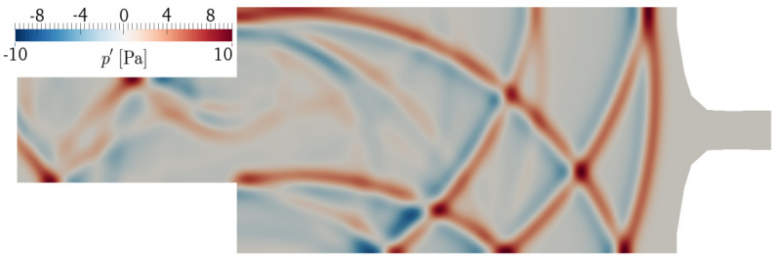
Hessisches Kompetenzzentrum
für Hochleistungsrechnen

Numerische Simulation von Verbrennungslärm und -instabilitäten mittels hybrider Berechnungsverfahren



Researchers
Dr.-Ing. Timo Klenke and Kilian Lackhove

Principal Investigator
Prof. Dr.-Ing. Johannes Janicka

Project Term
2015 - 2015

Project Areas
Heat Energy Technology, Thermal Machines, Fluid Mechanics

Clusters
Lichtenberg Cluster Darmstadt

Institute
Fachgebiet Energie und Kraftwerkstechnik

University
Technische Universität Darmstadt

Introduction

Schadstoffarme, moderne Brennverfahren in stationären- und Fluggastturbinen sind durch einen instabilen Betrieb gekennzeichnet. Diese Instabilitäten sind häufig auf akustische Phänomene zurückzuführen, die durch den instationären Verbrennungsprozess hervorgerufen werden. Aufgrund der erheblichen Skalenunterschiede zwischen der Akustik und dem Verbrennungsprozess ist eine direkte numerische Berechnung mit erheblichen Kosten verbunden. Die hybride Simulation von Verbrennung und Akustik stellt hier eine sinnvolle Alternative dar, um die Phänomene in komplexen Verbrennungssystemen zu beschreiben. Im Zuge des Klimawandels, der Ressourcenknappheit an fossilen Brennstoffen und dem vermehrten Aufkommen alternativer Brennstoffe sowie gesetzlich stetig verringerter Schadstoffgrenzwerte ist eine verstärkte Entwicklung von modernen, schadstoffarmen Verbrennungskonzepten ein zentraler Punkt der heutigen Verbrennungsforschung. Hierbei stehen schadstoffarme und verbrauchsreduzierende Magerverbrennungskonzepte im Fokus. Magerverbrennungskonzepte sind auf der einen Seite durch eine schadstoffarme und verbrauchsreduzierte Verbrennung gekennzeichnet, tendieren auf der anderen Seite jedoch abhängig vom Betriebspunkt häufig zu Verbrennungsinstabilitäten. Diese Instabilitäten verursachen unerwünschte, erhöhte Schadstoffwerte und können im Extremfall sogar zu Schäden an der Gasturbine führen.

Methods

Im Kontext des hier verwendeten hybriden numerischen Berechnungsverfahrens liegt der Fokus auf der Untersuchung der thermoakustischen Verbrennungsinstabilitäten. Diese Instabilitäten entstehen, wenn der durch die instationäre, reagierende Strömung erzeugte Verbrennungslärm mit dem Verbrennungssystem interagiert und eine selbsterregte

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg

Schwingung induziert. Die an der TU Darmstadt stattfindende Arbeit zu diesem Thema ist durch zwei internationale Projekte eng mit Forschergruppen in ganz Europa verknüpft. Das von BMWi finanzierte AG-TURBO 2020 Projekt beschäftigt sich in unserem Teilprojekt mit der Realisierung einer Rückkopplungsmethode für die akustischen Brennkammerdruckschwankungen auf das reagierende Strömungsfeld. Als Teil des Seventh Framework Programme der Europäischen Union widmet sich das RECORD-Projekt der Verbesserung und Validierung der Modellierungsmethoden von Verbrennungslärm. Dabei werden sowohl direkter als auch indirekter Lärm sowie dessen Ausbreitung berücksichtigt. Auf Basis der verbesserten Modellierungsstrategien können im Anschluss Verfahren zur Lärmminderung entwickelt und getestet werden. Grundlage des von uns bearbeiteten Teilprojektes ist der Vergleich verschiedener Modellierungsstrategien anhand von experimentellen Daten. Das an der TU Darmstadt entwickelte, hybride Berechnungsverfahren beschreitet hier einen Mittelweg zwischen vertretbarem Rechenaufwand und einer für industrielle Anwendungen ausreichenden Beschreibung der physikalischen Vorgänge. Für die Berechnung der instationären, reaktiven Strömung wird der inkompressible in-house CFD-Code PRECISE-UNS mit einem CAA-Code gekoppelt. Als letzterer kommt entweder das am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entstandene PIANO oder das maßgeblich am Imperial College London entwickelte Nektar++ Framework zum Einsatz. Wesentlicher Unterschied der beiden Codes ist, dass PIANO auf der Finiten Differenzen Methode (FDM) basiert, während Nektar++ sich das diskontinuierliche Galerkinverfahren zu Nutze macht. Zur Beschreibung des instationären Verbrennungsprozesseses in der Brennkammer kombiniert PRECISE-UNS die Methode der Grobstruktursimulation mit dem Verfahren der tabellierten Chemie für die Reaktionkinetik. Dabei wird ein akustischer Quellterm berechnet und an den CAA-Code übergeben, der die akustische Wellenausbreitung in der Brennkammer sowie ihren Zuführungen simuliert. Hiermit kann in einem zukünftigen Schritt mittels einer Rückkopplung der akustischen Signale auf das reaktive Strömungsfeld die Interaktion zwischen dem erzeugten Verbrennungslärm und dem Gesamtverbrennungssystem untersucht werden. Der erhebliche Geschwindigkeitsvorteil dieses hybriden LES/CAA Berechnungsverfahren gegenüber direkten Berechnungsmethoden mittels einer kompressiblen LES rührt von der der Skalenseparation von Strömungsund Akustikgrößen her.

Last Update: 2020-11-12 18:33