

Mod2Scale

Modellgestützte Skalierung und Brennstoffflexibilisierung thermochemischer Reaktorsysteme auf Basis biogener Reststoffe

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertationen 2024, Industrienahe Dissertationen 2025	Status	laufend
Projektstart	01.12.2025	Projektende	30.11.2027
Zeitraum	2025 - 2027	Projektlaufzeit	24 Monate
Projektförderung	€ 102.501		
Keywords	Scale-up, CFD Simulation, Reaktornetzwerke, Datengetriebene Modellierung		

Projektbeschreibung

Die thermochemische Gaserzeugung auf Basis biogener Reststoffe stellt eine Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung industrieller Energiesysteme dar. Insbesondere Wirbelschicht- und Schwebebettreaktoren bieten Potenzial für den Einsatz in regional verteilten Anlagen im Leistungsbereich von 1 bis 50 MW. Allerdings bestehen erhebliche Herausforderungen hinsichtlich der verlässlichen Skalierung und Flexibilisierung dieser Technologien. Bisherige Entwicklungen konzentrieren sich häufig auf Einzelanlagen mit begrenzter Brennstoffvariation und nicht übertragbaren Betriebserfahrungen.

Ziel des vorliegenden Dissertationsprojekts ist die Entwicklung und Validierung physikalisch fundierter und datengetriebener Modelle zur skalierbaren und brennstoffflexiblen Auslegung thermochemischer Reaktorsysteme. Dabei stehen zwei Reaktortypen im Fokus: (1) Schwebebettvergaser, die von aktuell 1,5 MW auf 3-5 MW erweitert werden sollen, sowie (2) Zweibett-Wirbelschichtanlagen, die auf Basis der 1 MW-Pilotanlage in Wien-Simmering auf 10-50 MW skaliert werden sollen. Für beide Systeme sollen numerische Modelle auf Basis der Computational Fluid Dynamics (CFD) auf Basis von bestehenden Modellen der Literatur und eigenen Modellen weiterentwickelt werden, die durch experimentelle Daten validiert und durch datengetriebene Methoden (Machine Learning) sowie reduzierte Reaktormodelle (CFD2Net) ergänzt werden.

Das Projekt zielt auf die Entwicklung von skalierungsrelevanten Kenngrößen, wie Partikelverweilzeiten, Temperaturverteilungen, Teerbildungsraten oder Umsetzungsgrade. Je Reaktortyp werden ca. drei industriell relevante Brennstoffe betrachtet – holzartige Reststoffe (z. B. Wurzelholz) für den Schwebebettvergaser sowie komplexe biogene Abfälle (z. B. Reisschalen, Kunststoff-Biomasse-Gemische) für die Zweibettanlage. Die Modellierung erfolgt unter Rückgriff auf umfangreiche experimentelle Daten aus Industrieanlagen (Synkraft Anlagen, Wien-Simmering) sowie ergänzende Laborexperimente (Einzelpartikelreaktor, TGA). Die resultierenden CFD-Modelle werden mittels CFD2Net in 1D-Reaktornetzwerke überführt und in Prozesssimulationsplattformen (z. B. IPSEPro, DWSim) integriert.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der aktiven Einbindung der Dissertantin in laufende Betriebs- und Versuchskampagnen, um reale Prozessbedingungen zu erfassen, modellseitige Lücken zu identifizieren und Rückkopplungen zur Verbesserung der

Versuchsplanung zu ermöglichen.

Insgesamt leistet das Projekt einen Beitrag zur Digitalisierung und Skalierung CO₂-neutraler Energiesysteme. Es schafft die methodischen Grundlagen für eine modellgestützte, brennstoffadaptive und effizient planbare Auslegung thermochemischer Reaktoren und adressiert zentrale Herausforderungen der Energiewende im industriellen Maßstab.

Abstract

Thermochemical gas generation based on biogenic residues constitutes a key technology for decarbonizing industrial energy systems. In particular, fluidized-bed and moving-bed reactors offer the potential for deployment in regionally distributed plants in the 1–50 MW capacity range. However, there are substantial challenges regarding the reliable scaling and enhancement of operational flexibility of these technologies. To date, developments have often focused on individual plants with limited fuel variation and non-transferable operating experience.

The aim of this dissertation project is to develop and validate physics-based and data-driven models for the scalable, fuel-flexible design of thermochemical reactor systems. Two reactor types are in focus: (1) entrained-flow gasifiers to be scaled from the current 1.5 MW to 3–5 MW, and (2) dual fluidized-bed plants, to be scaled from the 1 MW pilot facility in Vienna–Simmering to 10–50 MW. For both systems, numerical models based on computational fluid dynamics (CFD) will be further developed from existing models in the literature and our own models, validated with experimental data, and augmented by data-driven methods (machine learning) as well as reduced reactor models (CFD2Net).

The project targets the development of scaling-relevant metrics such as particle residence times, temperature distributions, tar formation rates, and conversion. For each reactor type, approximately three industrially relevant fuels will be considered—wood-derived residues (e.g., root wood) for the entrained-flow gasifier, and complex biogenic wastes (e.g., rice husks, plastic-biomass blends) for the dual fluidized-bed system. The modeling leverages extensive experimental data from industrial plants (Synkraft facilities, Vienna–Simmering) alongside complementary laboratory experiments (single-particle reactor, TGA). The resulting CFD models will be transformed via CFD2Net into 1D reactor networks and integrated into process simulation platforms (e.g., IPSEpro, DWSIM).

Projektpartner

- BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH