

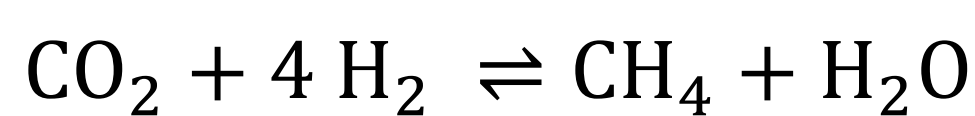
Dynamische Herstellung von synthetischem Erdgas aus CO₂

Bjarne Kreitz, Jan Martin, Steffen Fleischlen, Jörn Brauns, Gregor Wehinger, Thomas Turek

TU Clausthal, Institut für Chemische und Elektrochemische Verfahrenstechnik, Leibnizstr. 17, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Motivation

Power-to-Gas (P2G) ist eine vielversprechende Energiespeichertechnologie, die eine große Speicherzeit und Kapazität ermöglicht [1]. P2G kombiniert die flexible Elektrolyse mit der anschließenden Methanisierung von CO₂, um synthetisches Erdgas zu produzieren:



$$\Delta_R H^\ominus = -164.74 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Die Methanisierung von CO₂ ist an Nickel-Katalysatoren in Festbettreaktoren im technischen Maßstab bereits erfolgreich realisiert worden. Allerdings ist über das Verhalten der Reaktoren sowie der Prozessen am Katalysator bei einer dynamischen Betriebsführung wenig bekannt.

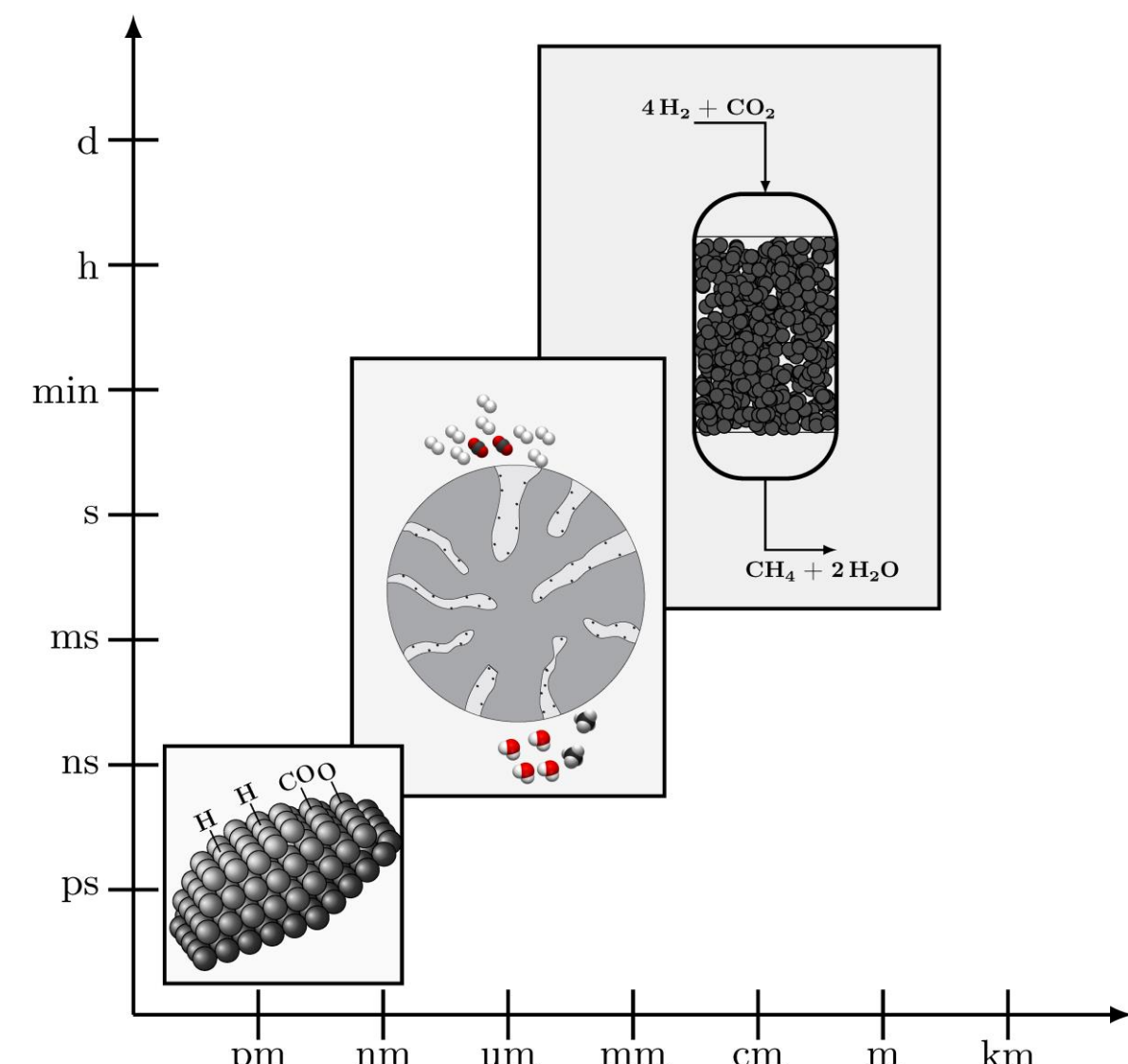


Abb. 1: Die dynamische Methanisierung von CO₂ wird auf verschiedenen Zeit- und Längenskalen untersucht.

Die Ziele dieser Studie sind:

- Theoretische Untersuchung des dynamischen Reaktorverhaltens
- Experimentelle Untersuchung der transienten Methanisierung an Nickel-Katalysatoren

Methoden

Die dynamische Methanisierung von CO₂ wird mit theoretischen und experimentellen Methoden der chemischen Reaktionstechnik untersucht. Die theoretische Betrachtung der Methanisierung erfolgt durch detaillierte Modellierung von Reaktoren bei stationärer und dynamischer (fluktuierend, periodisch) Betriebsführung (siehe Abb. 2).

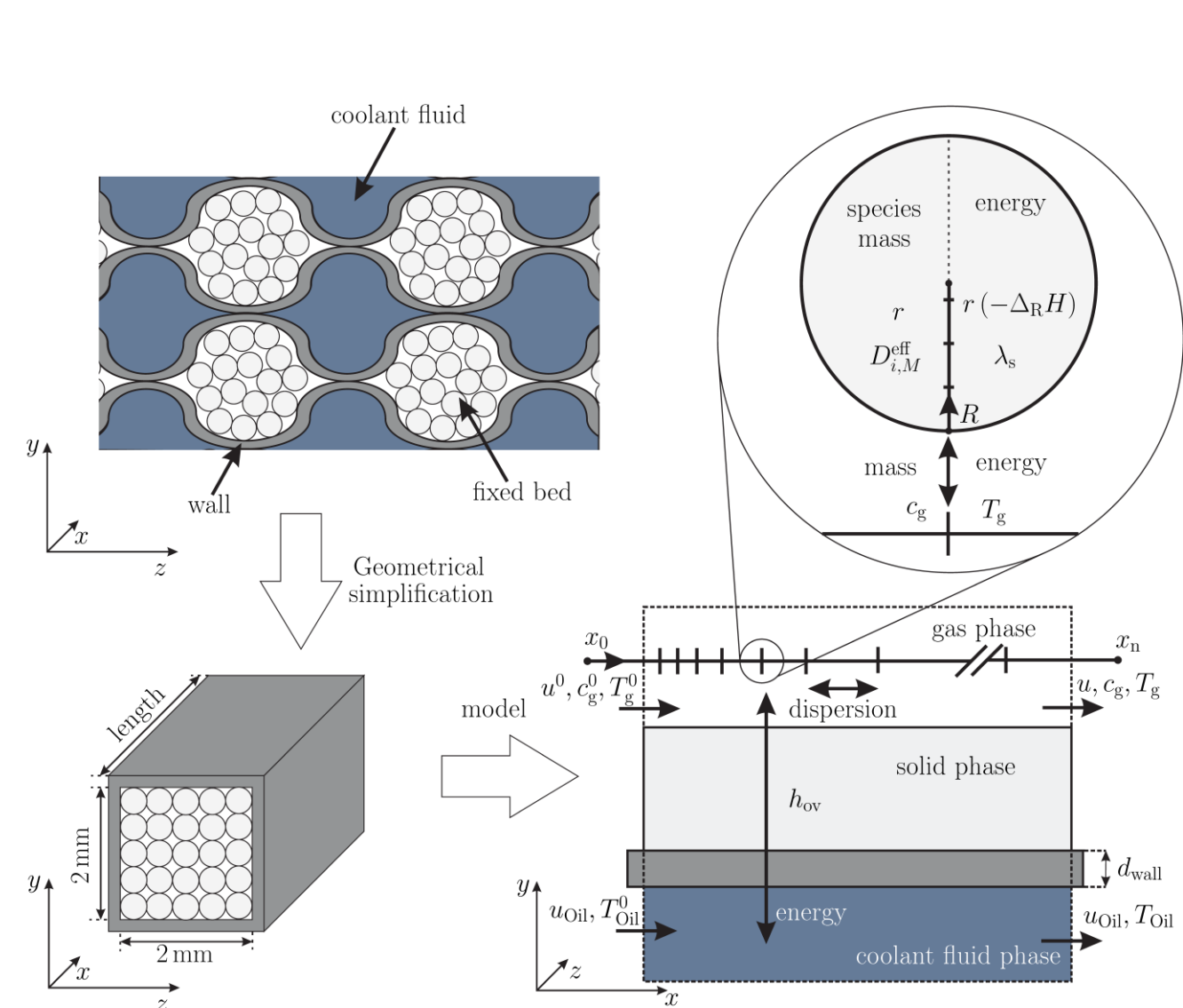


Abb. 2: Modellvorstellung zur Simulationsstudie eines mikrostrukturierten Festbettreaktors bei der periodischen CO₂-Methanisierung [2].

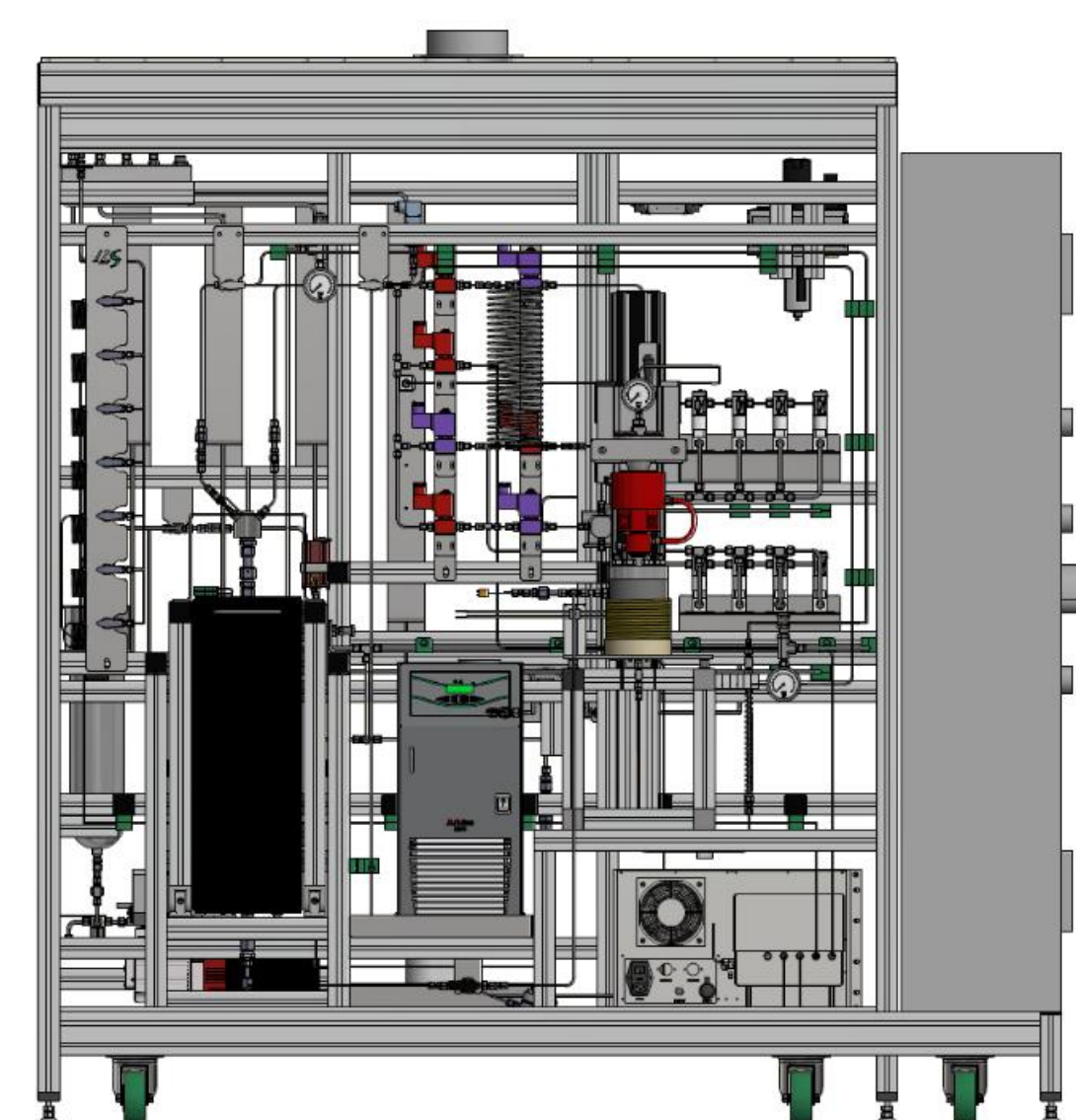


Abb. 3: Technische Zeichnung der Methanisierungsanlage.

Die experimentelle Untersuchung der transienten CO₂-Methanisierung erfolgt in einer Versuchsanlage mit dem Ziel der Messung der Reaktionskinetik (siehe Abb. 3). Hierfür steht folgende Ausstattung zur Verfügung:

- Ideal rückvermischter Berty-Reaktor, Festbettreaktor
- Dynamik durch Konzentrationsmodulation (Puls-/Sprungbefragung)
- Online Analyse mit einem Massenspektrometer

Kontakt

Bjarne Kreitz, M.Sc.
Institut für Chemische und Elektrochemische Verfahrenstechnik
Technische Universität Clausthal
Leibnizstr. 17, Gebäude C16
38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: +49 5323 72-2473
E-Mail: kreitz@icvt.tu-clausthal.de



Ergebnisse der Reaktorsimulation

Die Simulation des in Abb. 2 gezeigten Modells zeigt ein komplexes dynamisches Verhalten bei einer periodischen Variation der Zusammensetzung am Reaktoreingang.

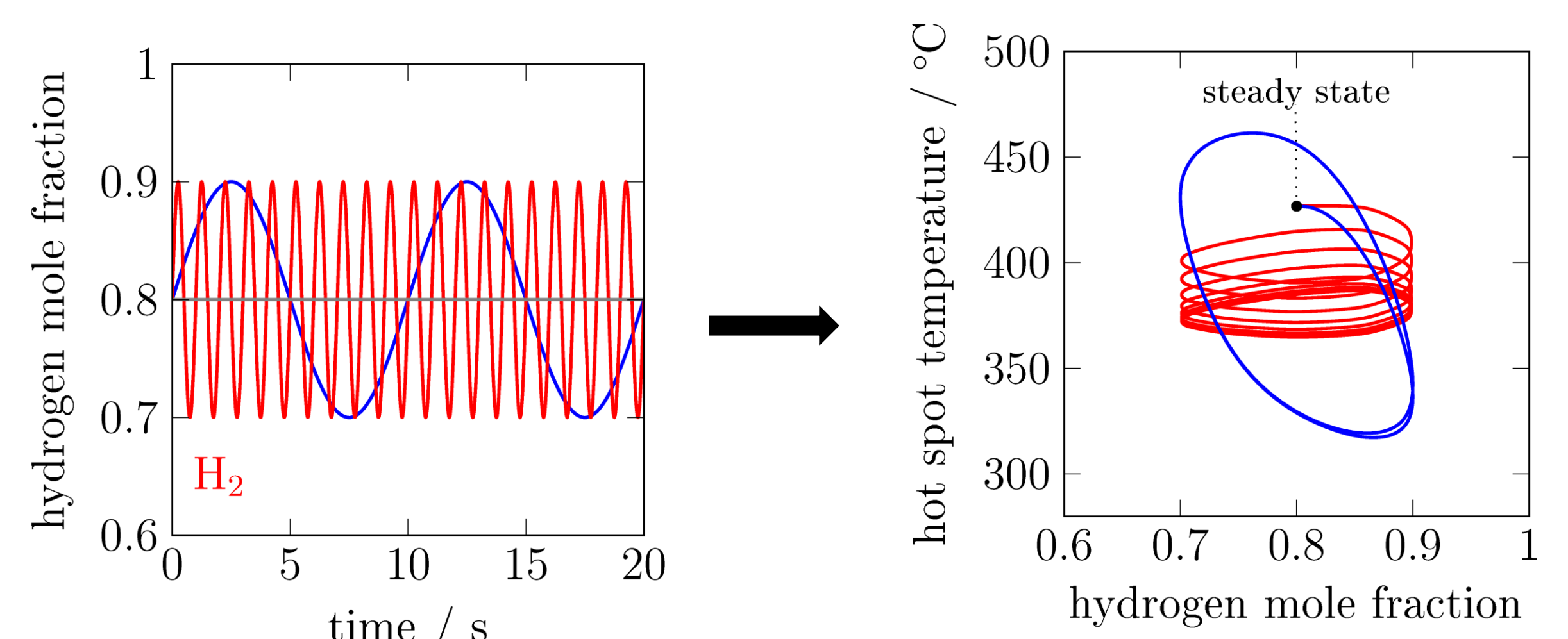


Abb. 3: Maximale Temperatur am Hot-Spot (rechts) eines mikrostrukturierten Methanisierungsreaktors bei einer periodischen Variation der Eingangszusammensetzung (links) mit verschiedenen Frequenzen. Bedingungen: $T_{in} = 280 \text{ }^\circ\text{C}$, $d = 2 \text{ mm}$, $d_{Kat} = 400 \text{ }\mu\text{m}$, $p = 8 \text{ bar}$, $GHSV = 3143 \text{ hr}^{-1}$ [2].

Die Verknüpfung dieses Modells mit einem Modell eines alkalischen Wasserelektrolyseurs [3] kann dazu genutzt werden, das Verhalten des Reaktors bei der Aufgabe von realen Stromprofilen für P2G-Anlagen zu untersuchen (siehe Abb. 4).

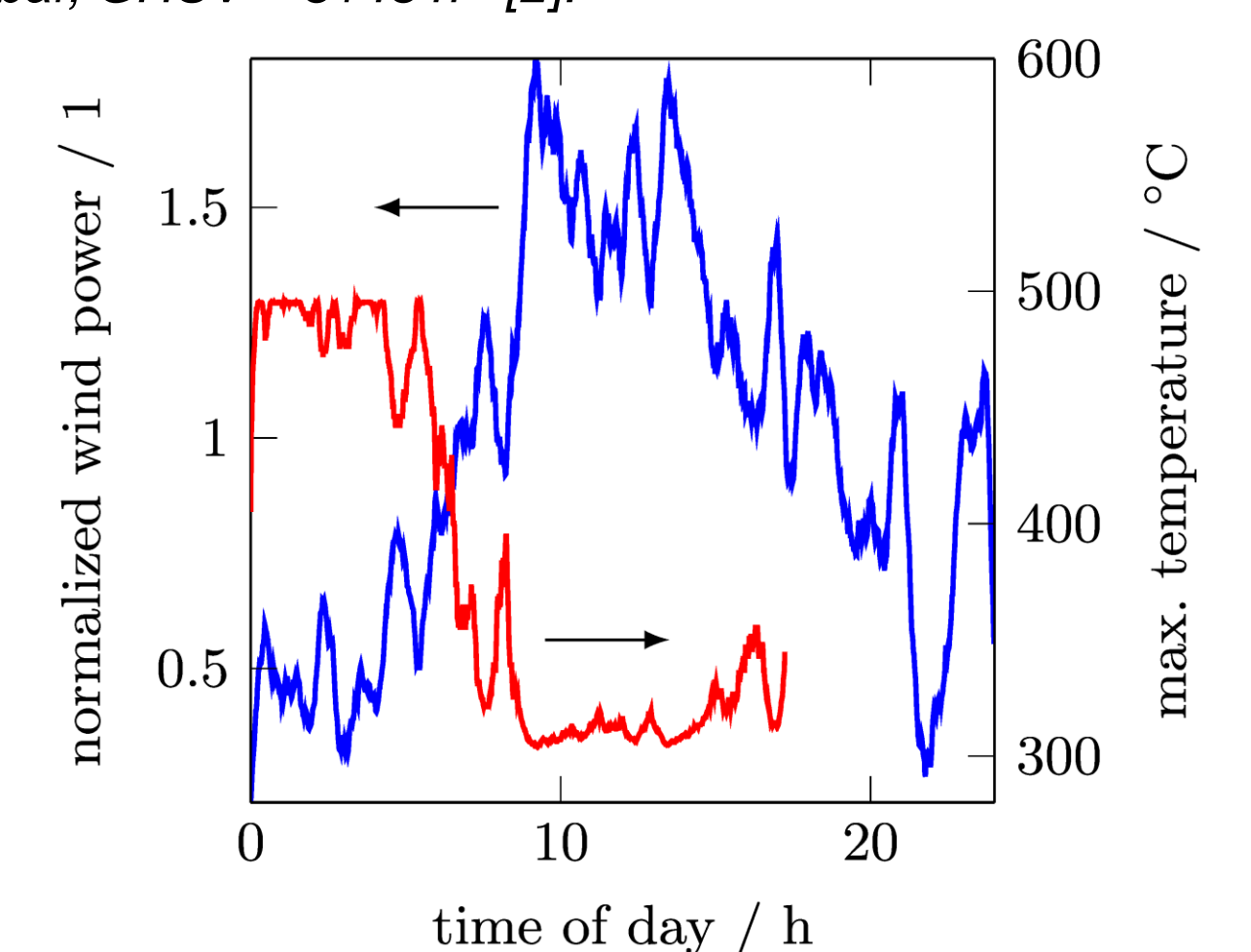


Abb. 4: Maximale Temperatur (rot) des simulierten Reaktors bei einer stark fluktuierenden Wasserstoffversorgung (blau).

Experimentelle Untersuchung

Mit dem Massenspektrometer kann der zeitliche Verlauf der Ausgangszusammensetzung mit einer hohen Auflösung gemessen werden (siehe Abb. 5). In dem Festbettreaktor konnten erste Untersuchungen zu:

- der Reaktionsgeschwindigkeit im stationären und dynamischen Betrieb und
- dem Mechanismus der Reaktion durchgeführt werden.

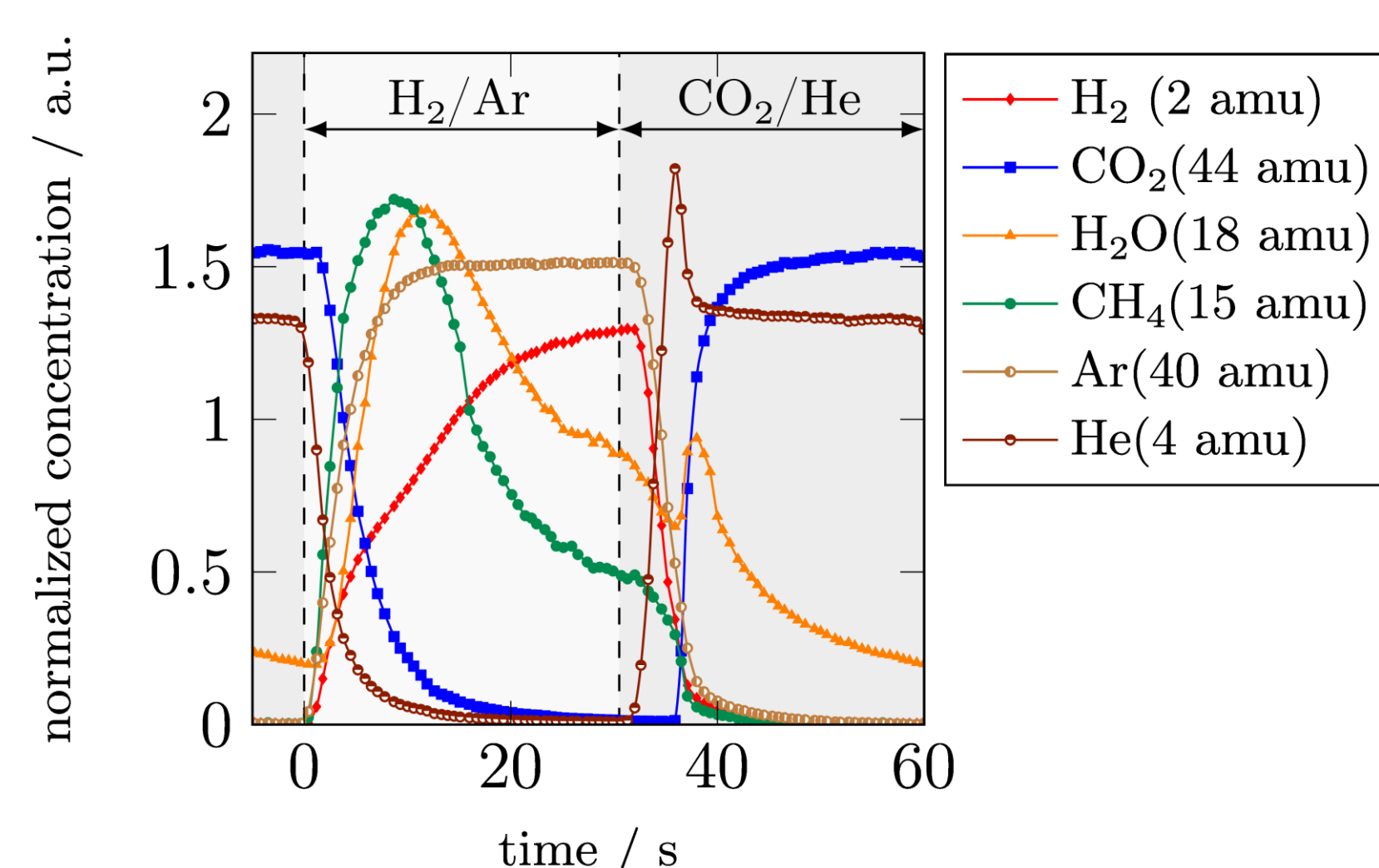


Abb. 5: Normalisierte Konzentrationsprofile bei der transienten CO₂-Methanisierung an einem 10 Gew.-% Ni/Al₂O₃-Katalysator. Bedingungen: $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 2 \text{ bar}$, $m_{Kat} = 0.5 \text{ g}$, $V = 400 \text{ mL}_N \text{ min}^{-1}$ [4].

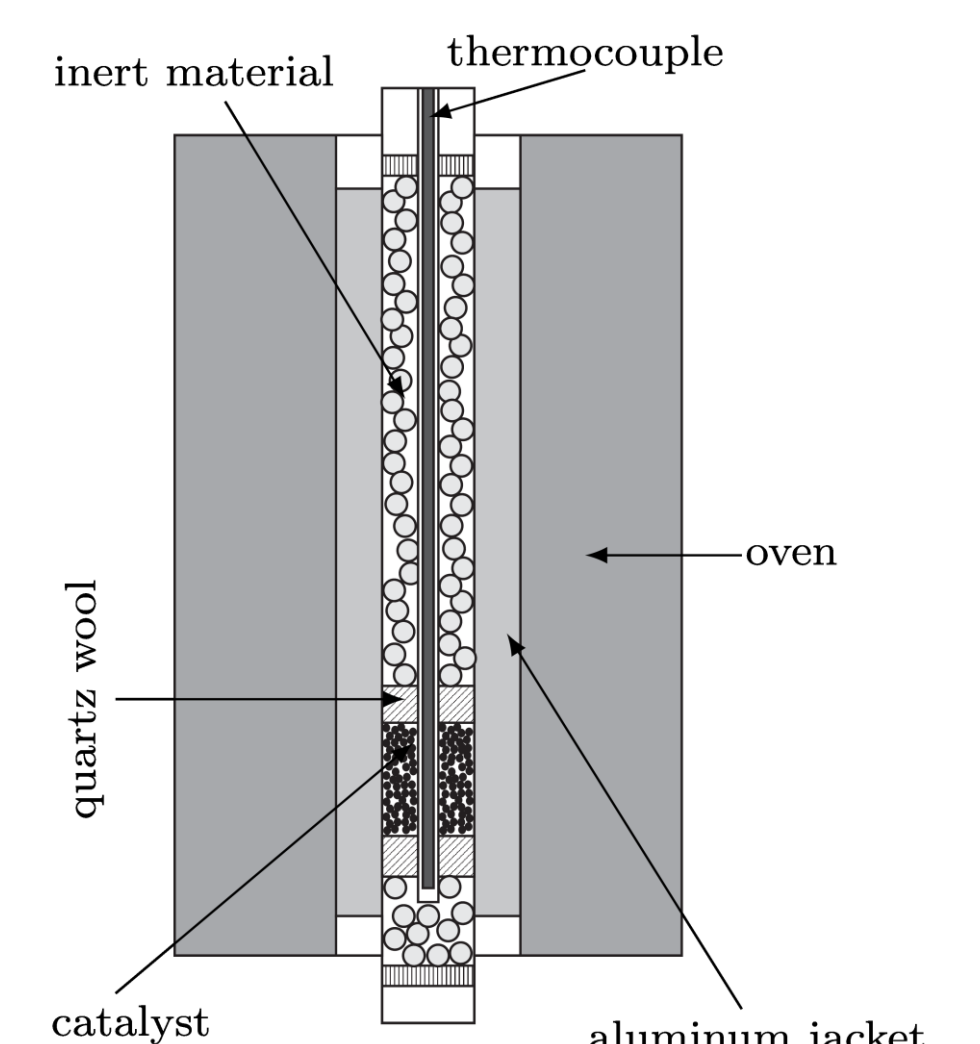


Abb. 6: Skizze des Festbettreaktors mit einer differentiellen Katalysatorschicht.

Ein fairer Vergleich der Reaktionsgeschwindigkeiten im stationären und transienten Betrieb zeigt, dass hochfrequente Konzentrationsmodulationen mit reinen Komponenten zu einer Annäherung an die stationäre Reaktionsgeschwindigkeit führen. Eine Verbesserung der mittleren Reaktionsgeschwindigkeit durch eine gezielte dynamische Betriebsführung konnte bisher nicht erreicht werden.

Danksagung

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert (Projekt Nummer 290019031).

Literatur

- [1] Gahleitner et al. *Int. J. Hydr. Energy*. **2013**, 38, 5, 2039-2061
- [2] B. Kreitz, G.D. Wehinger, T. Turek. *Chem. Eng. Sci.*, **2019**, 195, 541-552
- [3] P. Haug, B. Kreitz, M. Koj, T. Turek. *Int. J. Hydr. Energy*. **2017**, 42, 24, 15689-15707
- [4] B. Kreitz, J. Friedland, R. Güttel, G.D. Wehinger, T. Turek. submitted to *Chemie Ingenieur Technik*