



K1-MET

Kompetenzzentrum für metallurgische und umwelttechnische Verfahrensentwicklung

Programm: COMET - Competence Centers for Excellent Technologies

Programmlinie: K1-Zentren

COMET-Teilprojekt, Laufzeit und Projekttyp:
rCFD, 07/2017 - 06/2019, multi-firm

Recurrence CFD - Simulationen der nächsten Generation

Komplizierte Strömungsphänomene lassen sich selbst mit beträchtlicher Rechenleistung nur für kurze Prozesszeiten abbilden, was die Anwendung für viele industrielle Fragestellungen einschränkt. Mit einer völlig neuen Herangehensweise namens recurrence CFD gelingt es aber, dynamische Strömungen mit wiederkehrenden Strukturen, etwa in Wirbelschichten oder Blasensäulen, um mehrere Größenordnungen schneller als bisher zu simulieren. Damit lassen sich auch lange andauernde Prozesse wie chemische Umwandlung oder Wärmeübergang erfassen. Sogar Echtzeitfähigkeit könnte so erreicht werden.



Können uns Simulationen für das Verständnis industrieller Prozesse helfen?

Mit der ständig wachsenden Rechenleistung moderner Computer(cluster) erfreuen sich Simulationen diverser Industrieprozesse, etwa komplexer Mehrphasenströmungen im metallurgischen Bereich, großer Beliebtheit. Sie ermöglichen numerische Experimente, die im Gegensatz zu herkömmlichen Messungen kostengünstig sind, eine Vielzahl an leicht zugänglichen Informationen liefern und die gefahrlose Untersuchung kritischer Zustände erlauben.

Während state-of-the-art Simulationen den Vergleich mit Laborexperimenten nicht scheuen müssen, sind für die Anwendung auf Prozesse industrieller Größenskala aber zumindest zwei Hürden zu überwinden. Erst seit wenigen Jahren beginnt sich eine Modellierungsmethodik namens „coarse graining“ abzuzeichnen, die es erlaubt, einen hohen Detailgrad auf kleinen räumlichen Abmessungen, z.B. das Verhalten einzelner Kokspartikel im Hochofen, mit den riesigen Skalen der ganzen Anlage in Einklang zu bringen. Hinsichtlich der zeitlichen Dimension liegt ein sehr ähnliches Problem vor. Während

die zugrundeliegende Dynamik mancher Strömungen sehr rasch vonstattengeht, z.B. Kollisionen in Wirbelschichten, dauern andere Vorgänge wie Wärmeübertragung oder chemische Umwandlung oftmals viel länger. Bisher gab es keine Strategie, um die schnellen Abläufe erfassen und gleichzeitig die nötigen langen Zeitspannen für die Untersuchung der langsamen Prozesse erreichen zu können. Die Nutzbarkeit für viele industrielle Anwendung, die beide Typen von Freiheitsgraden aufweisen, war deshalb stark eingeschränkt.



Simulationstechniken der nächsten Generation

Um dieses Problem zu lösen, ist es notwendig, langsame von schnellen Freiheitsgraden zu entkoppeln. Mithilfe detaillierter Simulationen wird die Dynamik einer Strömung für eine kurze Zeitspanne ermittelt und anschließend analysiert. Sogenannte recurrence plots wie in Abb. 1 gezeigt werden, geben Aufschluss über das Wiederauftreten charakteristischer Muster, z.B. Blasen in Wirbelschichten, und deren Entwicklung. Dadurch lässt sich das angenäherte Ver-

halten solcher Strukturen ohne zusätzlichen Rechenaufwand für beliebige Zeiten vorhersagen und langsame, lange andauernde Prozesse darauf einfach berechnen.

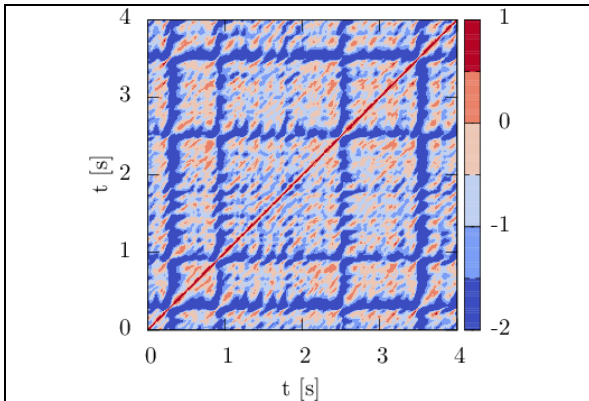


Abb. 1: Recurrence plot einer Wirbelschicht für vier Sekunden. Die Koordinaten jedes Punktes entsprechen den Zeiten, die miteinander verglichen werden. Rot bedeutet „sehr ähnliche Zustände“, blau hingegen „sehr unterschiedliche“.

Im Rahmen einer Kooperation des Department of Particulate Flow Modelling, des Linz Institute of Technology (beide Johannes Kepler Universität), der Technischen Universität Eindhoven und der K1-MET GmbH wurde recurrence CFD an einer Wirbelschicht erprobt, in der warme Partikel mit kühler Luft fluidisiert und langsam abgekühlt werden. Wie aus Abb. 2 hervorgeht, stimmen die Ergebnisse sowohl mit experimentellen Befunden als auch mit detaillierten Rechnungen überein, allerdings bei einem 1/300 deren Laufzeit!



Wirkungen und Effekte

Dass bereits erste Tests von recurrence CFD Beschleunigungen konventioneller Simulationen um mehr als zwei Größenordnungen bei annähernd gleichbleibendem Genauigkeitsgrad lieferten, lässt auf das Potential dieses völlig neuen Zugangs für dynamischen Strömungen mit wiederkehrenden Mustern schließen. Bei

konsequenter Weiterentwicklung der Methode werden sich lange andauernde Prozesse in Wirbelschichten, Blasensäulen, Kokillen von Stranggussanlagen etc., die bisher überhaupt nicht oder nur sehr mühsam abgebildet werden konnten, rasch simulieren lassen und neue Einblicke offenbaren.

Doch wie weit kann diese Reise gehen? Welche Visionen lassen sich verfolgen? Echtzeitfähigkeit scheint in greifbare Nähe zu rücken, d.h., dass Simulationsergebnisse schneller vorliegen als sie im tatsächlichen Prozess eintreten. Beispielsweise ließe sich auf kritische Signale einer Messanlage mit „einem Blick in die Zukunft“ reagieren und eine fundierte Entscheidung für das weitere Vorgehen treffen. Wohin sich recurrence CFD letztlich entwickeln wird, hängt von vielen Faktoren, insbesondere von stabilen Forschungspartnerschaften, ab. Der Grundstein für eine völlig neue Generation an Simulationmethoden ist jedenfalls gelegt.

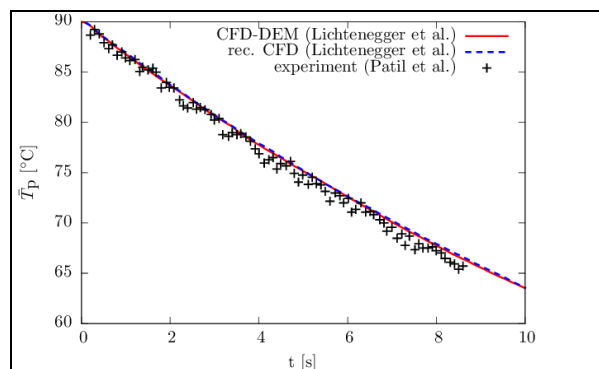


Abb. 2: Mittlere Partikeltemperatur über Fluidisierungszeit. Sowohl die herkömmliche CFD-DEM Simulation als auch recurrence CFD (Lichtenegger et al., Chem. Eng. Sci. 2017) stimmen hervorragend mit Experimenten (Patil et al., Chem. Eng. J. 2015) überein.

Kontakt und Informationen

Johannes Kepler Universität
Department of Particulate Flow Modelling
Altenberger Str. 69, 4040 Linz
T +43 732 2468 5178
thomas.lichtenegger@jku.at

Projektkoordination

Dr. Thomas Lichtenegger

Projektpartner

Organisation	Land
Johannes Kepler Universität	Österreich
K1-MET GmbH	Österreich
Technische Universität Eindhoven	Niederlande

Weitere Informationen zu COMET – Competence Centers for Excellent Technologies: www.ffg.at/comet

Diese Success Story wurde von der Konsortialführung/der Zentrumsleitung zur Verfügung gestellt und zur Veröffentlichung auf der FFG-Website freigegeben. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die FFG keine Haftung.