

LASTABMINDERUNG UND STRÖMUNGSKONTROLLE FÜR PERFORMANCEOPTIMIERUNG EINES LANGSTRECKENFLUGZEUGS IM PROJEKT In-Fly-Tec

W.R. Krüger¹, V. Handojo¹, S. Pülm², H. v. Geyr², M. Kruse², H. Lüdeke², T. Streit², L. Heinrich³, L. Tönjes³, C. Wallace⁴, N. Fezans⁴, Ö. Süelözgen⁵, T. Kier⁵

¹ Institute für Aeroelastik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Göttingen

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

³ Institut für Systemleichtbau, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig

⁴ Institut für Flugsystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig

⁵ Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen

KURZFASSUNG DES PAPERS

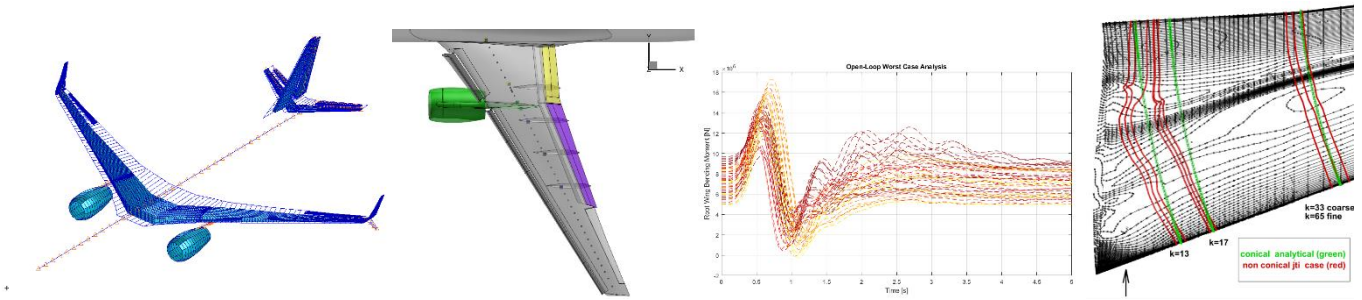
Die Transportleistung des Flugzeugs kann durch ein geringeres Strukturgewicht und einen reduzierten Widerstand erheblich gesteigert werden. Zur Reduktion des Strukturgewichts tragen moderne Materialien (z. B. CFK) bei, mit denen sich passive Maßnahmen zur Lastreduktion durch neue Bauweisen, Strukturoptimierung und Aeroelastic Tailoring umsetzen lassen. Darüber hinaus sind lastmindernde Maßnahmen durch moderne Regelungsverfahren ein wichtiger Bestandteil der integrierten Auslegung eines neuen Flügels. Für die Reduktion des Strömungswiderstands ist die Laminartechnologie, insbesondere die Hybridlaminarisierung, eine der Schlüsseltechnologien der Flugphysik, die für ein Langstreckenflugzeug eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs in der Gesamtbilanz um bis zu 10% ermöglicht und somit signifikant zu dem Ziel einer leistungsfähigen und klimaschonenden Luftfahrt beiträgt.

Im Projekt In-Fly-Tec wurden vom DLR in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern Airbus und Universität Magdeburg Technologien zur aktiven und passiven Lastreduktion sowie zur Widerstandsreduktion untersucht. Das zentrale Ziel des Projekts war die Ermittlung des Potenzials eines gemeinsamen Einsatzes dieser Technologien für die Optimierung der Gesamtleistung von Transportflugzeugen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurden sowohl auf Varianten eines aktuellen Langstreckenflugzeugs mit einem turbulent umströmten Flügel angewendet, als auch auf eine Konfiguration mit einem widerstandsminimalen Flügel mit Hybrid-Laminar-Technologie (HLFC).

Im Einzelnen wurden in In-Fly-Tec die Verfahren für die parametrische Modellierung von Flügelstrukturen mit anschließender Strukturoptimierung auf Basis von umfassenden Lastanalysen erweitert. Die Aussagekraft der Ergebnisse erhöhte sich durch die Integration der Lasten aus Hochauftrieb in die

Lastanalyse. Als aktive Maßnahmen zur Lastreduktion wurden Regelungskonzepte wie Feedback-Regelung, LIDAR-basierte Regelung und Kombinationen dieser Ansätze untersucht. Eine umfassende vergleichende Betrachtung mit Bewertung des Potentials für eine Reduktion der Strukturmassen durch diese Lastabminderungsmaßnahmen wurde anhand mehrerer Flugzeugkonfigurationen durchgeführt.

Für die HLFC-Konfiguration zeigte die Analyse von Laminarprofilen bei turbulenter Umströmung keine Einschränkung der Klappenwirksamkeiten. Die Lastkontrollmaßnahmen der turbulenten Konfiguration ist auf die HLFC-Konfiguration übertragbar. Das Verständnis der physikalischen Grundlagen für die HLFC-Kammerströmung wurden deutlich erweitert. Aspekte dabei sind die numerische Simulation und Validierung kammerfreier Absaugsysteme mit spannungweitig langgezogenen Kammern und die Analyse des Einflusses spannungweiger Druckgradienten auf die Kammerströmung und die Absauggeschwindigkeiten. Ebenso wurde die numerische Modellbildung verbessert, sowohl für die Erstellung eines schnellen numerischen Verfahrens zur Transitionsvorhersage in nicht-konischen Grenzschichten, für die automatisierte, iterative Transitionsvorhersage für HLFC-Konfigurationen mit dem DLR TAU Code für relevante Instabilitäten, wie auch für eine verbesserte Widerstandsvorhersage durch konsistente Berücksichtigung von Grenzschichtabsaugung in Transitionsvorhersage und CFD-Verfahren. Insgesamt wurde die HLFC-Simulationsfähigkeit mit TAU hergestellt und bestehender Prozesse durch Automatisierung rationalisiert.



FÖRDERUNG

Das Projekt In-Fly-Tec wurde gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz**

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

REFERENZEN

- [1] T. Klimmek et al (2020): High-Fidelity Based MDO: A Closer Look at the Selected Sub-Processes Overall Aircraft Design Synthesis, Loads Analysis, and Structural Optimization. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 01.-03. Sep. 2020.
- [2] M. Schulze et. al. (2020): cpacs-MONA – Aeroelastic Structural Design Process for Multi-Fidelity Multidisciplinary Design Optimization Approaches. AVIATION 2020, Reno, 15.-19.06.2020.
- [3] T. Klimmek, S. Dähne, B. Fröhler, J. Hartmann, D. Kohlgrüber, M. Petsch, M. Schulze, A. Schuster, Ö. Süelözgen (2020): High-Fidelity-based MDO: A Closer Look at the Selected Sub-Processes Overall Aircraft Design Synthesis, Loads Analysis, and Structural Optimization. DLRK 2020 - Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 01.-03. Sep. 2020, online.
- [4] M. Zimmer, V. Handojo (2020): Impact of Gust Loads and Manoeuvre Load Alleviation Techniques on the Design of a Highly Flexible Jet Transport. DLRK 2020 - Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 01.-03. Sep. 2020, online.
- [5] K. Sinha, T. Klimmek, M. Schulze, V. Handojo (2021): Loads analysis and structural optimization of a high aspect ratio composite wing aircraft. CEAS Aeronautical Journal, 12, pp. 233-243. Springer. doi: 10.1007/s13272-021-00494-x.
- [6] Schulze, M., Neumann, J., Klimmek, T. (2021): Parametric Modeling of a Long-Range Aircraft under Consideration of Engine-Wing Integration. Aerospace 2021, 8(1), 2. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/aerospace8010002>.
- [7] Handojo, V. (2022): Investigation of Load Alleviation in Aircraft Pre-Design and Its Influence on Structural Mass and Fatigue. Aerospace Science and Technology, Vol. 122. Elsevier. doi: 10.1016/j.ast.2022.107405.
- [8] Schulze, M., K., Bramsiepe, K., Handojo, V., Klimmek, T., Sinha, K. (2022): Aeroelastic Design of a Highly-Flexible Wing Using a Simplified Composite Optimization Approach within cpacs-Mona. DLRK 2022, 27.-29. Sep 2022, Dresden.
- [9] V. Handojo, T. Klimmek, T. Streit (2022): Loads Analysis and Structural Optimization of a Long Range Transport Configuration with Hybrid Laminar Flow Control. ICAS 2022, 4-9. Sept. 2022, Stockholm.
- [10] S. Pülm, V. Handojo (2021): Lastfallanalysen zu XRF1 Hochauftriebskonfigurationen (2021): STAB 2021, Göttingen, online.
- [11] T. Kilian, A. Bismark, H. Lüdeke et al (2021): The influence of high spanwise chamber extent on HLFC performance. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 2021, Bremen, Germany.
- [12] H. Lüdeke (2022): Simulation of Suction Chambers with Variable Pressure Distribution for HLFC Applications. STAB 2022, Berlin, Germany
- [13] N. Krimmelbein (2021): Transition prediction method for three-dimensional flows using linear stability theory. Dissertation DLR, 2021.
- [14] Petropoulos, I., Streit, Th., Kilian, Th. and Kruse, M.: Numerical aerodynamic performance assessment of HLFC wing configurations using far-field drag analysis. 56th 3AF International Conference on Applied Aerodynamics, 28 – 30 March 2022, Toulouse – France.
- [15] Streit, Th., Kruse, M., Kilian, Th., v. Geyr, J., Petropoulos, I.: Aerodynamic Design and Analysis of HLFC Wings within the European Project

HLFC-Win, ICAS Conference, Stockholm, 4-9. Sept. 2022.

- [16] M. Kruse: Impact of Boundary Layer Suction on the Prediction of Drag and Transition for Transport Aircraft with Hybrid Laminar Flow Control. ECCOMAS 2022, 05-09 June 2022, Oslo, Norway.
- [17] S. Dähne, E. Werthen und D. Zerbst: Lightworks, a scientific research framework for optimisation of composite stiffened panel structures. Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization. Submitted and under review.