

Scale-Up von Schneckenreaktoren und Optimierung der Prozessführung

Funke, A.; Grandl, R.; Ille, Y.; Dahmen, N.; Sauer, J.

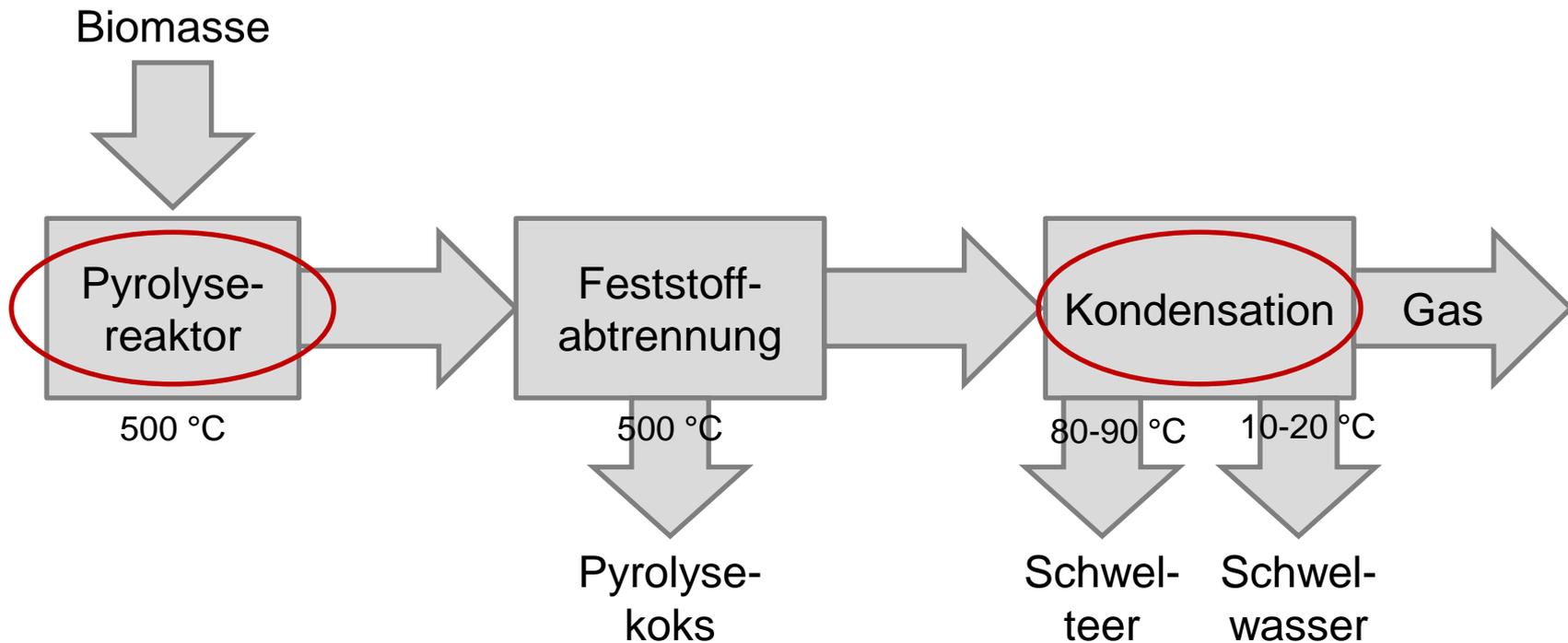
INSTITUTE OF CATALYSIS RESEARCH AND TECHNOLOGY (IKFT)



Gliederung

- Einführung / experimentelle Ausrüstung
- Reaktor
- Kondensation

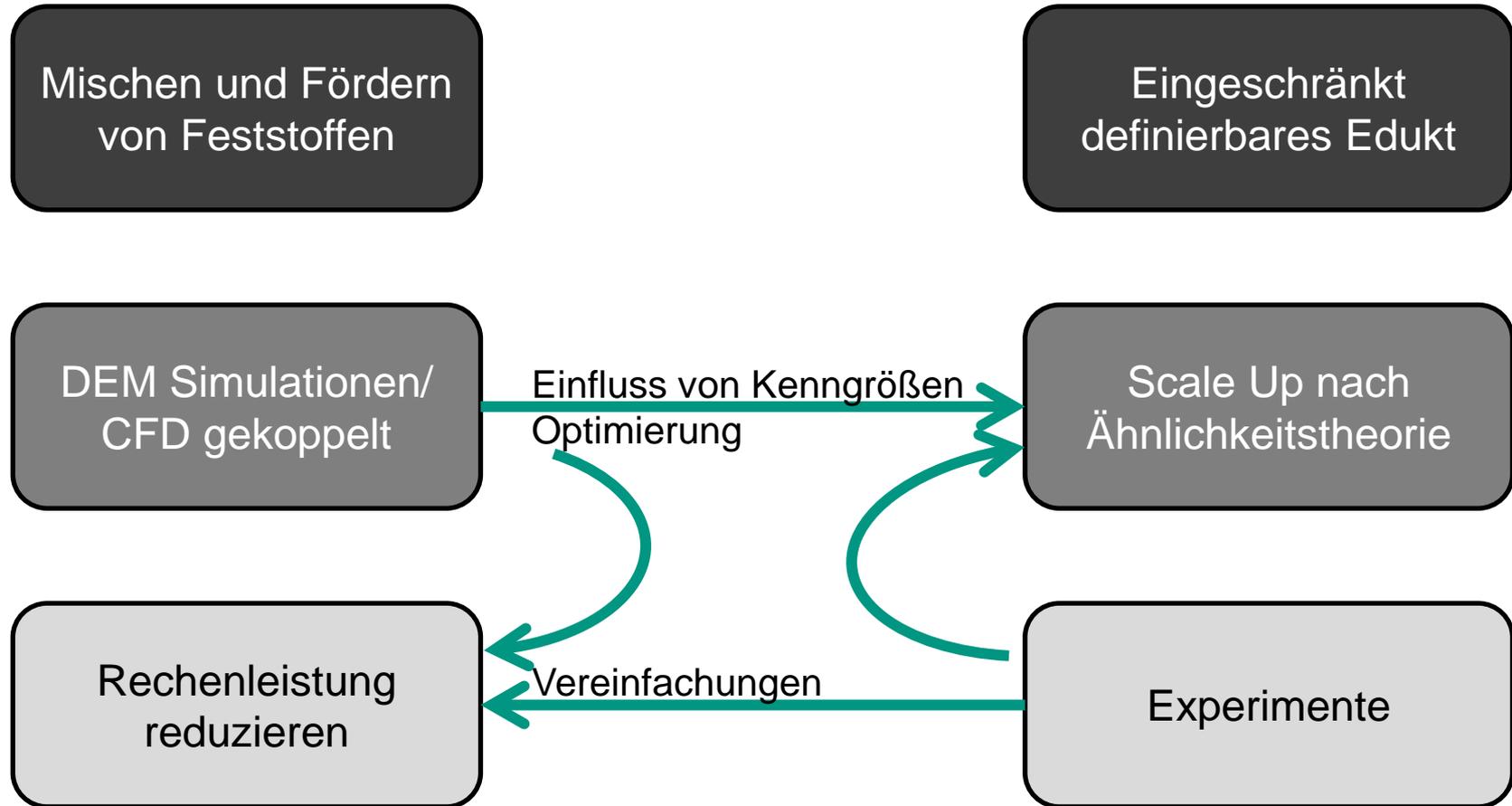
bioliq® Schnellpyrolyse



■ Ziel:

- Erarbeitung der Auslegungsgrundlagen für Schlüsselkomponenten

Herausforderungen



bioliq® Pilotanlage

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Commerci

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

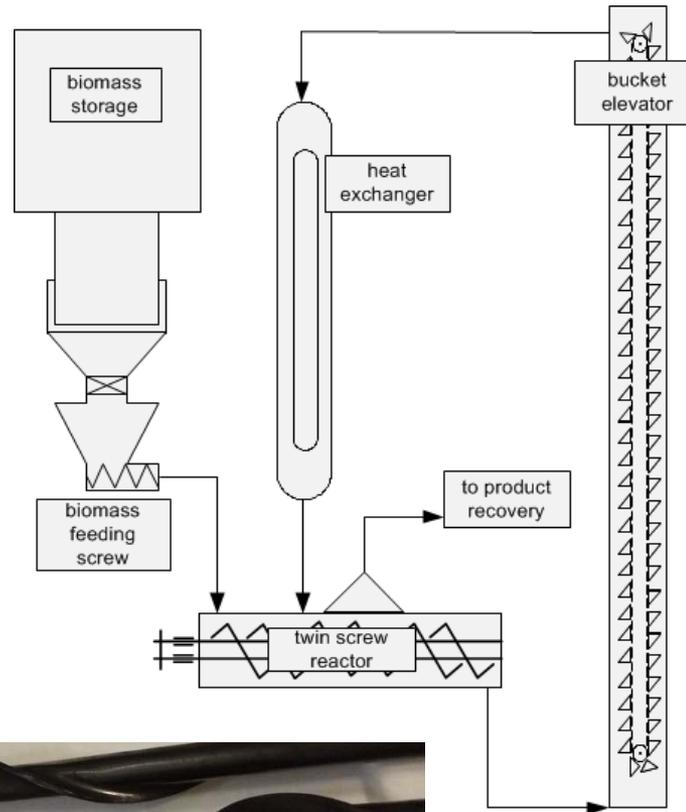
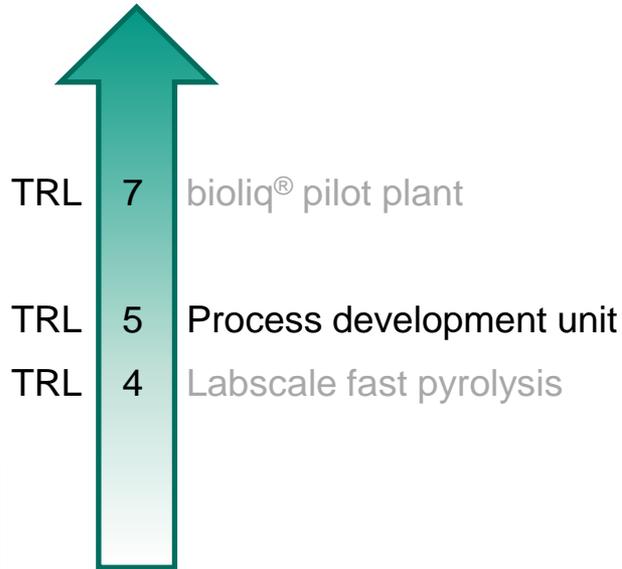


Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



Technikumsanlage ‚Python‘

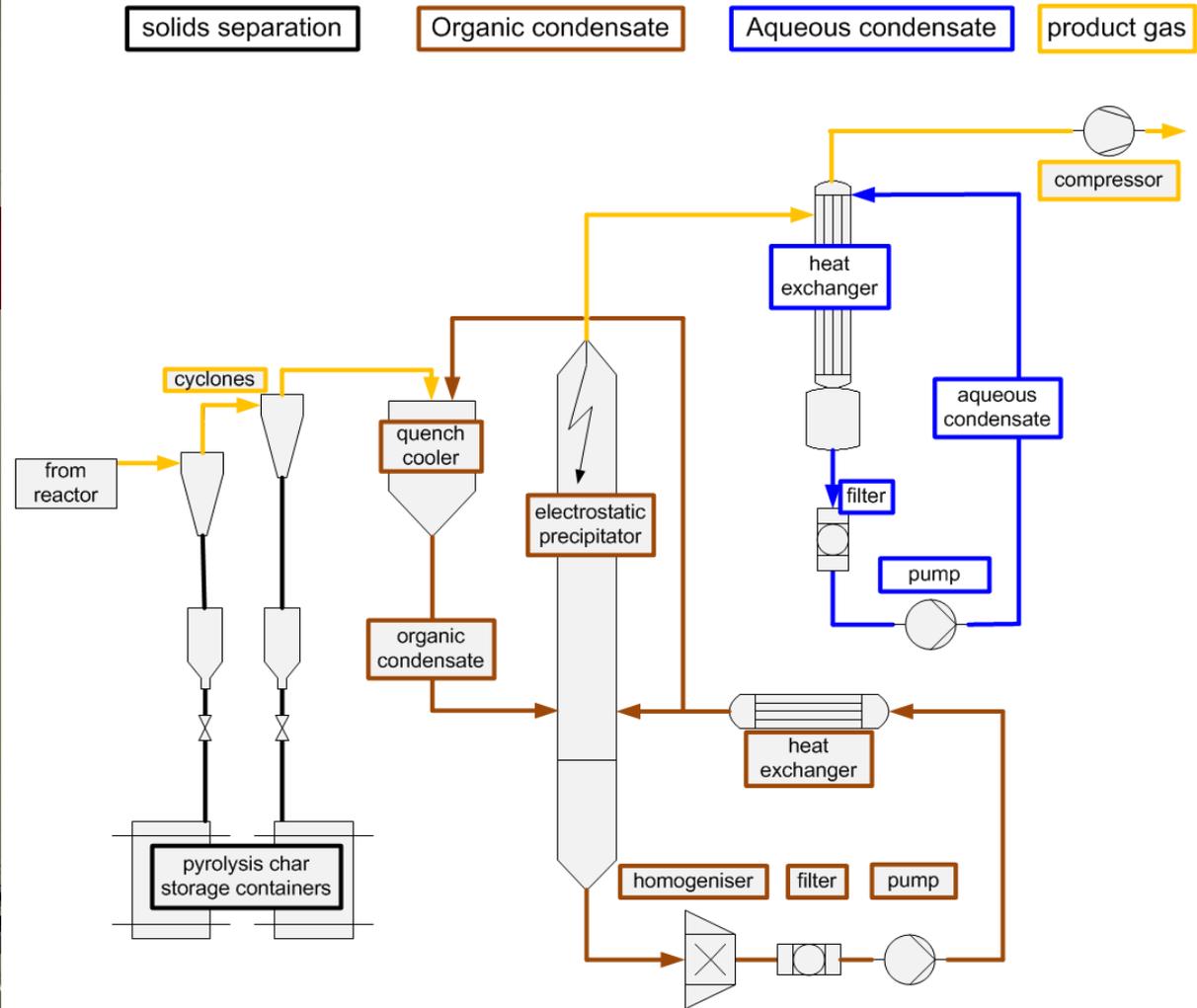
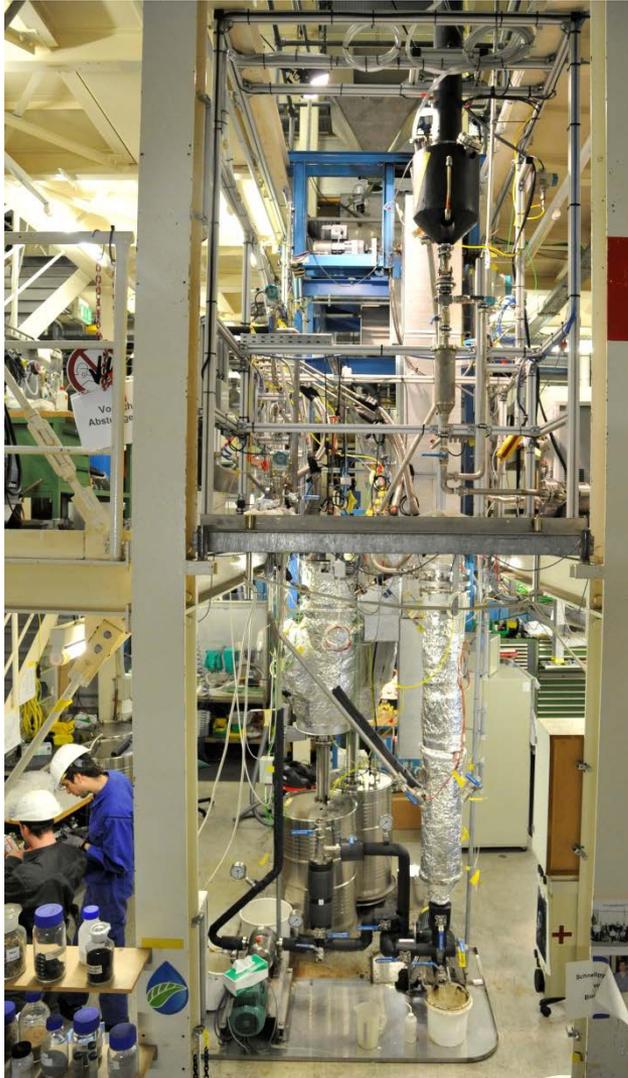
Commercial application



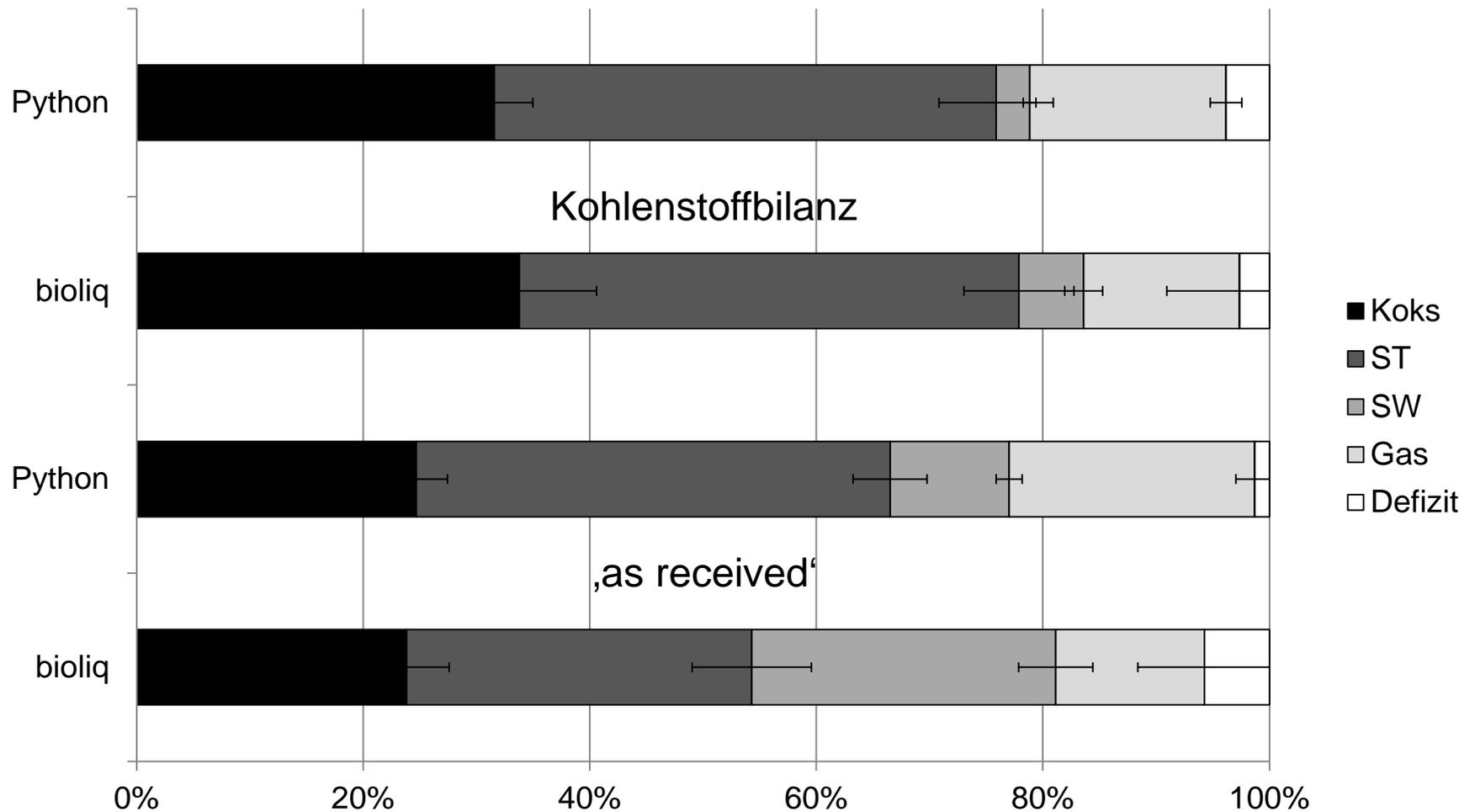
Basic research



Python – Produktabscheidung



Vergleich Technikum – Pilot



Gliederung

- Einführung / experimentelle Ausrüstung
- Reaktor
- Kondensation

Vergleich dimensionslose Zahlen

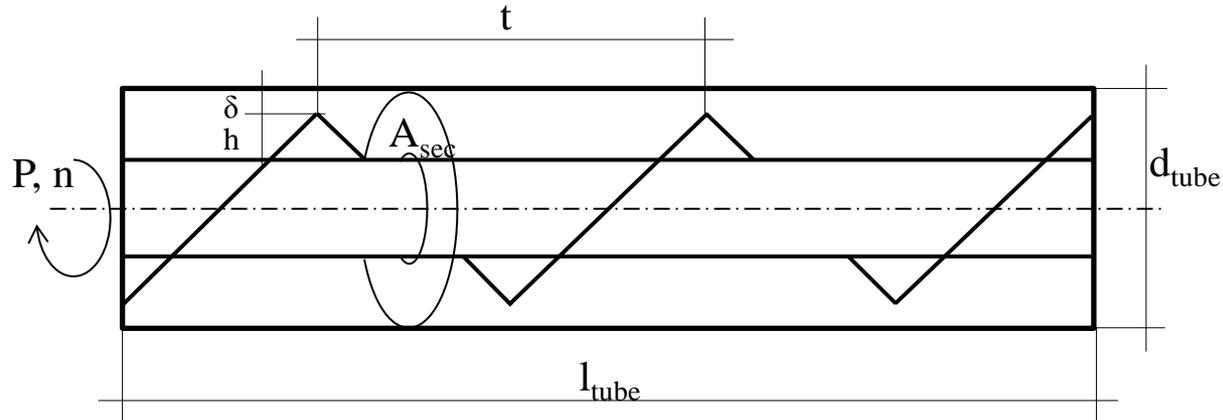
Bedeutung	Definition	Python	bioliq
Geometrie	$\frac{t}{d_{tube}}$	5	3.5
Geometrie	$\frac{l_{tube}}{d_{tube}}$	15	9
Geometrie	$\frac{A_{sec}}{d_{tube}^2}$	0.59	0.55
Geometrie	$\frac{d_{BM}}{d_{tube}}$	7.5e-3	1.5e-3
Geometrie/ Wärme	$\frac{d_{BM}}{d_{HC}}$	0.30	0.30
Wärme	$\frac{\dot{C}_{HC}}{\dot{C}_{BM}}$	38	34
Wärme	$\frac{\Delta T_{bm-hc}}{T_{bm}}$	1.72	1.84
Feststoff (Leistungszahl)	$\frac{\dot{m}_{bm} + \dot{m}_{hc}}{\rho_{bulk}} \frac{1}{nd_{tube}^3}$	0.47	0.37
Feststoff (Fr)	$\frac{4r_{tube}\pi^2 n^2}{g}$	0.3	0.9
Reaktion Gas (Da I)	$k_{vs} \frac{l_{tube}\rho_{gas}A_{sec}}{\dot{m}_{gas}}$	8e1...e5 τ≈0.2 s	2e2...e6 τ≈0.9 s

Reaktor-
design

Wärme-
träger

Gas

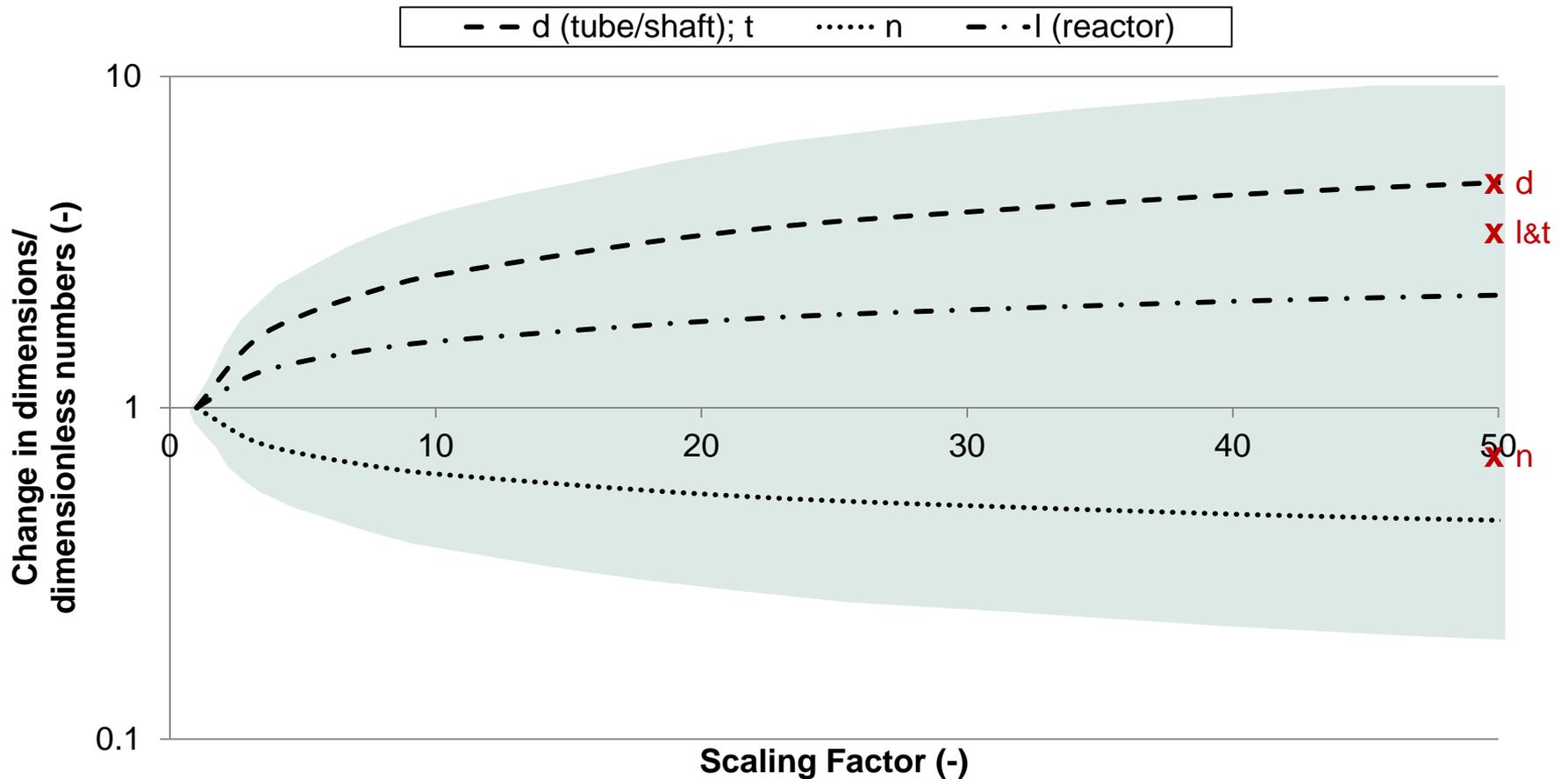
Reaktorgeometrie



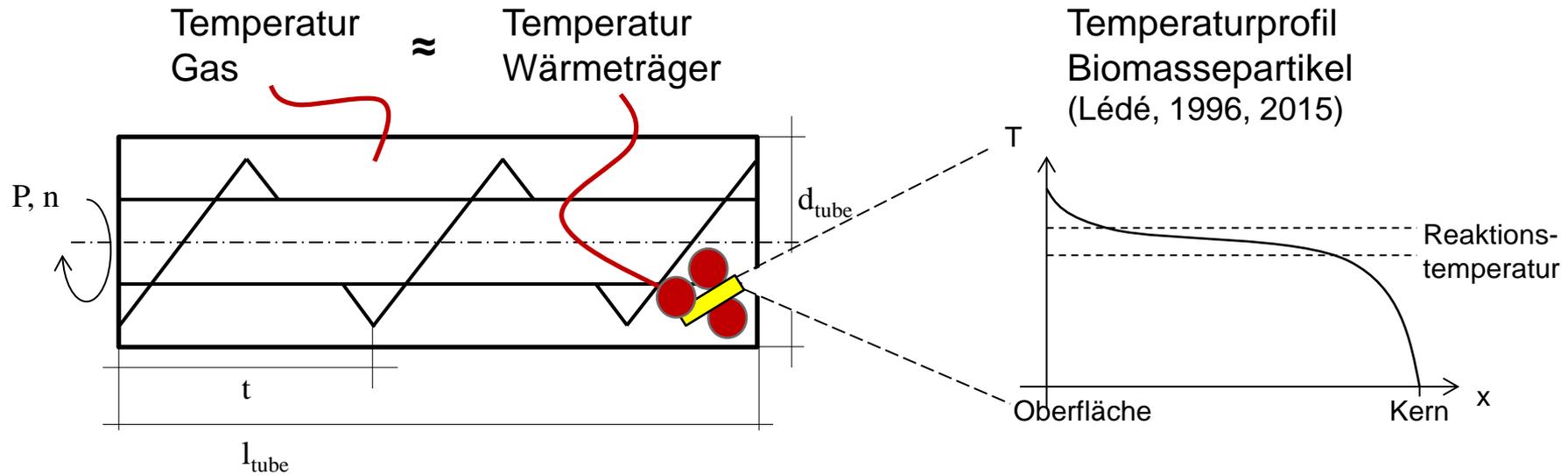
- Transport- und Mischcharakteristik unterschiedlich
 - → relevant?

- Großer Reaktor ist ‚gestauchter‘
 - → Einfluss auf Verweildauer, nicht notwendigerweise auf Reaktionsdauer vom Feststoff

Reaktorgeometrie – Scale Up



Wärmetransport

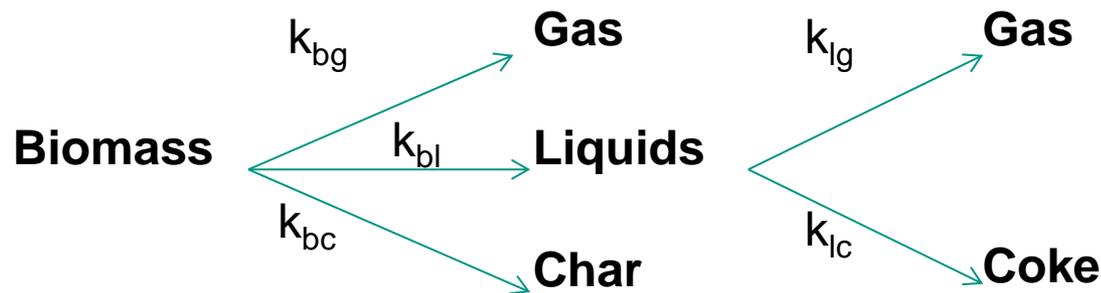


■ Reaktionstemperatur zeigt nur eine leichte Abhängigkeit von

- Wärmeübergangskoeffizienten
- Reaktortemperatur (treibende Temperaturdifferenz)
- Partikelgröße
- Reaktionsenthalpie

→ Leichte Änderungen im Scale Up zulässig?!

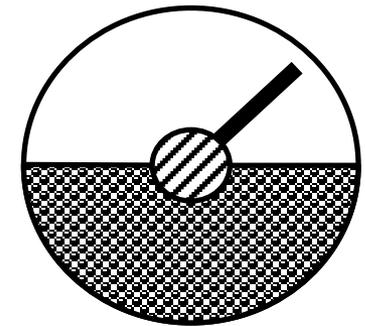
Pyrolysedämpfe / -gas



Di Blasi, 2005

- Verhalten der Gasphase weitestgehend unbekannt
 - Pyrolysegas wird in (bewegter) Schüttung produziert
 - Schlupf/ Interaktion Schnecke
 - Interaktion Freeboard/ Feststoff

- Experimentelle Bestimmung der Kinetik erforderlich
 - Quantitativer Einfluss von Kokspartikeln
 - Gastwissenschaftlerin – Kooperation mit Tongji Universität / Shanghai



Zwischenfazit Dimensionsanalyse

- Mischcharakteristik muss beschrieben werden, abhängig von:
 - Schneckengeometrie
 - Betrieb (Umdrehungszahl)
 - (Feststoffpartikel)

- Strömung der Gasphase muss beschrieben werden

- Bessere Beschreibung des Wärmeübergangs wünschenswert, abhängig von:
 - Mischcharakteristik
 - Strömung der Gasphase

Reaktormodellierung – CFDEM®-Ansatz

CFDEM®

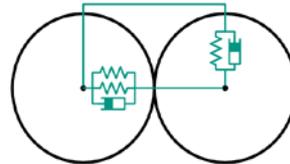
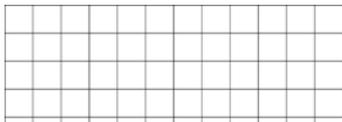
CFD
OpenFOAM®

Navier-Stokes-Gleichungen

$$\nabla \cdot v = 0$$

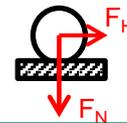
$$(v \cdot \nabla)v - \vartheta \Delta v + \nabla p = f$$

Lösung durch Gitterverfahren



DEM
LIGGGHTS®

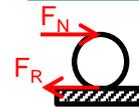
Reibung



$$F_H = \mu \cdot F_N,$$

$$\mu < 1$$

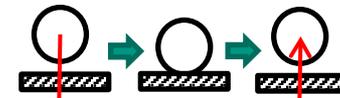
Rollreibung



$$F_R = \frac{d}{R} \cdot F_N = c_R \cdot F_N,$$

$$c_R < 1$$

Elastischer Stoß



$$c_R = \frac{F_2}{F_1} = \frac{h_2}{h_1} < 1$$

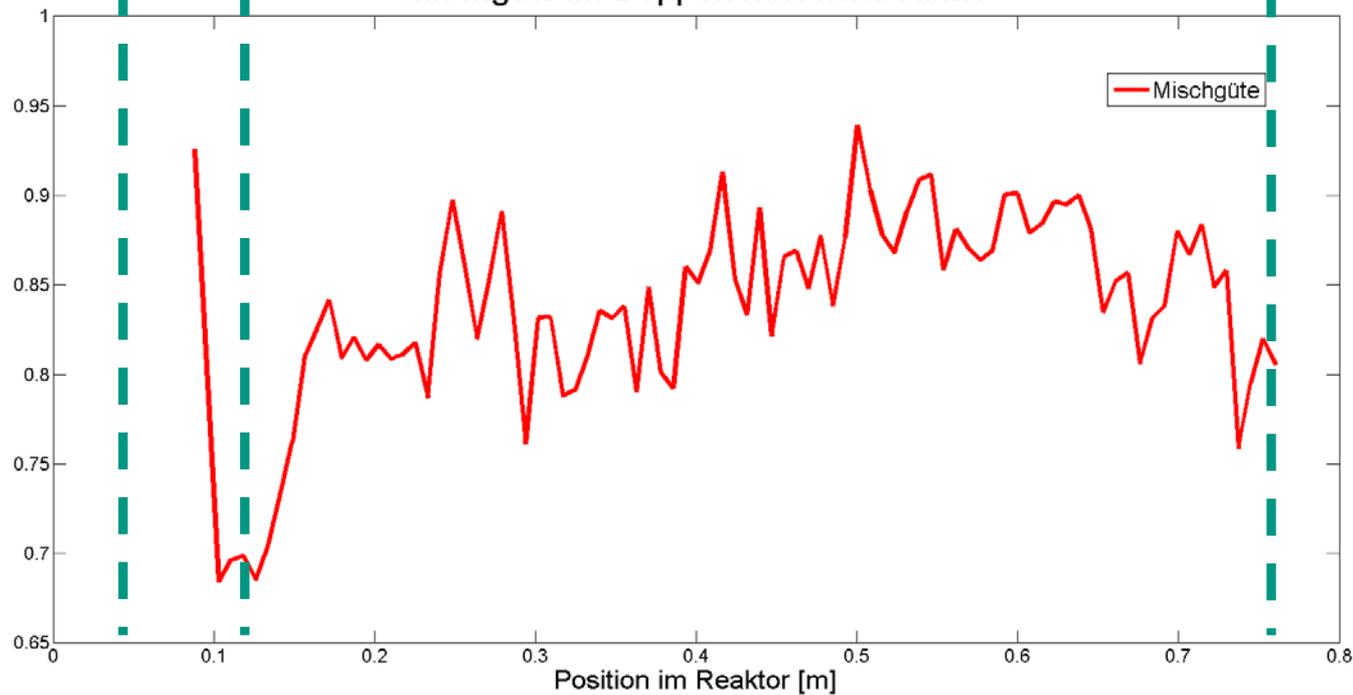


Mehr Informationen zur Modellierung gibt es am Poster!

Mischgüte im Doppelschneckenreaktor



Mischgüte im Doppelschneckenreaktor



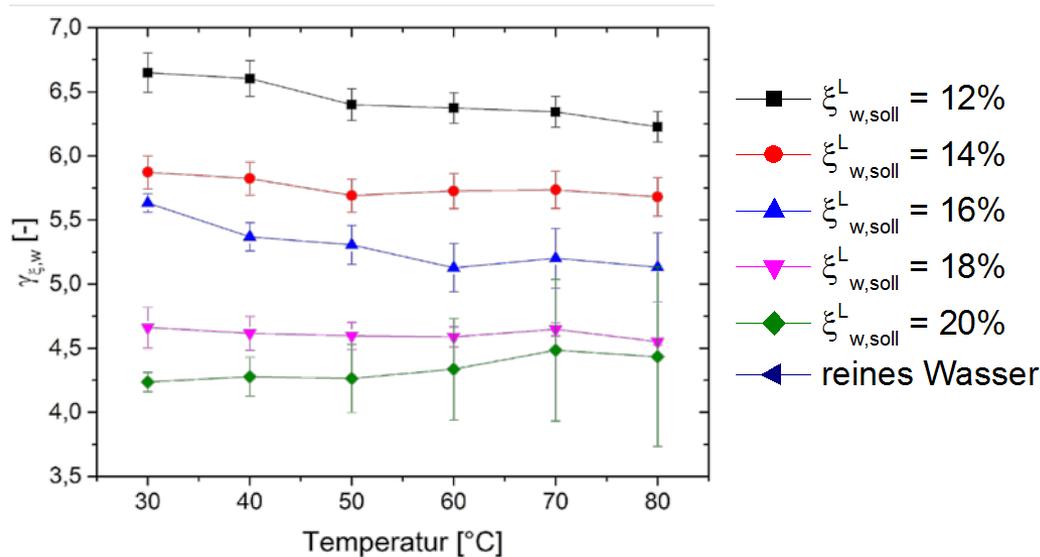
$$M = 1 - \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sigma^2_{max}}}$$

Gliederung

- Einführung / experimentelle Ausrüstung
- Reaktor
- Kondensation

Dampf-Flüssig-Gleichgewicht für Pyrolyseöl

- In der Literatur sind kaum experimentelle Werte vorhanden
- Thermodynamisch interessante Größe ist der massenbezogene Aktivitätskoeffizient von Wasser $\gamma_{\xi,W}$ in Pyrolyseöl



- Erfolgreiche Messung mittels FTIR-Spektroskopie
- Aktivitätskoeffizienten sind stark erhöht

Massenbezogener Aktivitätskoeffizient von Wasser in Pyrolyseöl bei verschiedenen Temperaturen und Wassergehalten



Mehr Informationen zur experimentellen Vorgehensweise gibt es am Poster!

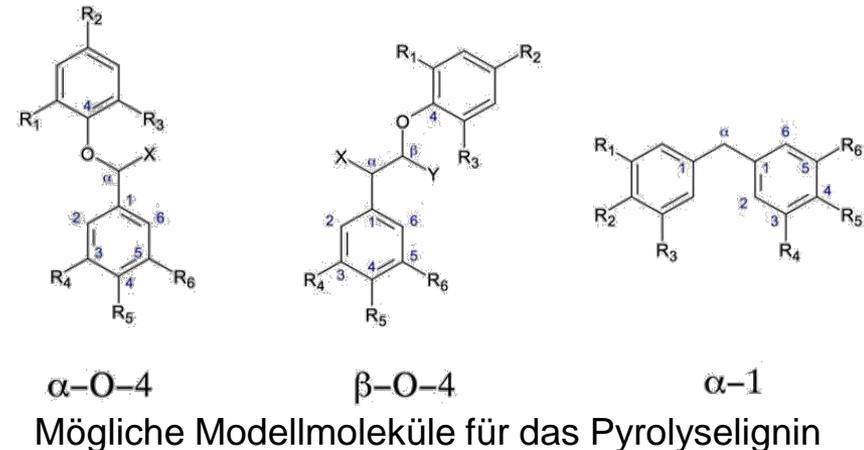
Modellierung von Pyrolyselignin

- Wie kann eine Modellmischung für Pyrolyseöl aussehen?
 - 50 bis 60% sind schwer identifizierbare Pyrolyselignine!

Ansatz:

„Thermodynamische Strukturaufklärung“

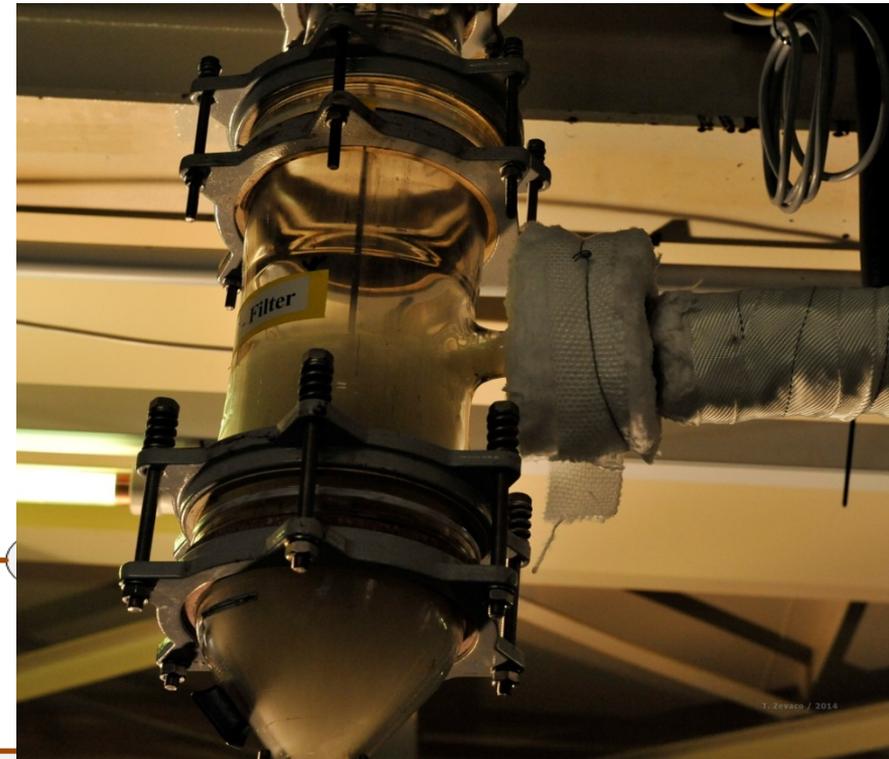
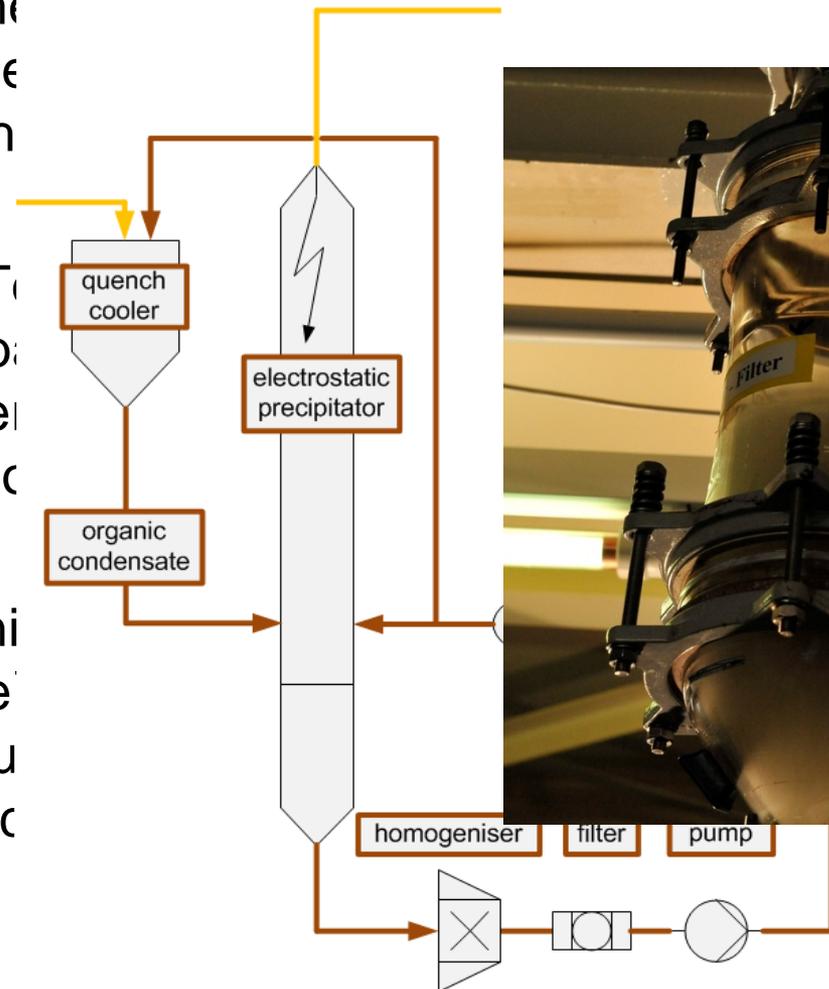
Anpassung der Modellmischung
an experimentelle Daten



- Anpassung mit 195 Modellmolekülen und mod. Unifac
 - Biphenyl, di-OH ist rein thermodynamisch am besten geeignet
- Bisher keine Berücksichtigung der chemischen Eigenschaften
 - Mehr experimentelle Werte und Validierung der Berechnungsmodelle nötig

Bypass in der Technikumsanlage

- Indirekter Wärme
 → Keine Vorlage
 → Pyrolyseöl ohne
- Variierung der Temperatur
 flexibel umsetzbar
 → Charakterisierung
 Produktfraktion
- Bessere Kenntnisse
 ‚frisches‘ Schwere
 → Gezielte Auswertung
 Quenche und Schwere



Zusammenfassung

- Python → bioliq entspricht Scale Up 1:50
 - Ähnlichkeiten von dimensionslosen Kennzahlen nicht vollständig gegeben

 - Weitere Untersuchungen erforderlich um Relevanz / Einfluss der Änderungen zu beschreiben
 - Experimentell
 - Theoretisch

- ‚Klassische‘ Simulationen beschränkt wegen Feedstock
 - Beschreibung grundsätzlicher Phänomene
 - ‚Betriebsfenster‘ besser definieren
 - ggf Optimierung Reaktordesign

 - Stoffdaten für Kondensation werden erarbeitet
 - Bessere Beschreibung Kondensation

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Und an:

Andreas Niebel, Daniel Richter, Norbert Sickinger

**Melanie Franke, Pia Griesheimer, Jessica Heinrich, Petra Janke, Jessica
Maier**

**Syed Shaheer Uddin Ahmed, Betina Angioletti, Frederico Fonseca, Ya Gao,
Laurice Siakam, Friedemann Timm**

Dr.-Ing. Axel Funke

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

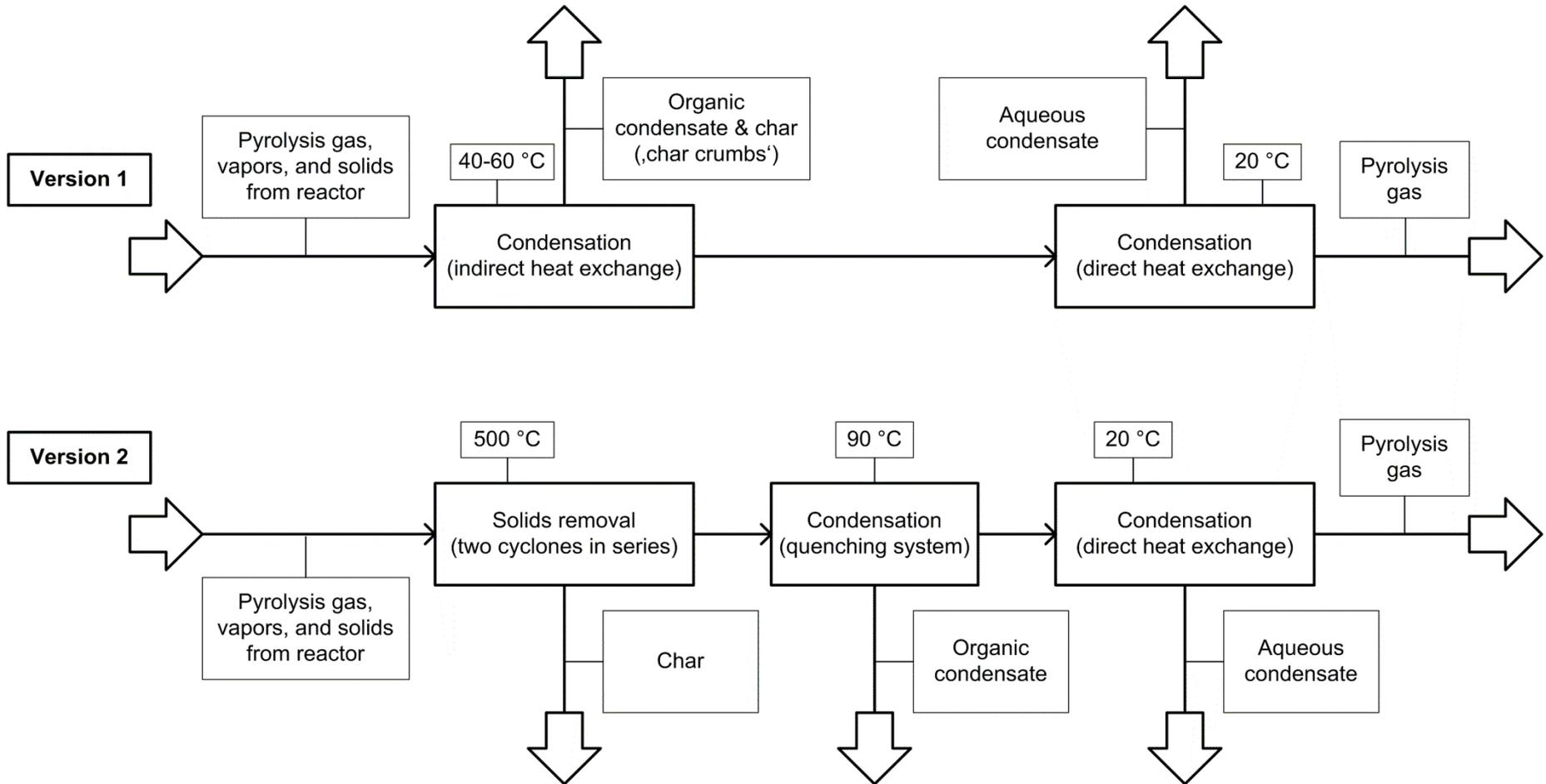
Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT)

Telefon: +49 721 608-**22391**

Email: axel.funke@kit.edu

Web: <http://www.kit.edu/>

Umbau Technikumsanlage



Ergebnisse Umbau

