

Vergabe einer Masterarbeit in den Fachgebieten Strömungstechnik (Prof. Widmann) und Luftreinhaltung (Prof. Nehr)

Thema der Masterarbeit:

CFD-Simulation von CO₂-Durchbruchskurven in einem Honeycomb-Adsorber für die gebäudeintegrierte Kohlenstoffdioxidabscheidung

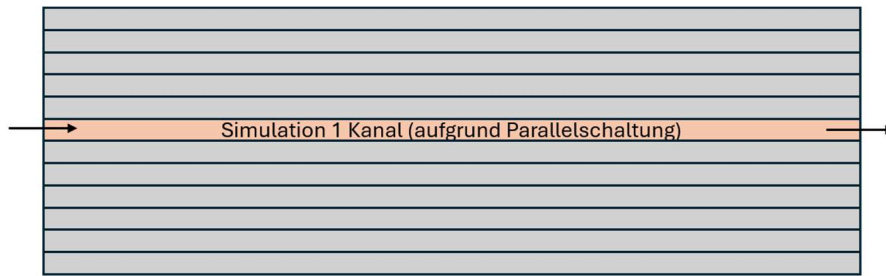
Hintergrund:

Die Kopplung von Gebäudelüftungssystemen (Heating, Ventilation & Air Conditioning, HVAC) mit der Direct-Air-Capture-Technologie (DAC) wurde in einer Konzeptstudie (Baus & Nehr, *Building and Environment*, 2022) als vielversprechender Ansatz identifiziert, um gleichzeitig Energie in der Gebäudetechnik einzusparen und CO₂ aus der Abluft von Gebäuden abzuscheiden.

Für den technischen Einsatz in raumluftechnischen Anlagen sind große Volumenströme bei geringen CO₂-Konzentrationen zu behandeln. Schüttungen verursachen dabei hohe Druckverluste und damit einen erheblichen Ventilatorenergiebedarf. Strukturierte Adsorber in Wabenbauweise (Honeycomb-Adsorber) bieten hier aufgrund ihres geringen Druckverlusts, ihrer großen spezifischen Oberfläche und ihrer definierten Strömungsführung eine aussichtsreiche Alternative. Für die Auslegung solcher Adsorber ist die Kenntnis des zeitabhängigen Durchbruchverhaltens entscheidend, das durch das Zusammenspiel von Strömung, Stofftransport (konvektiver Transport, Diffusion in die Adsorberwand) und Adsorptionskinetik bestimmt wird. Die bisherigen Arbeiten der Arbeitsgruppe beruhen auf stationären Massenbilanzmodellen und experimentellen Materialcharakterisierungen. Eine örtlich und zeitlich aufgelöste Beschreibung der Vorgänge im Adsorber mittels numerischer Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics, CFD) liegt bislang nicht vor. Ein validiertes CFD-Modell ermöglicht es, den Einfluss von Betriebs- und Geometrieparametern auf Abscheidegrad, nutzbare Adsorptionskapazität und Druckverlust systematisch zu bewerten und damit die Auslegung von Honeycomb-Adsorbern für die gebäudeintegrierte CO₂-Abscheidung zu unterstützen.

Zielstellung der Arbeit:

Ziel der Masterarbeit ist die Entwicklung, Implementierung und Validierung eines CFD-Modells zur Simulation der CO₂-Abscheidung in einer strukturierten Honeycomb-Adsorbergeometrie. Strömung, Stofftransport und Adsorptionskinetik sollen gekoppelt betrachtet werden, um die zeitabhängige CO₂-Durchbruchskurve am Austritt des Adsorbers vorherzusagen. Aufgrund der Parallelschaltung der Kanäle wird in der Simulation ein repräsentativer Einzelkanal abgebildet, in dessen wandnaher Randschicht ein Adsorptionsmodell implementiert wird (Abb. 1).



Implementierung eines Adsorptionsmodells, welches in der Randschicht eines Kanals Adsorption zulässt



Abb. 1: Modellierungsansatz – Simulation eines repräsentativen Einzelkanals der Wabenstruktur mit Adsorption in der wandnahen Randschicht (Vorlage: A. Widmann).

Die Wahl der CFD-Software (z. B. ANSYS Fluent oder OpenFOAM) erfolgt in Abstimmung mit der Betreuung. Die Validierung erfolgt anhand experimentell bestimmter Durchbruchkurven aus dem Labor für Umweltmesstechnik der HSD. Untersucht und bearbeitet werden insbesondere folgende Fragestellungen:

- **Modellbildung:** Wie lassen sich Strömung, Stofftransport und Adsorptionskinetik in einem Einzelkanal der Wabenstruktur gekoppelt abbilden, und welcher kinetische Ansatz (z. B. Uptake Coefficient) sowie welches Isothermenmodell (z. B. Langmuir) sind für innenraumrelevante CO₂-Konzentrationen geeignet?
- **Strömung und Druckverlust:** Wie bilden sich Strömungsfeld und Konzentrationsgrenzschicht im Kanal aus, und wie hängt der Druckverlust von der Anströmgeschwindigkeit und der Kanalgeometrie ab?
- **Parametervariation:** Welchen Einfluss haben Anströmgeschwindigkeit, CO₂-Eintrittskonzentration und Geometrieparameter (z. B. Kanalweite, Wandstärke, Adsorberlänge) auf Durchbruchzeit, Abscheidegrad und nutzbare Adsorptionskapazität?
- **Validierung:** Wie gut stimmen simulierte und gemessene Durchbruchkurven überein, welche Modellparameter müssen anhand der Messdaten angepasst werden, und welche Unsicherheiten sind zu berücksichtigen?

Bei Interesse melden Sie sich gerne!

Prof. Dr. Anne Widmann
Professorin für Energietechnik und Strömungssimulation

Münsterstraße 156
Gebäude 10, Raum 10.5.007
40476 Düsseldorf

T +49 211 4351-3583
anne.widmann@hs-duesseldorf.de
www.hs-duesseldorf.de

Prof. Dr. rer. nat. Sascha Nehr
Professor of Air Quality Management

Münsterstraße 156
Gebäude 5, Raum E.007
40476 Düsseldorf

T +49 211 4351-3772
sascha.nehr@hs-duesseldorf.de
www.hs-duesseldorf.de