

Neuartige Simulationsmethode für die Flugzeugaerodynamik

Erweiterung einer hybriden RANS/LES-Methodik zur Erforschung von Buffetphänomenen in der Triebwerks Umgebung von Transportflugzeugen

R. Radespiel¹, M. Herr¹, A. Probst²,

¹ Institut für Strömungsmechanik, Technische Universität Braunschweig;

² Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Deutsches Zentrum für Luft - und Raumfahrt Göttingen.

Kurzgefasst

- Erforschung der Flugbereichsgrenze einer Transportflugzeug Konfiguration mit neuartigem UHBR - Triebwerk
- Einsatz eines fortschrittlichen, hybriden Ansatzes der turbulenten Strömungssimulation erforderlich
- Kalibrierung und Verifizierung der skalenauflösenden RSM-IDDES Methodik anhand der XRF-1 Konfiguration
- rechenintensive Simulationen mit mehr als 200 Millionen Berechnungspunkten
- Erfassung instationärer Buffet-Phänomene in der Umgebung der Triebwerksgondel

Die übergeordnete Zielsetzung des HLRN Vorhabens besteht in der Erforschung der instationären aerodynamischen Wechselwirkungen zwischen Antrieb und Flügel für eine Verkehrsflugzeugkonfiguration mit eng gekoppeltem UHBR-Triebwerk (vgl. Abbildung 1). Diese instationären Wechselwirkungen in Form von Buffet-Phänomenen und Stoß-Grenzschicht Effekten bestimmt die Hochgeschwindigkeits-Grenze des Flugzeuges. Die besonderen geometrischen Gegebenheiten im Bereich zwischen Triebwerksgondel, Pylon und Flügelunterseite erfordern dabei den hybriden IDDES - Simulationsansatz auf Basis des RSM Turbulenzmodells. Jedoch existiert bislang keine allgemeingültige und hinreichend validierte Methodik dieser Art. Diese soll in diesem Projekt entwickelt und anhand der XRF-1 Flugzeugkonfiguration verifiziert werden.

In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass Flügelunterseite, Pylon, Triebwerksgondel und Rumpfunterseite einen teiloffenen Kanal bilden, wodurch die Strömung unterhalb des Flügels lokal beschleunigt wird. Je nach Triebwerksgröße und dessen Lage relativ zum Flügel bilden sich bei ausreichend großen Anströmmachzahlen Überschallgebiete aus. Während für Design Anströmbedingungen mit Hilfe von CFD Verfahren bereits ein Auslegungskompromiss erzielt werden konnte [1], existieren für High-Speed

Stall-Bedingungen nur wenige Studien. Bei der Triebwerksintegration von verbrauchseffizienten UHBR - Triebwerken mit hohem Nebenstromverhältnis ist im Vergleich zu herkömmlichen Triebwerken eine engere Kopplung an die Flügelunterseite notwendig. Aufgrund der großen Vorlage der Gondel relativ zum Flügel ist davon auszugehen, dass sich eine schwächere Kanalströmung ausbildet. Demgegenüber steht der Effekt, dass die Strömung über der Gondel durch die engere vertikale Anbindung stärker beschleunigt wird. Ohne eingehende Untersuchungen ist nicht absehbar, welcher der beiden Effekte dominiert, in welcher Form und Größe sich Überschallfelder unter dem Flügel ausbilden, wo die stärksten instationären Effekte auftreten und ob dies im Vergleich zu konventionellen Triebwerken bei höheren Machzahlen geschieht.

Die Untersuchung der instationären aerodynamischen Effekte beim High-Speed Stall erfordert die Verwendung der skalenauflösenden Large Eddy Simulation (LES) [2]. Da heutige Rechenkapazitäten allerdings nicht ausreichen, um Flugzeugkonfigurationen bei flugrelevanten Reynoldszahlen skalenauflösend zu simulieren, muss auf hybride RANS - LES Methoden ausgewichen werden [3]. Bei diesen wird im Bereich wandnaher Grenzschichten die statistische und kostengünstige RANS Methodik und im Bereich abgelöster Strömungen die LES Simulation verwendet. Ein geeignetes hybrides Verfahren ist hierbei das sog. DDES Methode, welches anliegende Grenzschichten automatisiert erkennt und im RANS - Modus berechnet. Die besonderen geometrischen Gegebenheiten der UHBR - Triebwerksintegration erzeugt aufgrund von Turbulenzanisotropien sog. Sekundärströmungen im wandnahen Bereich,

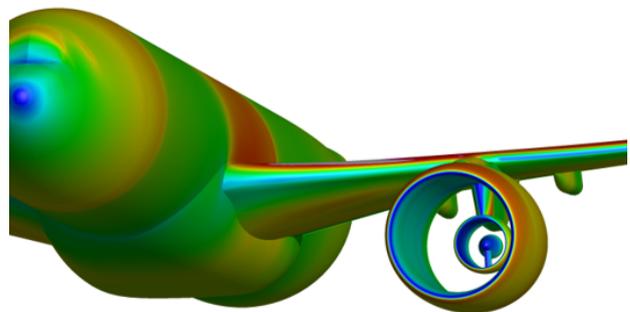


Abbildung 1: XRF1 - Transportflugzeugkonfiguration mit UHBR - Triebwerksgondel

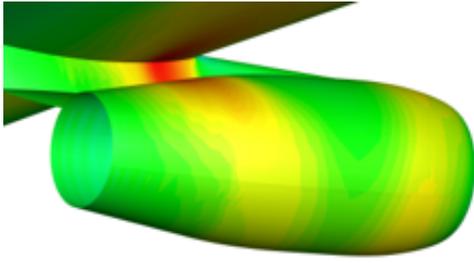


Abbildung 2: Isobarenverteilung auf Flügelunterseite, Triebwerksgondel und Pylon einer herkömmlichen Triebwerkskonfiguration.

welche auch vom RANS - Modus erfasst werden sollen. Um die Sekundärströmungen korrekt abzubilden, ist ein RANS Ansatz auf Grundlage der differentiellen Reynoldsspannungsmodellierung (RSM) notwendig. Dazu soll das etablierte SSG/LRR - RSM Verfahren eingesetzt werden, welches sich durch seine robuste Anwendbarkeit auf industrierelevante Konfigurationen auszeichnet [4]. Im Verlauf des Großprojektes werden auch signifikante Bereiche der wandanliegenden Strömung skalenauflösend simuliert. Hierfür eignet sich die wandmodellierete LES (WM - LES) Methodik, bei welcher die Turbulenz nur im Außenbereich anliegender Grenzschichten aufgelöst wird. Das IDDES Verfahren erweitert die zuvor beschriebene DDES - Methodik um den WM - LES Ansatz und stellt für die geplanten Untersuchungen somit eine geeignete Simulationsmethode dar [5].

In Vorarbeiten dieses Projektes wurde die Methodik bereits anhand einer periodischen Kanalströmung über einen großen Reynoldszahlbereich kalibriert. Der erste Schritt des Großprojektes besteht darin die RSM-IDDES Methodik durch eine ebenen Plattenströmung zu validieren. Im einem weiteren Arbeitspaket wird durch WM - LES Sensoren die ungestörte Entwicklung der aufgelösten Turbulenz im WM - LES Modus untersucht. Diese Sensoren befinden sich stromab einer synthetischen Turbulenzeinspeisung. Anhand der experimentell und numerisch gut untersuchten 3D - Diffusorströmung soll eine funktionierende Sensorik demonstriert werden, die in Anwesenheit von synthetischer Turbulenz in den WM - LES Modus und andernfalls in den RANS - Modus wechselt. In der zweiten Hälfte des HLRN Vorhabens werden die zuvor untersuchten Funktionalitäten anhand der XRF1 - Geometrie überprüft. Ausgangspunkt ist ein Rechennetz, welches für eine flugrelevante Reynoldszahl von $Re = 4 \cdot 10^6$ ausgelegt und im Bereich der Triebwerksintegration verfeinert ist, sodass dort die Voraussetzungen für eine skalenauflösende Simulationen erfüllt sind. Es wird erwartet, dass sich die Gittergröße auf insgesamt 200 Millionen Punkten beläuft. Im nächsten Schritt wird eine skalenauflösende Rechnung durchgeführt

und deren Lösung hinsichtlich ihrer mittleren Strömung, der Reynolds - Spannungen und dem im LES - Bereich wesentlichen Verhältnis von aufgelöster und modellierter Turbulenz untersucht. Abhängig von diesen Ergebnissen wird das Rechennetz nun gezielt verfeinert um die Netzkonvergenz der skalenauflösenden Simulationen zu demonstrieren. Durch sich anschließende Parametervariationen des Simulationssetups soll die RSM - IDDES Methodik anhand der XRF-1 Konfiguration sorgfältig überprüft werden.

Nach Abschluss des HLRN - Großprojektes steht eine grundlegend validierte RSM - basierte Simulationsmethodik mit lokal eingebetteter wandmodellierter LES für die Umgebung des UHBR - Triebwerks bereit, welche anhand der XRF-1 Konfiguration verifiziert wurde.

WWW

<https://www.tu-braunschweig.de/ism>

Weitere Informationen

- [1] R. Rudnik u.a. „Numerical Investigation of Engine Airframe Integration for High-Bypass Engines“ In: *Aerospace Science and Technology Journal* 6.1 (2002), S.31-42.
- [2] P.R. Spalart u.a. „On the role and challenges of CFD in the aerospace industry“ In: *The Aeronautical Journal* 120.1223 (2016), S.209-232.
- [3] J. Terzi u.a. „Hybrid LES/RANS Methods for the Simulation of Turbulent Flows“ In: *Progress in Aerospace Science* 44.5 (2008), S.349-377.
- [4] R.-D. Cécora u.a. „Differential Reynolds-stress modeling for aeronautics“ In: *AIAA Journal* 53.3 (2015), S.739-755.
- [5] M.L. Shur u.a. „A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modelled LES capabilities“ In: *International Journal of Heat and Fluid Flow* 29.6 (2008), S.1638-1649.

Projektpartner

Airbus; DLR; RWTH Aachen: Lehrstuhl für Strömungslehre und Aerodynamisches Institut; TU Braunschweig: Institut für Strömungsmechanik; TU München: Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungsmechanik; Universität Stuttgart: Institut für Aerodynamik und Gasdynamik

Förderung

Das Forschungsprojekt wird im Rahmen der DFG Forschungsgruppe 2895 gefördert.