

Dynamik eines Längswirbels

Hybride Rans/LES als Datenbasis für die Analyse des Längswirbelmäanderns

R.Radespiel, N.Rathje, Institut für Strömungsmechanik, Technische Universität Braunschweig

Kurzgefasst

- instationäre Längswirbel
- DLR TAU-Code
- Synthetischer Turbulenzgenerator
- wandmodellerte Large-Eddy-Simulation

Die im Rahmen des HLRN-Antrags betrachteten Längswirbel entstehen an einem Verkehrsflugzeug an mehreren Positionen, wie zum Beispiel an der Flügelspitze. Im Bereich der Triebwerksgondel entsteht in der Hochauftriebskonfiguration von Verkehrsflugzeugen ein komplexes Wirbelsystem, zu deren Beherrschung ebenfalls ein Längswirbel zum Einsatz kommt. Der auf dem Gondelstrake erzeugte Längswirbel interagiert mit der Grenzschicht des Tragflügels, dominiert das Wirbelsystem und verzögert die auftriebsmindernden Ablösungen auf der Saugseite des Flügels. Der Gondelstrake wird zur Beherrschung des Wirbelsystems bereits in der Reliabilität vielfach eingesetzt und ist in Abbildung 1 mittels kondensiertem Wasserdampf zu sehen.



Abbildung 1: Längswirbel am Gondelstrake eines Verkehrsflugzeuges, [1]

Dieser Längswirbel wird im Rahmen des DFG Forschungsprojektes RA 595/25-2 mit Hilfe eines isolierten Deltaflügels mit einer scharfen Vorderkante generisch erzeugt.

Im vorangehenden Projekt von Landa et.al. [2],[3] wurde im Rahmen von experimentellen Untersuchungen eine deutliche Wirbelbewegung des entstehenden Längswirbels festgestellt.

Es wurden verschiedene Simulationen unterschiedlicher Eindringtiefe bzgl. ihrer Genauigkeit in der Längswirbelsimulation verglichen. Hierbei lässt sich zusammen fassen, dass zum Beispiel die stationären RANS Ansätze mit Menter-SST

Turbulenzmodellierung den Wirbelradius überschätzen, während die Wirbelstärke unterschätzt wurden. Instationäre URANS mit dem (SSG/LRR)- ω als Reynoldsspannungsmodell und hybride RANS/LES Ansätze waren besser in der Lage die Wirbelphysik zu erfassen. Es gab jedoch immer noch Abweichungen von den Ergebnissen der um die Wirbelbewegung bereinigten experimentellen Daten. Zur Klärung dieser Fragen in der numerischen Simulationen von instationärer Wirbelbewegung soll nun ein Ansatz zur Beschreibung der Wirbelbewegung aufgrund des Wirbelmäanderns und aufgrund der turbulenten Schwankungsbewegungen entwickelt werden.

Die Beschreibung der Wirbelwanderung eines Längswirbels stellt ein komplexes Problem dar, das eine zeitaufgelöste Betrachtung notwendig macht. Im Rahmen experimenteller Voruntersuchungen wurden deshalb bereits zeitaufgelöste Stereo-PIV Aufnahmen des Längswirbels angefertigt. Ziel dieses HLRN-Vorhabens ist es, eine Datenbasis skalenaufgelöster Simulationen für die Untersuchung der Wirbelwanderung zu schaffen. Hierfür werden zwei hybride RANS/LES aus den Voruntersuchungen betrachtet, die jeweils den isolierten Deltaflügel in dem für die Experimente genutzten Windkanal abbilden. Die beiden Simulationen basieren auf einem hybriden Netz mit ungefähr $41 \cdot 10^6$ Punkten und werden mit Hilfe des DLR TAU-Codes simuliert. Der Testfall beschreibt einen Deltaflügel mit $\Phi = 65^\circ$ Pfeilung und scharfer Vorderkante im Unterschallwindkanal der TU Braunschweig. Der Deltaflügel hat einen Anstellwinkel von $\alpha = 8^\circ$, die Anströmgeschwindigkeit beträgt 55.5 m/s bei einer Reynoldszahl von $Re \approx 0.99 \cdot 10^6$.

Der Übergang von der RANS auf die LES erfolgt mit Hilfe eines synthetischen Turbulenzgenerators der aus den Informationen der RANS über die Turbulenz die synthetischen Fluktuationen berechnet. Die Fluktuationen werden dann im Bereich der LES als Quellterm eingebracht. Bailey et.al. [4] haben eine Grundlage zur Abschätzung der Wirbelbewegung eines Längswirbels geschaffen. Die Untersuchungen beschreiben die Wanderung eines Flügelspitzenwirbels mit Hilfe der Wirbelumschlagszeit. Bei einer Übertragung der Betrachtung auf den Fall des Deltaflügels im Unterschall ergeben sich für die erwartete dominierende Frequenz des Mäanderns ungefähr $f \approx 166 \text{ Hz}$ als eine erste Abschätzung. Die beiden in diesem Projekt verfolgten Ansätze der hybriden RANS/LES unterscheiden sich durch die Position des Übergangs zwischen RANS und LES Bereichen.

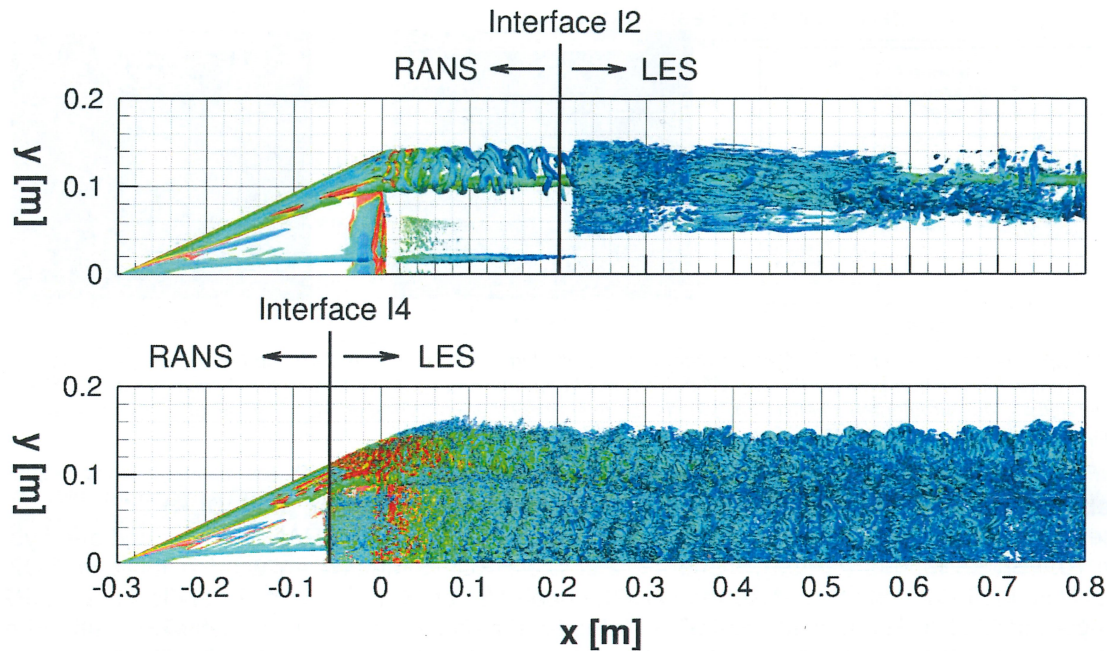


Abbildung 2: Darstellung der zwei hybriden RANS-LES mit Einbringen der synthetischen Turbulenz and den Positionen I.2 und I.4 [2]

Für die erste Variante, zu sehen auf Abbildung 2 (oben), ist der Übergang im Nachlauf des Deltaflügels gewählt. Das Aufwickeln der Primär- und Sekundärwirbel an der Flügelvorderkante wird hierbei im RANS Bereich dargestellt. Als Turbulenzmodell dient für die RANS Modelle beider Simulationen das Reynoldsspannungsmodell (SSG/LRR)- ω . Die zweite Simulation, zu sehen in Abbildung 2 (unten) berücksichtigt einen Übergang zu der LES nach 2/3 der der Sehnenlänge des Flügels. Hierbei wird ein Teil des Aufwickelns der Längswirbel bereits durch skalenaufgelöste Simulationen beschrieben. Die Positionen der gewählten Übergänge wurden in den Voruntersuchungen von Landa [3] bereits eingehend untersucht und erbrachten jeweils im Vergleich zur Einbringung weiter stromab gelegenden Positionen die besseren Ergebnisse im Vergleich zu den Experimenten aus [2].

Die Datenbasis der hybriden RANS/LES wird aus den Zeitschritten der Simulationen aufgebaut und mit einer Ausgabefrequenz von 10 kHz aufgezeichnet. Durch die hohe Frequenz soll eine zeitliche Auflösung der Reynoldsspannungen sichergestellt werden. Ziel der Datenanalyse ist ferner das Bestimmen der Wirbelbewegung im Frequenzspektrum. Hierzu werden Zeitschritte mit Hilfe des "Snapshot POD/DMD" Verfahrens weiter verarbeitet. Hierbei soll das Wirbelmäandern über seine dominierende Moden nach dem Energiegehalt geordnet ausgegeben werden. Die "Dynamic Mode Decomposition" nach Schmid [5] erlaubt schlussendlich eine Beschreibung der Moden über die dazugehörige Frequenz und Amplitude.

WWW

<http://www.tu-braunschweig.de/ISM>

Weitere Informationen

- [1] Abbildung: Wirbelbildung an einem Gondelstrake https://frank.itlab.us/photo_essays/wrapper.php?apr_01_2010_sq22.html
- [2] T. Landa, L. Klug, R. Radespiel, S. Probst, T. Knopp *AIAA Journal* **58** (2020). doi: 10.2514/1.j058650
- [3] T. Landa
Dissertation, (2020). Simulation von Längswirbeln für Verkehrsflugzeuge in Hochauftriebskonfiguration TU Braunschweig, Niedersächsisches Forschungszentrum für Luftfahrt.
- [4] S. Bailey, S. Pentelow, H. Ghimire, B. Estejab, M. Green, S. Tavoularis *J. Fluid Mech.* **843** (2018). doi:10.1017/jfm.2018.180
- [5] J. Schmid
Journal of Fluid Mechanics **656** 2010 doi: 10.1017/s0022112010001217

Projektpartner

DLR e.V.; Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, *C²A²S²E* Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering

Förderung

DFG Forschungsprojekt RA 595/25-2