

LES von Turbinenströmungen für triebwerksnahe Betriebszustände

Large Eddy Simulation von Niederdruckturbinenströmungen in Flugzeugtriebwerken für realitätsnahe Betriebszustände

M. Zieße, F. Herbst, J.R. Seume, Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik, Leibniz Universität Hannover

Kurzgefasst

- Large Eddy Simulation
- Niederdruckturbinen
- triebwerksnahe Betriebszustände

Heutige technische Weiterentwicklungen in der Luftfahrt zielen unter anderem darauf ab die Lärmemissionen von Flugzeugtriebwerken zu reduzieren und deren Effizienz gerade hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und somit auch des Ausstoßes von Treibhausgasen weiter zu steigern. Ein vielversprechender konzeptioneller Ansatz um diese Ziele zu erreichen ist die Verwendung eines sogenannten Getriebefans (Geared Turbofan, GTF).

Bei der Verwendung eines Getriebefans ist der Fan des Triebwerks mit Welle der Niederdruckturbinen über ein Getriebe verbunden (siehe Abbildung 1). Im Vergleich zur konventionellen Triebwerksauslegung werden Fan und Niederdruckturbinen nicht mehr über eine Welle angetrieben. Durch die Verwendung eines Getriebes (Übersetzungsverhältnis ≈ 3) ist es möglich die Drehzahl der Niederdruckturbinen deutlich zu steigern und die Fandrehzahl zu verringern. Die Niederdruckturbinen sind die schwerste Triebwerkskomponente. Durch eine Erhöhung der Drehzahl ist es möglich die Stufenanzahl und somit auch das Gesamtgewicht des Triebwerkes

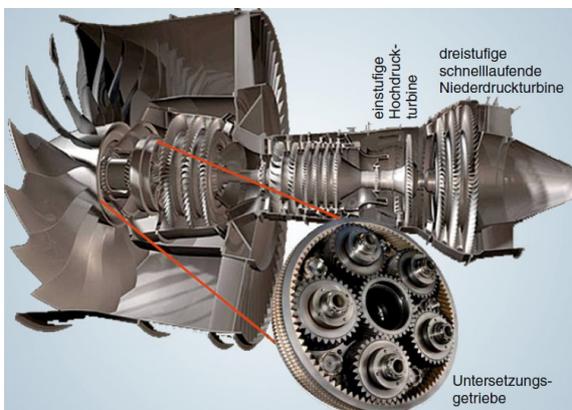


Abbildung 1: Geared Turbofan PW1000G der Firma Pratt & Whitney [1]

zu reduzieren. Weiterhin nimmt die Belastung der einzelnen Stufen mit einer Erhöhung der Drehzahl ab, was eine Steigerung des Wirkungsgrades zur Folge hat. Zusätzlich erhöhen sich die Frequenzen des von der Niederdruckturbinen abgestrahlten Lärms in einem Maß, dass sie weitestgehend von der Atmosphäre gedämpft werden. Der langsamer drehende Fan erzeugt ebenfalls weniger Lärm, wodurch zugleich dessen Wirkungsgrad steigt.

Aus der deutlich erhöhten Drehzahl der Niederdruckturbinen resultieren jedoch auch völlig neue aerodynamische, mechanische und dynamische Belastungen. Dies stellt die Entwickler von Flugzeugtriebwerken und deren verwendeten Auslegungsmethoden vor neue Herausforderungen. Gerade die Schaufeldesigner bewegen sich am Rande technische und aerodynamische Grenzen bei der Entwicklung der Profile.

Das übergeordnete Ziel des beantragten Projektes ist daher die detaillierte Analyse der Strömungsvorgänge, des Transitionsverhaltens und der Verlustmechanismen der neuen, noch unbekannt Profile schnelldrehender Niederdruckturbinen für triebwerksnahe bzw. realistische Betriebszustände, wie sie während dem Betrieb eines Flugzeugtriebwerkes vorkommen.

Ist das aerodynamische Verhalten der schnelldrehenden Niederdruckturbinen erst einmal bekannt, lassen sich Erkenntnisse für das optimale aerodynamische Design der Profile ableiten. Dadurch wiederum wäre es möglich gänzlich neue Designkonzepte für die Niederdruckturbinen zu entwickeln. Die in diesem beantragten Projekt bzw. Folgeprojekt angedachten Simulationen stellen somit die Basis für die Entwicklung neuer Design- und Auslegeprozesse der schnelldrehenden Niederdruckturbinen bzw. deren Beschauung dar.

Die hochkomplexen, dreidimensionalen Strömungsvorgänge in der Niederdruckturbinen erfordern den Einsatz von reibungsbehafteten 3D-Rechenverfahren. Für die aerodynamische Auslegung von Flugzeugtriebwerken sind RANS-Simulationen der Stand der Technik und diese werden auch in absehbarer Zeit das einzig wirtschaftlich anwendbare Verfahren für Parameterstudien bleiben. Für eine hohe Vorhersagegenauigkeit müssen RANS-Verfahren jedoch anhand bereits bekannter

Testfälle kalibriert und optimiert werden. Bei den zu untersuchenden Profilen schnelldrehender Niederdruckturbinen handelt es sich jedoch um unbekannte Profile und RANS-Simulationen sind somit nicht geeignet diese zu untersuchen.

Auch experimentelle Untersuchungen eignen sich nicht für die Analyse der noch unbekannt Profile der schnelldrehenden Niederdruckturbinen. Im Experiment lassen sich triebwerksnahe Strömungszustände bzw. Kombinationen von Reynolds-Zahl, Mach-Zahl und Strouhal-Zahl nicht ohne wesentlichen Einflüsse der Messtechnik oder starke Vereinfachungen realisieren. Die stetig wachsende Rechenleistung von Hochleistungsrechnern hingegen ermöglicht es mittlerweile die, im Vergleich zur RANS-Simulationen, deutlich rechenintensiveren skalenauflösenden Simulationen für technisch relevante Kombinationen von Reynolds-Zahl, Mach-Zahl und Strouhal-Zahl durchzuführen.

Der Vorteil von skalenauflösenden Simulationen wie der Large Eddy Simulation (LES) ist, dass sie keinen bzw. einen deutlich geringeren Modellierungsgrad besitzen. Dadurch liefern diese zum einen genauere Ergebnisse zum anderen entfällt somit die Testfall spezifische Kalibrierung. Obwohl der Modellierungsfehler der skalenauflösenden Verfahren entfällt bzw. sehr gering ist treten immer noch Diskretisierungsfehler auf. Dies macht es erforderlich ,bei der Verwendung eines skalenauflösenden Verfahrens, zu bestimmen welche Sensitivitäten zwischen den Ergebnissen und der z.B. räumlichen und zeitlichen Auflösung bestehen. Idealerweise sollte dies durch den Vergleich mit experimentellen Daten erfolgen.

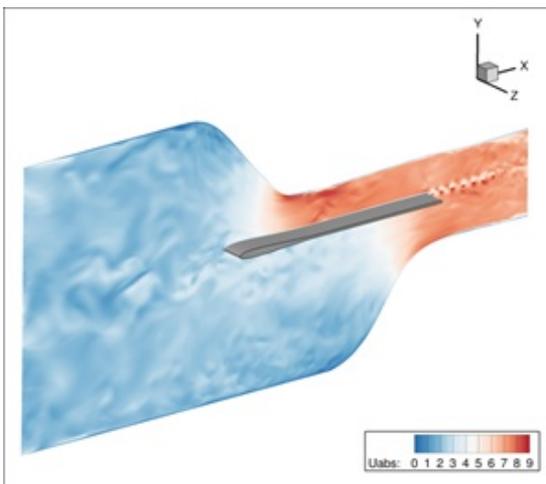


Abbildung 2: Geschwindigkeitsfeld des Testfalles aus [3]

Bei den zu untersuchenden Niederdruckturbinenprofilen handelt es sich jedoch um unbekannte Profile. Dies bedeutet ein üblicher Abgleich mit experimentellen Daten ist nicht möglich. Bevor also die eigentlich unbekannt Profile mit skalenauflösenden Verfahren simuliert werden ist es notwendig bestehende Sensitivitäten und die Abhängigkeit der Ergebnisse von diesen für das verwendete Verfahren zu bestimmen und einzuordnen anhand bekannter Testfälle.

Diese Sensitivitäten konnten erfolgreich über Voruntersuchungen in der ersten Förderphase des Projektes identifiziert und analysiert werden. Untersucht wurden hierfür unterschiedliche charakteristische Transitionsarten anhand einer Plattenströmung und zwei Turbinenkaskaden. Die experimentellen und numerischen Daten für diese Testfälle stimmen gut überein und das verwendete Verfahren ist in der Lage die unterschiedlichen Strömungsphänomene abzubilden.

Nach der erfolgreichen Validierung des Verfahrens bzw. der verwendeten Methodik ist das Ziel der aktuellen Förderphase ein erstens, unbekanntes Profil einer schnelldrehenden Niederdruckturbinen für drei verschiedene Reynolds-Zahlen zu simulieren. Diese drei gewählten Reynolds-Zahlen stehen repräsentativ für Take-off, Reiseflug und Landeanflug. Zusätzlich ist angedacht für jede Reynolds-Zahl eine Simulation mit Aufprägung der Strömung vorangelegener Schaufelreihen durchzuführen.

WWW

<http://www.tfd.uni-hannover.de>

Weitere Informationen

- [1] W.J.G. Bräunling, Flugzeugtriebwerke, *Springer Vieweg*, 4.Auflage, (2010). doi: 10.1007/978-3-642-34539-5
- [2] J. Hourmouziadis, Aerodynamic Design of Low Pressure Turbines, *AGARD Lecture Series No. 167: Blading Design for Axial Turbomachines*, Paper 8, (1989).
- [3] C. Brück, C. Lyko, D. Peitsch, C. Bode, J. Friedrichs, D. Kozulovic, A. Fiala, Y. Guendogdu, Analysis of Laminar-Turbulent Transition of a Low-Loss Generic Low Pressure Turbine Distribution, *ASME Turbo Expo*, (2015).

Projektpartner

AG: Multiphysik turbulenter Strömungen TFD

Förderung

Der Bearbeiter ist über ein unabhängiges öffentlich co-finanziertes Projekt finanziert.