$

- Annahme der Gaszusammensetzung über GGW der Wassergas-Shift-Reaktion:



- Bewertung des Prozesses mittels Kaltgaswirkungsgrad:

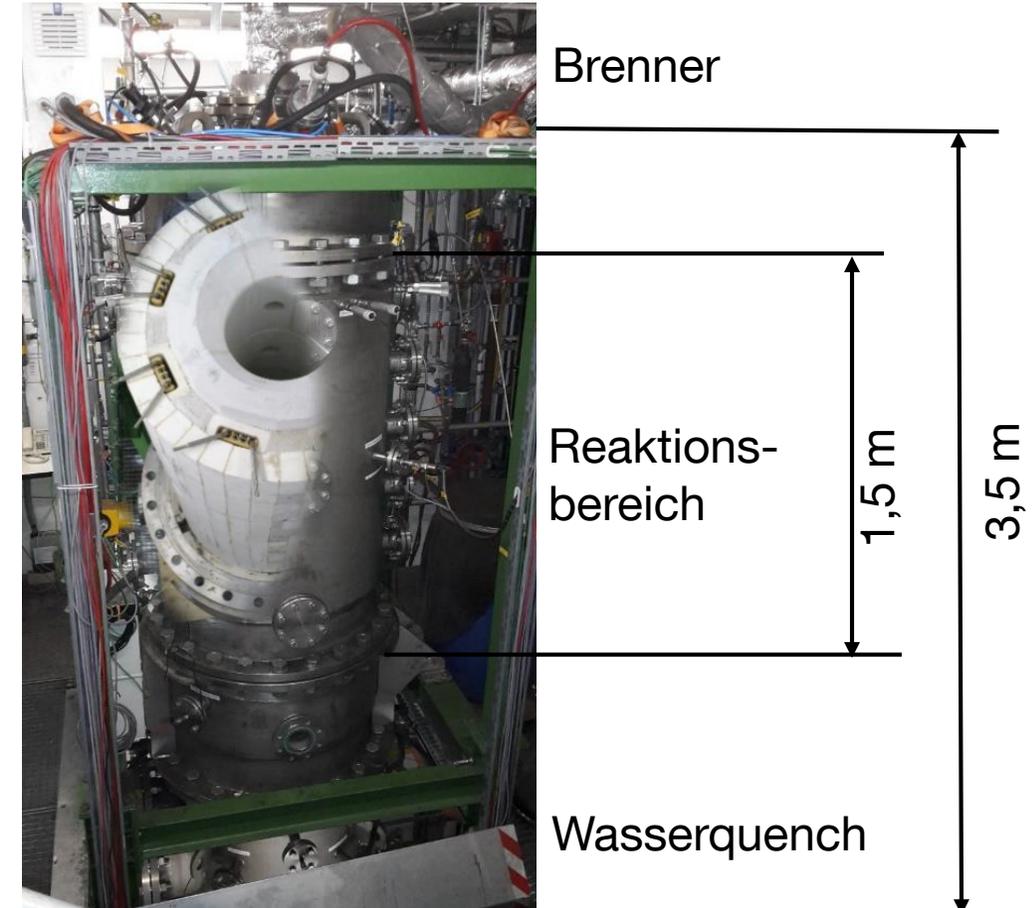
$$CGE = \frac{\dot{m}_{syngas} \cdot LHV_{syngas}}{\dot{m}_{fuel} \cdot LHV_{fuel}}$$



Reaktordesign

- Auslegung für $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ autothermen Betrieb
- Wasser-Vollquench
- Elektrische Heizer in der Ausmauerung zum Aufheizen

Auslegungsparameter	Wert
Druck	0-5 bar _g
Vergasungsmedium	Luft (O ₂ , H ₂ O)
Temperaturen	bis 1.500 °C
Gas-Vorheizung	max. 500 °C
Brennstoffeintrag	10-25 kg/h
Isolierung	Ausmauerung



Brennstoffzuführung

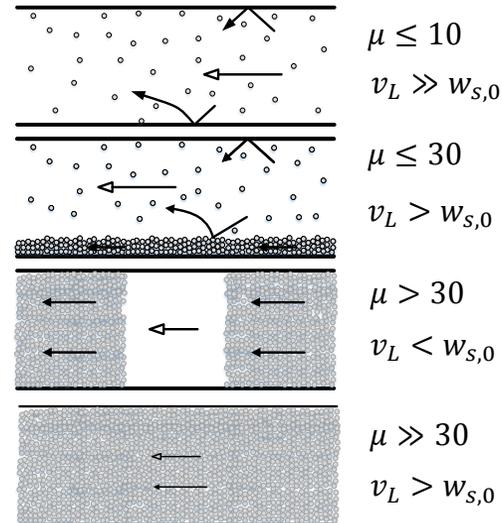
Anforderungen:

- Kontinuierlicher Brennstoffstrom
 - Stabile Flamme und geringe Teerbildung
- Geringer Traggasverbrauch
 - Reduzierung des Stickstoffeintrags

Lösung:

- Pneumatische Dichtstromförderung
- Erzielte Beladung 10-30 $\text{kg}_{\text{Kohle}} / \text{kg}_{\text{Traggas}}$

Mögliche Förderzustände

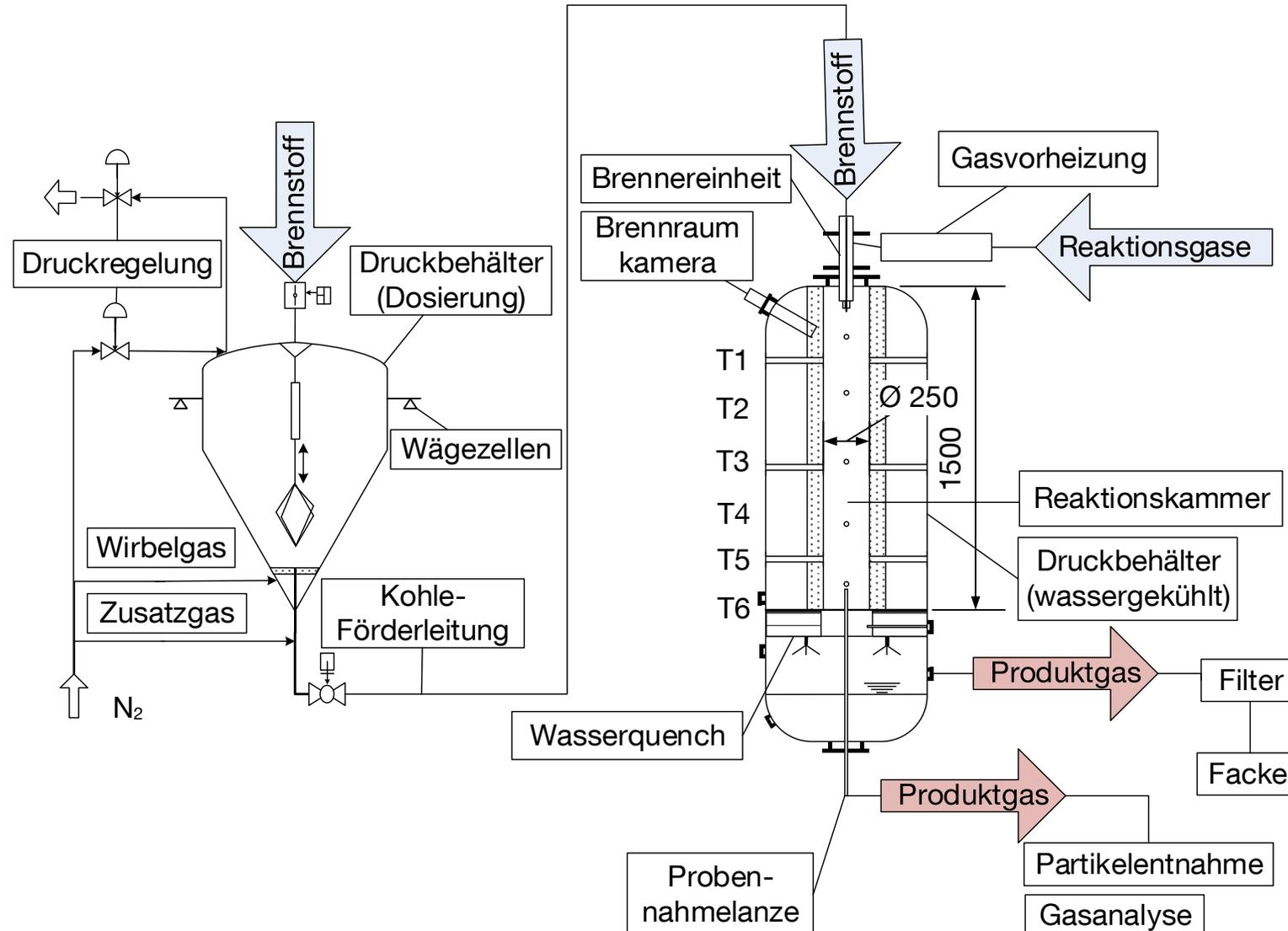


Kohleleitung
zum Vergaser

Fluidisierungs-
zone



Entwicklung eines Flugstromvergasers





Brennerdesign

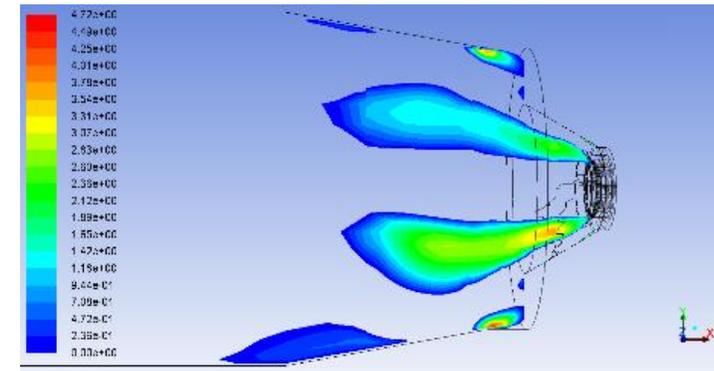
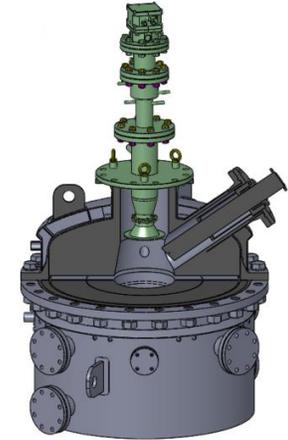
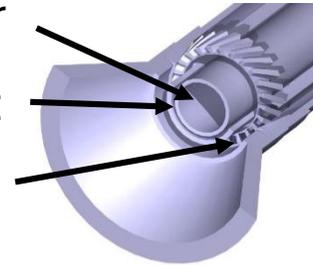
Anforderungen:

- Optimale Vermischung von Gas und Brennstoff
- Ausbildung von Rezirkulationszonen heißer Gase

Lösung:

- CFD-Auslegung des Brenners
- 3-Register-Drallbrenner
- Integrierter Gasbrenner für Vorheizung der Ausmauerung

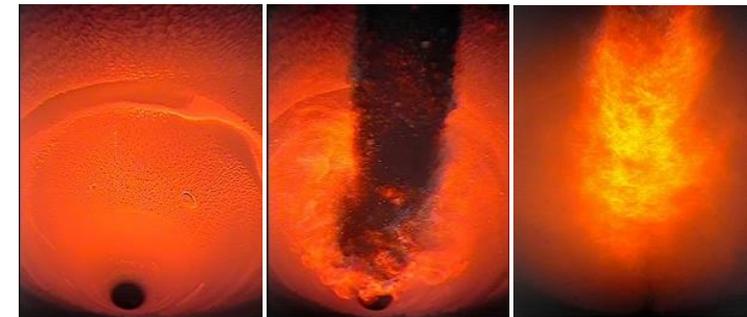
Gasbrenner
Kohle+ Luft
Drall-Luft





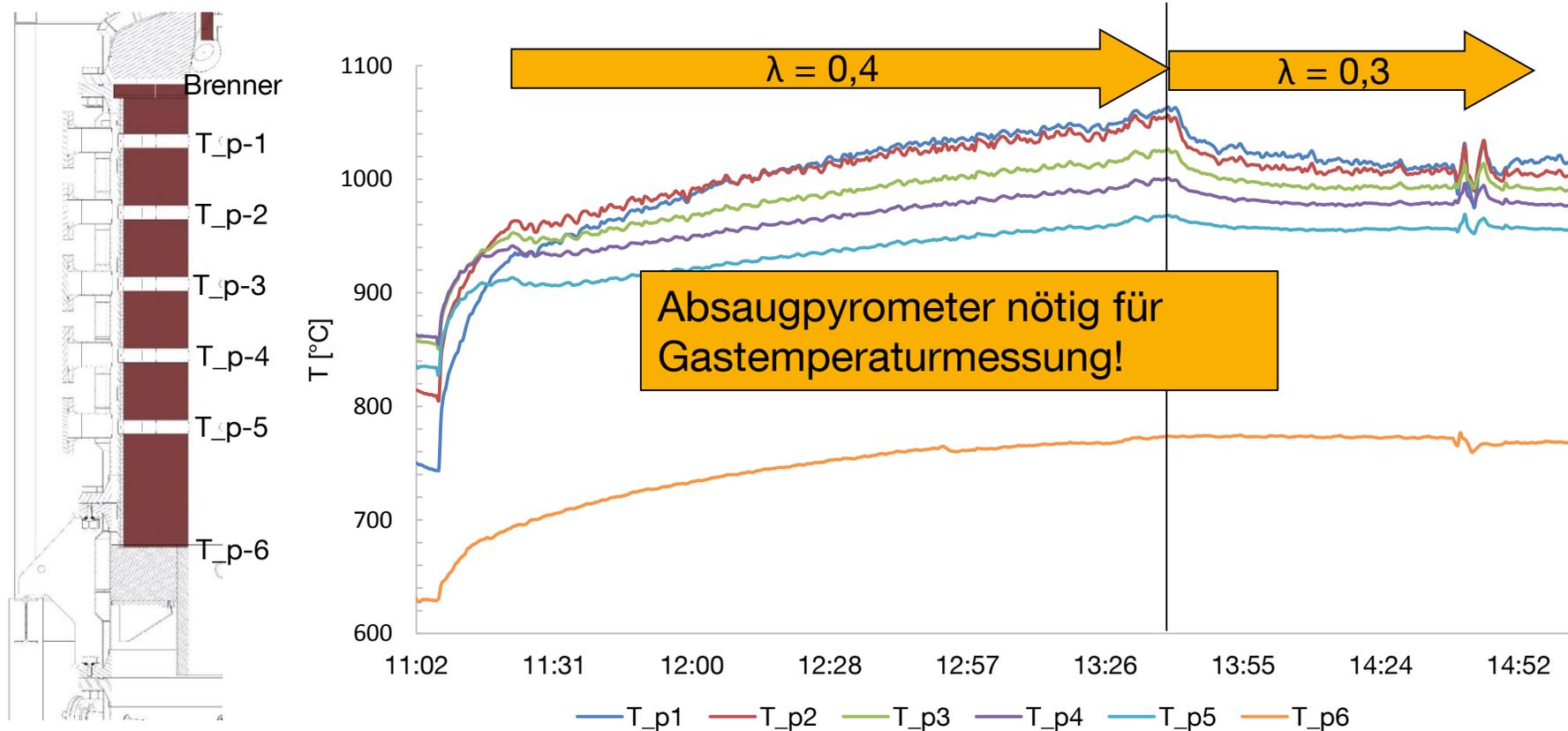
Flammenstabilität

- Optische Beobachtung der Flamme ist unabdingbar:
 - Bewertung der Flammenstabilität
 - Erkennung von Ausfällen des Brennstoffstroms
- Stabile Flamme kann durch Einstellung des Dosiersystems erreicht werden
 - Optimierung der Beladung und Fördergeschwindigkeit
 - Verhinderung von Fluktuationen



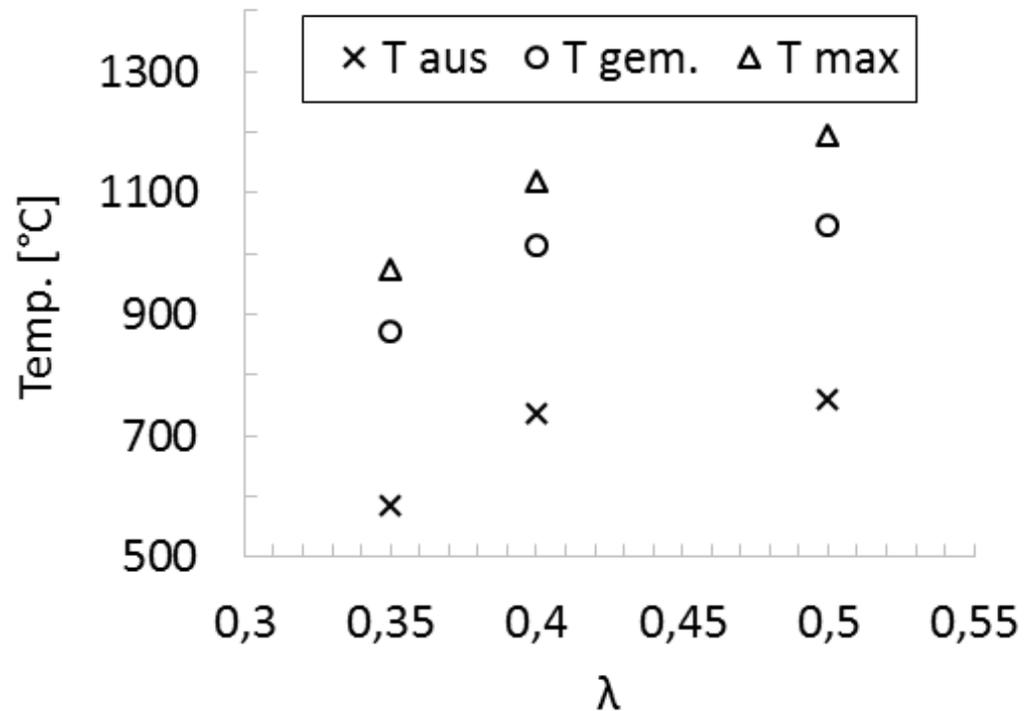


Durchheizung der Ausmauerung auf Endtemperatur



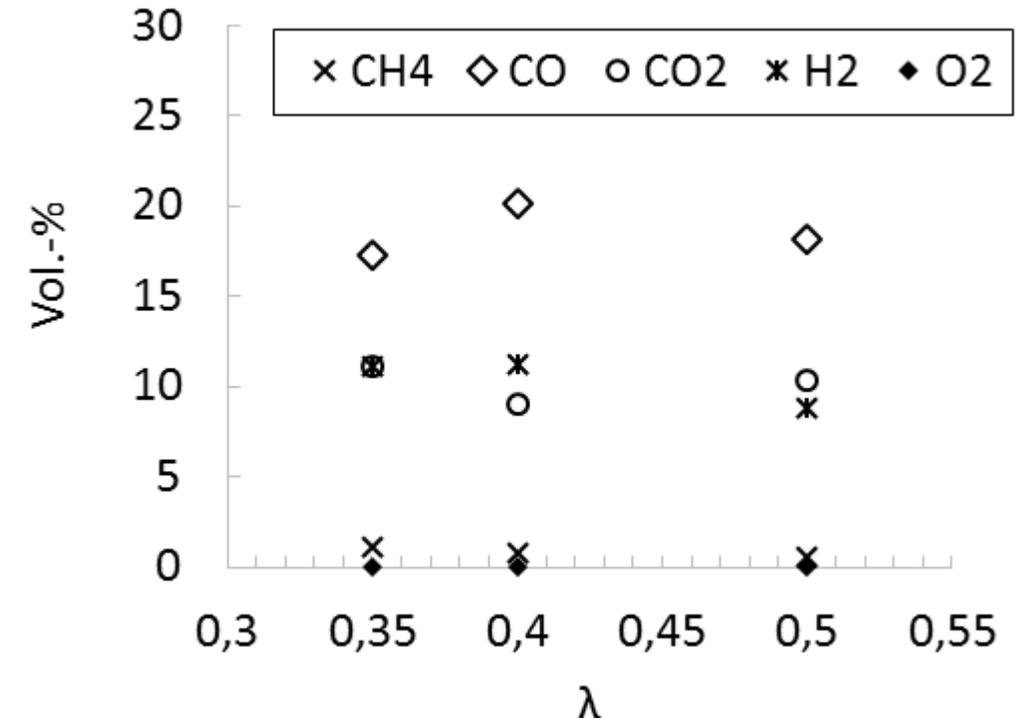
✓ Stabiler Betrieb über einen ganzen Versuchstag wurde erreicht

Erreichte Prozesstemperaturen



- T aus = Absaugpyrometermessung
- T gem. = Mittelwert T_{p1}-T_{p6}
- T max = Temperatur an heißester Stelle

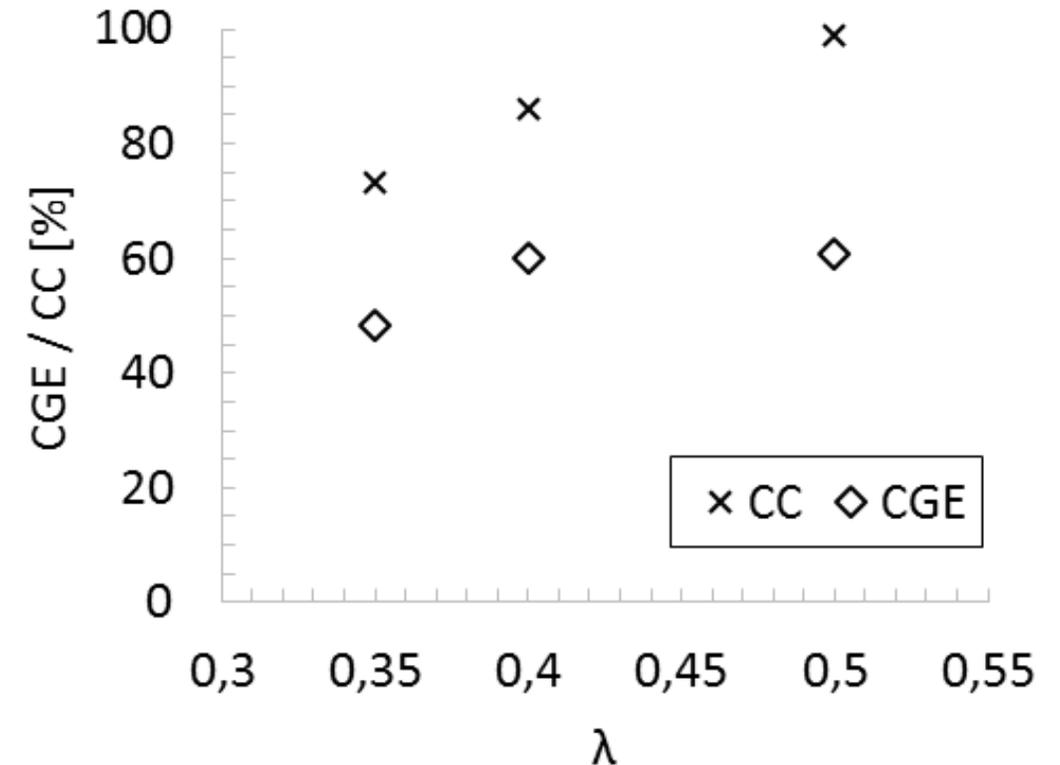
Produktgaszusammensetzung



- Beste Gasqualität bei $\lambda \sim 0,4$
- Methangehalt bei hohem λ vernachlässigbar

Wirkungsgrad und Kohlenstoffumsatz

- Umsatz (CC) stark abhängig von λ
- Gesamtprozesseffizienz stark abhängig von Flammenstabilität
- Small-scale Effekte limitieren den Wirkungsgrad \rightarrow Wärmeverluste überproportional hoch.
- Weitere Verbesserungsmöglichkeiten:
 - Optimierung der Betriebsparameter
 - Erhöhung der Gasvorheizung
 - Brennstoffoptimierung





Zusammenfassung

- Die HTC-Anlage (SCI) konnte optimiert werden für die Herstellung eines hochwertigen Brennstoffs
- Verschiedene Technologien zur Brennstoffaufbereitung wurden untersucht
- Es konnte ein optimierter Brennstoff für die Flugstromvergasung hergestellt werden
- Die Flugstromvergasungsanlage (TUM) wurde konzipiert, aufgebaut und in Betrieb genommen
- Erste Tests verliefen erfolgreich, verschiedene Messmethoden konnten angewendet werden

Ausblick

- Untersuchung der spezifischen Auswirkungen der HTC-Vorbehandlung auf die Vergasung
- Untersuchung der Teerentstehung in Abhängigkeit des Brennstoffs
- Optimierung der Brennstoffzuführung für einen kontinuierlichen Betrieb
- Weiterführende ökologische / ökonomische Bewertung der gesamten Technologiekette



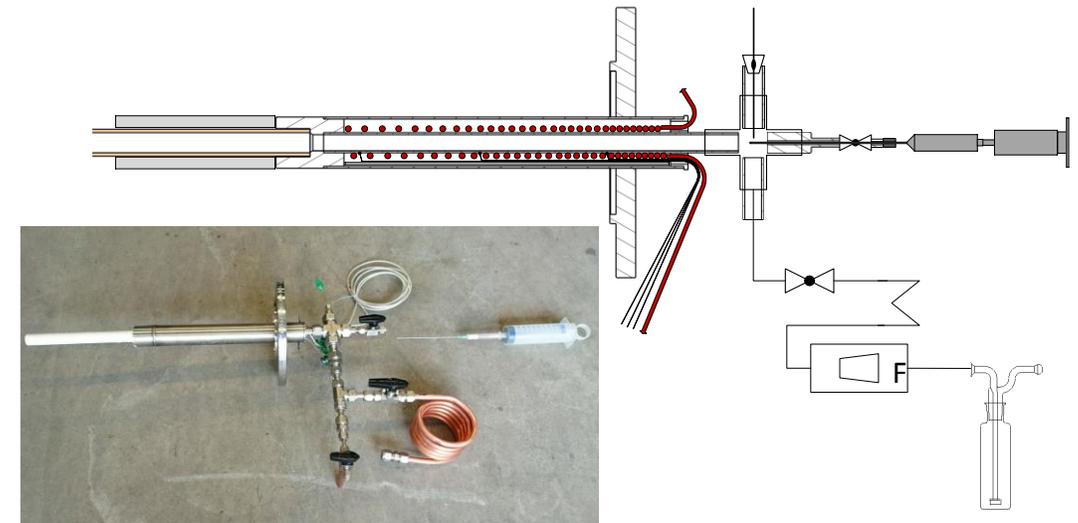
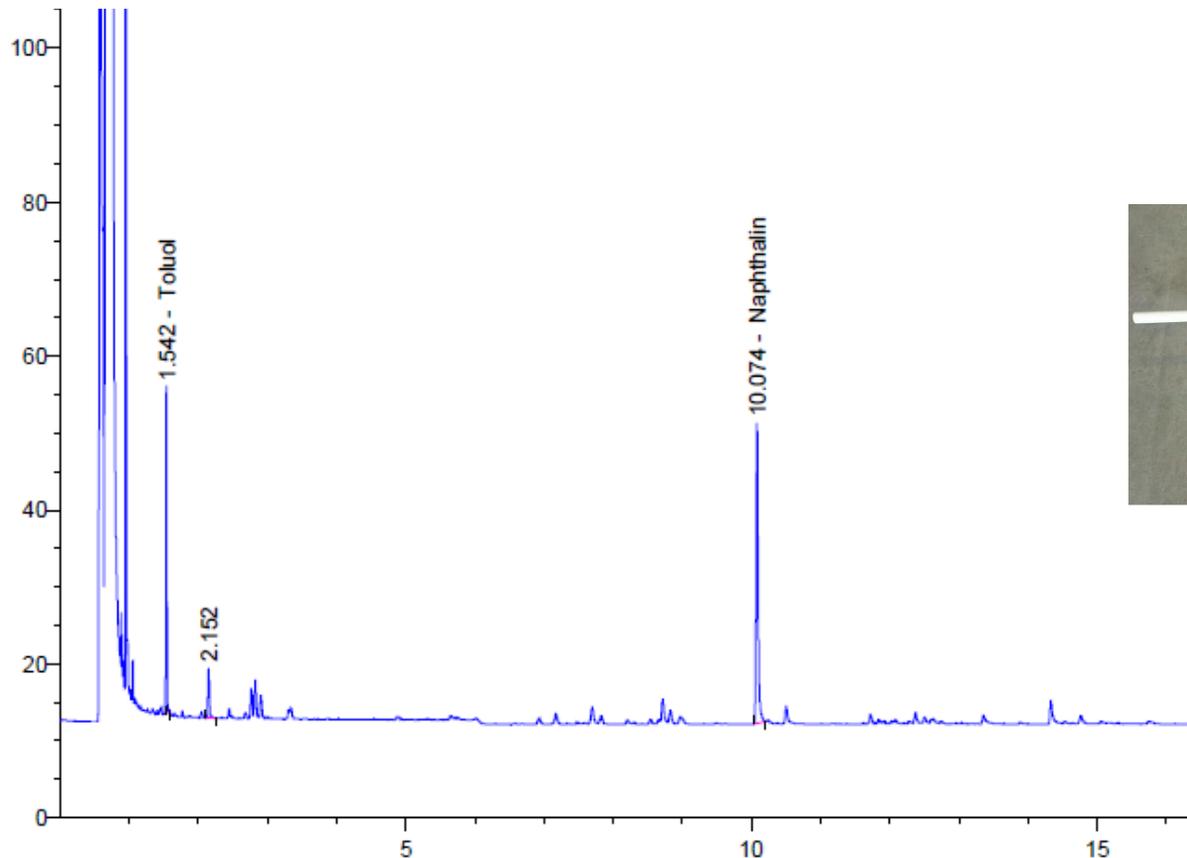
**Danke für die
Aufmerksamkeit.**

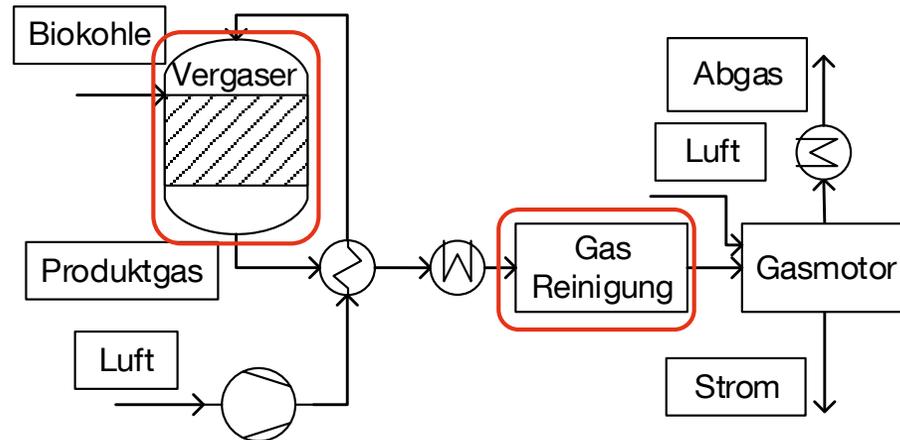
Kontakt:
Ludwig Briesemeister
Lehrstuhl für Energiesysteme
Phone: +49 (0)89 289 16284
E-Mail: Ludwig.Briesemeister@tum.de

Messtechnik

Messung von Teerbeladung und -zusammensetzung

➤ SPA-Probenahme + GC-FID





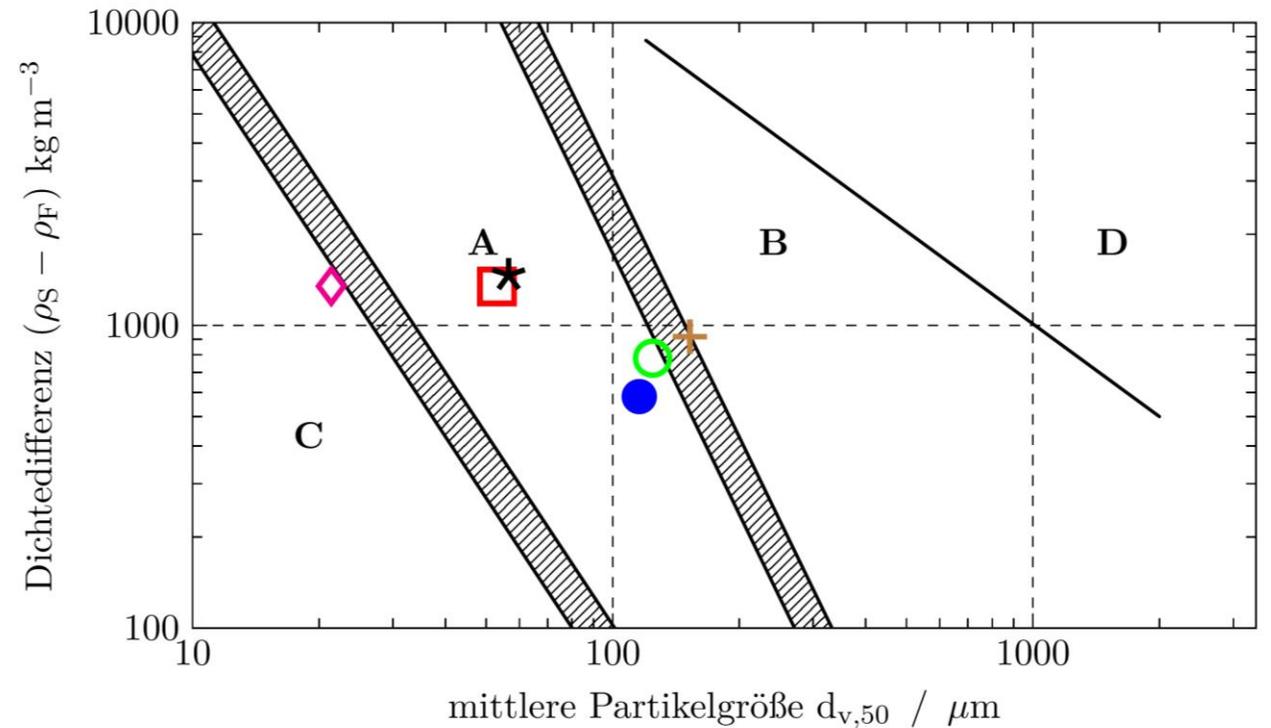
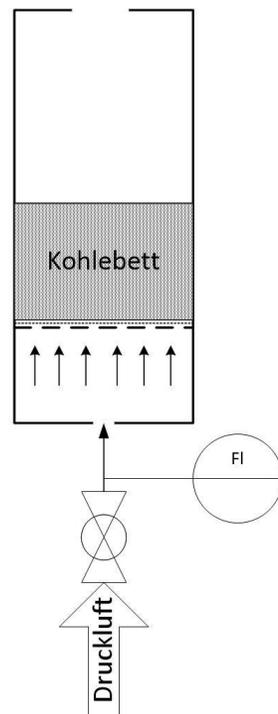
Anforderungen an die Gasqualität eines Gasmotors

Partikelbeladung	Partikelgröße	Teere	NH ₃	H ₂ S
mg/Nm ³	µm	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
< 50	< 10	< 100	< 55	< 1.150

(Milne et al. 1998; Hasler, Nussbaumer 1999; Nussbaumer 2002, Tepper 2005)

Erzielte Brennstoffqualität

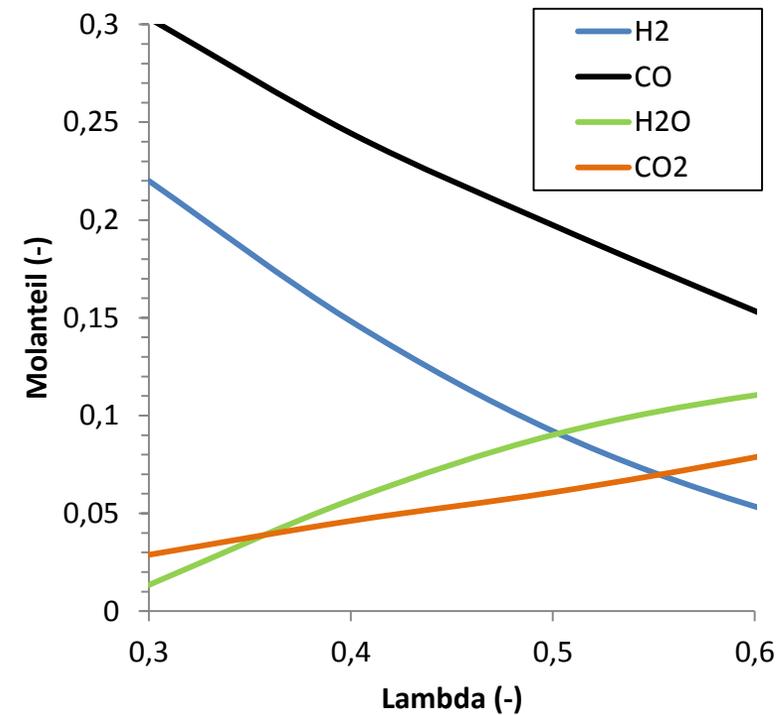
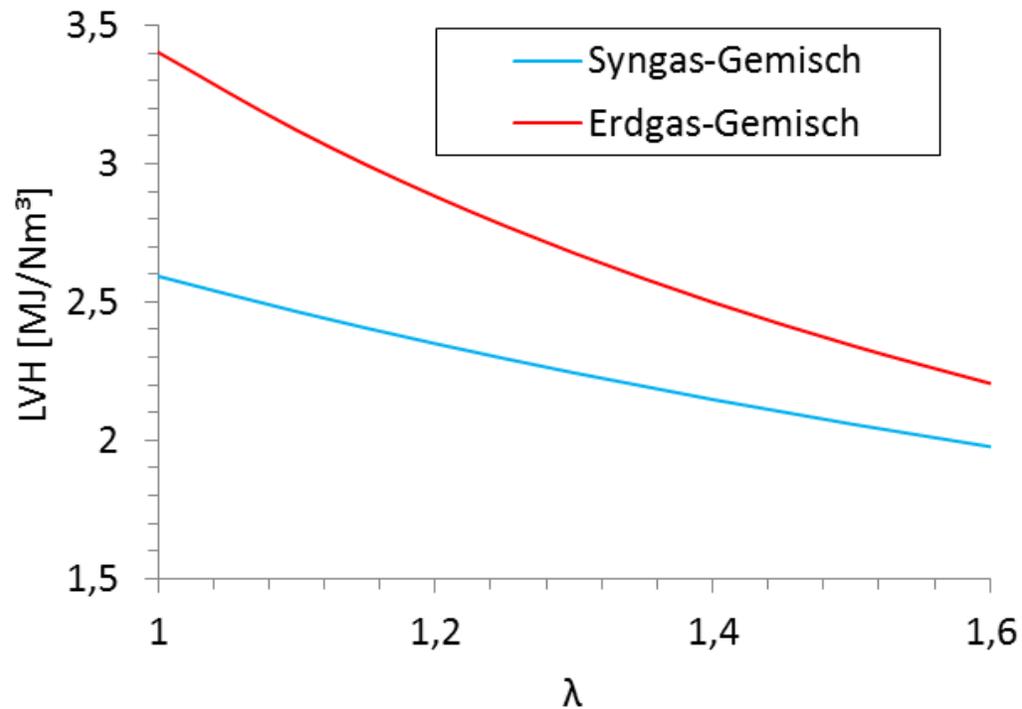
- Bewertung der Fluidisierbarkeit über Geldart Klassifikation
- Nachweis über Labortests



- MK150305 Stroh
- SCI_ETC_040314
- Buchenholzmehl_KS140605
- ✕ SCI_Staub_Buche_080213
- Rheinbraun_LB150129
- ◆ El Cerrejon

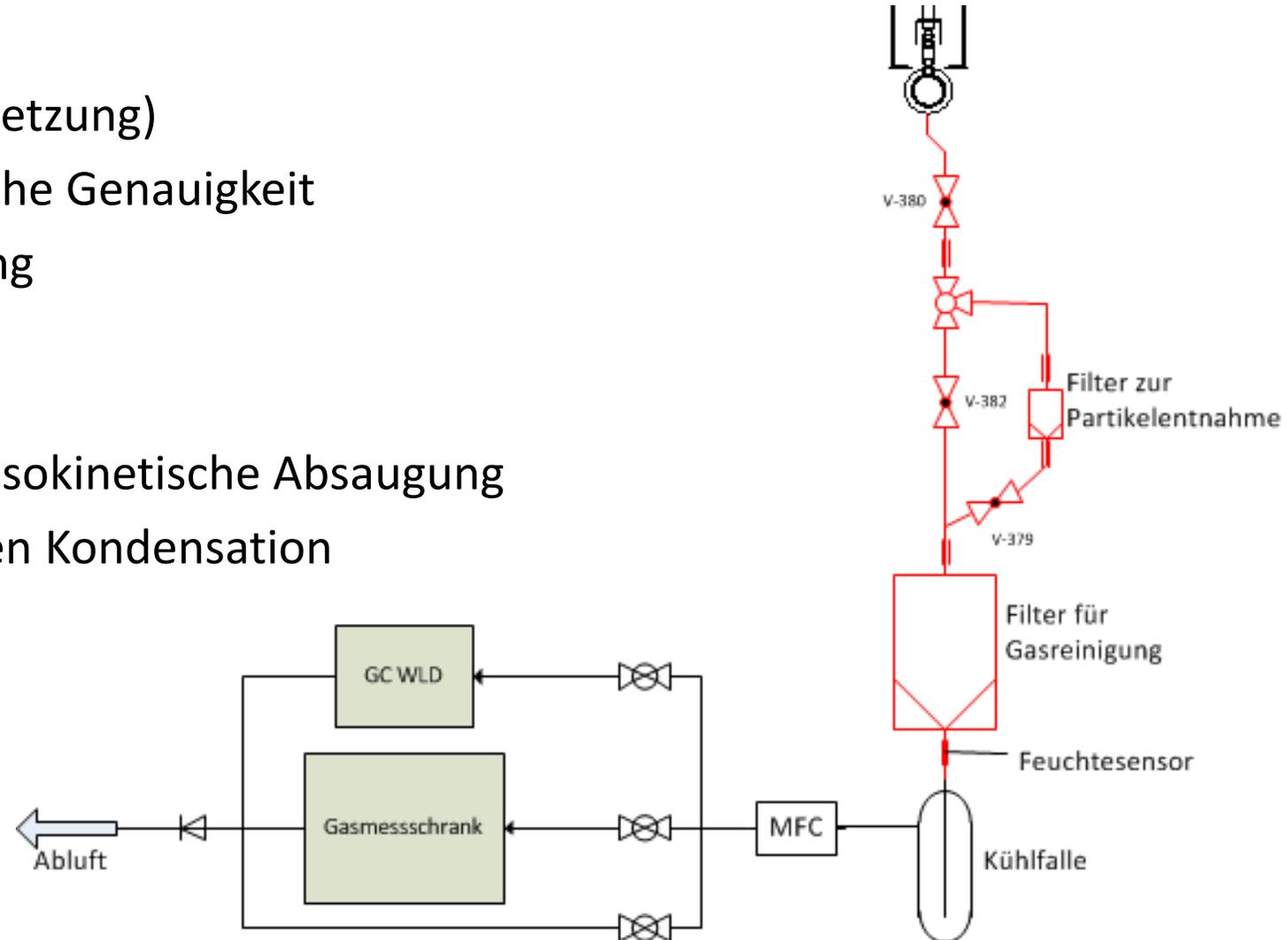
Eignung Syngas für Gasmotor

- $LHV_{\text{Syngas}} = 5.4 \text{ MJ/Nm}^3 \Leftrightarrow LHV_{\text{Methan}} = 35.82 \text{ MJ/Nm}^3$



Messtechnik

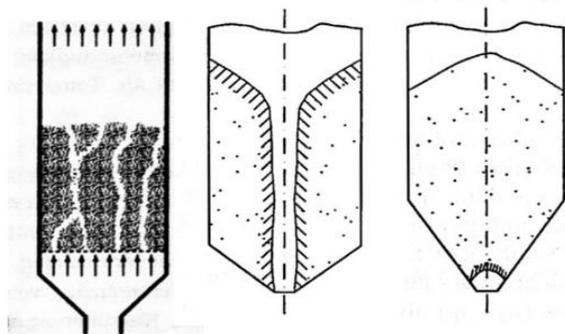
- Gasanalyse (Hauptgaszusammensetzung)
 - GC WLD - zyklische Messung, hohe Genauigkeit
 - Gasmessschrank - Onlinemessung
 - Kapaz. Feuchtesensor
- Koksprobe
 - Definierte Entnahmemenge für isokinetische Absaugung
 - Beheizte Leitung / Behälter gegen Kondensation
 - Sintermetallfilter





Dosiersystem

- Förderverhalten unterscheidet sich stark zwischen verschiedenen Brennstoffen
- HTC-Kohle neigt zur Ausbildung von Kanälen, Schächten oder Brücken in/oberhalb der Wirbelschicht

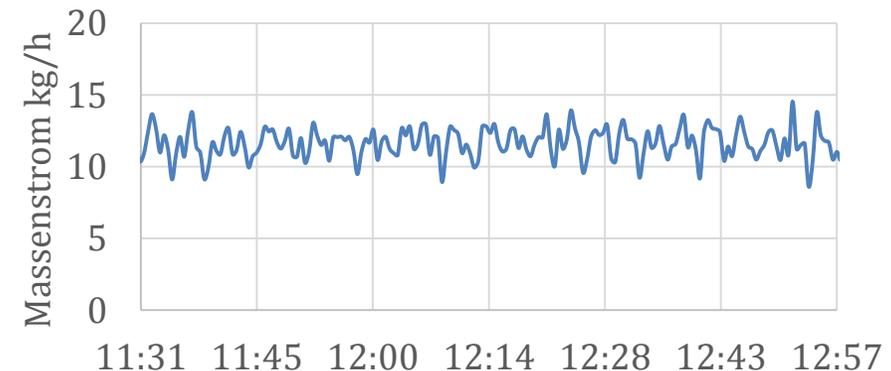


(Schubert 2013; Stuess 2009)

- Ungenaue Druckregelung beeinflusst Fördermenge

$$\dot{m}_{Kohle} = DF \cdot \Delta p$$

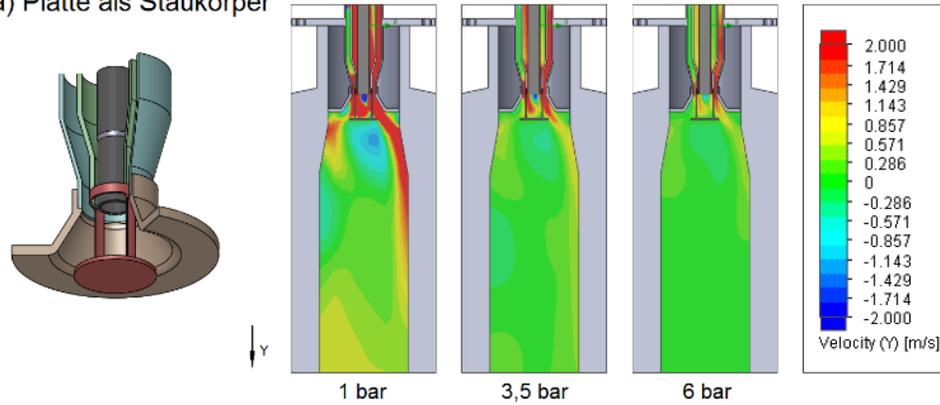
$$DF = \frac{\dot{m}_{Kohle}}{\Delta p} \approx \text{konst.}$$



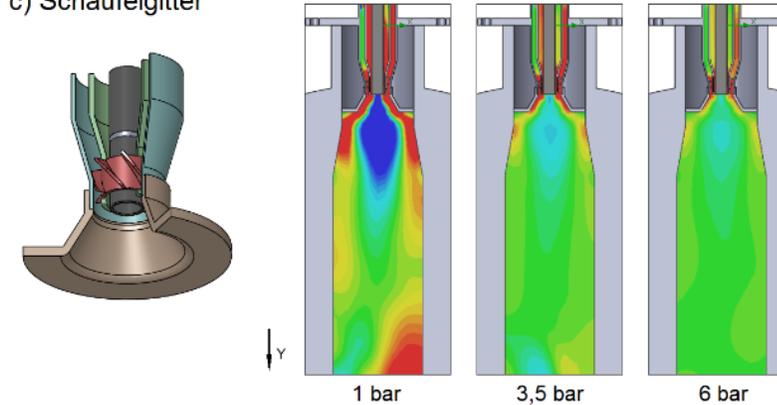
Entwicklung eines Flugstromvergasers



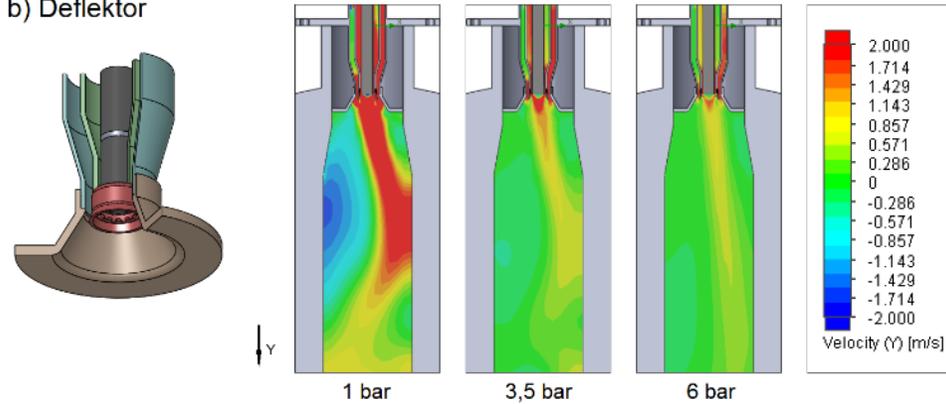
a) Platte als Staukörper



c) Schaufelgitter



b) Deflektor



d) 4 tangentielle Schlitz

