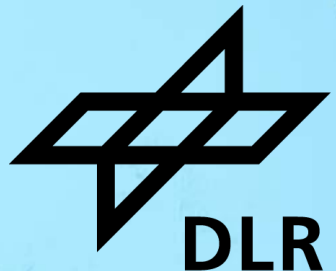


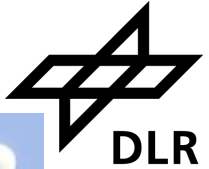
# **NUTZEN VON NACHRÜSTMAßNAHMEN ZUR LÄRMMINDERUNG AN TRANSPORTFLUGZEUGEN**

**Michael Pott-Pollenske (DLR Braunschweig, AS-TEA)**

**Deutscher Luft- und Raumfahrt Kongress 2024, 30.09. – 02.10.2024, Hamburg**



# Lärm-Vermeidung



- Überflugeräusch → Emission
  - Muss vermieden werden (EU Ziele, DLR Strategie )
  - kann ohne technische Hilfsmittel einem Flugereignis zugeordnet werden

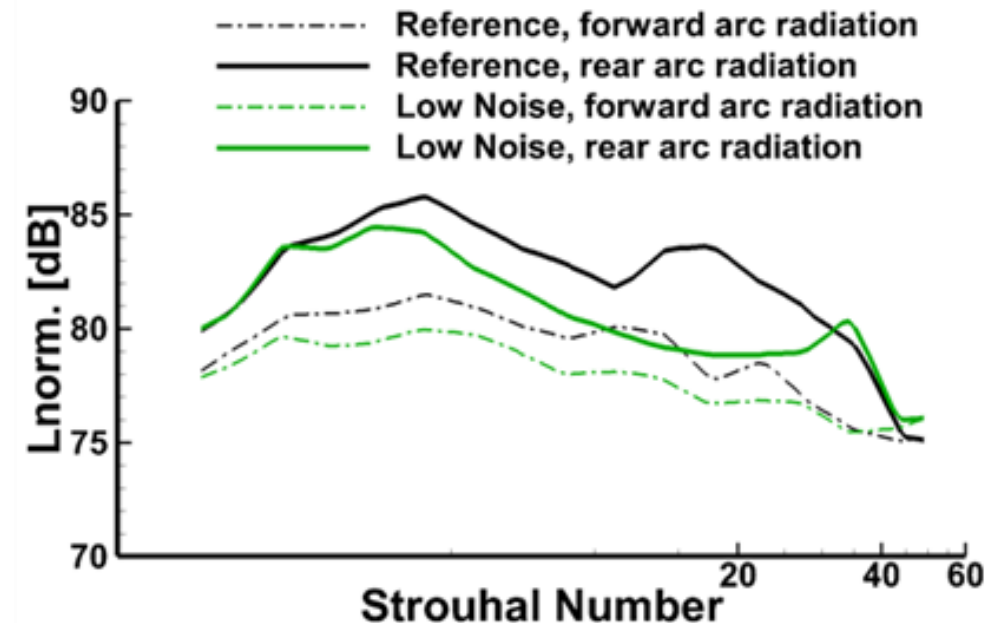
- Nutzen:

1. Technische Bewertung von Lärminderungskonzepten

Pott-Pollenske, M.: “Low Noise ATRA – An Aircraft Noise Reduction Study based on Retro-Fit Technologies”, AIAA 2021-2117, AIAA AVIATION 2021 FORUM, August 2-6, 2021, VIRTUAL EVENT, <https://doi.org/10.2514/6.2021-2117>

Henri Siller, Timo Schumacher and Wolfram Hage: “Low Noise ATRA – Phased Array Measurements of Jet Noise in Flight”, AIAA 2021-2160, AIAA AVIATION 2021 FORUM, August 2-6, 2021, VIRTUAL EVENT, <https://doi.org/10.2514/6.2021-2160>

2. Einsatz: technische und wirtschaftliche Aspekte



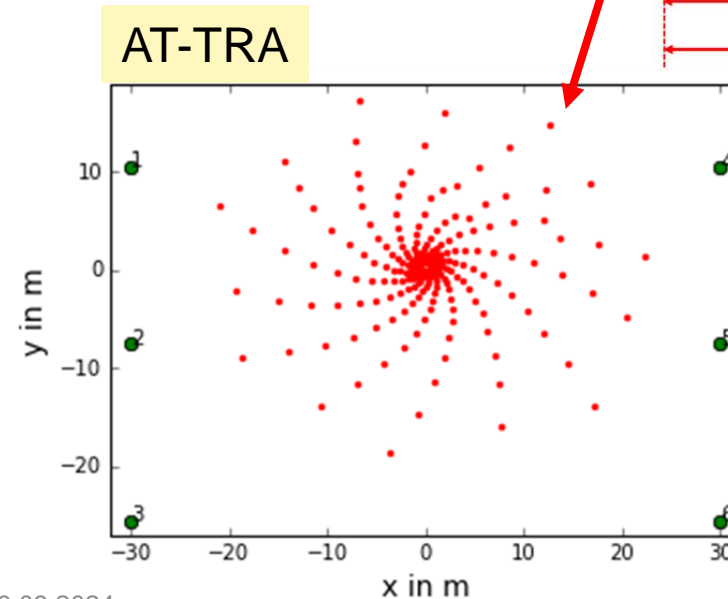
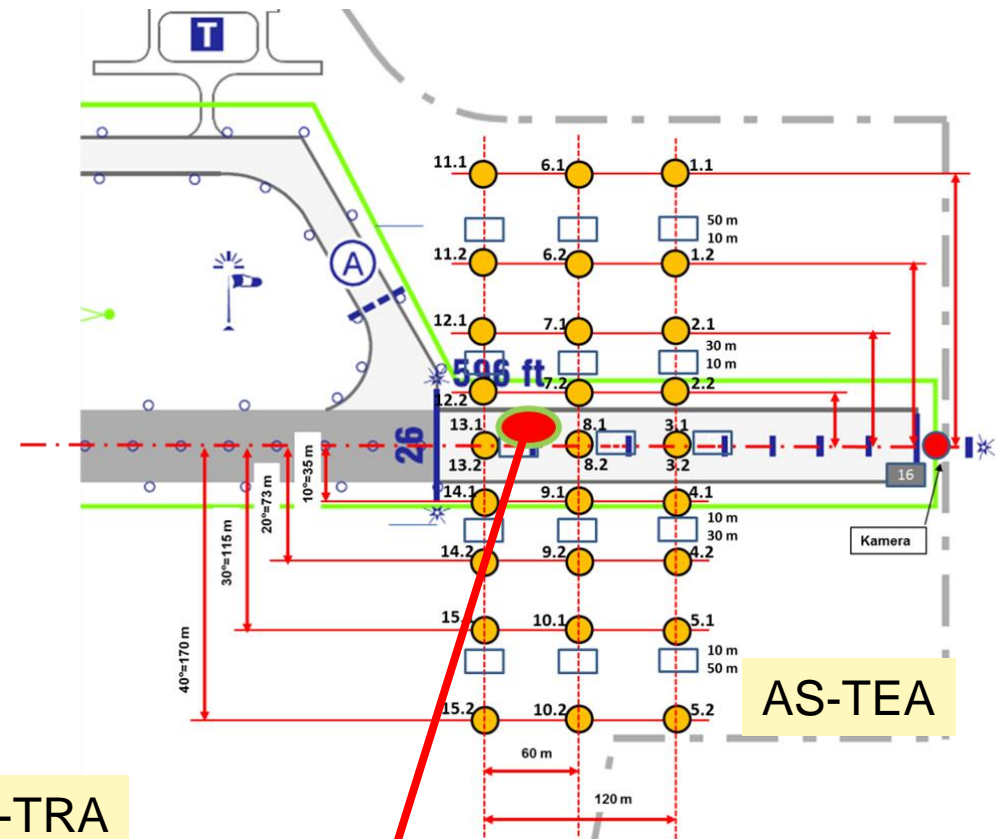
# Messsysteme

## Mikrofonarray

- 238 Mikrofone
- 1/4", vorpolarisiert
- Multi-arm spiral Anordnung
- 35 x 40 m<sup>2</sup> Fläche

## Datenerfassung und Verarbeitung

- Zeitgleiche Messung mit Einzelmikrofonen
- Delay and Sum Beamforming im Zeitbereich, pro Überflug ~0.5 s effektive Messdauer
- Korrekturen: Entdopplung, Kompensation der atmosphärischen Dämpfung, Normierung auf 120 m Abstand



Henri A. Siller, Timo Schumacher and Wolfram Hage, AIAA AVIATION 2021 FORUM, August 2-6, 2021, VIRTUAL EVENT, <https://doi.org/10.2514/6.2021-2160>



# Quellkarten Kantengeräusch am Hochauftriebssystem

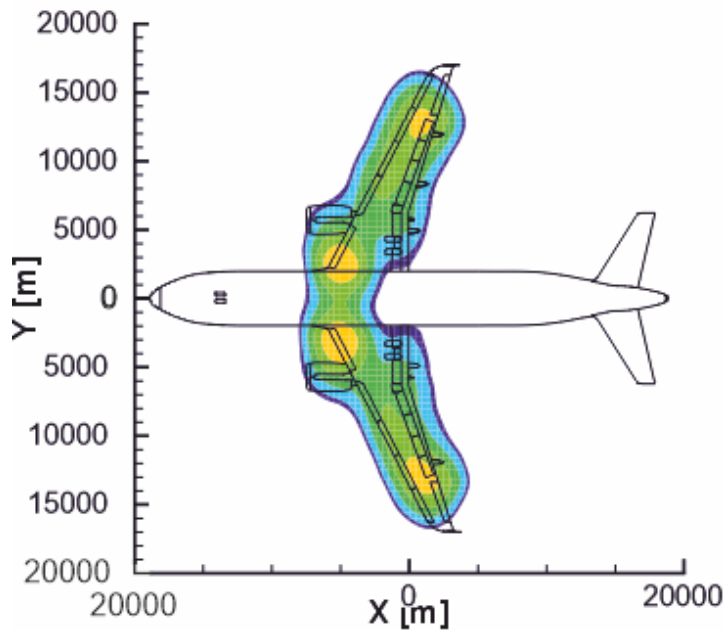


## 3150 Hz Terzband

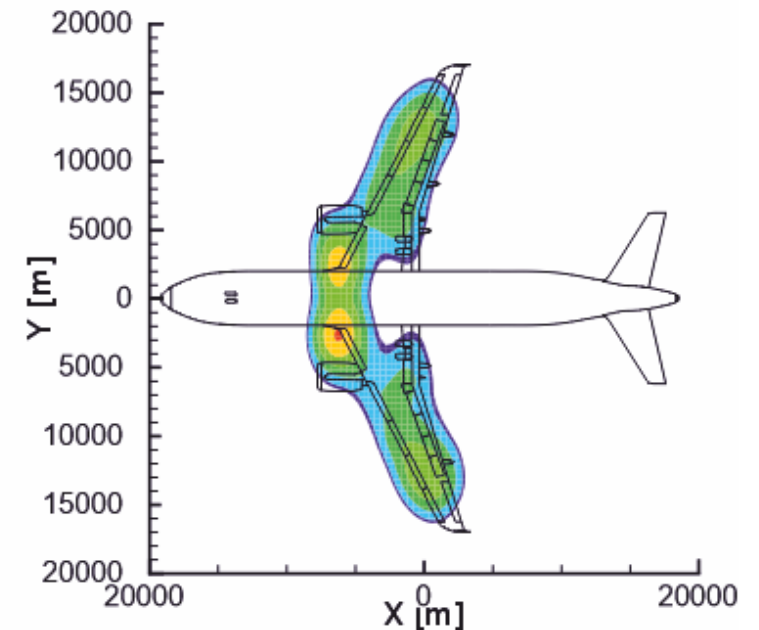
- Slat Horn und Landeklappenseitenkante sind dominant
- Landeklappenseitenkante gemindert
- Keine Wirkung beim Slat Horn

## Reference Aircraft

Flaps Full - LG Up - 170 kts  
 $f_m = 3150.00$  Hz  $\phi_x = 90^\circ$



## Modified Aircraft



# Quellkarten Kantengeräusch am Hochauftriebssystem



Reference Aircraft

Flaps Full - LG Up - 170 kts  
 $f_m = 1250.00$  Hz  $\phi_x = 90^\circ$

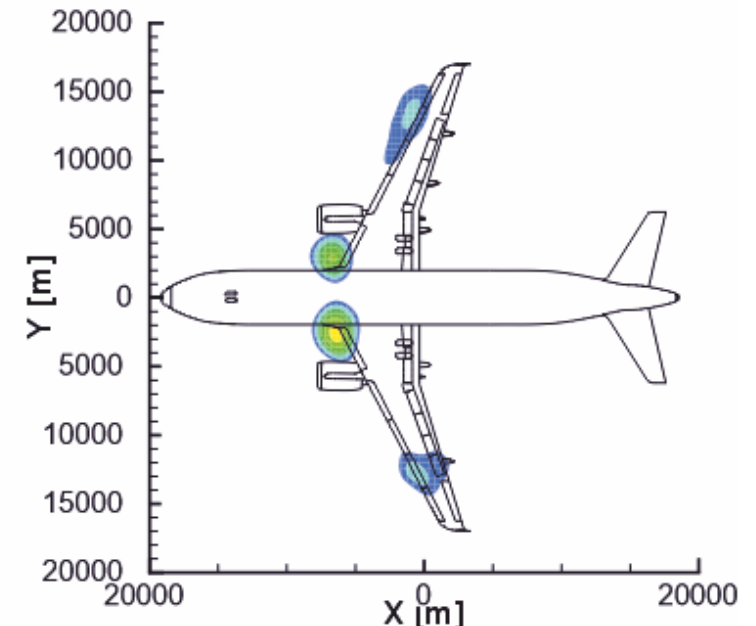
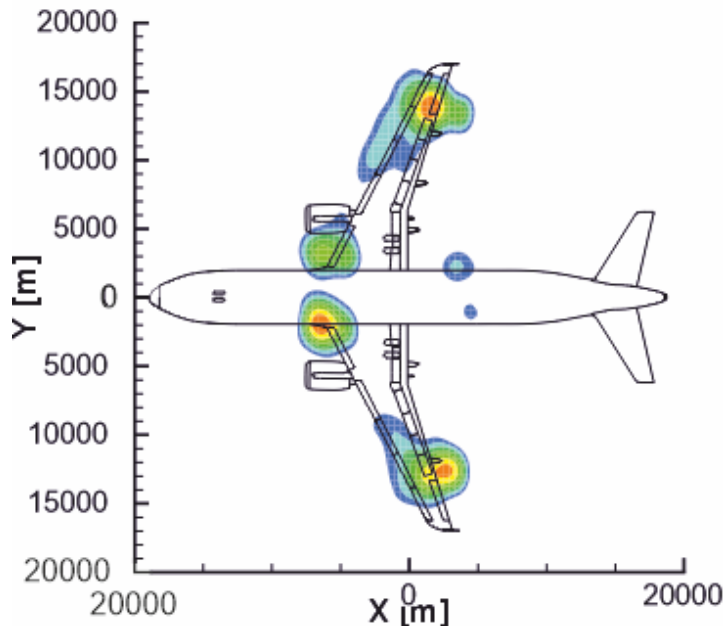
Modified Aircraft



SPL 63 64 65 66 67 68 69

## 1250 Hz Terzband

- Landeklappenseitenkante um mehr als 6 dB gemindert
- Slat
  - Lärminderung am Slat Horn, Größenordnung ~ 1-2 dB
  - Lärminderung an Slataußenkante, Größenordnung ~2-3 dB

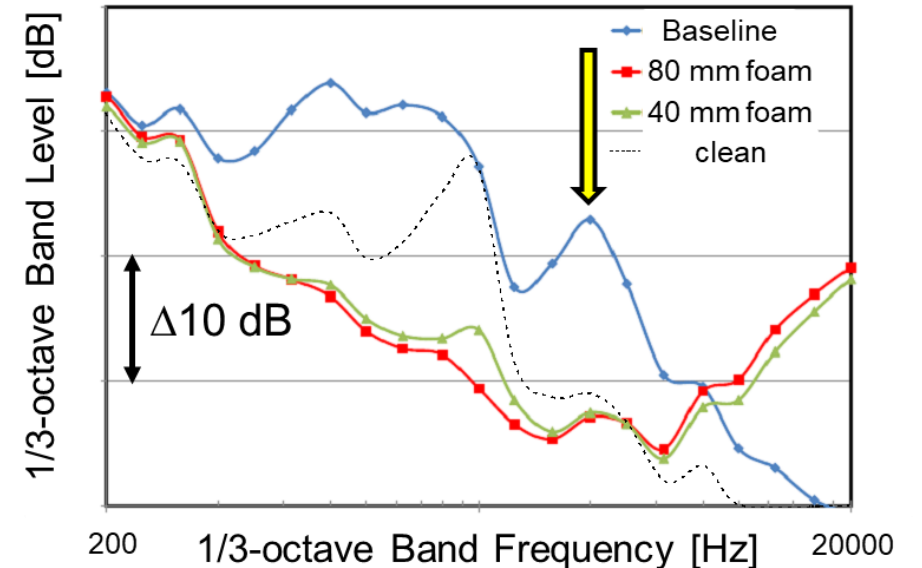
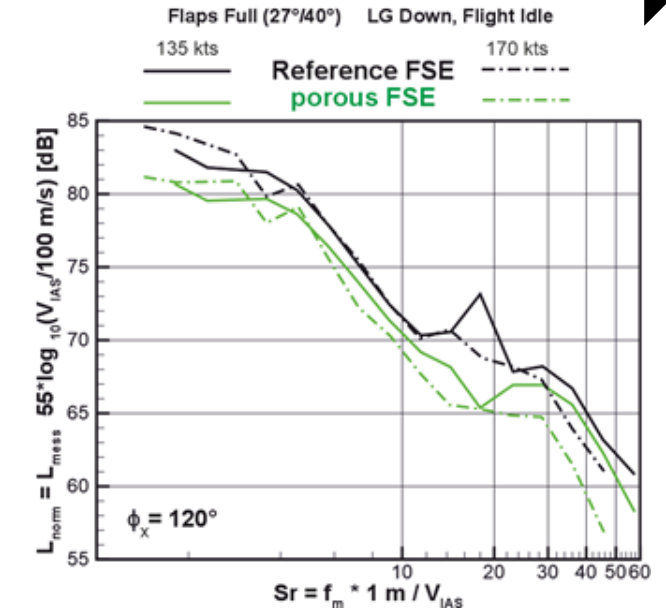
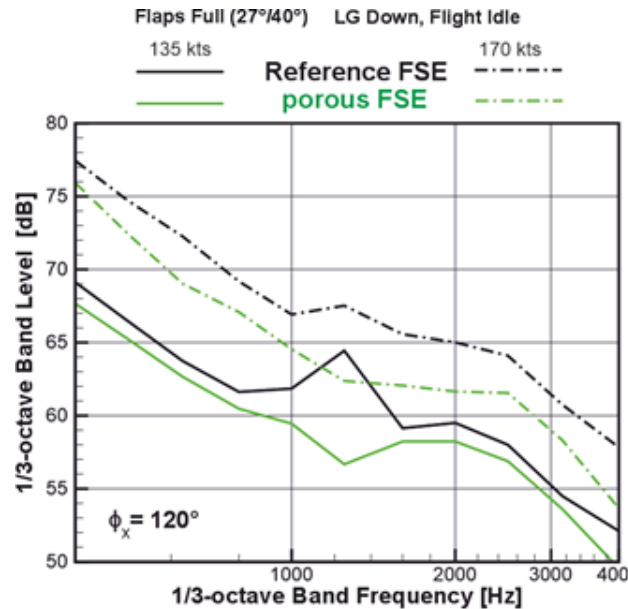


# Spektraler Vergleich Landklappenseitenkante

- Breitbandige Lärminderung
- Bekannte Skalierung  $p'^2 \sim U^{5.5}$
- **2 kHz**: tonale Quelle sichtbar

## Vergleich mit Experiment

- Identische Geometrie
- Ton innerhalb des 2 kHz Terzbands identifiziert
- AWB Daten zeigen höhere Lärminderung
  - → isolierte Quelle
  - → Lärminderung “verschwindet” nicht im Rauschen weiterer Quellen

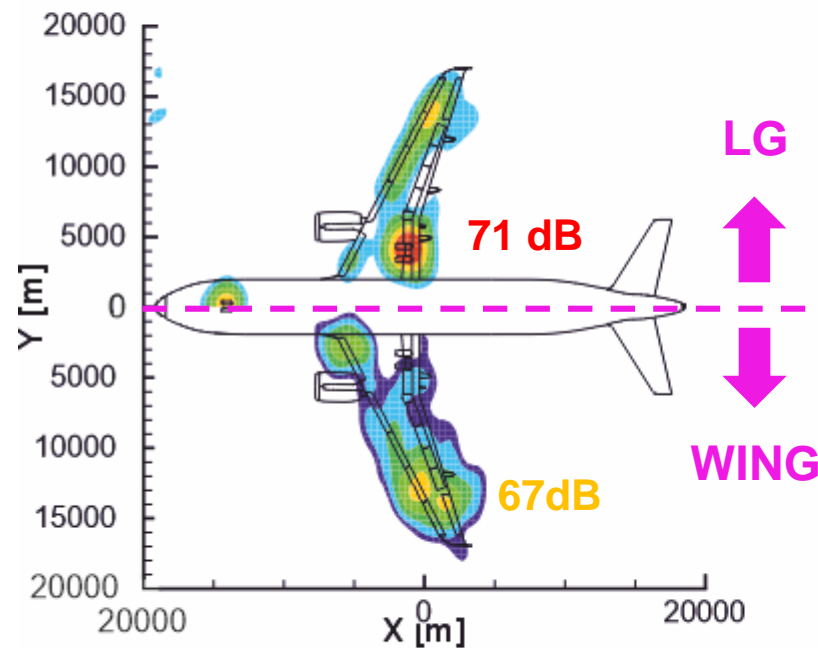


# Quellkarten Fahrwerk

- Lärminderung von 3 dB am Hauptfahrwerk und 4 dB am Bugfahrwerk (@800 Hz)
- Ähnliche Ergebnisse für höhere Frequenzen
- Hochauftriebsgeräusch etwas geringer als Fahrwerksgeräusch, Minderung nur bis auf Pegel des Hochauftriebsgeräuschs möglich

## Reference Aircraft

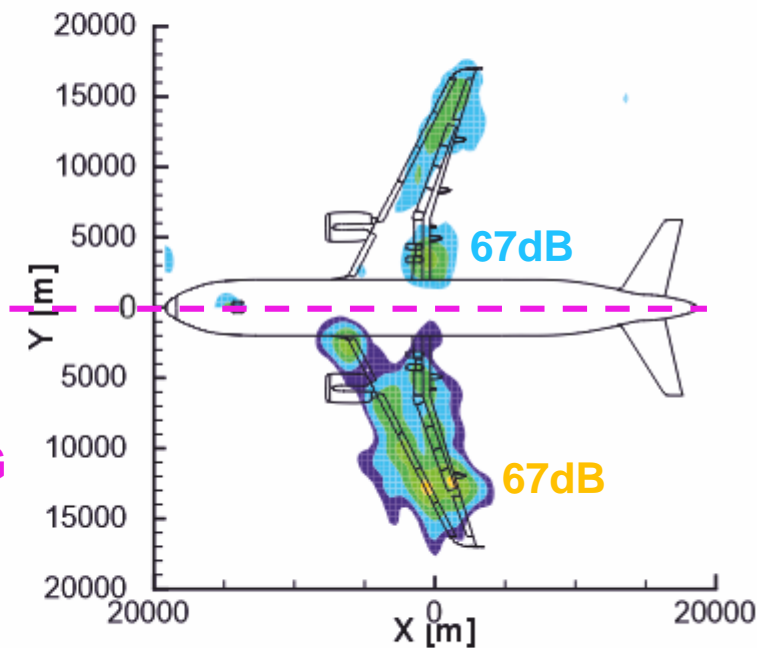
Flaps Full - LG Down - 170 kts  
 $f_m = 800.00$  Hz     $\phi_x = 90^\circ$



Flaps Full - LG Up - 170 kts  
 $f_m = 800.00$  Hz     $\phi_x = 90^\circ$

## Modified Aircraft

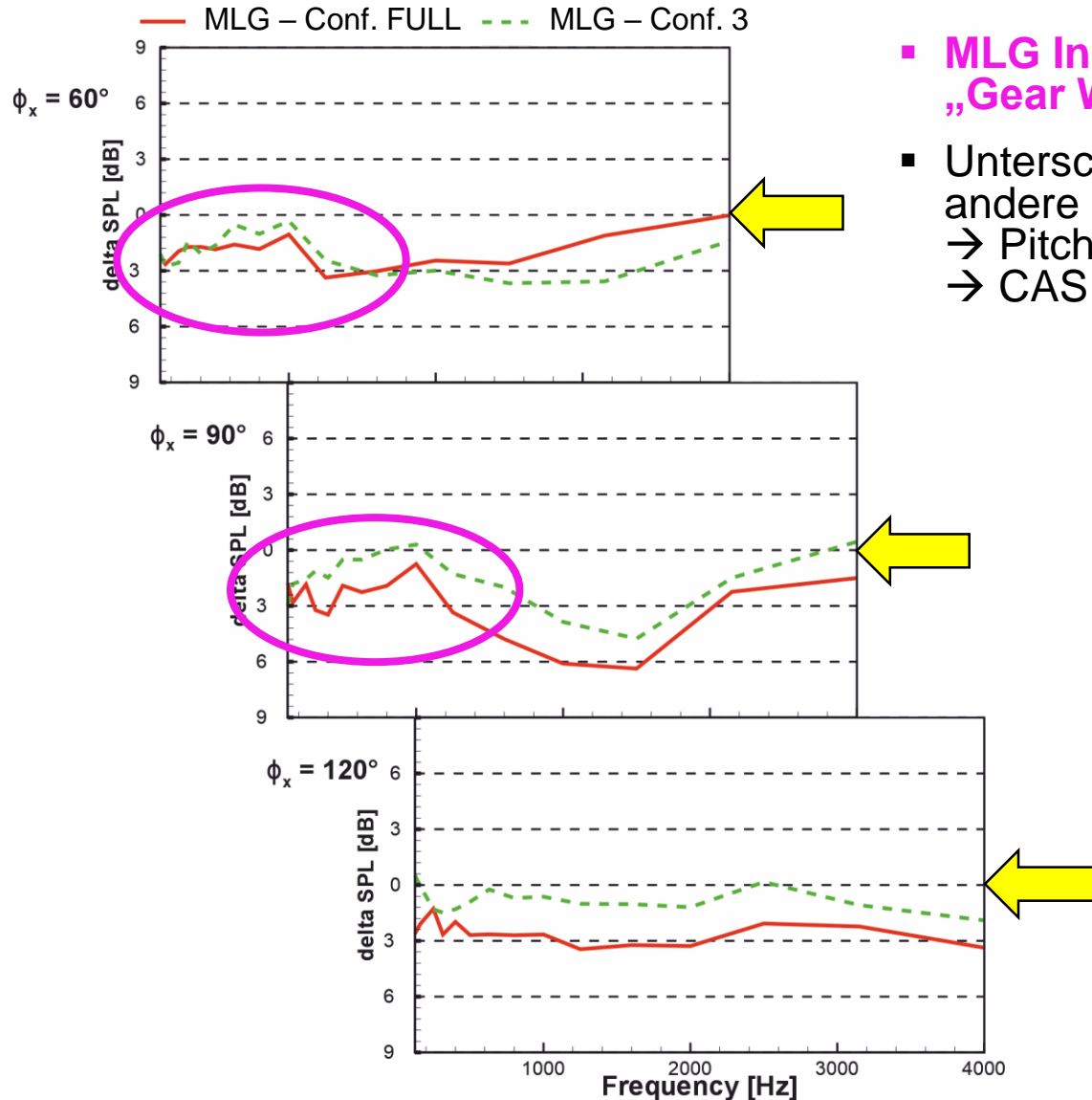
SPL 67 68 70 71



SPL 64 65 66 67 68



# Hauptfahrwerk Spektraler Vergleich



- **MLG Installationsgeräusch „Gear Wake Flap Interaction“**
- Unterschied von 0.5 – 1 dB durch andere High Lift Conf.
  - Pitch
  - CAS

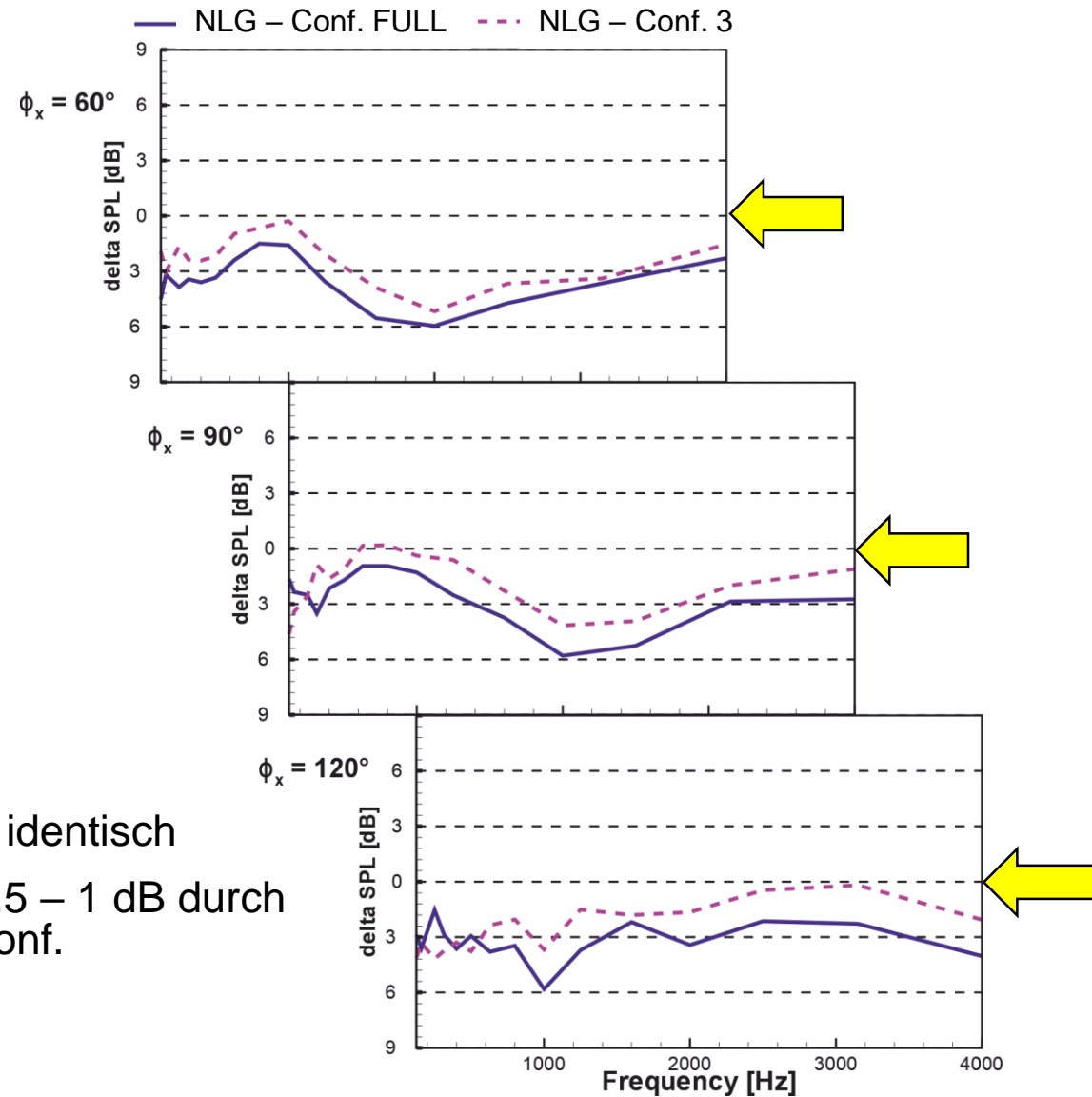




# Bugfahrwerk Spektraler Vergleich

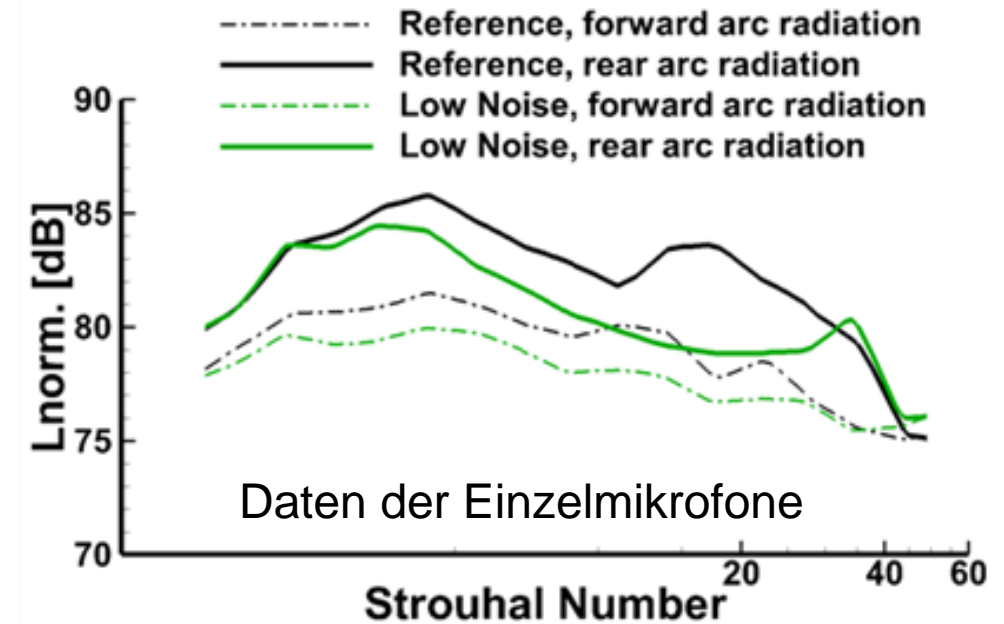


- Spektrale Form ist identisch
- Unterschied von 0.5 – 1 dB durch andere High Lift Conf.
  - Pitch
  - CAS

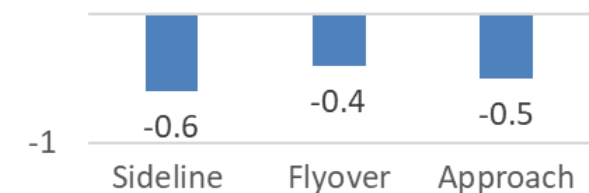


# Bis hierher...

- Konzepte zur Lärminderung wurden getestet und sind erfolgreich
  - Kantengeräusch, Landeklappen
    - Quellminderung durch poröse Werkstoffe von bis zu **5 dB**
  - Fahrwerke
    - Kombinationen solider und poröser Abschirmungen, Quellminderung von bis zu **6 dB**
- Effekte sind nicht nur in unbewerteten Spektren sichtbar, sondern auch im Zertifizierungspegel (Sideline / Flyover mit Düsenrandmodifikation)
- Und jetzt?



Zertifizierungspegel [EPNdB]



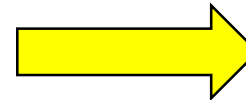
# Einsatz: technische und wirtschaftliche Aspekte



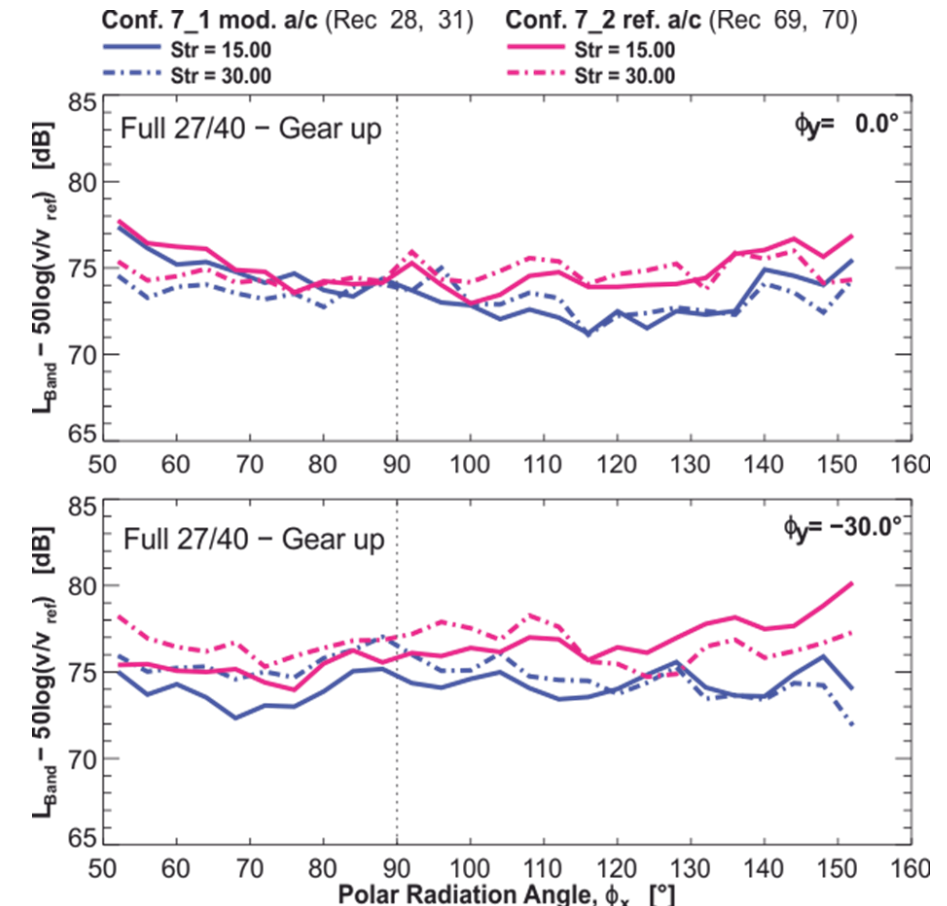
- Technische Lösungen zur Nachrüstung von Standardrumpfflugzeugen sind bekannt, erprobt und validiert
- Umsetzung
  - **Vorteile:**
    - Verbesserte Akzeptanz des Verkehrsmittels
    - Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen von Menschen im Umfeld von Flughäfen
  - **Nachteile:**
    - Zusatzgewicht, realistische Größenordnung unbekannt
    - Erfordert Systemdesign (Industrieraufgabe)
  - **Erfolgreiche experimentelle Ergebnisse**
    - Windkanalstudien waren zielführend
    - Übertragung auf Airbus A320 funktionierte, Windkanaldaten sind bestätigt → Expertise ist vorhanden → Bewertung industrieller Lösungen
  - Numerische Verfahren für Optimierungen stehen zur Verfügung
    - Vorträge v. M. Mößner
    - Nachrechnung der Überflugversuche: AIAA-2024-3242: Stan Proskurov, “Airframe Noise Simulation of an A320 in Landing Configuration”, Thu, June 6, A/HLN 05 10:00, Results of the DLR project SIAM

# Einsatz: technische und wirtschaftliche Aspekte

- Lärminderungskonzepte
  - Erfolgreich bei Fahrwerken und Seitenkanten
  - Limitierung des Gesamteffekts durch fehlende Lärminderung am Vorflügel
    - Aerodynamisch und akustisch sehr herausfordernd
    - Zeitnah umsetzbare Option
      - mit Vorflügelhaltern anfangen
      - Effekt 2 – 3 dB Overhead und Sideline
  - Vergrößert den bisher erreichten Gesamteffekt vor allem im Anflug mit eingezogenem Fahrwerk
- Gewicht, Systemdesign
  - Strukturell überdimensionierte Konzepte ~40 kg
  - Äquivalent zu 1-2 Sitzreihen um Zusatzverbrauch (CO<sub>2</sub>) zu vermeiden
  - Einsparungen beim lärmabhängigen Landeentgelt
  - Designaufwand → „Invest“ für bessere Lebensbedingungen
- „Lärminderung am A320 wirkt zwischen Sylt und München“



## Slat Cut-out (Tracks) schließen



(2001 gemessen und dokumentiert)



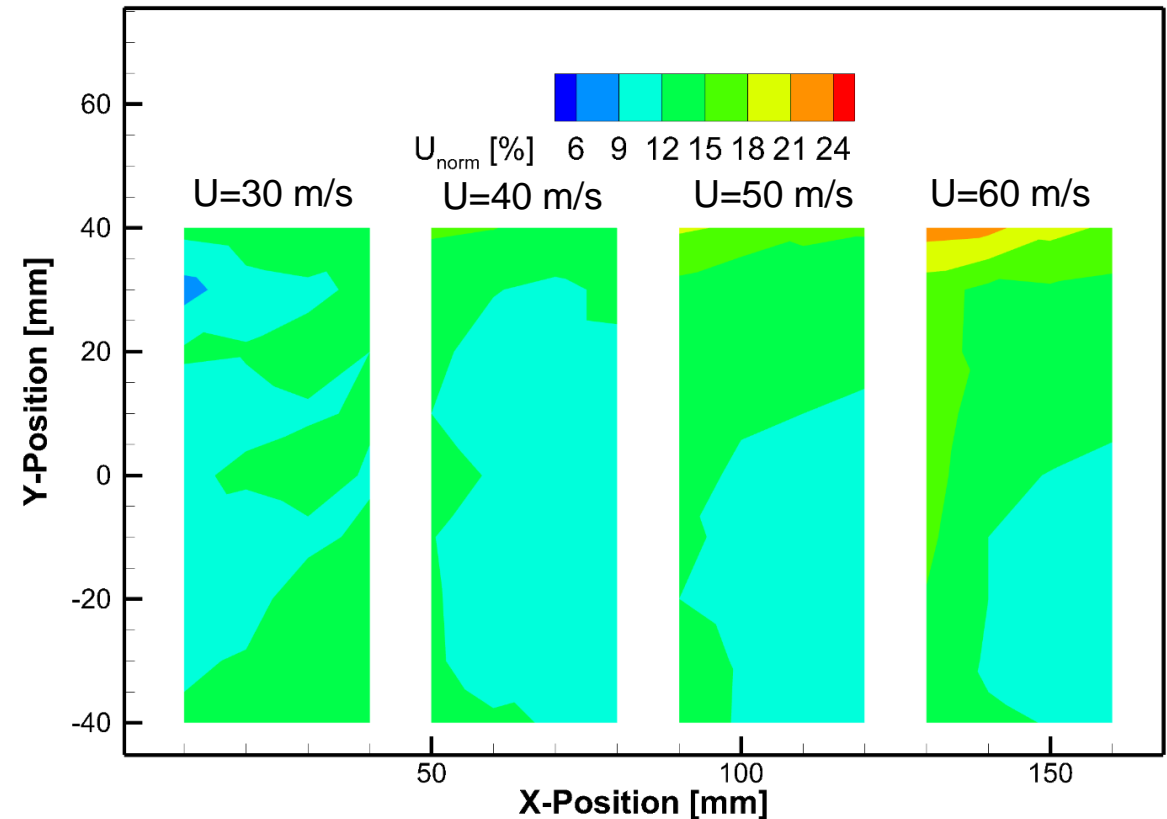
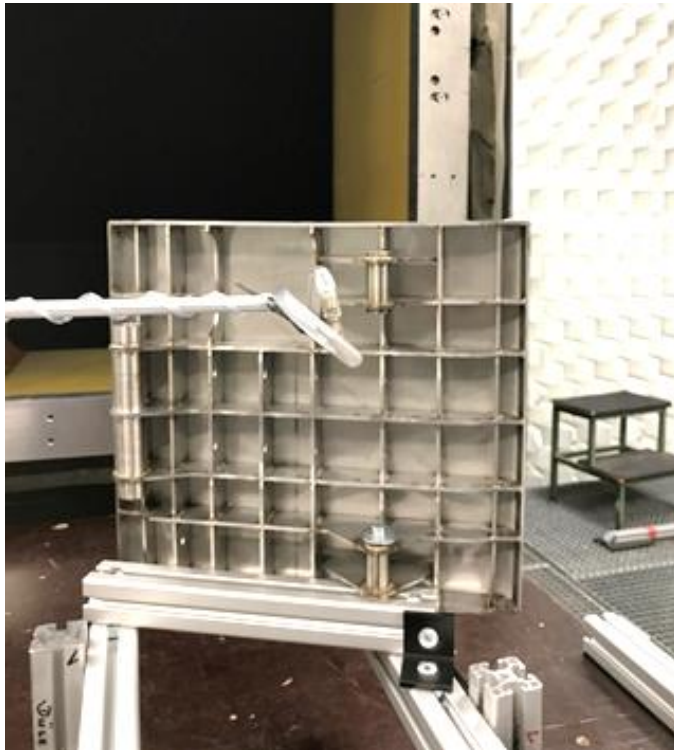


**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**[michael.pott-pollenske@dlr.de](mailto:michael.pott-pollenske@dlr.de)**

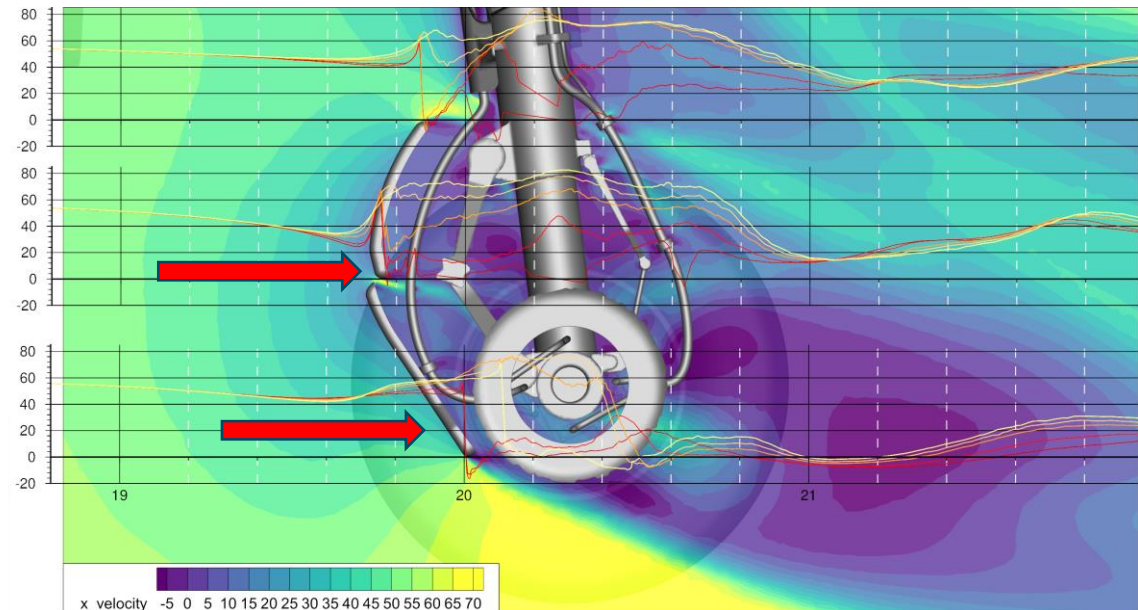
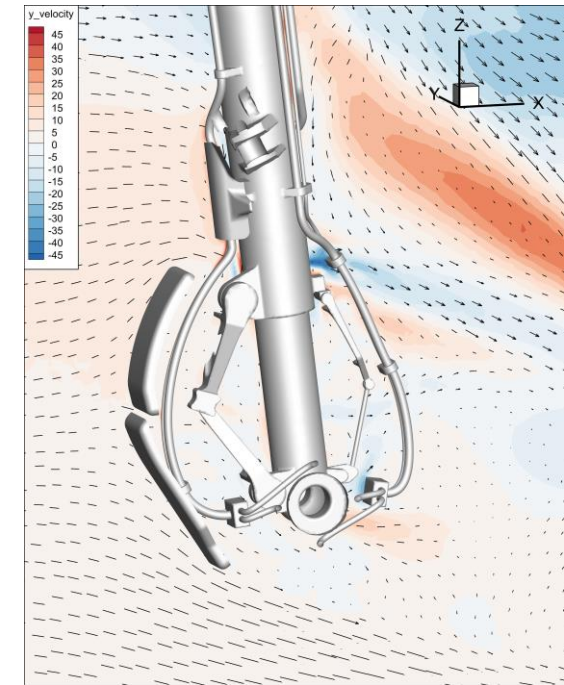
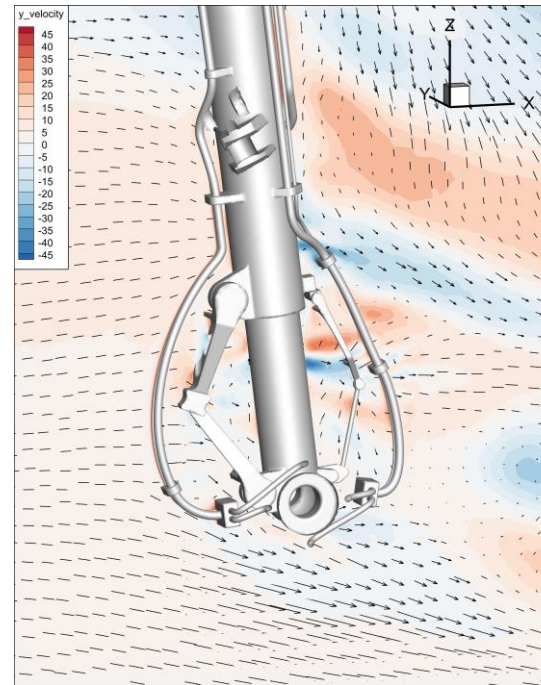
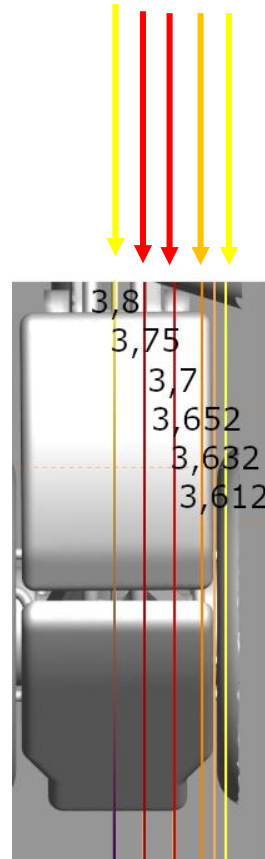
# Landing Gear Noise Mesh Fairings

- Throughflow test of one flight test fairing (spare part)
- Installation in AWB
- Measurement with 7-hole probe
- Flow speed downstream of fairing: 9 to 18% of free stream velocity



# Landing Gear Noise Mesh Fairings

- Numerical simulation of full A320 ATRA aircraft incl. porous torque link fairing
- Flow simulation with DLR TAU Code (Dennis Keller, Florian Schmidt, AS-TFX)
- Modelling of porosity with Darcy-Forchheimer model
- Comparable mean flow reduction downstream of the fairing



M. Terracol, L. Manueco, E. Manoha, F. Avallone, D. Ragni and A. Rubio Carpio: "Numerical Simulations of a Landing Gear with Flow Through Fairings for Noise Mitigation", AIAA AVIATION Forum, 12-16 June 2023, San Diego, CA and Online, <https://doi.org/10.2514/6.2023-4173>