

Leichte und effiziente Flugzeuge durch aktive Reduktion der Flügelbelastung während des Manöverflugs

Aerodynamischer Entwurf und Bewertung dynamischer Steuerflächen für die Reduktion von Manöverlasten

C. Breitenstein, R. Radespiel, Institut für Strömungsmechanik, Technische Universität Braunschweig

Kurzgefasst

- Effizienz eines Verkehrsflugzeugs hängt vom aerodynamischen Widerstand ab
- Widerstand ist klein bei geringem Flugzeuggewicht und hoher Flügelstreckung
- Hohe Flügelbelastung während des Manöverflugs erfordert stabile und damit schwere Flügelstruktur insbesondere bei hochgestreckten Flügeln
- Durch an die verschiedenen Flugmanöver angepasste Steuerflächenaus schläge soll der Druckpunkt der am Flügel angreifenden Auftriebskraft nach innen verschoben werden
- Flügelbelastung wird dadurch reduziert, sodass eine leichtere Flügelstruktur oder höhere Flügelstreckung realisiert werden kann
- Untersuchung eines solchen Lastminderungssystems erfolgt mithilfe von gekoppelten numerischen Simulationen der Flugzeugumströmung und der resultierenden Verformung des Flügels

Der aerodynamische Widerstand eines Verkehrsflugzeuges bestimmt den im Reiseflug erforderlichen Triebwerksschub und damit auch die Effizienz. Er ist unter anderem abhängig vom Flugzeuggewicht und von der sogenannten Flügelstreckung. Die Streckung ist ein Maß für das Verhältnis von Flügelspannweite zu Flügeltiefe, wobei gilt, je höher die Streckung, desto geringer der Widerstand. Allerdings nimmt mit der Streckung auch das Flügeltgewicht zu, unter anderem da die auftretenden Lasten einen größeren Hebelarm an der Flügelwurzel haben, sodass die Struktur größeren Biegemomenten ausgesetzt ist und somit massiver ausgelegt werden muss. Im Flugzeugentwurf muss daher ein Kompromiss gefunden werden zwischen möglichst hoher Streckung und möglichst geringem Gewicht.

Eine Möglichkeit, eine höhere Flügelstreckung bei gleichem oder sogar geringerem Gewicht zu realisieren und somit die Effizienz des Flugzeuges zu verbessern, besteht in der Reduktion der maximalen Flügellasten. Für große Teile der Flügelstruktur sind aerodynamische Lasten dimensionierend, welche

sich aus den gemäß der Zulassungsvorschriften [1] zu berücksichtigenden Manöver- und Böenszenarien ergeben. Die Minderung solcher Manöver- und Böenlasten wird im Verbundvorhaben *INTELWI* an der generischen, rückgepeilten Transportflugzeugkonfiguration *LEISA* [2] sowie an einem im Projekt entworfenen Referenzflugzeug untersucht. Im Teilvorhaben *INTELWI-TUBS* liegt der Fokus auf der Kontrolle der Manöverlasten, die sich durch gezieltes Ausschlagen von Steuerflächen an Vorder- und Hinterkante des Flügels reduzieren lassen [3]. Während im Reiseflug zur Minimierung des induzierten Widerstands der Auftrieb für gewöhnlich näherungsweise elliptisch über der Flügelspannweite verteilt ist, soll im Manöverflug eine solche elliptische Auftriebsverteilung gerade vermieden werden, da sie zu hohen Biegelasten führt. Die Idee der Manöverlastminderung ist also, wie in Abbildung 1 skizziert, den spannweitigen Schwerpunkt der Auftriebsverteilung während eines Manövers durch Steuerflächenaus schläge nach innen zu verschieben, sodass der Hebelarm an der Flügelwurzel kleiner wird und Biegelasten somit reduziert werden. Dazu muss das aerodynamische Verhalten der einzelnen Steuerflächen für Manöver bei unterschiedlichen Flugbedingungen bekannt sein. Neben diesem Aspekt spielen außerdem die Zusammenhänge zwischen der Lastminderung und der Manövrierfähigkeit sowie der Stabilität des Flugzeugs eine Rolle.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Lösung einer numerischen Strömungssimulation für ein Flugzeug mit am Außenflügel nach oben ausgeschlagenen Wölbklappen. Die nach oben ausgeschlagenen Wölbklappen bewirken dabei, dem oben beschriebenen Prinzip der Lastminderung folgend, eine Reduzierung des Auftriebs am Außenflügel. Für die Simulation wurde der RANS-Ansatz verwendet, bei dem die stationären und großskaligen Strömungsstrukturen direkt über die Navier-Stokes-Gleichungen berechnet werden, während die kleinskaligen Strukturen der Turbulenz sehr nah an der Oberfläche und hinter dem Flugzeug zur Reduzierung des Rechenaufwandes modelliert werden.

In den Simulationen werden die kritischen Lastfälle betrachtet, also Fälle, bei denen die Struktur besonders beansprucht wird und folglich auch eine signifikante Verformung des Flügels auftritt. Da diese Flügelverformung und die aerodynamischen Kräfte sich wechselseitig beeinflussen, was unter anderem auch die Wirksamkeit der zur Lastminderung

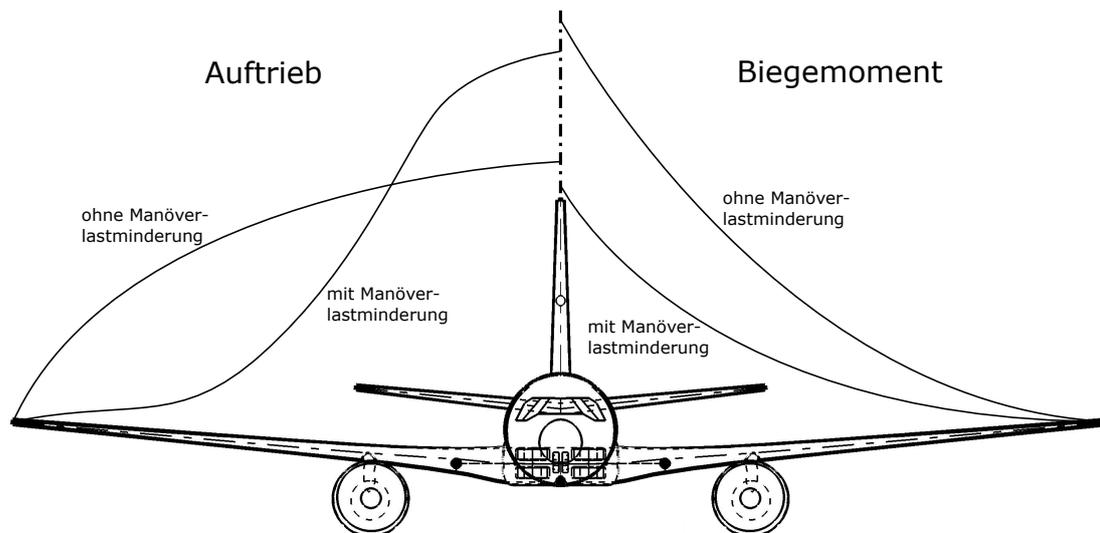


Abbildung 1: Prinzip der Manöverlastminderung: Zur Reduzierung des Biegemoments wird der Auftrieb am Flügel von außen nach innen umverteilt

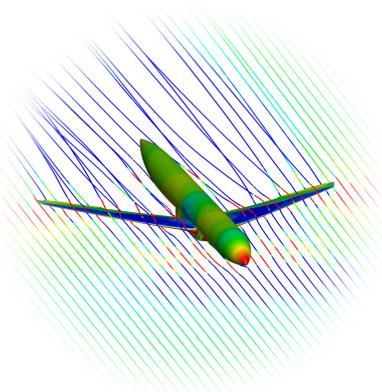


Abbildung 2: Simulation eines Abfangmanövers mit am Außenflügel nach oben ausgeschlagenen Wölbklappen zur Lastminderung

eingesetzten Steuerflächen erheblich beeinträchtigen kann, wird die Strömungssimulation mit einem linearen Modalmodell zur Berechnung der Strukturverformung gekoppelt. Während des Manöverflugs können dabei auch instationäre Phänomene eine Rolle spielen, was die Komplexität der Berechnung der resultierenden Flügellasten noch erhöht und die Verwendung eines Hochleistungsrechners erforderlich macht. Auf Grundlage der durchgeführten Simulationen soll letztlich das Potential der Manöverlastminderung im Zusammenspiel mit anderen Aspekten des Flugzeugentwurfs hinsichtlich der Effizienz des Gesamtsystems bewertet werden.

WWW

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

und-arbeitsgruppen/aerodynamics-of-aircraft/research-activities/intelwi-tubs

Weitere Informationen

- [1] European Aviation Safety Agency, Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25 - Amendment 26, Bauvorschrift, EASA, Dezember 2020. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cs-25_amendment_26_0.pdf
- [2] J. Wild, Definition of the LEISA Reference Configuration, DLR Institutsbericht 124-2005, Braunschweig, Mai 2006.
- [3] C. Breitenstein, R. Radespiel, Flow simulation of the flight manoeuvres of a large transport aircraft with load alleviation, *The Aeronautical Journal*, **126**, 1298, pp. 681-709, 2022. doi: 10.1017/aer.2021.93

Projektpartner

Institut für Flugzeugbau und Leichtbau (Technische Universität Braunschweig), Institut für Aerodynamik und Gasdynamik (Universität Stuttgart), Institut für Flugzeug-Systemtechnik (Technische Universität Hamburg), Airbus, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Förderung

BMW Luftfahrtforschungsprogramm (LuFo) VI-1 Teilvorhaben *INTELWI-TUBS* (Förderkennzeichen 20A1903J)

DFG Fachgebiet

404-03