



Leiser Flugverkehr II – Abschlussveranstaltung

Arbeitspaket 2B – Lärmarmere Zellenentwurf

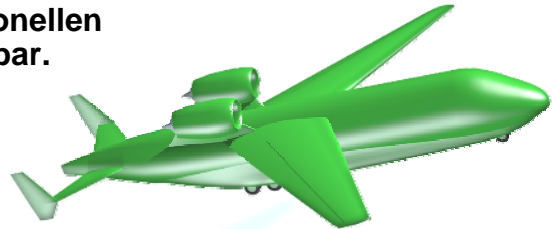
Werner Dobrzynski
DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig



Folie 1 > LFVK II Abschlusspräsentation > Dobrzynski

Motivation:

- Die “**Visions 2020**” verlangen **10 dB Lärmreduktion** für alle Zulassungspunkte, also auch für den Landeanflug, wo Zellenlärm und Triebwerkslärm etwa gleich groß sind.
- Diese Herausforderung ist mit konventionellen Flugzeugkonfigurationen nicht realisierbar.
- Daher muss auch über neue, lärmarme Konfigurationen nachgedacht werden.
- Aspekte bezüglich der Zelle sind hier:
 - Leise Zellenkomponenten (minimales Hinterkantengeräusch von Auftriebsflächen, kurze Fahrwerke)
 - Abschirmung von Triebwerksgeräusch durch die Zelle



Daraus leiten sich die Teilaufgaben im Projekt ab:

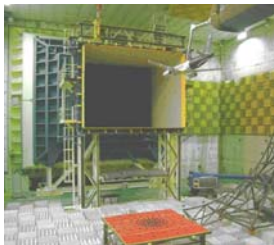
1. Kriterien und Vorhersagemodell für Umströmungslärm zum Vorentwurf
2. Leise Hinterkante
3. Abschattungswirkungen bei neuen Flugzeugkonfigurationen
4. Wirbelschlepe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen

Zielsetzung:

- Entwicklung eines Schallquellmodells für den Zellenlärm, geeignet für den Vorentwurf, d.h. basierend auf globalen Auslegungsparametern.

Methodik:

- Analyse und Bewertung von akustischen Daten aus Windkanal- und Flugversuchen und Daten/ Analysen aus der Literatur.
- Korrelation der Messdaten mit globalen Auslegungs- und Strömungsparametern unter Berücksichtigung bekannter physikalischer Zusammenhänge für Einzelquellen.
- Formulierung von semiempirischen/ empirischen Quellmodellen und Integration in ein modulares Vorhersageverfahren für den Zellenlärm.

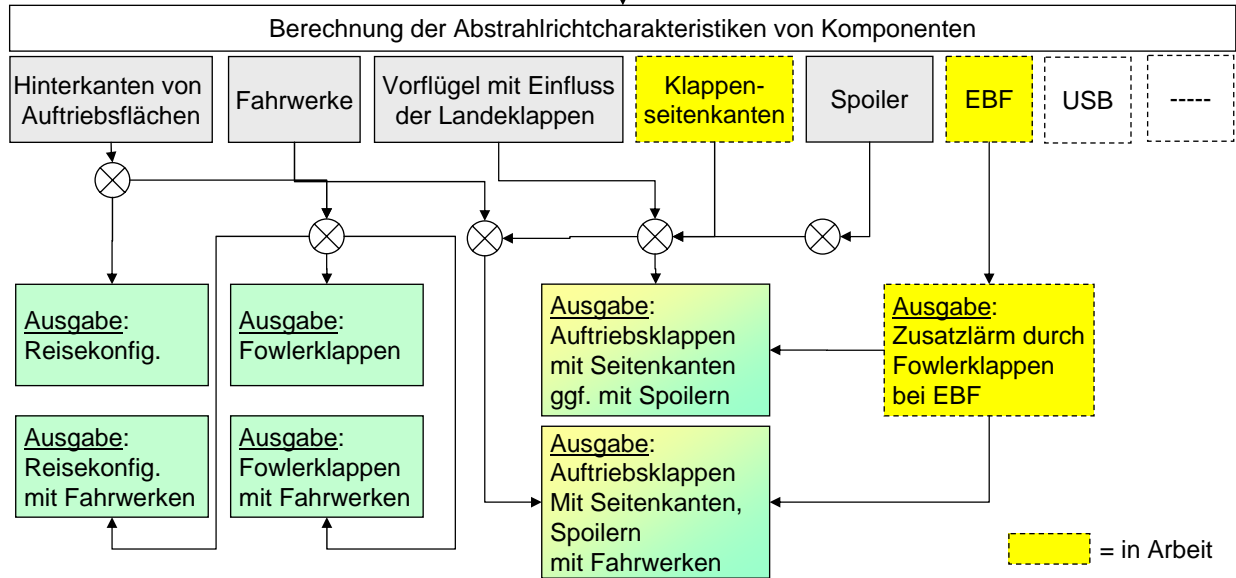


Umströmungslärmkriterien für den Vorentwurf



Eingabe:

- Geometrie der Flugzeugkomponenten
- Flugzeugkonfiguration
- Fluggeschwindigkeit und Bahndaten

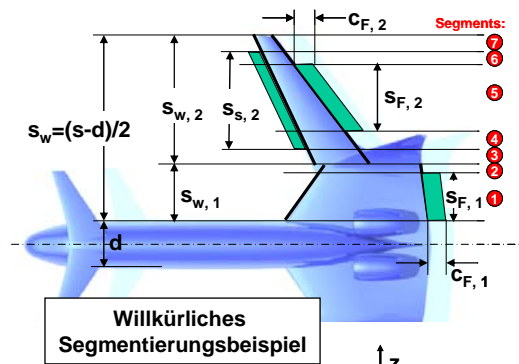


Umströmungslärmkriterien für den Vorentwurf



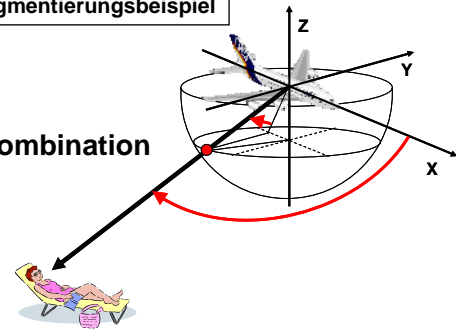
Eingabe:

- **Flugzeugkomponenten** (segmentiert nach Konfiguration):
 - Spannweiten, Sehnen, Pfeilungen, Klappenwinkel
 - Fahrwerkstyp und -größe, Installationsort
 - Lärminderungsmaße für einzelne Komponenten
- **Betriebsdaten:**
 - Fluggeschwindigkeit, Anstellwinkel, Rollwinkel, Bahnwinkel



Ausgabe:

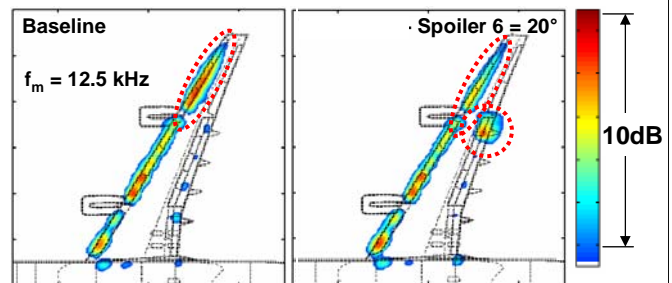
- **Terzspektren für "stationäre Quellen" in beliebiger Kombination**
 - in Form der Abstrahlrichtcharakteristiken auf einer Halbkugel mit Referenzradius 1 m (d.h. ohne atmosphärische Dämpfung),
 - für vorgegebene Flugzeugkonfigurationen.



Mit einem nachgeschalteten Programm erfolgt die Berechnung der Überflugpegel (z.B. SPL, LAmax, EPNL) für beliebige Flugbahnen.

Zusammenfassung und Ausblick:

- Ein modulares Schallquellmodell auf Basis von Entwurfsparametern wurde entwickelt.
- Modellierung der Geräusche von noch fehlenden Zellenkomponenten (speziell Richtcharakteristik) steht noch aus (z.B. Seitenkantengeräusch).
- Vergrößerung der Datenbasis durch Überflugmessungen an weiteren Flugzeugen zur Validierung des Quellmodells für den Zellenlärm erforderlich.
- Auswertung von **RANS Rechnungen** bezüglich des Zusammenhanges zwischen Vorflügelgeräusch und **lokalen Strömungsgrößen** um auch **aeroakustische Wechselwirkungen** erfassen zu können (z.B. Spoiler → Slat).
- Kombination des Quellmodells für den Zellenlärm mit:
 - **Triebwerkslärmmodell und**
 - **Verfahren zur Berechnung von Schallabschattungseffekten.**



Zielsetzung:

- Lärmarme Auslegung der Abströmkanten von Auftriebsflächen.
- Reduktion von Hinterkantenlärm durch strömungsdurchlässige Kanten (Bürsten/ Kämme).



Methodik:

- Experimentelle Parameterstudie (2D) zur Identifikation wesentlicher Einflussparameter im **AWB** (Aeroakustischer Windkanal Braunschweig).
- Testparameter: Reynoldszahl (Profilsehnenlänge, Strömungsgeschwindigkeit), Anstellwinkel, Hinterkantendicke, Auslegungsparameter der Kantenmodifikationen (Material, Faserabstand, -durchmesser, -länge, -orientierung).
- Ableitung von Skalierungsgesetzen für evtl. Nachrüstmaßnahmen.

Anwendung von Bürsten
z.B. an der Vorflügel-
hinterkante



Aeroakustischer Windkanal Braunschweig (AWB)



Düsenquerschnitt: 1,2 m x 0,8 m
Max. Geschwindigkeit: 60 m/s

Leise Hinterkante

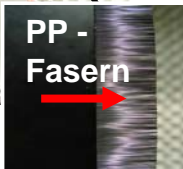
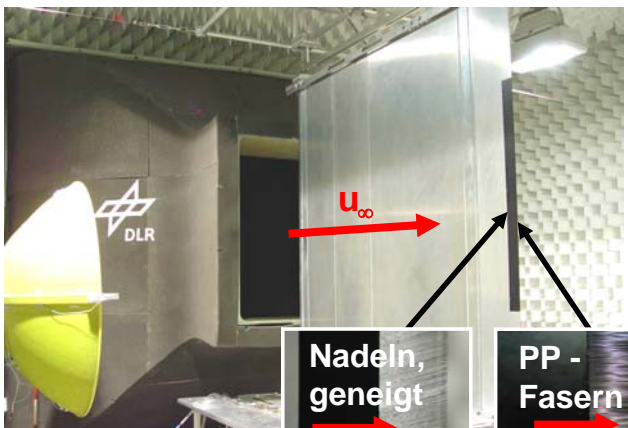
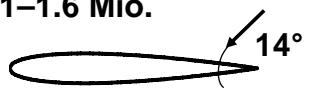


Versuchsaufbauten im AWB Düse: 0.8 m x 1.2 m

Ebene Platte
Re = 2.1–7.9 Mio.

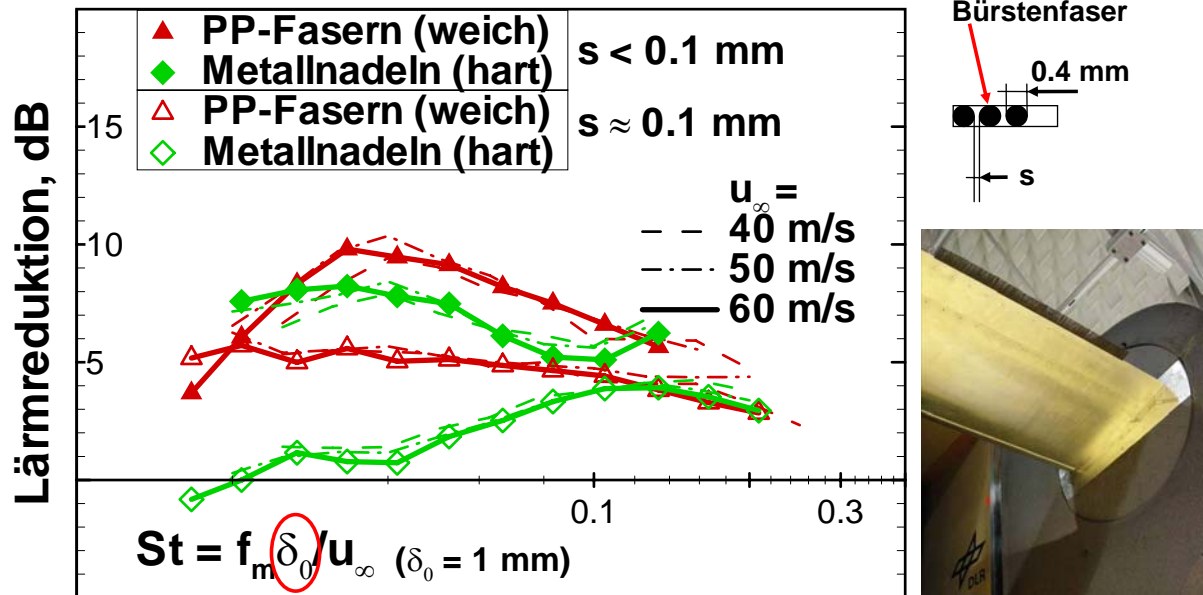


NACA0012
Re = 1.1–1.6 Mio.



Ergebnisse – Lärminderungsmaßnahmen

Auslegungsparameter, NACA0012, $\alpha = 0^\circ$



Zusammenfassung und Ausblick:

- Nahezu vollständige Reduktion des Hinterkantenlärms durch bürstenartige Kantenmodifikationen wurde nachgewiesen.
- Grundlegende Skalierungsgesetze für die technische Umsetzung:
 - Günstige Bürstenauslegung nahezu unabhängig von Modellgeometrie und mittleren Strömungsbedingungen (δ^* , Druckgradient),
 - Skalierungsverhalten wie für undurchlässige Hinterkanten: $p^2 \sim u_\infty^5$.
- Wesentliche Auslegungsparameter:
 - Geringe Schlitzbreite $s < 0.1 \text{ mm}$ (bzw. Faserabstand) zwingend notwendig, ebenso wie Mindestlänge von ca. 15 mm.
 - Flexibilität der Fasern günstig, jedoch nicht zwingend.
 - Faserorientierung in Strömungsrichtung, große Faserdurchmesser sind vorteilhaft.
- Für undurchlässige Referenzkanten zeigte sich, dass Transitionslage und Kantengeometrie erheblichen Einfluss auf die Schallabstrahlung haben.
- Für reale Anwendungen an Flugzeugkomponenten muss der Einfluss von Schiebewinkeln untersucht werden.

Zielsetzung:

- Abschätzung/ Bewertung der Abschattungswirkungen für neue Flugzeugkonfigurationen mit über den Tragflächen installierten Triebwerken. Hierzu
 - Entwicklung von Werkzeugen zur Berechnung von Abschattungswirkungen,
 - Experimentelle Validierung der entwickelten Verfahren.

Methodik:

- Theoretisch/ Numerisch:
 - Aufsetzen eines Strahlverfolgungsverfahrens (Ray-tracing) zur Berechnung von Schallabschattungen.
 - Berücksichtigung von Beugungseffekten und dem Einfluss einer überlagerten Strömung.
- Experimentell:
 - Entwicklung einer monopolartigen Punktschallquelle
 - Bestimmung der Schallabschattung am Modell LNA1 (Low-Noise Aircraft) für unterschiedliche Triebwerkspositionen (Quellpositionen).



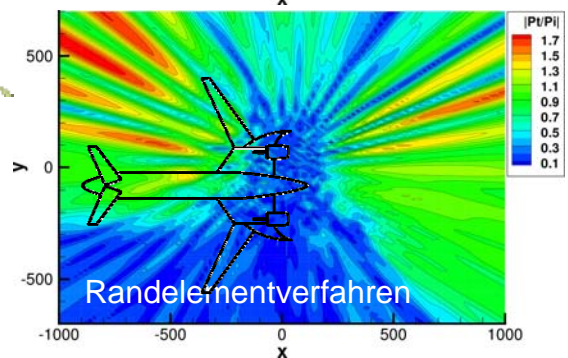
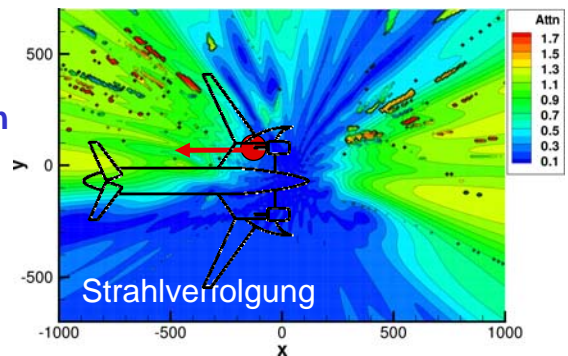
Lärmarme Flugzeugkonfigurationen



- Das **Strahlverfolgungsverfahren** ist gegenüber dem Randelementverfahren (BEM) für Abschattungsrechnungen bei **hohen Frequenzen** geeignet
- Berücksichtigung von **Beugungseffekten** durch Auswertung eines Linienintegrals entlang der optischen Schattengrenze basierend auf Rubinowicz-Theorie.
- Rechnungen an der LNA1-Geometrie im Vergleich mit BEM zeigen in der Ebene unter der Geometrie **gute Übereinstimmung** für eine 340 Hz (also tieffrequente) Monopolquelle.
- **Strömungseffekte** müssen in Zukunft berücksichtigt werden.



Strahlverfolgung für LNA1-Geometrie:



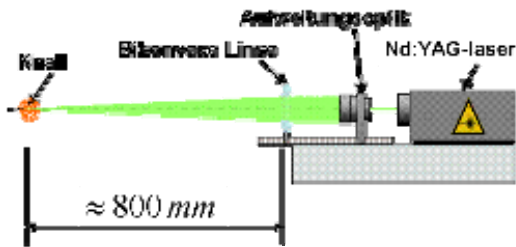
Lärmarme Flugzeugkonfigurationen



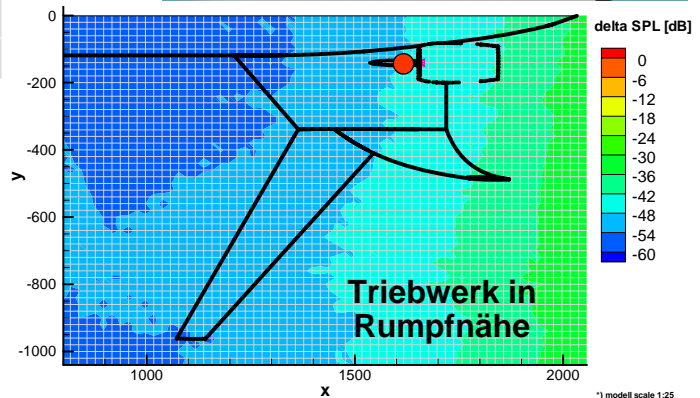
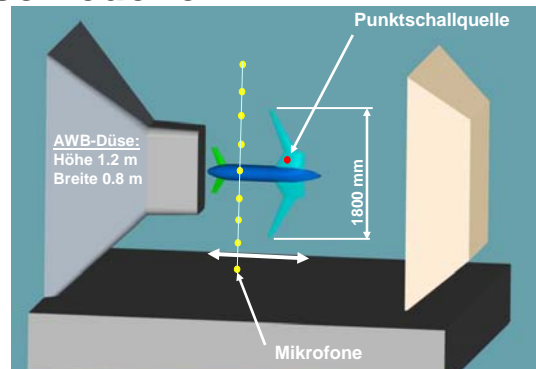
Abschattungsmessungen für verschiedene Triebwerkspositionen:

Laser-Punktschallquelle:

- Störungsfreier Betrieb („berührungslos“)
- Monopol-Abstrahlcharakteristik
- Ausreichend hoher Pegel bis zu 50 kHz



- Variation der Triebwerksposition
- Schallpegelverteilung
0,8 Spannweiten unter dem Flugzeug für Frequenz von 1 kHz im Originalmaßstab



Zusammenfassung und Ausblick:

Theoretische Arbeiten

- **Strahlverfolgungsverfahren mit Beugung liefert ähnliche Ergebnisse wie BEM Verfahren**
- **Schallabschattungsrechnungen wurden am LNA1 durchgeführt.**
- **Strömungseinfluss konnte im Projektzeitraum aber noch nicht berücksichtigt werden.**

Experimentelle Arbeiten

- **Laser-Schallquelle mit Monopolcharakteristik für „störungsfreie“ Schallgenerierung an beliebigen Orten wurde entwickelt.**
- **Durch geeignete Triebwerksposition und Flügelkonfiguration konnte eine deutliche Lärminderung durch Abschattung gezeigt werden.**
- **Die Genauigkeit der Analyse der „Laser-Schallpulse“ muss noch verbessert werden → daher sind gegenwärtig Vergleiche zwischen Rechen- und Messergebnissen noch nicht sinnvoll durchzuführen.**

Wirbelschleppe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen

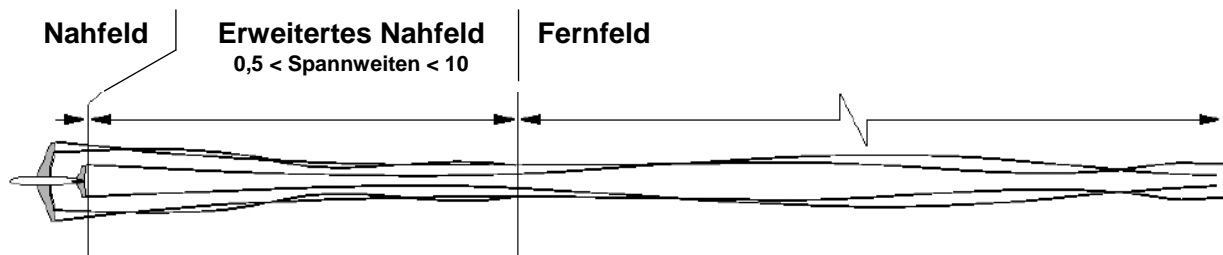


Zielsetzung:

- Bewertung des Wirbelschleppen-Gefährdungspotentials für eine neue, lärmarme Flugzeugkonfiguration im Vergleich zu dem bei einer konventionellen Referenzkonfiguration.

Methodik:

- Numerische Simulation mit der Prozesskette
 - stationäre TAU-Euler-Rechnung im Nahfeld,
 - instationäre LES-Rechnung mit DLR-LESTUF-Code im erweiterten Nahfeld und im Fernfeld,
Input: 2D-Schnitt durch stationäres Lösungsfeld der Nahfeldrechnung



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

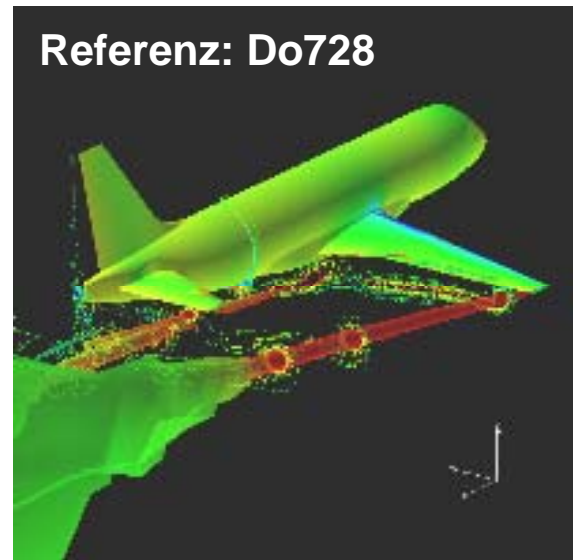
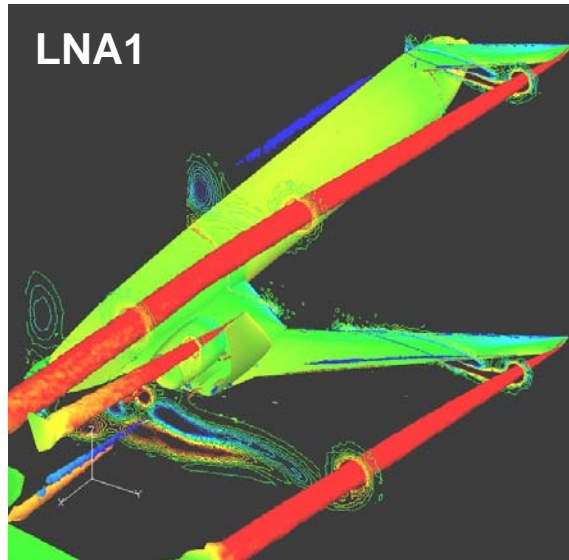
Abschlussveranstaltung LFVK II, Göttingen, 17.09.2007, Folie 16

Wirbelschlepe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen



Beispielergebnisse für Anstellwinkel 6°:

Farbcode: vorticity $\omega_x = -500 \dots +500$ 1/s



Wirbelschlepe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen



Zusammenfassung:

- **Abhängig vom Anstellwinkel zeigen sich beim LNA1 Einflüsse des Wirbels vom Höhenleitwerk auf Triebwerk, Flügel und Seitenleitwerk.**
- **Für die Geometrien des Referenzflugzeugs liegen zur Zeit allerdings nur Daten im ungetrimmten Zustand vor.**
- **Daher wurden keine Fernfeldrechnungen mit DLR-Code LESTUF durchgeführt, da sich hieraus kein signifikanter Erkenntnisgewinn ergeben hätte.**
- **Bezüglich des Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzials sind auf Basis der durchgeführten Simulationen daher nur abschätzende Aussagen möglich.**
- **Demgemäß lässt die Konfiguration LNA1 gegenüber einer konventionellen Konfiguration keine signifikante Änderung des Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzials erwarten.**

Zielerreichung und Schlussfolgerungen



Kriterien / Vorhersagemodell für Umströmungslärm zum Vorentwurf:

- Kriterien für minimalen Umströmungslärm wurden definiert und Vorhersageverfahren für Zellenlärm basierend auf Vorentwurfparametern entwickelt.
- Für verschiedene wichtige Quellen fehlen aber noch Modelle auf Grund unzureichender Datenbasis.

Leise Hinterkante:

- Geräuschminderungswirkung von bürstenartigen Hinterkanten wurde quantifiziert und Skalierungsgesetze zur Auslegung angegeben.
- Bezüglich der den Kantenschall beeinflussenden lokalen Strömungs- und Geometrie Größen gibt es jedoch noch grundsätzliche Wissenslücken.

Lärmarme Flugzeugkonfigurationen:

- Abschattungsrechnungen mit einem Strahlverfolgungsverfahren sind erfolgversprechend, aber die Berücksichtigung der Strömungseinflüsse steht noch aus.
- Abschattungsmessungen wurden durchgeführt, aber der Ergebnisvergleich ist problematisch → Grund ist möglicherweise die noch ungenaue Analysetechnik der Laser-Schallpulse.

Wirbelschlepe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen:

- Die Konfiguration LNA1 lässt gegenüber einer konventionellen Konfiguration keine signifikante Änderung des Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzials erwarten.