

Strömungssimulationen zur Lärminderung von Flugtriebwerken Numerical Investigation of Noise Generation and Reduction in Turbofan Engines

M. Steger, U. Michel, F. Thiele, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Technische Universität Berlin

Kurzgefasst

- Insbesondere bei der Landung liefert das Fangeräusch einen wesentlichen Anteil an der Geräuschentwicklung moderner Flugtriebwerke.
- Durch die auch in künftigen Triebwerksgenerationen weiter anwachsenden Triebwerksdurchmesser (Zunahme des Nebenstromverhältnisses bzw. Mantelmassenstroms) tritt das Fangeräusch weiter in den Vordergrund.
- Das Spektrum des Fangeräusches wird von diskreten Frequenzen (Töne bei der Blattfolgefrequenz und den höheren Harmonischen) dominiert. Diese Töne resultieren im Wesentlichen aus der zeitlich periodischen Wechselwirkung der Strömung des rotierenden Fans (Rotor) mit den nicht-rotierenden Schaufeln (Stator). Durch den stochastischen Schwankungsanteil der Strömung (Turbulenz) wird zudem ein Breitbandgeräusch (Rauschen) abgestrahlt.
- Durch Einblasen im Blattspitzenbereich des Fans wird ein Gegenschallfeld erzeugt, was zu einer Lärminderung des gesamten abgestrahlten Schallfeldes führen soll.
- Hochauflösende Rechenverfahren auf der Basis von sogenannten „Detached Eddy Simulationen“ (DES) bieten die Möglichkeit, neben den Tönen auch den Breitbandanteil des akustischen Spektrums zu erfassen. Diese Simulationen sind sehr rechenintensiv und können daher nur auf modernen Großrechenanlagen durchgeführt werden.

Einen wesentlichen Beitrag für die gesamte Geräuschentwicklung moderner Turbostrahltriebwerke mit hohen Nebenstromverhältnissen liefert der Fanlärm. Kennzeichnend für die Weiterentwicklung der in der Vergangenheit eingesetzten Triebwerksgenerationen ist die kontinuierliche Zunahme der realisierten Nebenstromverhältnisse. Die daraus resultierenden steigenden Massendurchsätze führen bei gleich bleibendem Schubimpuls zu verringerten Strahlgeschwindigkeiten. Dies hat neben aerodynamischen Vorteilen durch einen verbesserten Vortriebswirkungsgrad auch eine deutliche Reduktion des Strahlärms zur Folge. Besonders beim Landeanflug eines Flugzeugs

verliert der zuvor den Gesamtschallpegel dominierende Strahlärm entsprechend zunehmend an Bedeutung, wohingegen der Fanlärm durch die anwachsenden Fanschaufeln weiter in den Vordergrund gerät. Von großem Interesse ist daher die Entwicklung geeigneter Geräuschminderungsmaßnahmen des Fanärms, welche sich zudem in künftigen Triebwerksentwicklungen praktisch realisieren lassen.

Das Fangeräusch wird durch stark unterschiedliche strömungsakustische Quellmechanismen erzeugt und besteht im akustischen Spektrum sowohl aus tonalen als auch aus breitbandigen Komponenten. Befindet sich die Blattspitzengeschwindigkeit des Fans im Unterschallbereich, wird das abgestrahlte Schallfeld von diskreten Frequenzen (Tönen) bei der Blattfolgefrequenz (BPF) und den höheren Harmonischen dominiert. In diesen Fällen können zeitlich periodische Wechselwirkungen, wie die Interaktion der Rotornachläufe mit den stromab befindlichen Statorschaufeln oder die Wechselwirkung der Rotorschaufeln mit einer ungleichmäßigen Zuströmung als wesentliche Geräuschentstehungsmechanismen zugeordnet werden. Die in dem abgestrahlten akustischen Spektrum zusätzlich zu beobachtenden Breitbandanteile haben dagegen ihren Ursprung in den stochastischen Schwankungsbewegungen der turbulenten Strukturen in der Strömung.

Ein Ziel des Projektes ist die aktive Minderung der tonalen Geräuschentwicklung moderner Flugtriebwerke mit hohen Nebenstromverhältnissen. Dazu wird das durch die Rotor/Stator-Wechselwirkung erzeugte Schallfeld mit einem zusätzlich generierten Gegenschallfeld destruktiv überlagert. Im Gegensatz zu konventionellen Techniken, in denen Lautsprecher für die Erzeugung des Gegenschallfeldes zur Anwendung kommen, wird hier das Gegenschallfeld aeroakustisch durch die Beeinflussung der Schaufelumströmung im Blattspitzenbereich des Rotors mittels Lufteinblasung erzeugt (Abb. 1).

Einen Beitrag zu dem Breitbandgeräusch liefert neben den turbulenten Strukturen der Schaufelumströmung auch die stark instationäre Spaltströmung in Verbindung mit dem Blattspitzenwirbel des Rotors. Durch die Einblasung im Blattspitzenbereich des Rotors wird ein zusätzlicher Breitbandanteil durch die Interaktion der Blattspitzenströmung mit dem Luftstrahl der Einblasung

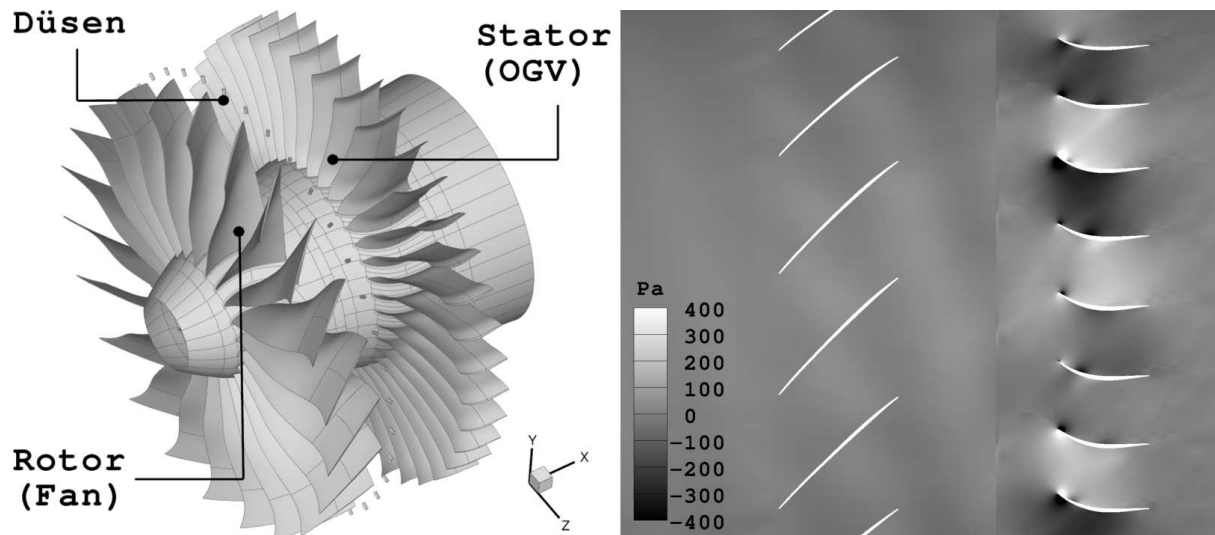


Abbildung 1: links: Konzeptdarstellung zur Beeinflussung des Fangeräusches durch Einblasen von Druckluft über Düsen am Gehäuse des Turbofantriebwerks; rechts: Momentaufnahme der Druckschwankungen nahe der Gehäusewand ohne Beeinflussung aus den Voruntersuchungen mit RANS-Simulationen. Die Ausbreitung der in der Darstellung schräg verlaufenden Druckschwankungen (akustische Moden) führen zu den dominanten Tönen im akustischen Spektrum des Fangeräusches.

erwartet. Ein weiteres Ziel der Untersuchungen ist daher, inwieweit auch das Breitbandgeräusch durch die Einblasung beeinflusst wird.

Um sowohl die tonalen als auch die Breitbandkomponenten des Fangeräusches mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen zu können, muss ein wesentlicher Anteil der turbulenten Strukturen der Strömung numerisch sehr genau abgebildet werden. Für die hier durchzuführenden numerischen Studien sind daher Untersuchungen auf der Basis von Detached-Eddy Simulationen (DES) geplant. DES ist ein hybrides Verfahren mit dem vorrangigen Ziel, die Vorteile einer effizienten Behandlung wandgebundener Strömungsbereiche durch die Lösung der Reynolds-Averaged Navier-Stokes Gleichungen (RANS) mit einer hoch auflösenden Large-Eddy Simulation (LES) in den wandfernen Strömungsbereichen zu kombinieren.

Mehr zum Thema

1. Schulz, J., Neise, W., Möser, M.: Active Control of the Blade Passage Frequency Noise Level of an Axial Fan with Aeroacoustic Sound Sources. *Noise Control Engineering Journal*, 54:33–40, 2006.
2. Spalart, P.: Detached-Eddy Simulation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 41:181–202, 2009.
3. Steger, M., Michel, U., Ashcroft, G., Thiele, F.: Turbofan Tone Noise Reduction by Flow-Induced Unsteady Blade Forces. In: KING, R.

(Herausgeber): *Active Flow Control II*, Band 108 der Reihe NNFM, Seiten 157–170. Springer, Berlin Heidelberg, 2010.

4. Steger, M., van Rennings, R., Gmelin, C., Thiele, F., Huppertz, A., Swoboda, M.: Detached-Eddy Simulation of a Highly Loaded Compressor Cascade with Laminar Separation Bubble, 9th European Conference on Turbomachinery, 2011.

Förderung

Das Projekt wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 557 „Beeinflussung komplexer turbulenter Scherströmungen“ der Technischen Universität Berlin gefördert. Für die Durchführung der Simulationen ermöglicht das HLRN die parallele Nutzung von bis zu 1024 CPU-Kernen.

HLRN editorial section

This space is a placeholder. Later, the editors of the HLRN might introduce further comments. End of the editorial section.