

Neuartige Simulationsmethode für die Flugzeugaerodynamik

Erweiterung einer hybriden RANS/LES-Methodik zur Erforschung von Buffetphänomenen in der Triebwerksumgebung 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
- rechenintensive Simulationen mit bis zu 419 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 Ultra-Hochbypastriebwerken (UHBR) (vgl. Abbildung 1). Diese instationären Wechselwirkungen in Form von Buffet-Phänomenen und Stoß-Grenzschicht Effekten bestimmen die Hochgeschwindigkeits-Grenze des Flugzeuges. Die besonderen geometrischen Gegebenheiten im Bereich zwischen Triebwerksgondel, Pylon und Flügelunterseite erfordern dabei den hybriden IDDES - Simulationsansatz auf Basis der differentiellen Reynoldsspannungsmodellierung. Jedoch existiert bislang keine allgemeingültige und hinreichend validierte Methodik dieser Art.

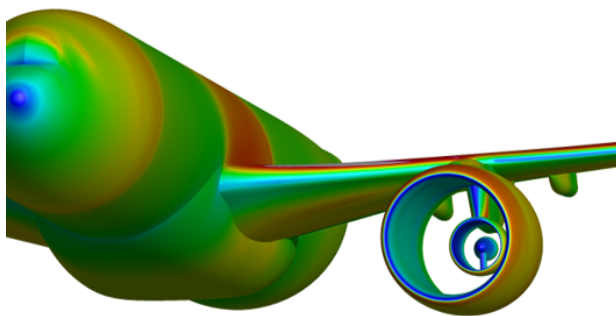


Abbildung 1: XRF1 - Transportflugzeugkonfiguration mit UHBR - Triebwerksgondel

Die Untersuchung der instationären aerodynamischen Effekte beim High-Speed Stall erfordert die Verwendung der skalenauflösenden Large Eddy Simulation (LES). Da heutige Rechenkapazitäten allerdings nicht ausreichen, um Flugzeugkonfigurationen bei flugrelevanten Reynoldszahlen skalenauflösend zu simulieren, muss auf hybride RANS - LES Methoden ausgewichen werden. 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 die sog. IDDES Methode, welches anliegende Grenzschichten automatisiert erkennt und im RANS - Modus berechnet [1]. Aufgrund der besonderen geometrischen Gegebenheiten im Verschneidungsbereich zwischen Triebwerksgondel, Pylon und Rumpf entstehen Turbulenzanisotropien im wandnahen Bereich, welche auch vom RANS - Modus erfasst werden sollen. Um diese Turbulenzanisotropien 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 [2].

In der vergangenen Förderperiode wurden neue wissenschaftliche Ergebnisse auf verschiedenen Ebenen gewonnen. Durch eine gezielte Weiterentwicklung der RSM-IDDES Methodik wurden bessere Übereinstimmungen mit Referenzdaten bei den Basistestfällen der periodischen Kanalströmung und der ebenen Plattenströmung erreicht. Um erste Erkenntnisse zum Buffetmechanismus zu erhalten, wurden skalenauflösende Rechnungen bei einem transonischen Flügelprofil durchgeführt. Nach einem Simulationszeitraum von 42 konvektiven Zeiteinheiten konnten hier Stoßoszillationen detektiert werden (vgl. Abbildung 2). Im Hinblick auf die eigentlichen Untersuchungen an einer Verkehrsflugzeugkonfiguration wurde ein neuer Testfall für Buffetuntersuchungen entwickelt, bei welchem eine einzelne Stoßfront an der Unterseite der Triebwerksgondel betrachtet wird (vgl. Abbildung 3). Zunächst wurden hierfür geeignete Anströmbedingungen gewählt, bei welcher eine stoßinduzierte Ablösung stromab der Stoßfront auftritt. Anhand der Größe des Rückströmgebietes und der lokalen Grenzschichtdicke wurde anschließend ein Netzdesign für das lokale Verfeinerungsgebiet entwickelt und mit der Verfeinerung begonnen.

Zu Beginn der Förderperiode werden lokal skalen-

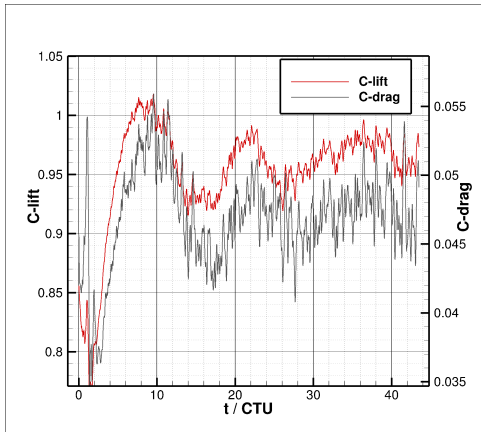


Abbildung 2: Zeitreihe des Auftriebsbeiwertes und Widerstandsbeiwertes eines transonischen Flügelprofils. Die Schwankungen konnten auf eine Stoßoszillation (Buffet) zurückgeführt werden.

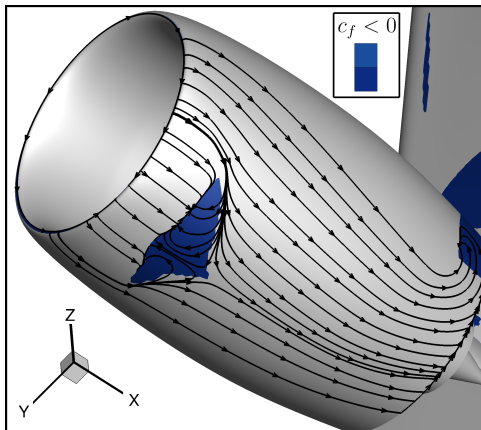


Abbildung 3: Sicht auf die Unterseite der Triebwerksgondel mit Stromlinien und Rückströmgebiet (blau).

auflösende Simulationen an der Gondelunterseite durchgeführt (vgl. Abbildung 3). Für das Rechenetz wurde eine Gittergröße von insgesamt 320 Mio. Punkten errechnet. Neben dem methodischen Erfahrungsgewinn durch die erstmalige Anwendung der skalenauflösenden Methodik auf eine transonische, dreidimensionale Konfiguration, soll der Testfall Aufschluss über das zeitliche Verhalten von 3D Schockfronten, dem Rückströmgebiet und deren Interaktion mit der Gesamtflugzeugkonfiguration geben, um das Verständnis des Buffetmechanismus zu vertiefen. Weiterhin sollen anhand dieser Konfiguration Untersuchungen mit einem effizienzsteigernden Ansatz durchgeführt werden, um die Anzahl der Gitterzellen deutlich zu reduzieren (um bis zu 34%). Im Fokus der Untersuchungen des sog. Wandfunktionsansatzes in Kombination mit der skalenauflösenden Methodik steht neben dem Einsparpotential auch die Anwendbarkeit auf Flugzeugkonfigurationen und der Genauigkeitsvergleich zu den vorhergehenden Rechnungen. Der finale Untersuchungsgegenstand

des Forschungsprojekts stellt der Verschneidungsbereich zwischen Pylon, Rumpf und Triebwerksgondel dar. In diesem Bereich wird das Gitter wiederum lokal verfeinert, um zeitabhängige Untersuchungen der dort auftretenden Strömungsphänomene durchzuführen. Im Gegensatz zur vorherigen Konfiguration treten in dieser Region mehrere Schockfronten auf, die sich gegenseitig überlagern. Die Dynamik dieser Überlagerung, die stoßinduzierten Strömungsablösungen und deren Einfluss auf den Auftriebsbeiwert ist neben der wissenschaftlichen Perspektive auch aus sicherheitsrelevanter Sicht von hohem praktischen Interesse.

Nach Abschluss des NHR-Großprojektes stehen neben einer neuartigen, skalenauflösenden Simulationemethodik auch hochwertige Forschungsergebnisse zu Buffetuntersuchungen an realen Flugzeugkonfigurationen zur Verfügung.

WWW

<https://www.for2895.uni-stuttgart.de/>

Weitere Informationen

- [1] 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.
- [2] R.-D. Cécora u.a. „Differential Reynolds-stress modeling for aeronautics“ In: *AIAA Journal* 53.3 (2015), S.739-755.

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

DFG Forschergruppe 2895

DFG Fachgebiet

404-03