

Energieeffiziente verfahrenstechnische Prozesse

P. Pfeifer

Institut für Mikroverfahrenstechnik, Gruppe Gas- und Mehrphasenkatalyse

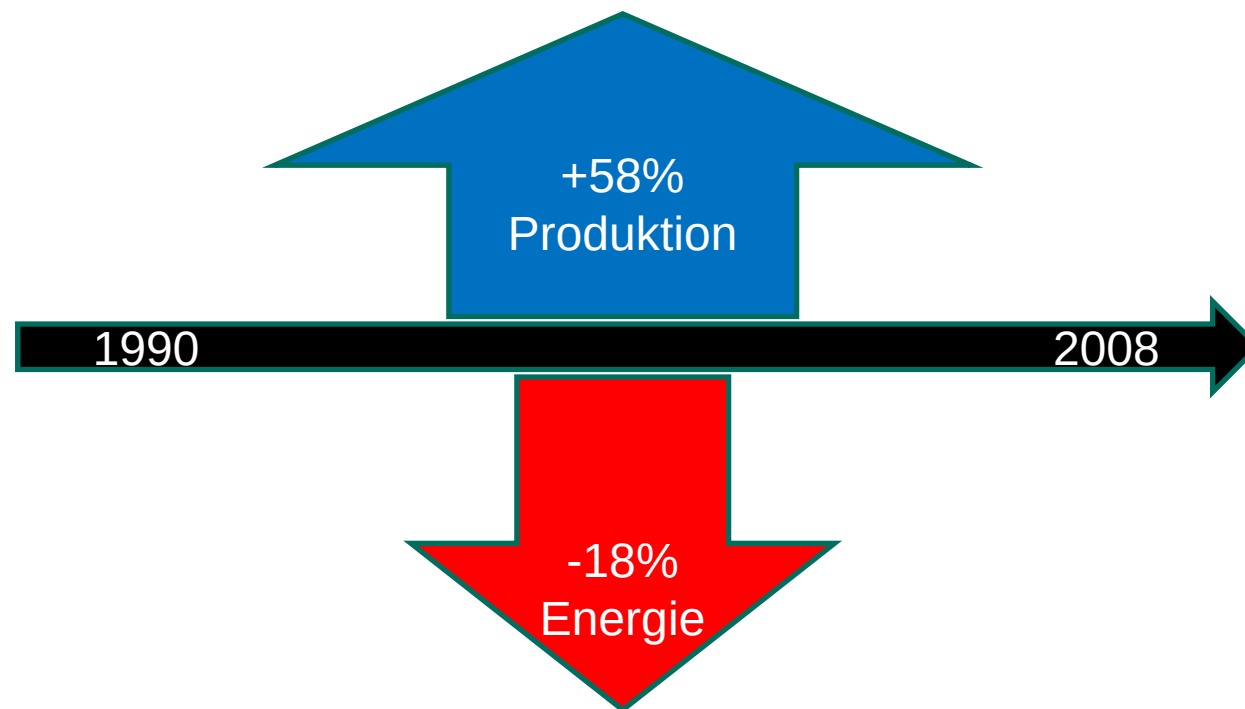


Inhalt

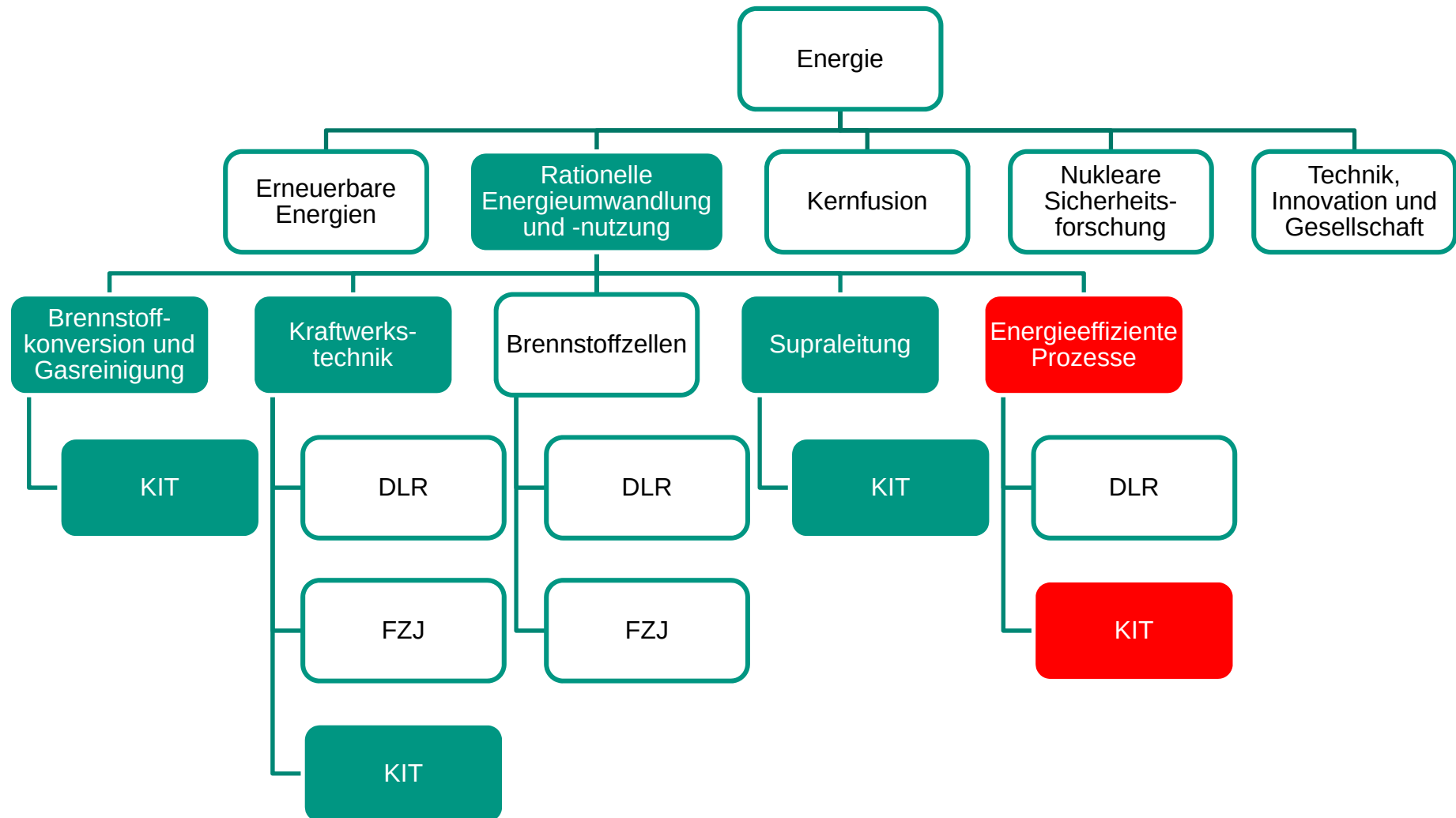
- Energieeinsparung in der Chemischen Industrie / Relevanz
- Programmforschung Energieeffiziente Prozesse in der Helmholtz-Gemeinschaft
 - Mikrowellenprozesse
 - Alternative Zementherstellung (Celitement®)
 - **Mikroverfahrenstechnik**
- Energieallianz „Energieeffiziente chemische Mehrphasenprozesse“

Energieeinsparung in der Chem. Industrie

- 8% des Energieverbrauch durch Chem. Industrie in Industrieländern
- Anteil von 5% durch Energiekosten an der Bruttowertschöpfung
- 55 Mio. MWh = 3.7 Mrd. Euro Stromkosten in 2010

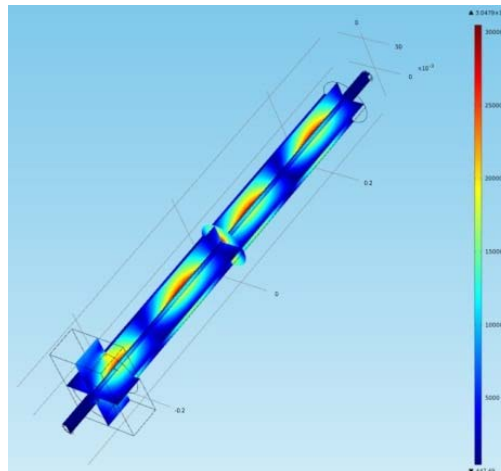


Helmholtz Programmforschung (→Effizienz)



Programmforschung: Mikrowellenprozesse

- 75 % Energieeinsparung bei Formteilherstellung
- **CO₂RRECT** BMBF-Verbundvorhaben: Verwertung von CO₂ als Kohlenstoff-Baustein (10/2010 bis 9/2013)
 - RWGS: $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$
 - Dry Reforming: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 = 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$



Laborreaktor und Simulation des Feldes für mikrowellenbeheiztes katalytischen Reverse Water Gas Shift

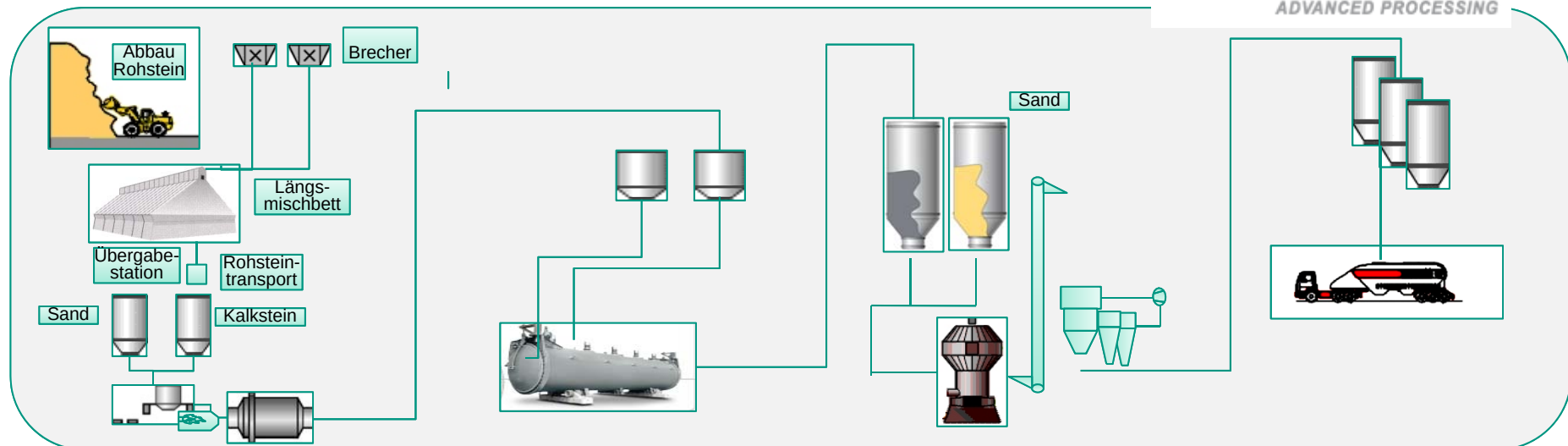


Bild einer 1 m³ Mikrowellenkammer zum Aushärten von Faserverbundwerkstoffen

Programmforschung: Zementherstellung

- Anteil am BSP: ca. 9% (2007)
- Anteil am Ressourceneinsatz: ca. 40%
- Mindestens 5% der weltweiten Emissionen von Treibhausgasen stammen aus der Herstellung von Zement
- EU: 40% der Primärenergie wird in der Thermostatisierung von Gebäuden verbraucht

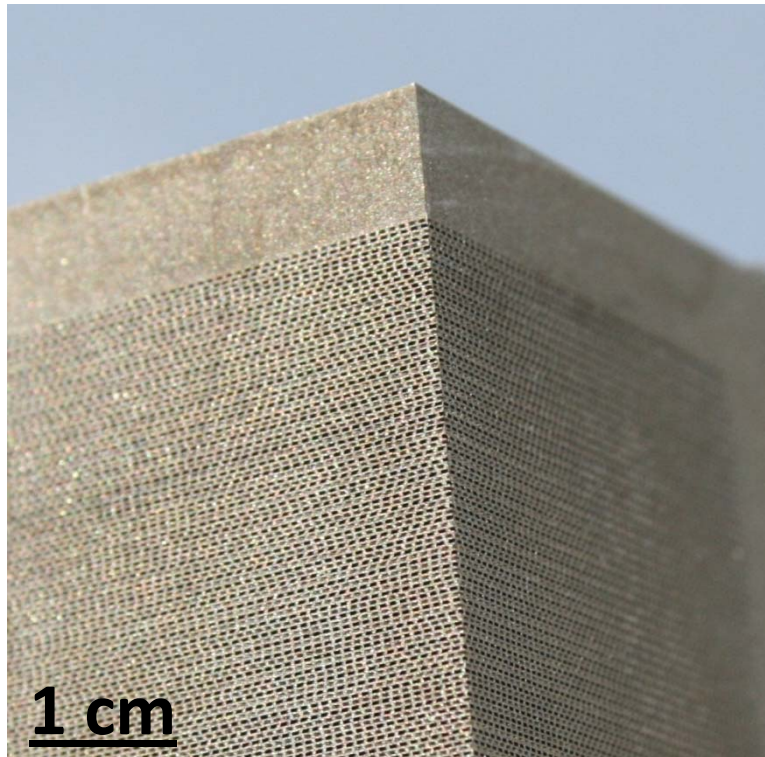
ce^{lite}ment
ADVANCED PROCESSING



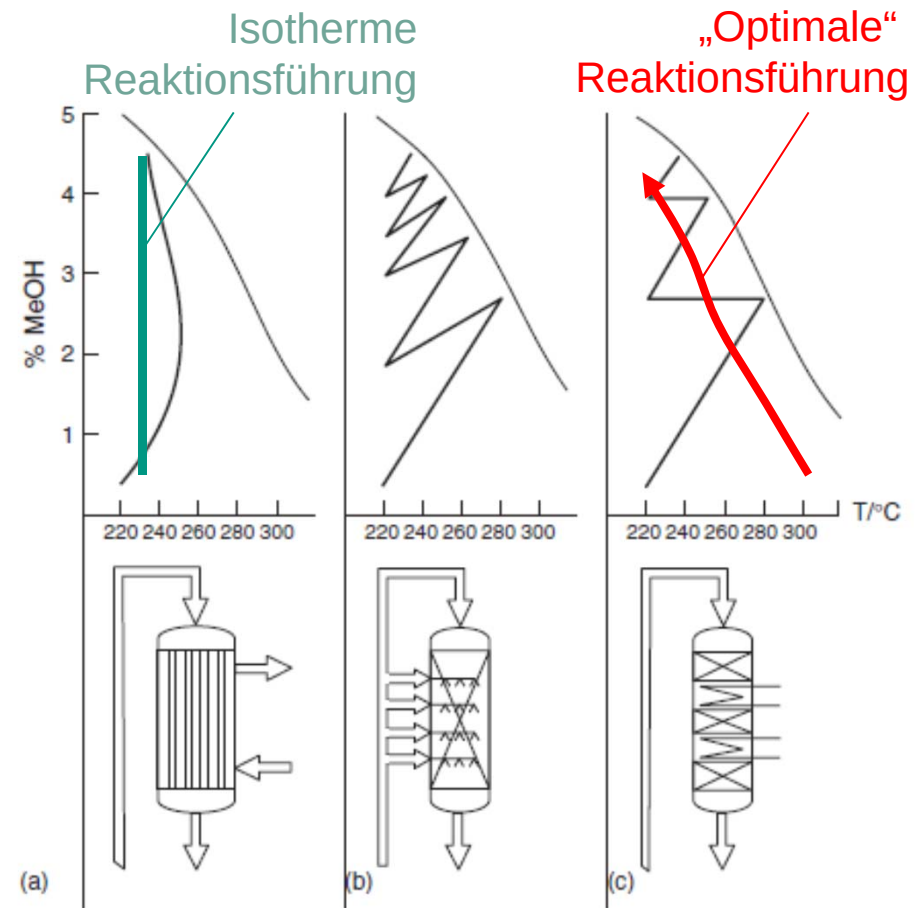
Prozessdarstellung des Celitement-Prozesses (Hydrothermale Umwandlung der Einsatzstoffe)

Programmforschung: Mikroverfahrenstechnik

- Energieeinsparpotentiale durch verbesserten Stoff- und Wärmetransport durch Strukturierung des Reaktionsraumes



Schnitt durch einen mikrostrukturierten Reaktor



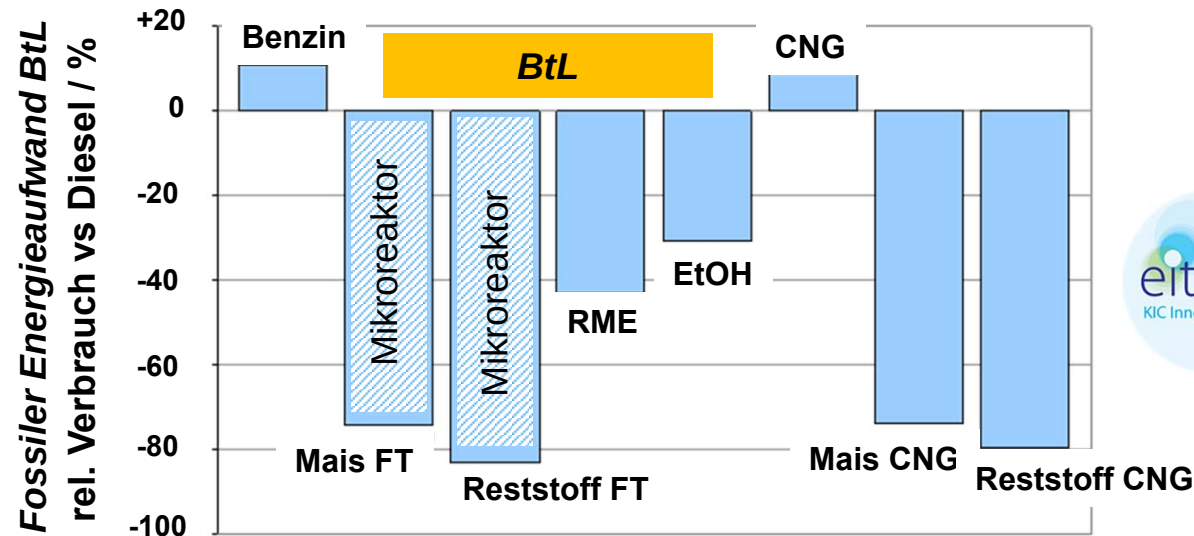
Hansen, J.B. and P.E. Højlund Nielsen, Methanol Synthesis, in Handbook of Heterogeneous Catalysis. 2008: Wiley-VCH

Programmforschung: Mikroverfahrenstechnik

■ Beispiel: Energieeinsparpotentiale in BtL und off-shore GTL

Zielprodukte:

- Methanol
- DME
- FT-Diesel



SynCon

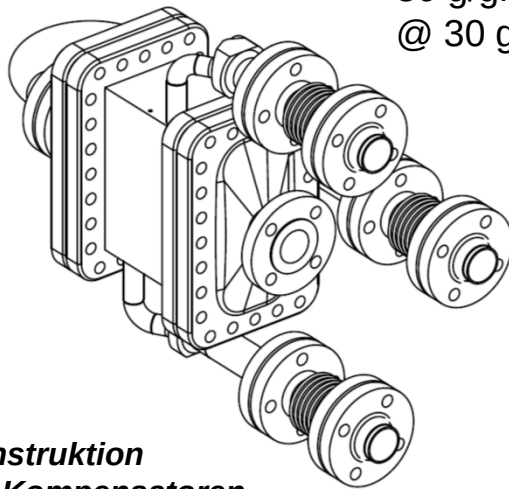


Off-shore GTL	0,04 m ³ (Gas)/l(Öl)	0,004 m ³ (Gas)/l(Öl)
H _u des Erdöls eingerechnet		
Energieersparnis	2 %	0.2 %
CO ₂ Einsparung	40 %	10 %
Auf Basis CH ₄ -Verlust		
Energieersparnis	15 %	2 %
CO ₂ Einsparung	40 %	10 %

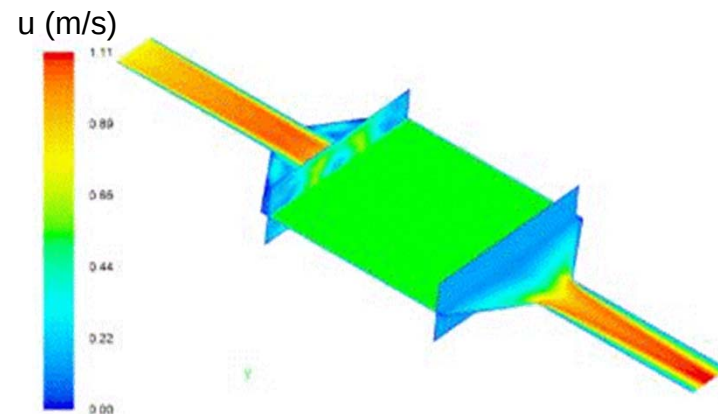
Programmforschung: Mikroverfahrenstechnik

■ Beispiel: WGS (5 m³/h)

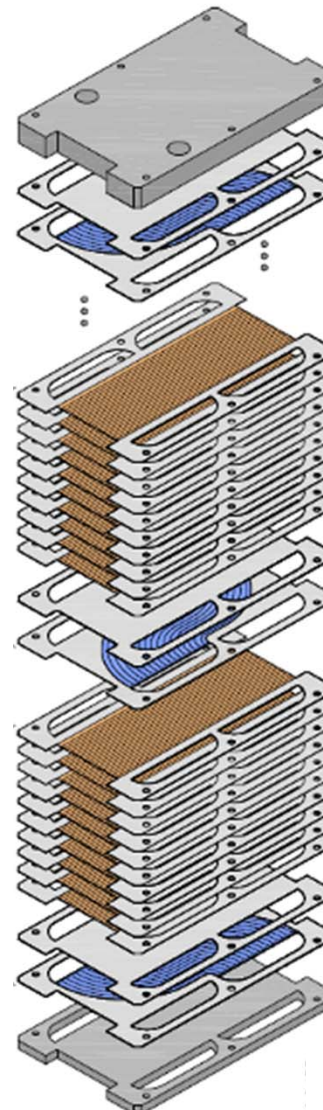
80 g/gh
@ 30 g Pt/CeO₂



**Konstruktion
mit Kompensatoren**



Verteilungsrechnung für Reaktionspassage



Stapelfolge



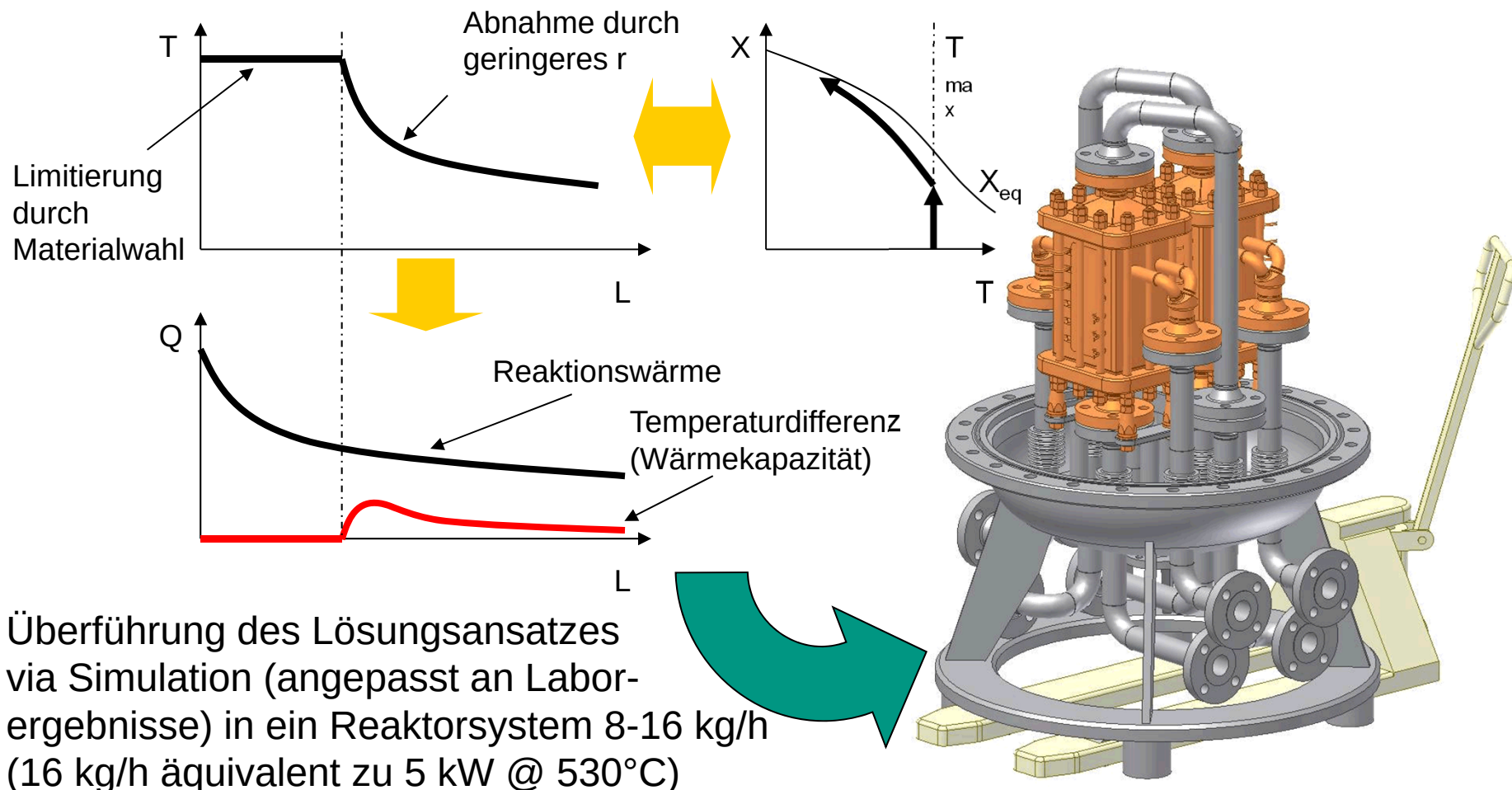
Foliendesign mit Kanälen 300 x 150 μm²



Fertiger Apparat (unbeschichtet)

Programmforschung: Mikroverfahrenstechnik

- Problemstellung: optimaler Temperaturprofile bei exothermen Gleichgewichtsreaktionen wie z.B. Oxidation von SO_2 zu SO_3



HGF-Energieallianz Mehrphasenprozesse



Karlsruher Institut für Technologie

IKET: Deutschmann/Wetzel

IMVT: Pfeifer/Rinke

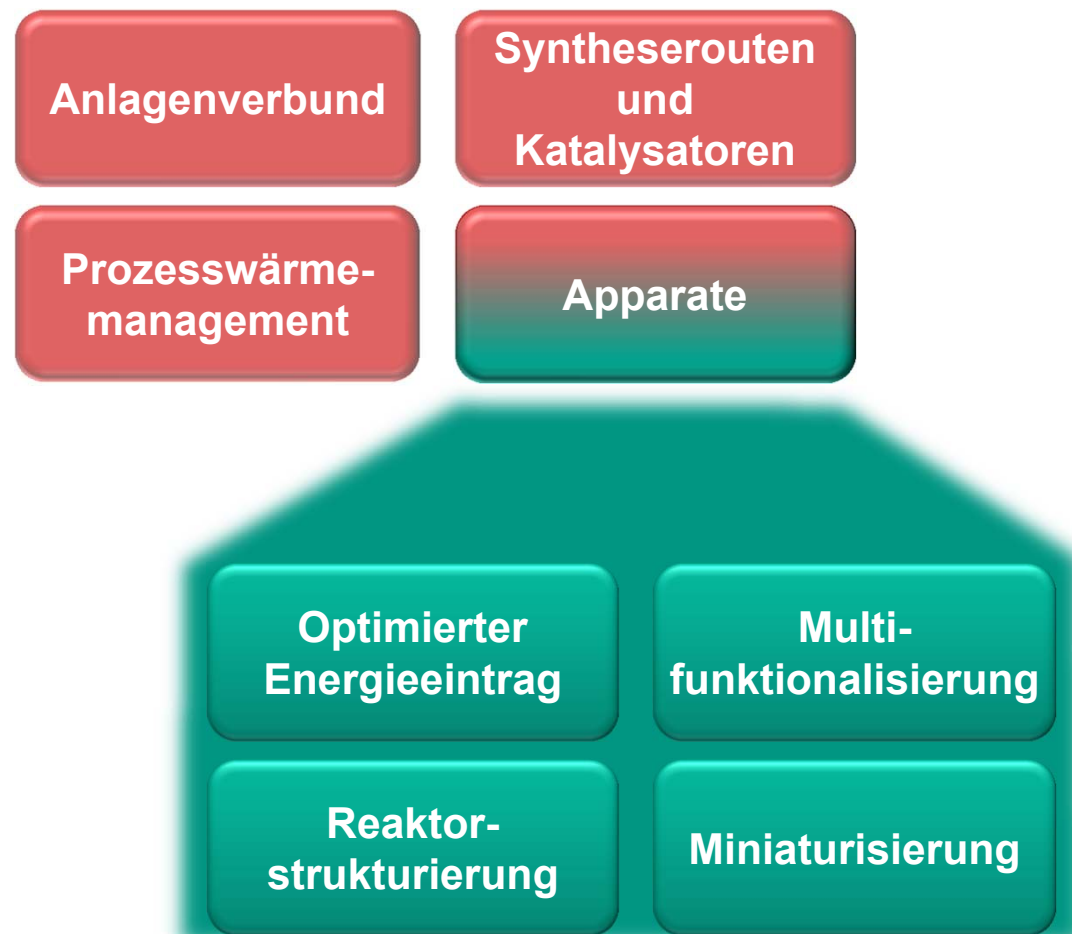
ITAS: Patyk



Beirat: Evonik, BASF, Bayer BTS, TURKU/Finnland

HGF-Energieallianz Mehrphasenprozesse

Einsparmöglichkeiten auf Prozess- und Apparateebene:



Andere Verbundprojekte:

- *Multiphase (BMBF)*
- *F³Factory (FP7) → IMVT*
- *CoPIRIDE (FP7)*
- *CP Blasensäulen (ProcessNet)*
- *Solid Sponges (DFG FOR)*
→ TVT, CVT, ...
- *inPROMT (DFG SFB 63)*
- *M2dcR2 (Uni Gent, BE)*
- *InnovA² (BMBF)*
- ...

HGF-Energieallianz Mehrphasenprozesse

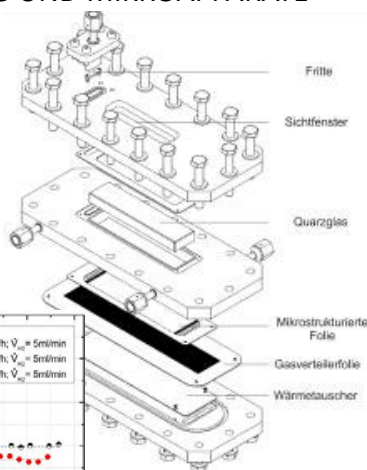
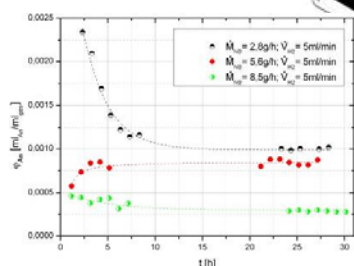
KIT-Beitrag

SYSTEMANALYSE: Benchmarkstudien, Vergleiche mit Alternativen (Identifikation optimaler Anwendungsfelder), Bestimmung optimaler Anlagen(verbund)konfigurationen und Betriebsweisen

REAKTIONSFÜHRUNG UND MIKROAPPARATE

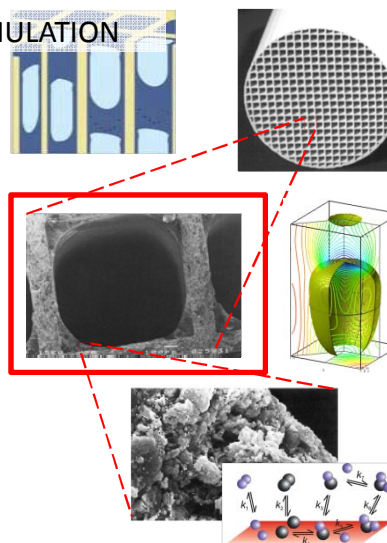
Strukturierter Mikroreaktor für die Anilin-Synthese

Messergebnisse bei 1 bar



- Untersuchung von Betriebs- und Reaktorstrukturen für die Optimierung von Stoff- und Wärmetransport
- Entwicklung eines modular aufgebauten, mikrostrukturierten Reaktors für T bis 300°C und Nutzung von Hochdruckwasserdampf bis 50 bar
- Optimierung der Gleichverteilung der Stoffströme

SIMULATION



- Modellerstellung aus CT- bzw. NMR-Experimenten für Schaumstrukturen
- Einzelkanalsimulation einer Monolith-Struktur (Kopplung TURBIT-VOF und DETCHEM)
- Teilgebiet einer festen Schaumstruktur (Erweiterung von OpenFOAM um die Phasenfeldmethode)
- Stofftransport und Wärmeübergang Fluid / Feststoff in Schwämmen

IN-SITU MESSTECHNIK



- Messung von Ramanspektren im Mikroreaktorkanal (Taylorströmung)
- Konzentrationsbestimmung der Flüssigphase von Isobutan, tert-butyl-Hydroperoxid, tert-butyl-Alkohol in Einzelkanal; Ortsauflösung $\sim 7 \mu\text{m}$

Zusammenfassung

- Chemische Industrie ist ein interessantes Betätigungsfeld im Bereich Energieeffiziente Prozesstechnik
- Verschiedene Ansätze alternativer Verfahrenswege werden durch die HGF-Programme unterstützt
- Vernetzung zwischen verschiedenen Forschungspartnern ist wichtig für den Erfolg!

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Poster:

- Böltken et al.
- Kreuder et al.
- Lee et al. (Posterpreis)
- Ding et al.

P. Pfeifer

Application of Catalysts to Metal Microreactors
in "Chemical Kinetics", ISBN 979-953-307-320-9
InTech, **open access**

