

## AK 5 Thermo- und Strömungsakustik (Sitzungsorganisation: Martin Ochmann und Rafael Piscoya, Berlin)

Zeit: Dienstag 10:30–17:30

Raum: TU EB222

**Hauptvortrag**

AK 5.1 Di 10:30 TU EB222

**Entropieschall - Experimenteller Nachweis und Beitrag zum Fluglärm** — ●FRIEDRICH BAKE, ULF MICHEL und INGO RÖHLE — DLR, Institut für Antriebstechnik, 10623 Berlin

Schallentstehung durch Entropiewellen wurde theoretisch vorausgesagt und numerisch simuliert. Die experimentelle Überprüfung dieser Hypothese wird nun vorgenommen. Versuchsobjekt ist eine mit Methan betriebene Brennkammer. Um Entropiewellen zu erzeugen, kann diese bei selbsterregten aber auch bei erzwungenen Schwingungen betrieben werden. Die Druckfelder in der Brennkammer und nach dem Brennkammerauslass werden mit Sondenmikrofonen vermessen. In einem Referenzexperiment wird zudem der Versuch unternommen, Entropieschall ohne Beimischung von direktem Brennkammerlärm zu erzeugen. Die periodische Energiezufuhr wird hier elektrisch realisiert.

Ingenieurwissenschaftliches Ziel ist, die Bedeutung von Entropieschall für die Geräuschemission von Brennkammern zu klären, insbesondere vor dem Hintergrund der Lärmreduzierung von Triebwerken. Es sollen die Beiträge von direktem Brennkammerlärm und Entropieschall zum Gesamtgeräusch einer Brennkammer ermittelt werden.

Diese Untersuchungen erfolgen im Rahmen der DFG-Forschergruppe "Verbrennungslärm".

**Hauptvortrag**

AK 5.2 Di 11:00 TU EB222

**Numerische Untersuchung der Schallabstrahlung durch eine eingeschlossene Drallflamme.** — ●CHRISTOPH RICHTER<sup>1</sup>, LUKASZ PANEK<sup>1</sup>, FRANK THIELE<sup>1</sup>, MARTIN LIU<sup>2</sup> und BERTHOLD NOLL<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Technische Universität Berlin, HFI, Sekr. HF1, Müller-Breslau-Str. 8, 10623 Berlin — <sup>2</sup>DLR, Institut für Verbrennungstechnik, Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart

Zur praktischen Überprüfung eines hybriden zonalen Verfahrens zur Störungsausbreitung in Brennkammern wird eine mit einer verdrehten Gasfilmdüse ausgestattete axialsymmetrische Modellbrennkammer herangezogen. Da axialsymmetrische Komponenten im vom DLR vermessenen Schallsignal dominant auftreten, konzentriert sich die numerische Untersuchung auf diese Anteil. Die Brennkammer ist durch eine Düse abgeschlossen. Die Flamme wird vom DLR Stuttgart mit Hilfe einer instationären RANS simuliert. Die Störungsausbreitung wird mit einem optimierten finite Differenzen-Verfahren von 4. Ordnung sowohl linearisiert als auch nichtlinear numerisch untersucht. Dabei wird insbesondere auf die indirekte Schallabstrahlung durch Entropiemoden eingegangen. Das verwendete Verfahren, kann sowohl die konvektive Ausbreitung von Entropiemoden, als auch die wellenartige Ausbreitung von Schall bis zu einer Auflösung von 7 Punkten pro Wellenlänge korrekt und nahezu verlustfrei wiedergegeben.

**Hauptvortrag**

AK 5.3 Di 11:30 TU EB222

**Lärmentstehung in pilotierten Drallflammen** — ●DIPL.-ING. C. BENDER, DR.-ING. P. HABISREUTHER, PRIV. DOZ. DR.-ING. HABIL H. BÜCHNER und PROF. DR.-ING. H. BOCKHORN — Universität Karlsruhe (TH), Engler-Bunte-Institut/Verbrennungstechnik, Engler-Bunte-Ring 7, 76131 Karlsruhe

Bei der Entwicklung moderner Fluggasturbinen ist aufgrund aerodynamischer Verbesserungen der Strömungsführung eine so starke Verringerung des Strahlgeräusches zu erwarten, dass Verbrennungsgeräusche aus der Brennkammer nicht mehr überdeckt werden, weshalb ihre Verringerung bei der Konstruktion und Auslegung neuer Triebwerksbrennkammern ein wesentliches Entwicklungsziel ist.

Im Rahmen der vorgestellten experimentellen und numerischen Untersuchungen sollen die wesentlichen Mechanismen der Lärmentstehung in pilotierten Vormisch- und Diffusionsflammen, die sowohl freibrennend als auch in einer nicht-resonierenden Brennkammer eingeschlossen betrieben werden, gefunden werden. Hierfür wurden an einem pilotierten Drallbrenner unter Variation wichtiger Betriebsparameter wie Leistung, Luftzahl und Drallstärke sowie des Brennerauslasses durch axiales Verschieben der Pilotlanze ausführliche Untersuchungen der Geschwindigkeit und Schallfelder durchgeführt, um ein Verständnis für die Schallentstehung zu schaffen. Zusätzliche numerische Berechnungen ergaben eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen.

**Hauptvortrag**

AK 5.4 Di 12:00 TU EB222

**Large Eddy Simulation and Particle Image Velocimetry of an Isothermal Swirling Flow** — ●FELIX FLEMMING<sup>1</sup>, AMSINI SADIKI<sup>1</sup>, JOHANNES JANICKA<sup>1</sup>, JOHANN WÄSLE<sup>2</sup>, ANTON WINKLER<sup>2</sup>, and THOMAS SATTELMAYER<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute for Energy and Powerplant Technology, Darmstadt University of Technology, Petersenstr. 30, D-64287 Darmstadt, Germany — <sup>2</sup>Lehrstuhl für Thermodynamik, TU München, Boltzmannstr. 15, D-85748 Garching, Germany

Due to the increasingly lower noise emissions of aircraft engines, the field of combustion noise becomes more important in the design process of modern gas turbines. In order to investigate noise sources from complex and reactive turbulent flows, such as in gas turbine combustors, a swirling flow configuration has been investigated by means of an incompressible large eddy simulation (LES) and particle image velocimetry (PIV). As a first step, the isothermal flow case of a movable blocks swirl burner is considered. Here, the main focus lies on the turbulent flow field and its validation through the experimental measurements. Furthermore, the mixing properties of the flow will be described in detail. The flow field as well as the mixing play an important role in the reactive flow case and are therefore of fundamental interest. Due to the highly instationary character of the flow, a time resolving simulation technique is required to capture the effects relevant to the noise sources within the flow field. In a post-processing step, the numerical results obtained by the LES can then be used in CAA simulations to describe the noise emission of the configuration. The coupling to such simulation techniques will be described as well.

**Hauptvortrag**

AK 5.5 Di 14:00 TU EB222

**Determining the sound radiated by combustion by means of the Equivalent Source Method (ESM) and the Boundary Element Method (BEM)** — ●RAFAEL PISCOYA<sup>1</sup>, HAIKE BRICK<sup>1</sup>, MARTIN OCHMANN<sup>1</sup>, and PETER KÖLTZSCH<sup>2</sup> — <sup>1</sup>TFH-Berlin, University of Applied Sciences — <sup>2</sup>Technical University Dresden

Turbulent combustion produces sound that is clearly louder than that of the non reactive flow since the time variations of the heat release are the main sound sources. Those instationary variations can be simulated with the present computational power only near the source, i.e. the acoustic farfield cannot be directly calculated. Hybrid methods, coupling CFD codes and acoustic methods like the acoustic analogy and the linearized Euler equations are used to solve this problem. This research attempts to show that the ESM and the BEM can also be used to determine the sound generated by combustion. These two methods have the advantage that the acoustic quantities must be known only at a surface surrounding the source zone (less data from the CFD simulations is required) and the farfield can be directly computed. The sound power generated from two open diffusion flames have been calculated with both the ESM and the BEM, using the velocity distribution over cylindrical control surfaces computed with a Large Eddy Simulation. Results of the calculations are presented and compared to the measured sound power of the same flames. Good agreement at low frequencies is obtained but the decay of the spectrum at high frequencies has not been reproduced yet. Possibly reasons for the differences and improvements on the calculations will be discussed.

**Hauptvortrag**

AK 5.6 Di 14:30 TU EB222

**Acoustic perturbation equations for reacting flows** — ●THANH PHONG BUI, MATTHIAS MEINKE, and WOLFGANG SCHRÖDER — Aerodynamisches Institut, RWTH Aachen, Willnerstr. zw. 5 u. 7, 52062 Aachen

In the present work, acoustic perturbation equations (APE) for the computational aeroacoustics (CAA) simulation are proposed to investigate noise generated by a turbulent non-premixed jet flame in unbounded space using a hybrid LES/CAA approach. The homogeneous APE system describes the wave propagation in a non-uniform mean flow and is hydrodynamically stable for arbitrary mean flows in contrast to the linearized Euler equations (LEE). To derive the extended APE system, which is also valid for reacting flows, the governing equations for reacting flows are rearranged such that the left-hand side describes the original homogeneous APE system, whereas the right-hand side (RHS) consists

of all non-linear flow effects including the sources related to chemical reactions. The numerical approach is a two-step method, the first of which is based on a large eddy simulation (LES), followed by the CAA simulation to compute the acoustical field. In general, an acoustic monopole behavior with a small directivity can be observed, i.e., the main combustion noise characteristic, the monopole nature, caused by unsteady heat release could be verified.

### Hauptvortrag

AK 5.7 Di 15:00 TU EB222

**An evaluation of coupling techniques for combined LES/LEE approaches to calculate aerodynamically generated noise** — ●WIM DE ROECK, GUSTAVO RUBIO, YVES REYEMEN, MARTINE BAELMANS and WIM DESMET — K.U. Leuven, Dept. Mech. Eng., Celestijnenlaan 300B, 3001 Leuven

Due to the large disparity between the energy scales of the acoustic and flow variables, the direct solution of the compressible Navier-Stokes equations for computational aeroacoustics (CAA) is only possible for a limited number of applications. Therefore hybrid methods are proposed, in which, the computational domain is split into a source region and an acoustic propagation region. This paper evaluates the most commonly used techniques to couple both regions. A first class of methods uses equivalent sources: source terms based on turbulent velocities (Lighthill), vorticity (Möhring), pressure fluctuations (Hardin and Pope) and wall pressures (Curle) are used. The other class of methods is based on acoustic pressure boundary conditions on a surface, surrounding the dominant aeroacoustic sources. The different coupling techniques will be compared and validated for a cavity flow noise application, where the source region is calculated with large-eddy simulation (LES) and linearized Euler equations (LEE) are used as propagation equations. In this way, this paper aims at giving more insight in the accuracy and practical use of different hybrid CAA prediction techniques.

### Hauptvortrag

AK 5.8 Di 16:00 TU EB222

**Measurement and simulation of the acoustical impedance of an internal combustion engine exhaust.** — ●RENE BOONEN and PAUL SAS — KULeuven, Faculty of Engineering, Dept. Mechanical Engineering, PMA, Celestijnenlaan 300B, B-3001 Leuven, Belgium

In this investigation, the acoustical impedance of an internal combustion engine is measured and simulated. The measurements are based on the two microphone transfer function method, which is described in the standard ISO/FDIS 10543-2. The method uses the transfer function between two microphones positioned on a waveguide connected to the impedance to be measured. Some improvements are proposed to this procedure, concerning the calibration of the measurement setup. New corrections are proposed to eliminate the speed of sound, the microphone locations and the deviation between the microphone responses.

The method is applied to measure the acoustical impedance of an engine. The reflection coefficient at the engine exhaust is measured. From the reflection coefficient, the acoustical impedance is determined. To prevent the engine to disturb the reflection coefficient during the measurements, the engine is run with an electric motor and the intake is sealed.

The simulations are carried out using electrical analog circuits. The circuits are built by analyzing the engine parts contributing to the acoustical impedance. The electrical analog components are determined using the geometrical data of the engine and the exhaust manifold. The simulation results correlate well with the measured impedances. Also, some special cases are simulated, to determine the engine components which contribute primarily to the acoustical impedance.

### Hauptvortrag

AK 5.9 Di 16:30 TU EB222

**Das Lattice-Boltzmannverfahren in der Strömungsakustik** — ●ANDREAS WILDE — Fraunhoferinstitut für Integrierte Schaltungen, Außenstelle Entwurfsautomatisierung, Zeunerstrasse 38, 01069 Dresden

In diesem Beitrag wird die Eignung des Lattice-Boltzmann-Verfahrens für die numerische Lösung strömungsakustischer Probleme diskutiert.

Zur Untersuchung der numerischen Fehler bei der Simulation der Ausbreitung von Schallwellen wird eine von-Neumann-Analyse des linearisierten Lattice-Boltzmann-Modells in zwei und drei Dimensionen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Phasengeschwindigkeit der Schallwellen mit abnehmender Wellenlänge vom theoretischen Wert abweicht. Bei einer Auflösung von ca. 10 Gitterpunkten pro Wellenlänge überschreitet der Fehler in der Phasengeschwindigkeit 1%. Die Dissipation von Schallwellen entspricht im numerischen Modell weitgehend dem theoretisch vorhergesagten Verhalten.

In numerischen Experimenten wird die Schallerzeugung bei der

Überströmung eines Helmholtzresonators sowie die Schallerzeugung bei der Überströmung der Hinterkante einer ebenen Platte untersucht. Im Falle des Helmholtzresonators ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Druckschwankungen im Resonator mit in der Literatur veröffentlichten Windkanalmessungen. Im Falle des Hinterkantenschalls werden die numerischen Ergebnisse mit den Vorhersagen analytischer Modelle verglichen.

### Hauptvortrag

AK 5.10 Di 17:00 TU EB222

**Hybrides Modell zur Simulation der Schallausbreitung im Freien** — ●SEBASTIAN HAMPEL, SABINE LANGER und HEINZ ANTES — Inst. f. Angewandte Mechanik, TU Braunschweig, Postfach 3329, 38023 Braunschweig

Bei der Schallausbreitung im Freien über größere Distanzen spielt die Refraktion, die aus Wind- und Temperaturprofilen resultiert, eine große Rolle. Zur Berechnung werden dafür in der Praxis oft Strahlenverfahren (Ray-tracing) verwendet. Diese haben im Vergleich zu Diskretisierungsverfahren wie der Randelementmethode (BEM) i.d.R. einen geringen Rechenaufwand und können Wind- und Temperaturprofile meist einfach berücksichtigen. Der Vorteil der BEM liegt in der impliziten Erfassung von Wellenphänomenen wie z.B. Beugung. Außerdem wird die für Außenraumprobleme wichtige Sommerfeld'sche Ausstrahlbedingung implizit erfüllt.

Um die Vorteile beider Verfahren - BEM und Strahlenverfahren - zu nutzen, wird ein Modell entwickelt, das im Nahfeld um Hindernisse und komplexe Geometrien die Randelementmethode verwendet und daran für die Berechnung des Schalldrucks im Fernfeld ein Strahlenmodell koppelt. Dafür werden die Einzelmodelle sowie die Kopplung erläutert und das hybride Modell auf ein typisches Beispielproblem aus der Praxis angewendet.