

# Lärmreduktion von Verkehrsflugzeugen

## –Stand der Technik und Zukunftsperspektiven–

Gastbeitrag zur Sitzung der Fluglärmschutzkommission Hannover 24.04.18

Jan Delfs

Institute of Aerodynamics and Flow Technology  
Technical Acoustics  
Braunschweig, Germany  
jan.delfs@dlr.de

Lars Enhardt

Institute of Propulsion Technology  
Engine Acoustics  
Berlin, Germany  
lars.enhardt@dlr.de



Knowledge for Tomorrow



# Outline

- Quellen des Flugzeuggeräuschs
- Lärminderungstechnologie für derzeitige Flugzeuge
- Zukünftige Entwicklungen - Aktuelle Forschung
- elektrische Antriebe = leise ?
- Schlussfolgerungen



# Quellärmforschung im DLR



## Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

- \* Umströmungsgeräusch
- \* Installation/Gesamtflugzeug
- \* Kabinenlärmanregung
- \* Helikopter/Propellerlärm
- \* Windkanalarrays

## Institut für Antriebstechnik

- \* Turbomaschinen
- \* aktive Lärminder.
- \* Überflugarrays

## Transversalthemen

- \* Simulationstechnologie
  - numerisch
  - experimentell



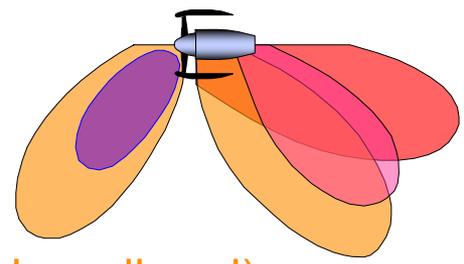
# Quellen des Flugzeuggeräuschs



# Sources of exterior noise at transport aircraft



## ➤ Take-off: engine noise



- jet
- fan tonal (+ broadband)
- (compressor)

## ➤ Approach: engine noise

- jet
- fan broadband (+ tonal)
- combustion + turbine

## airframe noise

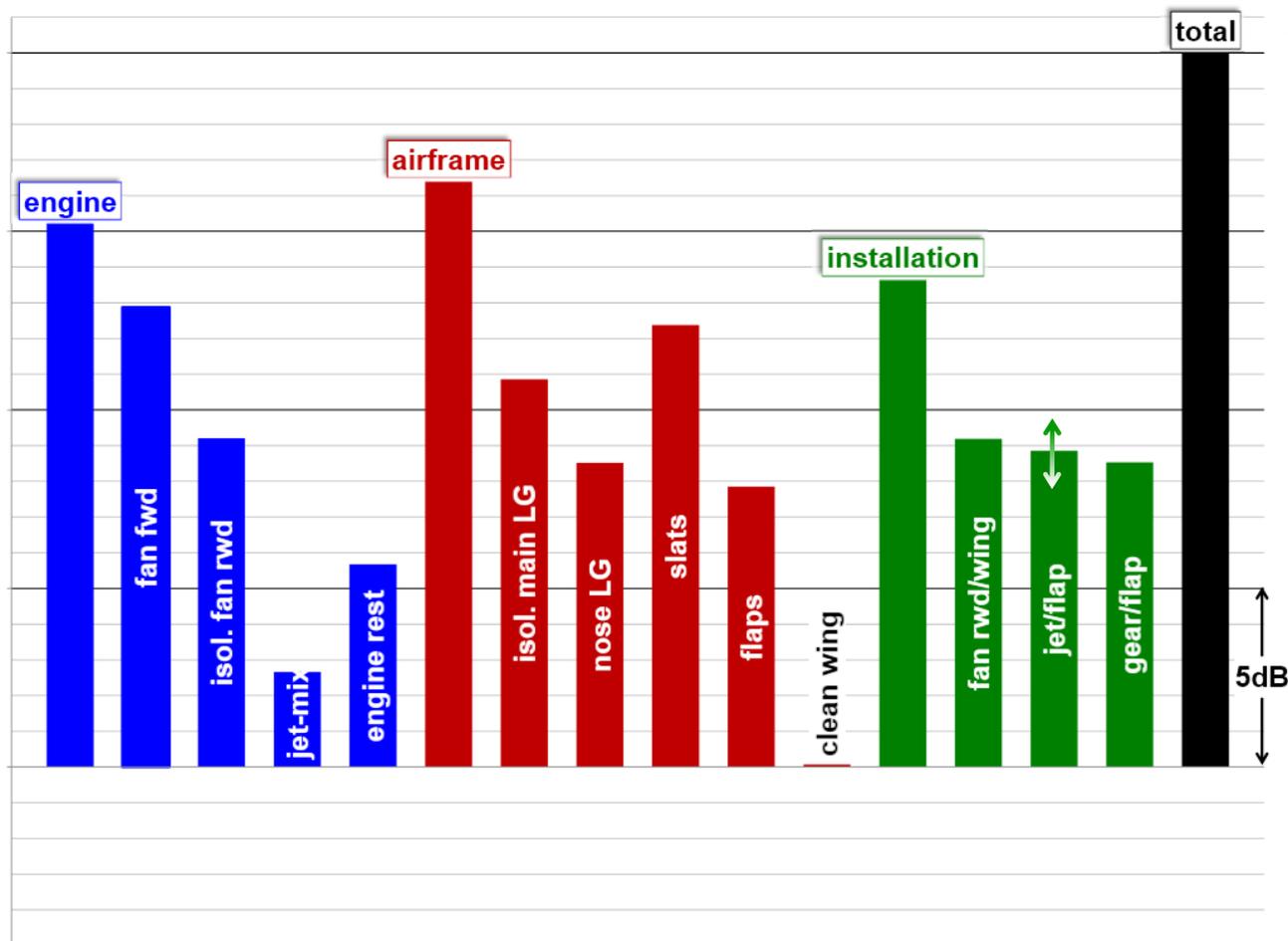
- high lift devices
- landing gears

## installation noise



# Installation sources – a view on modern tube&wing a/c configurations

Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach

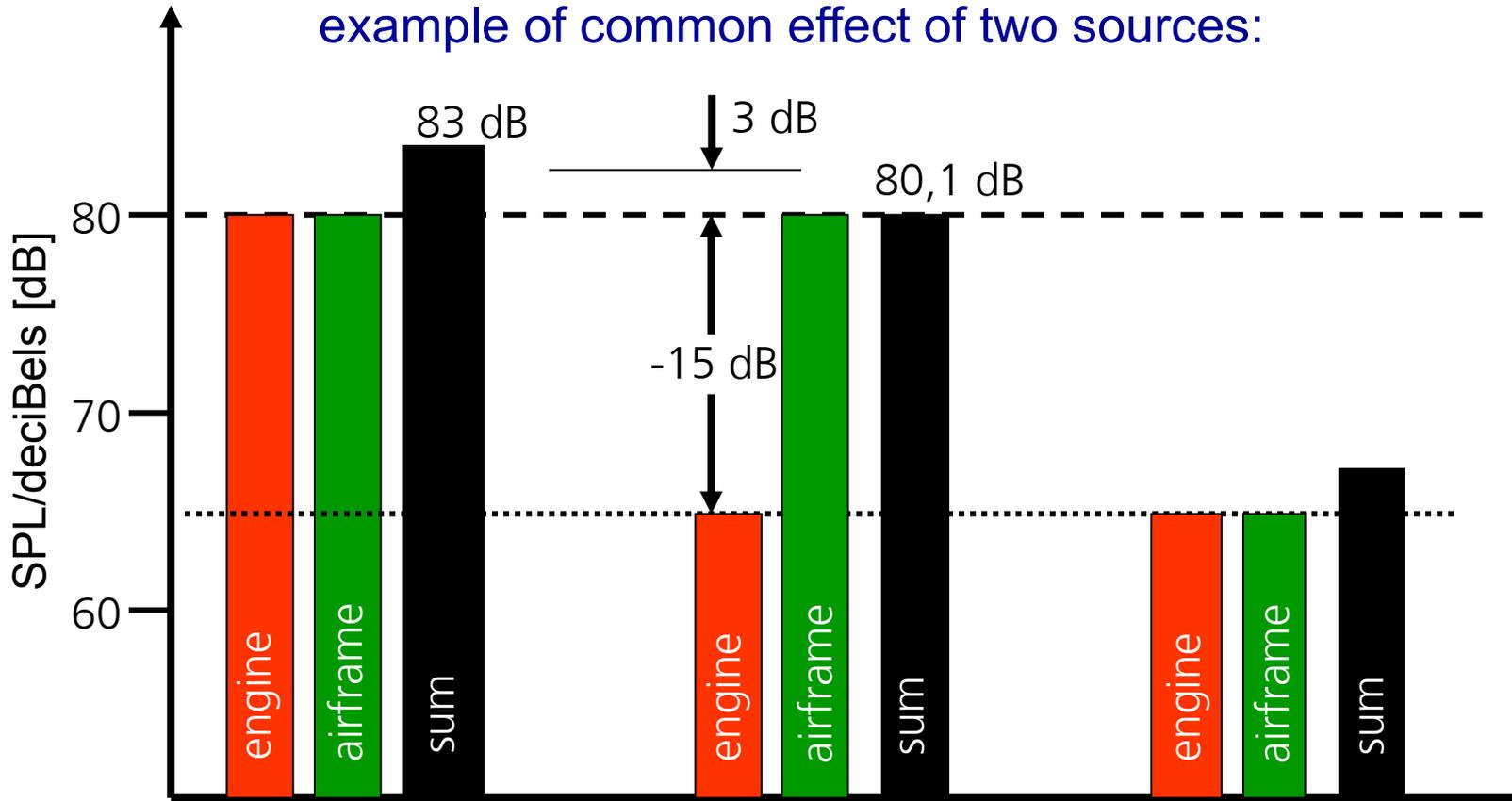


„complete“  
source breakdown



# Source noise reduction at complete aircraft

example of common effect of two sources:

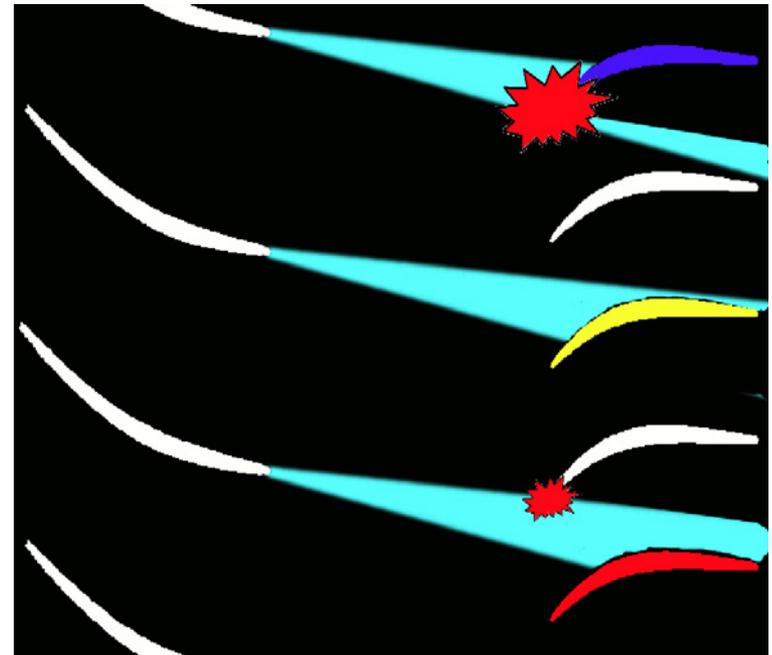
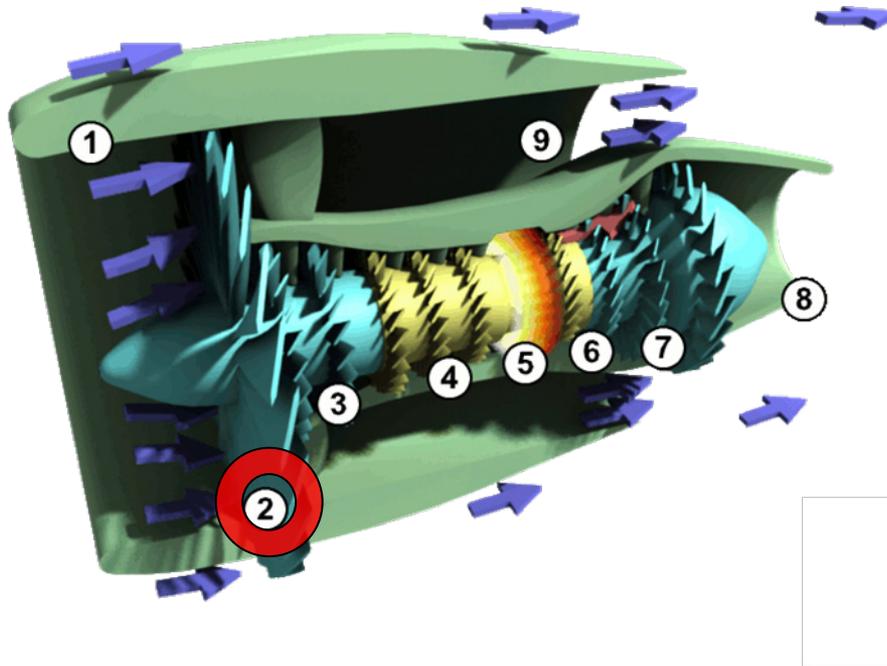


For more silent aircraft  
sources of about equal strength have to be reduced altogether!

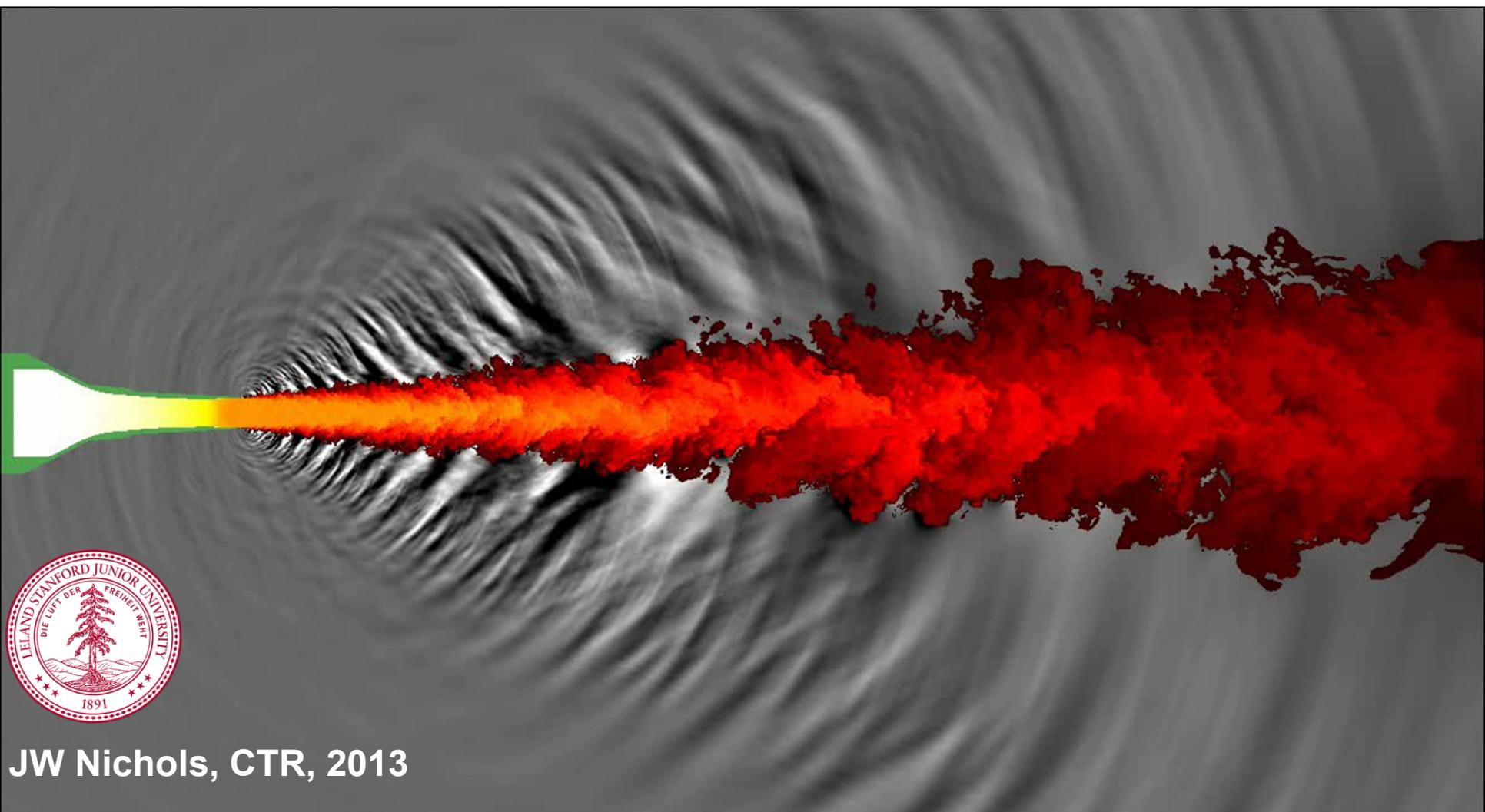


# Der Fan als Schallquelle

- Rotor-Stator-Wechselwirkungsgeräusche
- Ursachen
  - Nachläufe (spiralförmig) der Rotorscheaufeln prallen auf die Vorderkanten der Statorschaufeln und erzeugen dort fluktuierende Kräfte.



# Der Strahl als Schallquelle



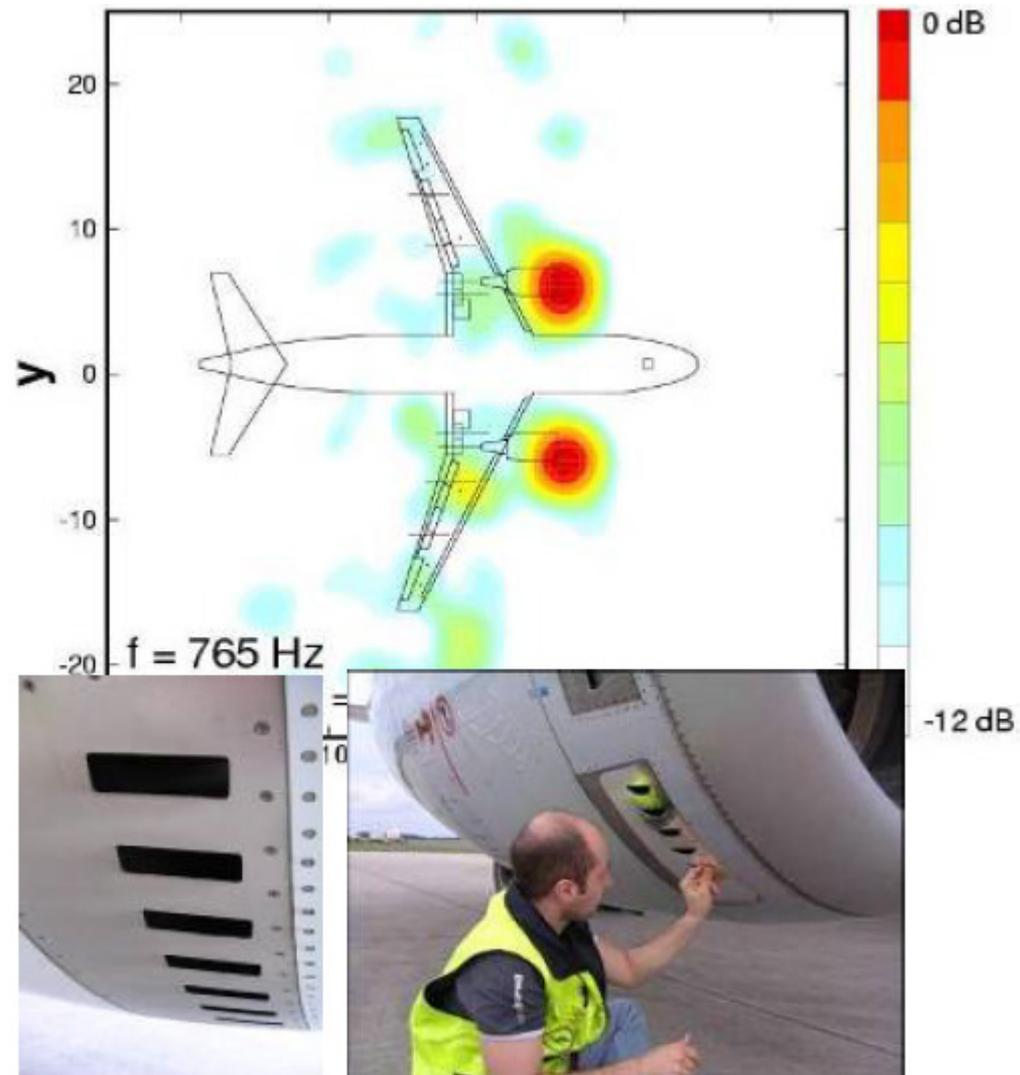
JW Nichols, CTR, 2013

Druck (grau), Temperatur (farbig)

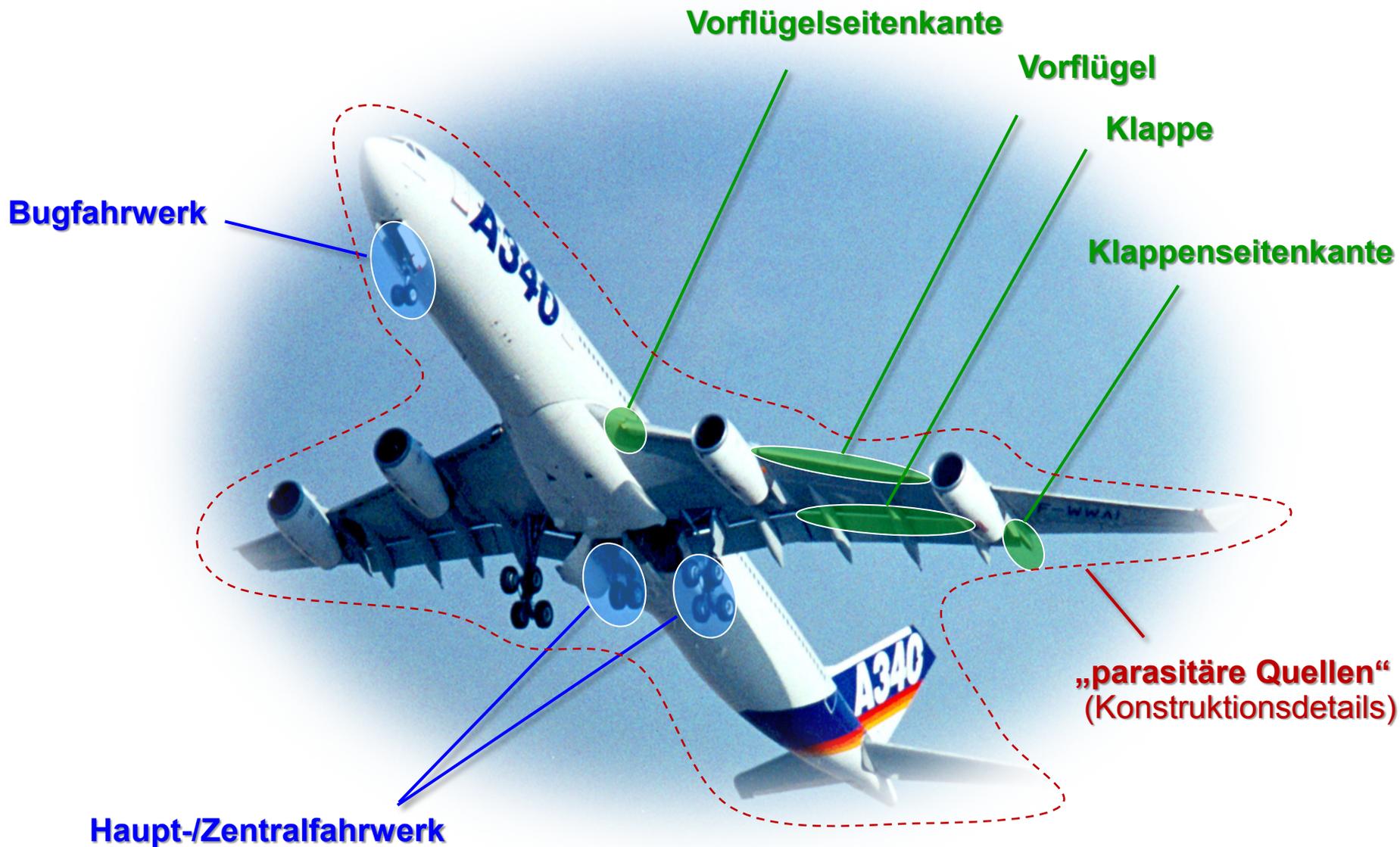


# Parasitäre Schallquellen am Triebwerk

Auslässe  
Gondel-Enteisungssystem

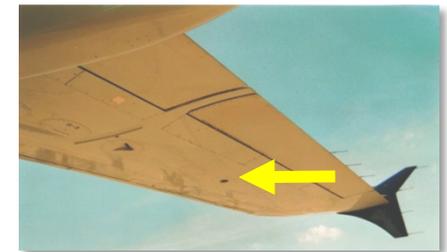


# Quellen des Umströmungsgeräuschs am Flugzeug



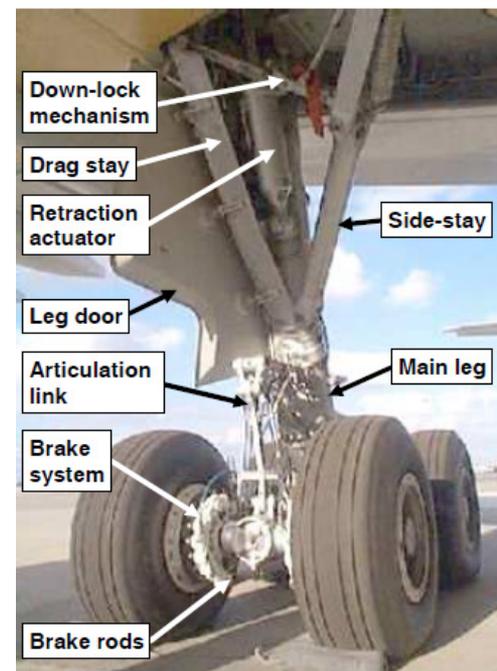
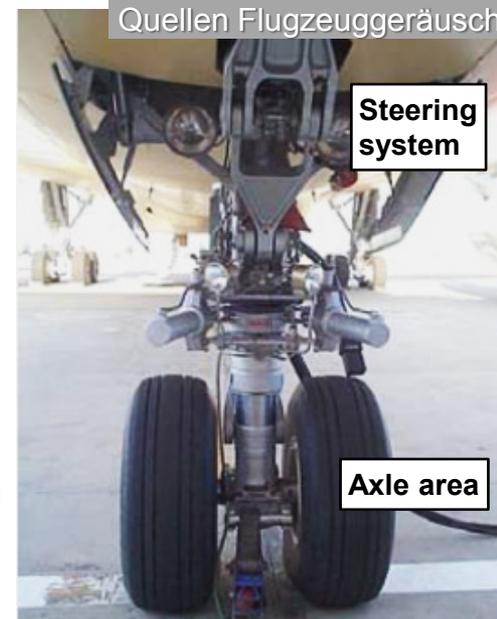
## Parasitäre Schallquellen am Flugzeug

- Tonschall bei überströmten Hohlbolzen
- Tonschall von Tankdruckausgleichsöffnungen
- zusätzliches Breitbandgeräusch von Haltern
- zusätzliches Breitbandgeräusch von zurückgesetzten Geometrien

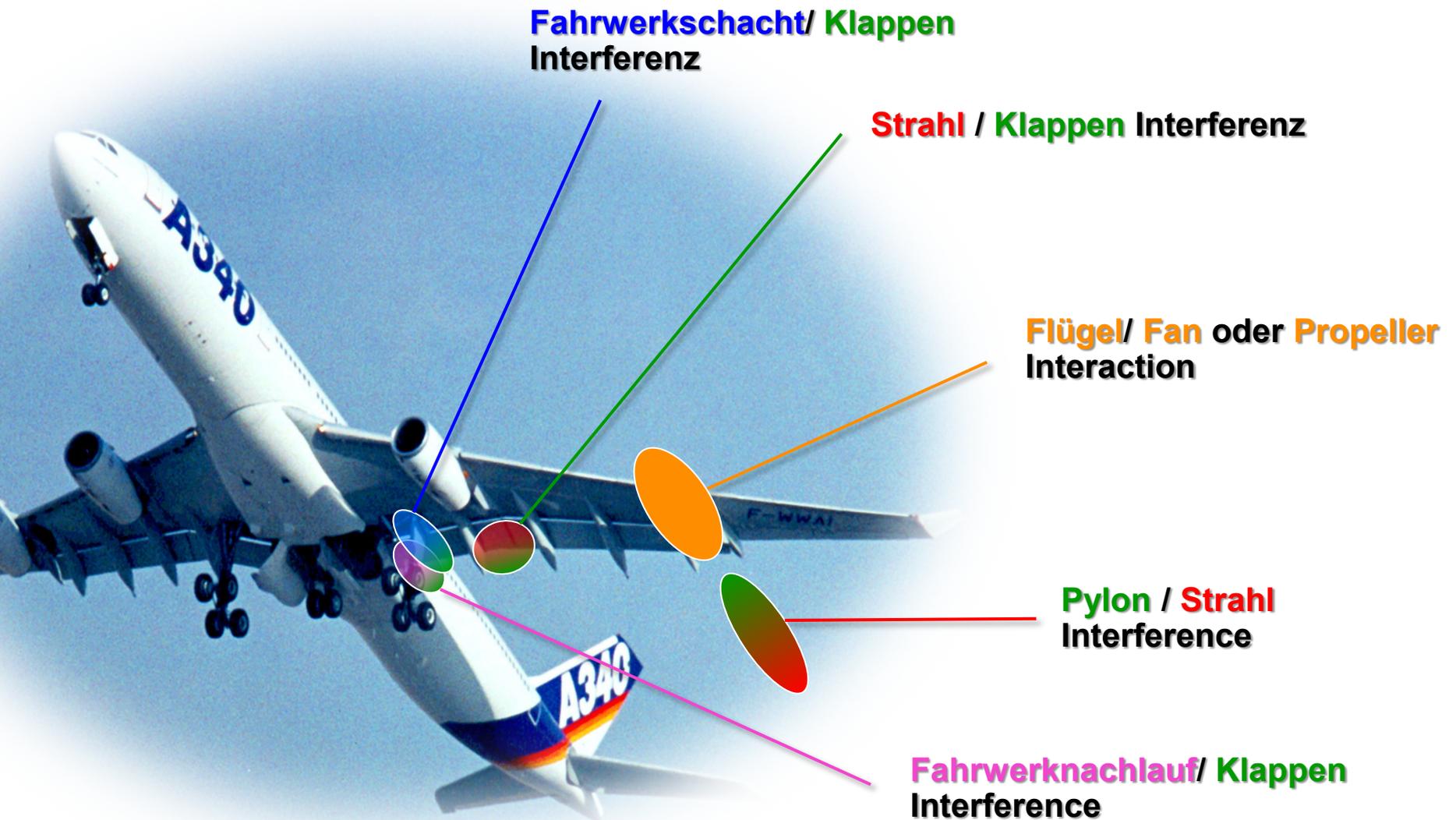


# Fahrwerksgeräusch

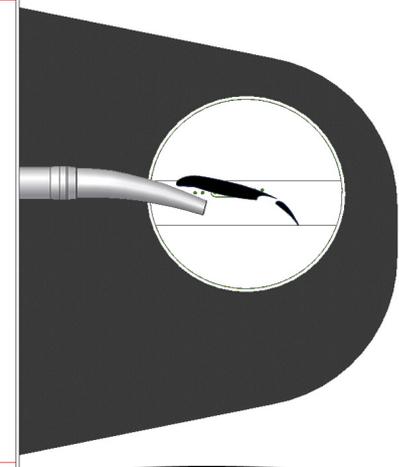
- erhebliche experimentelle Forschung während der vergangenen 15-20 Jahren in EU und USA
- wichtigste Umströmungschallquelle (an Zertifizierungspunkt) speziell für Langstreckenflugzeuge
- Breitbandschall (sehr breitbandig)
- Geschwindigkeit<sup>6</sup> Skalierung der Intensität
- omnidirektionale Abstrahlung



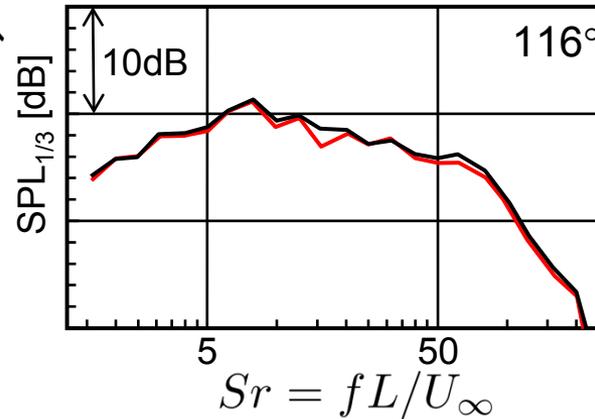
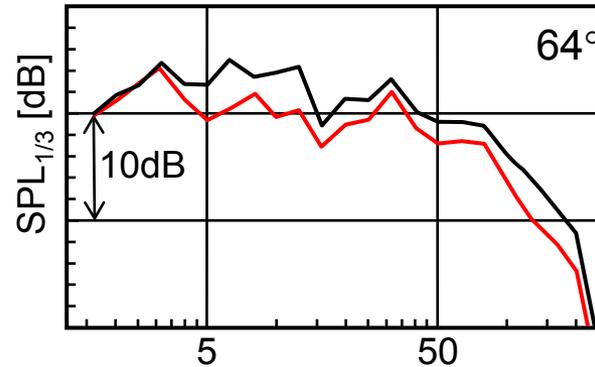
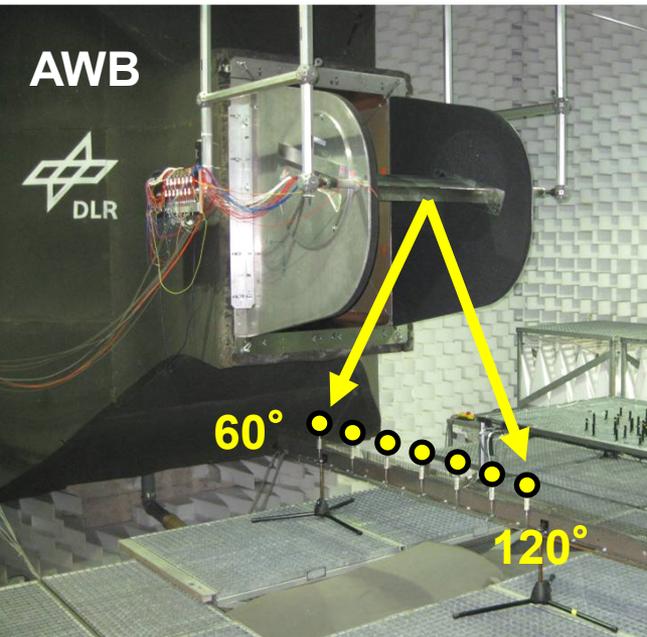
# Installationsschallquellen an Flugzeugen



# Strahl-Klappen Interferenz

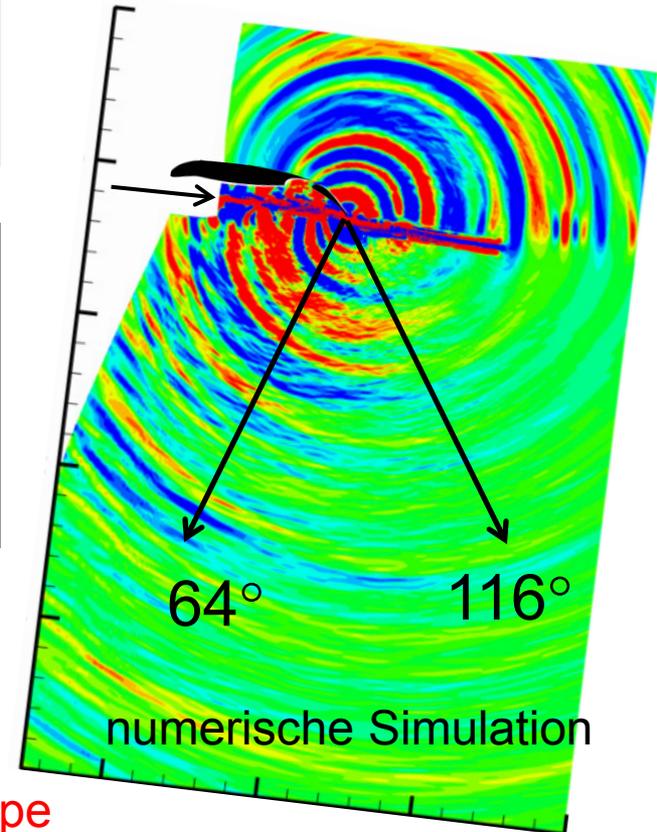


F16 mit Senknase



- Gesamt
- Summe Strahl+Klappe (je isoliert)

Fluggeschw.  $U_{\infty} = 60\text{m/s}$   
 Strahlgeschw.  $U_{jet} = 185\text{m/s}$

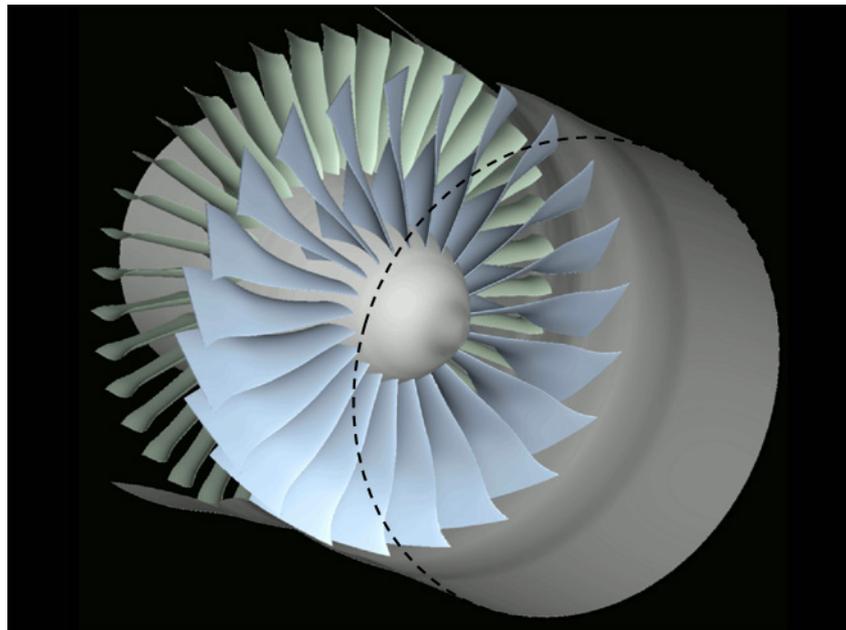


# Lärminderungstechnologie für derzeitige Flugzeuge

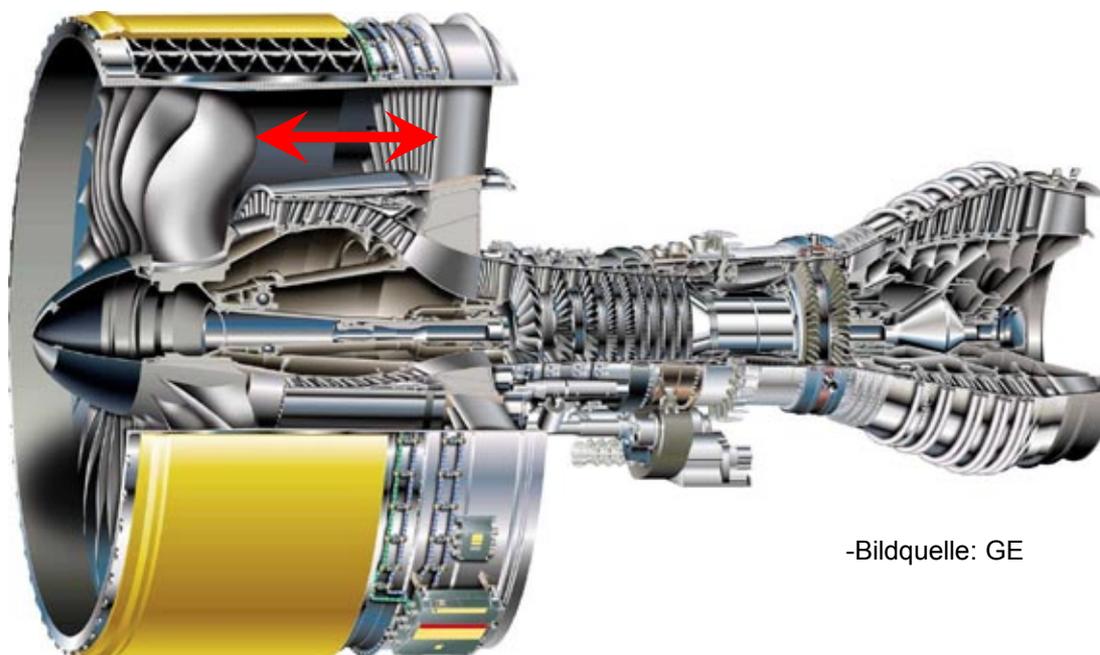


# Triebwerkslärminderung – Stand der Technik

- Durch sorgfältige Auswahl der Zahl der Statorschaufeln kann erreicht werden, dass Töne im Triebwerk gefangen bleiben
- Durch Reduktion der Umfangsgeschwindigkeit der Fans wird ein Überschallstoß auf den Schaufeln vermieden und eine starke tonale Quelle beim Start effektiv unterdrückt



# Neue Triebwerke mit sehr großem Abstand zwischen Rotor und Stator

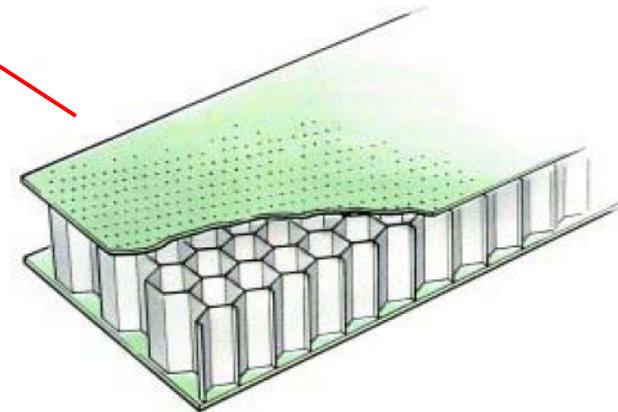
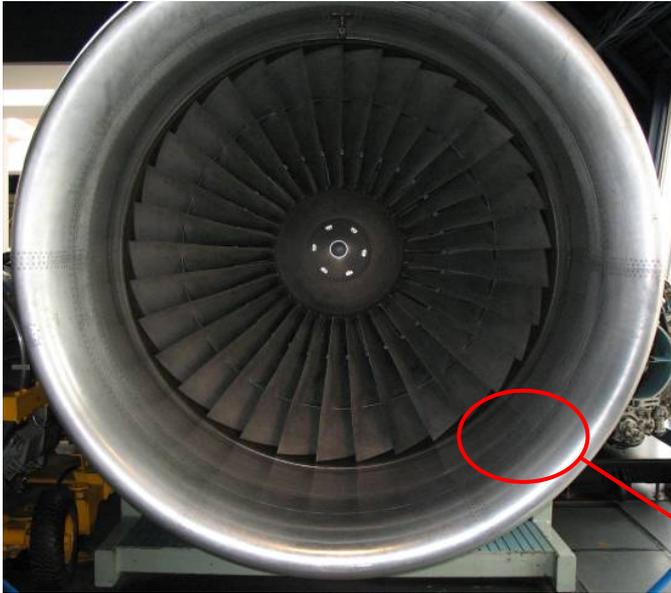


-Bildquelle: GE

GP7200 – eine Triebwerksoption des A380



# Passive schalldämpfende Auskleidung (Liner)



Quellen: Pratt &Wittney; Hennecke



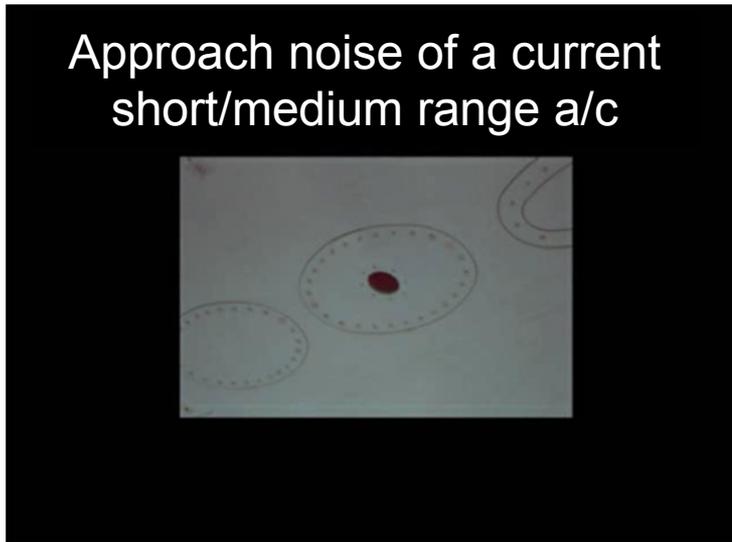
# Reduktion des Freistrahllärms



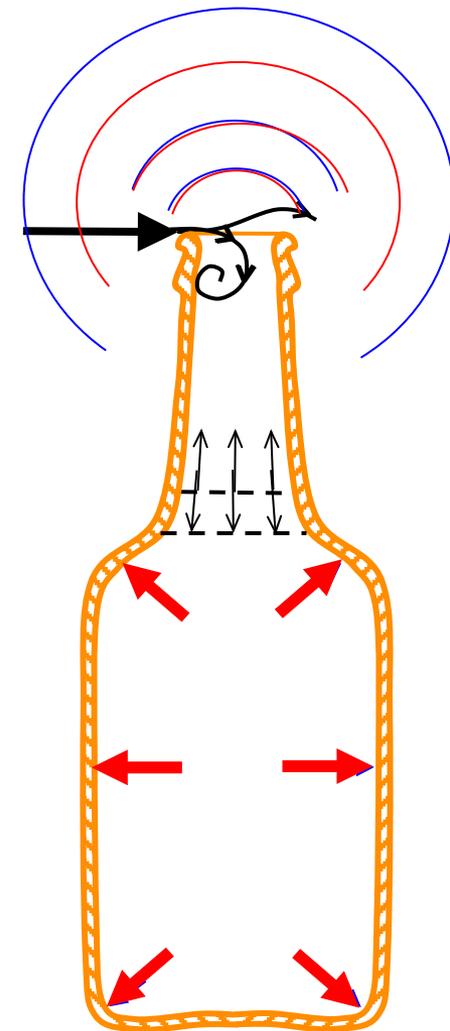
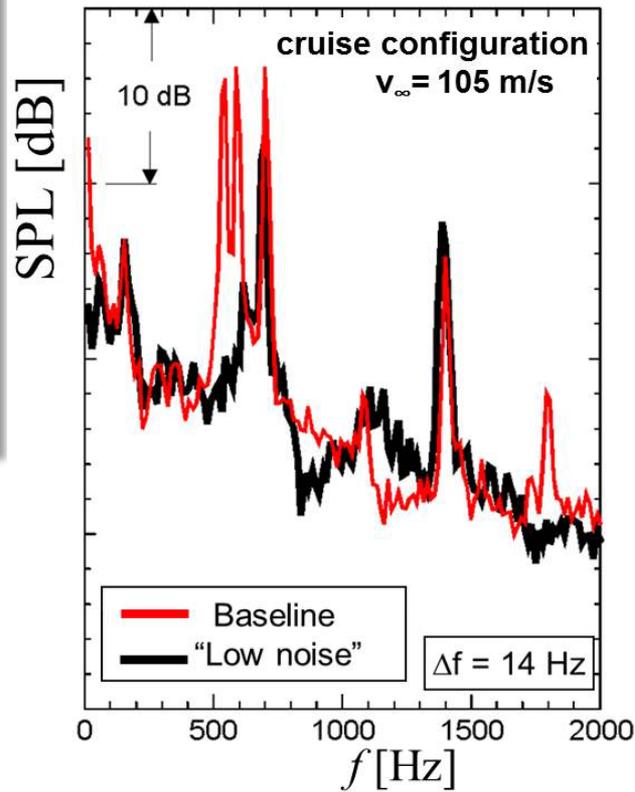
Chevrons an der Boeing 787 vor allem zur Senkung des Kabinenlärms im Reiseflug



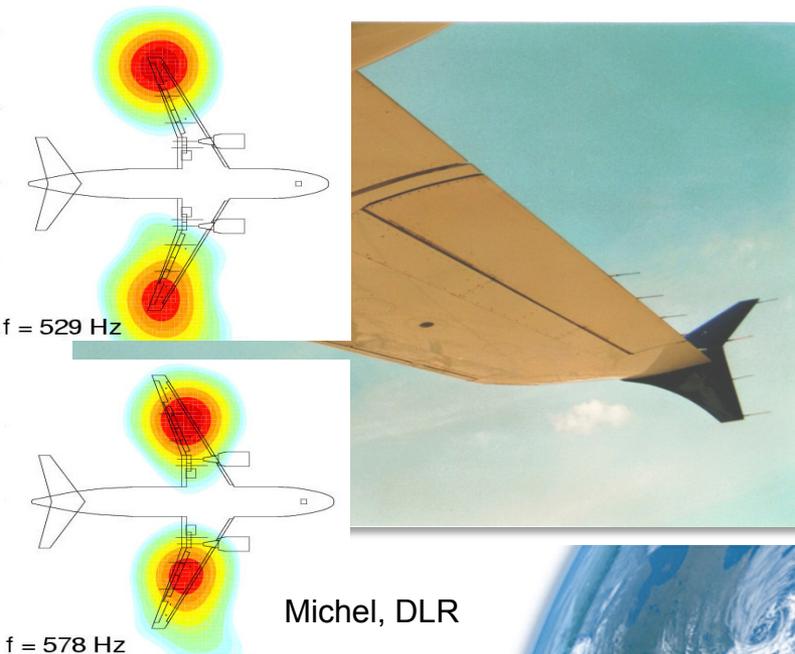
# Elimination of parasitic tones at wings



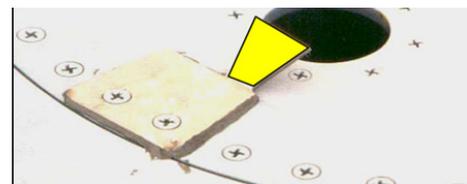
[www.a320whine.com](http://www.a320whine.com)



Helmholtz resonator

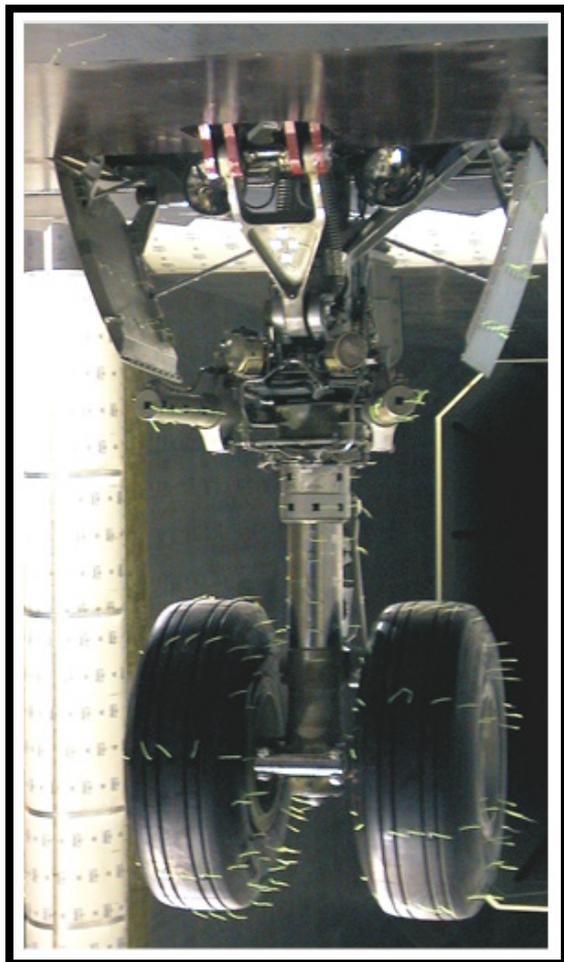


Michel, DLR

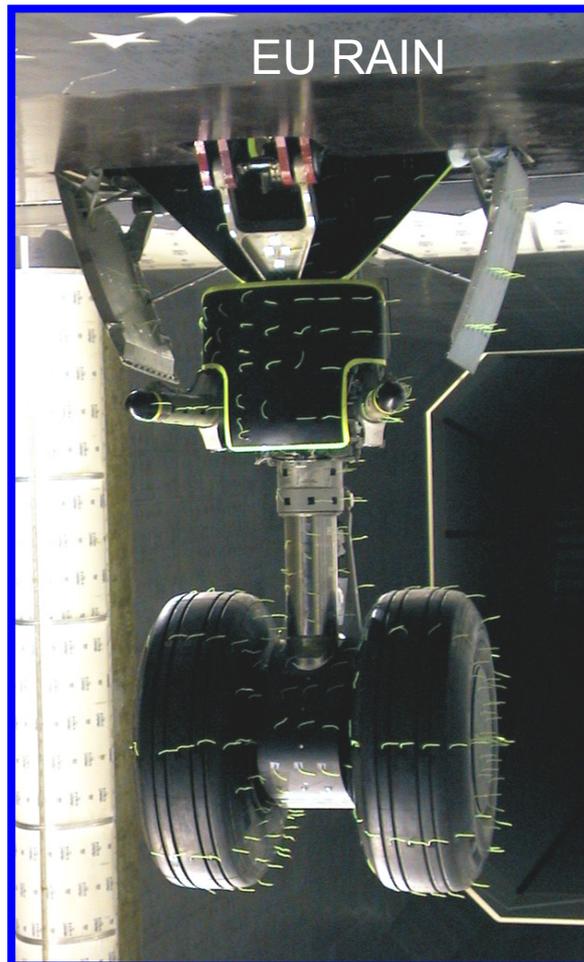


M. Pott-Pollenske et al. 2002

## Low noise nose landing gear



A340 nose landing gear



retro-fitted  
~ 2.6 dB reduction

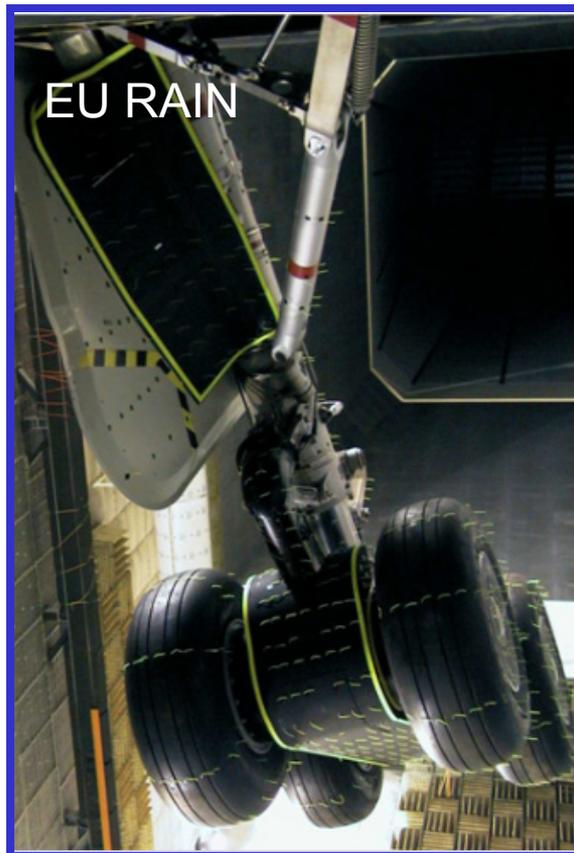


low noise NLG  
~ 6.3 dB reduction

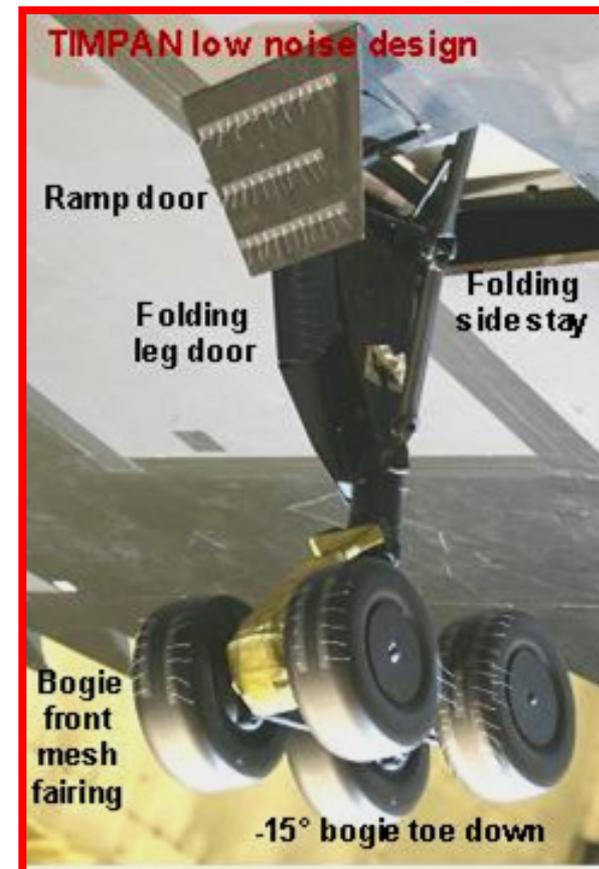
## Low noise main landing gear



A340 main landing gear

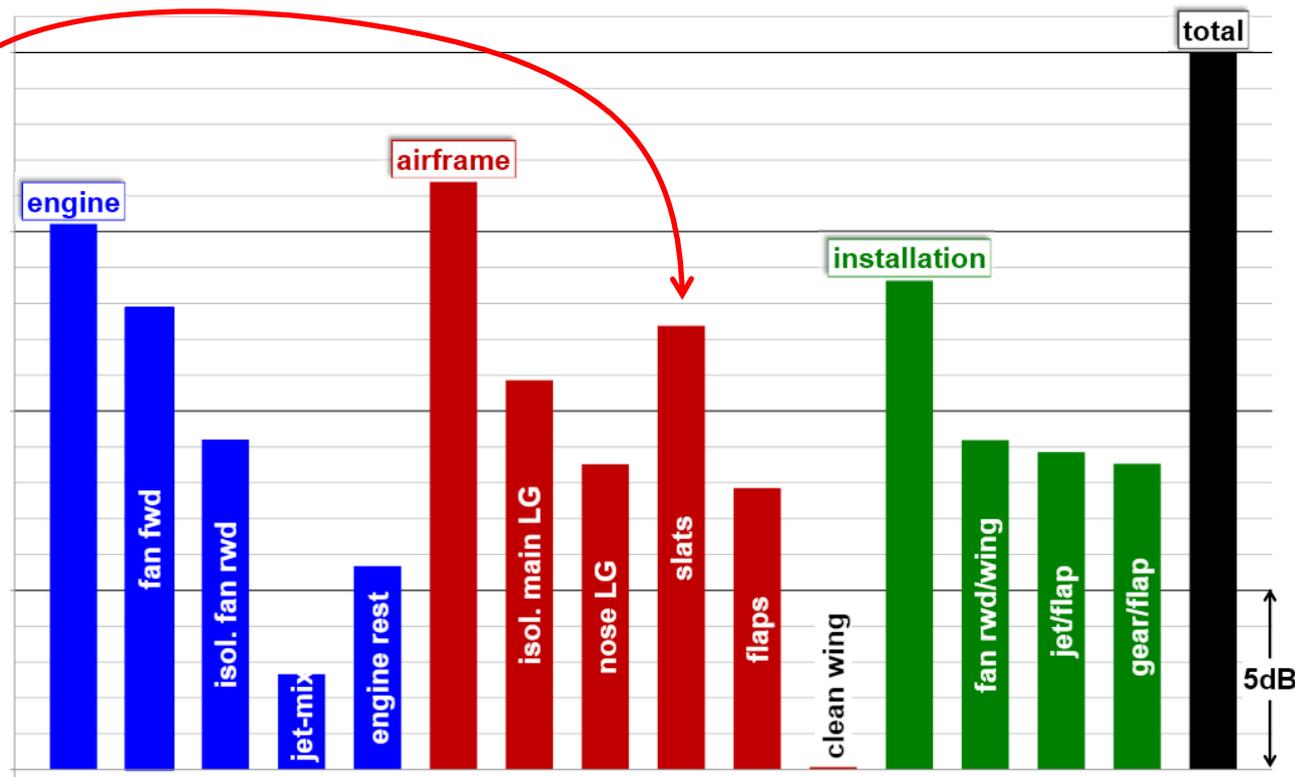


retro fitted  
~ 2.5 dB reduction



low noise  
8 dB(A) reduction

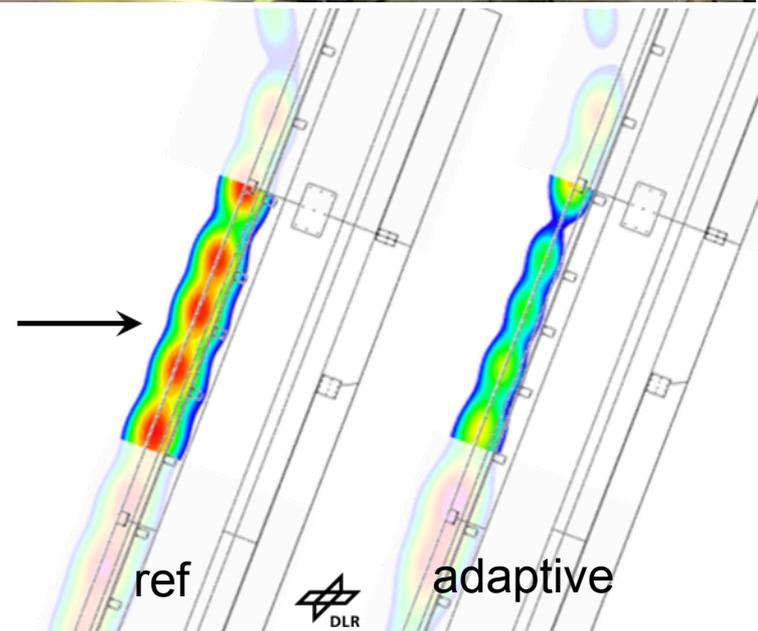
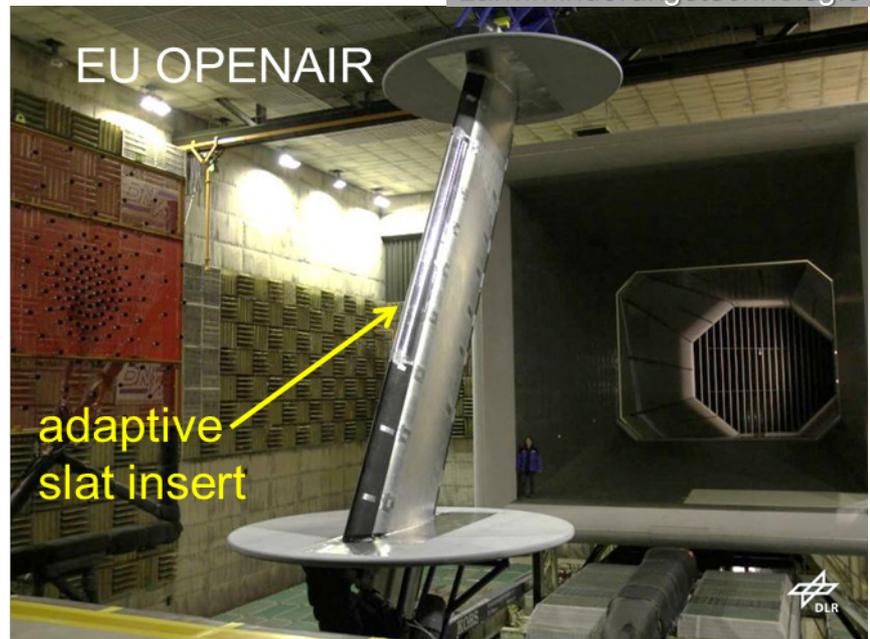
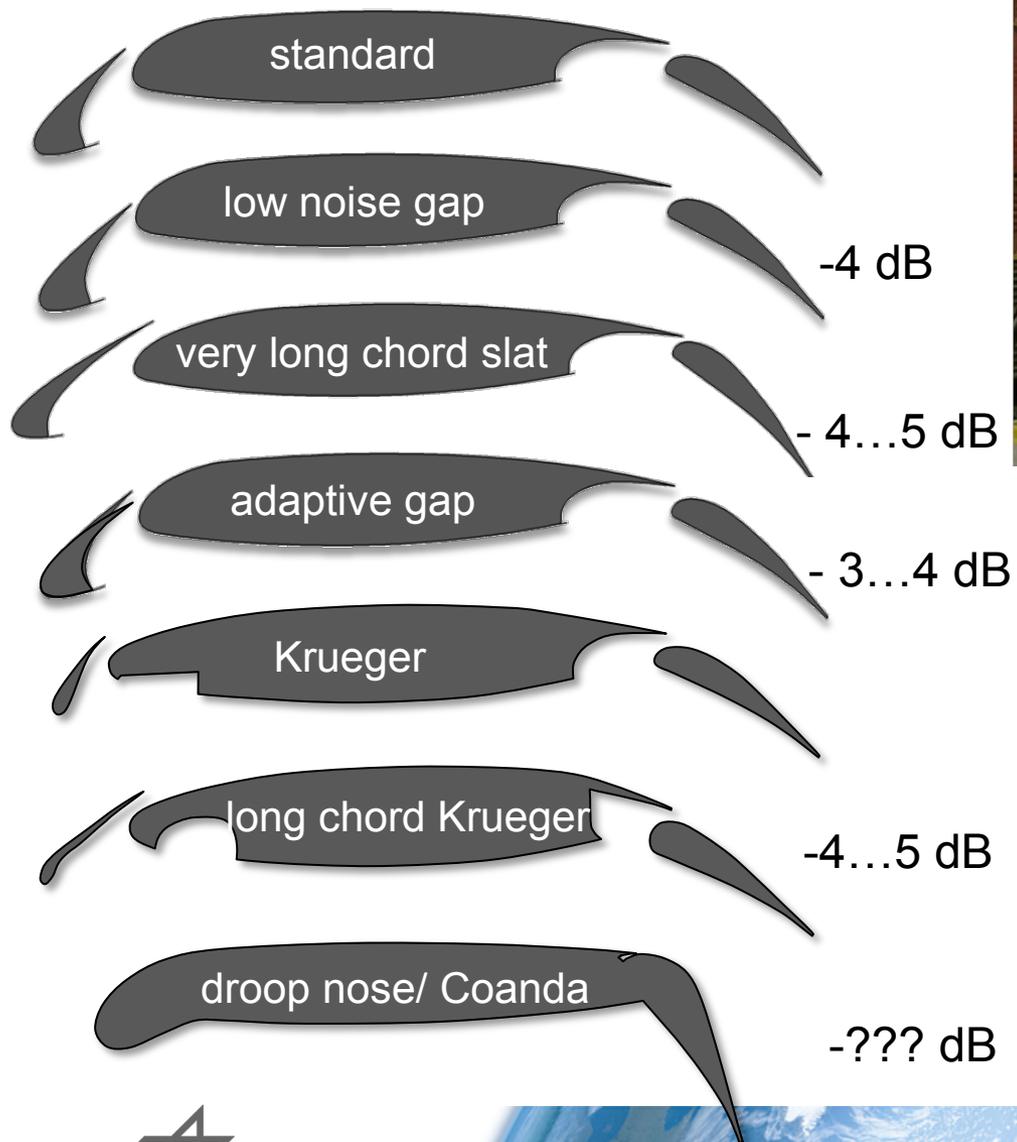
## Significance of high lift devices for airframe noise



- much more difficult to improve, since aerodynamically highly optimized component
- Significance discovered by DLR (Dobrzynski), 1998



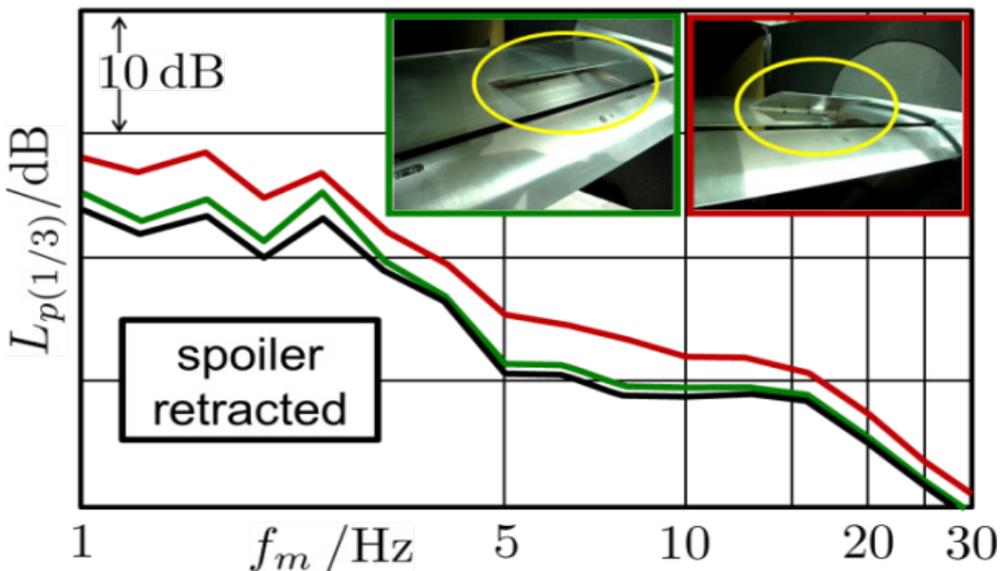
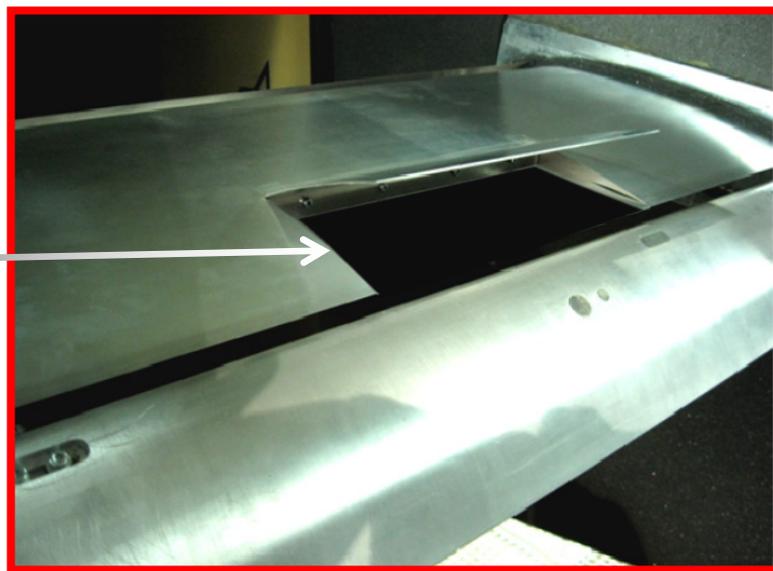
# Leises Klappensystem





# Low noise spoilers

Installation of splitter plate  
to shield radiation towards ground



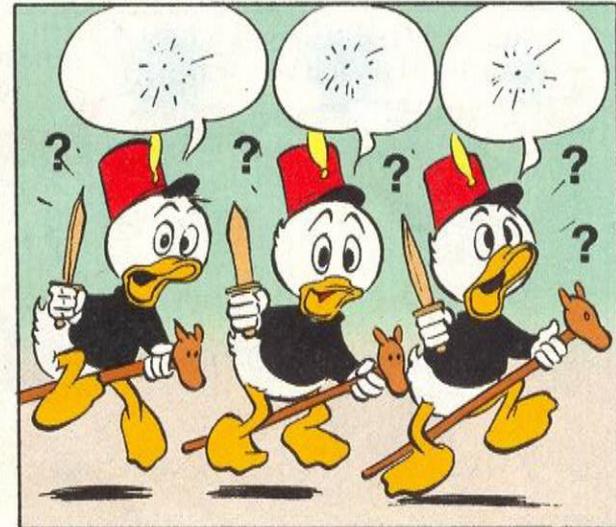
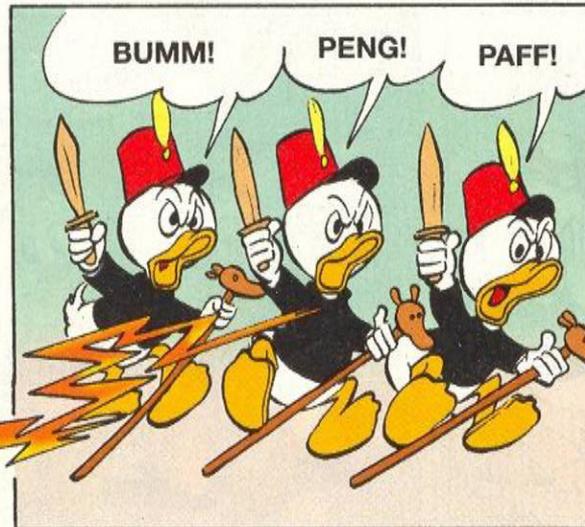
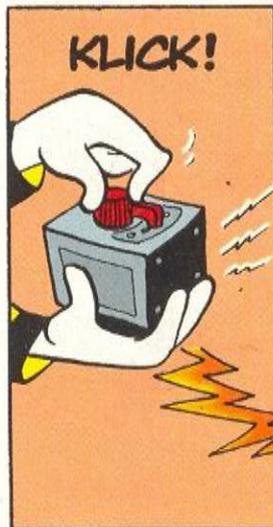
to be flight tested soon...



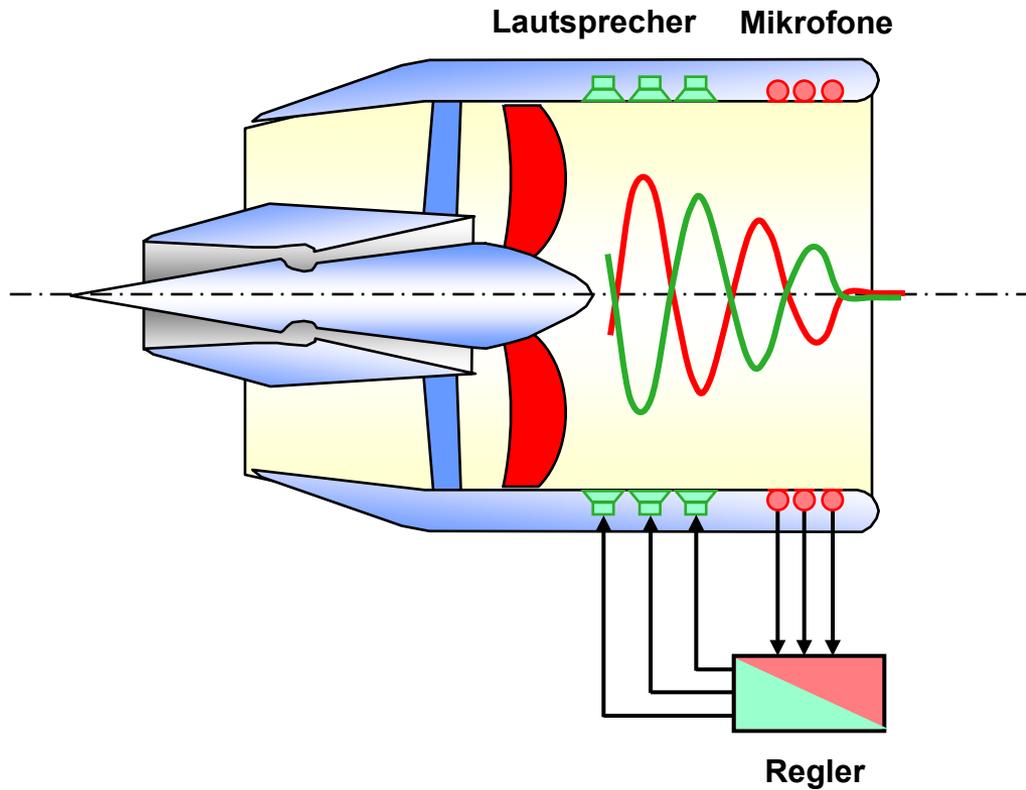
# Zukünftige Entwicklungen - Aktuelle Forschung



# Aktive Lärminderung – leicht gemacht?



# Aktive Lärminderung (ANC) in Flugzeugtriebwerken



Schallfeld - Analyse

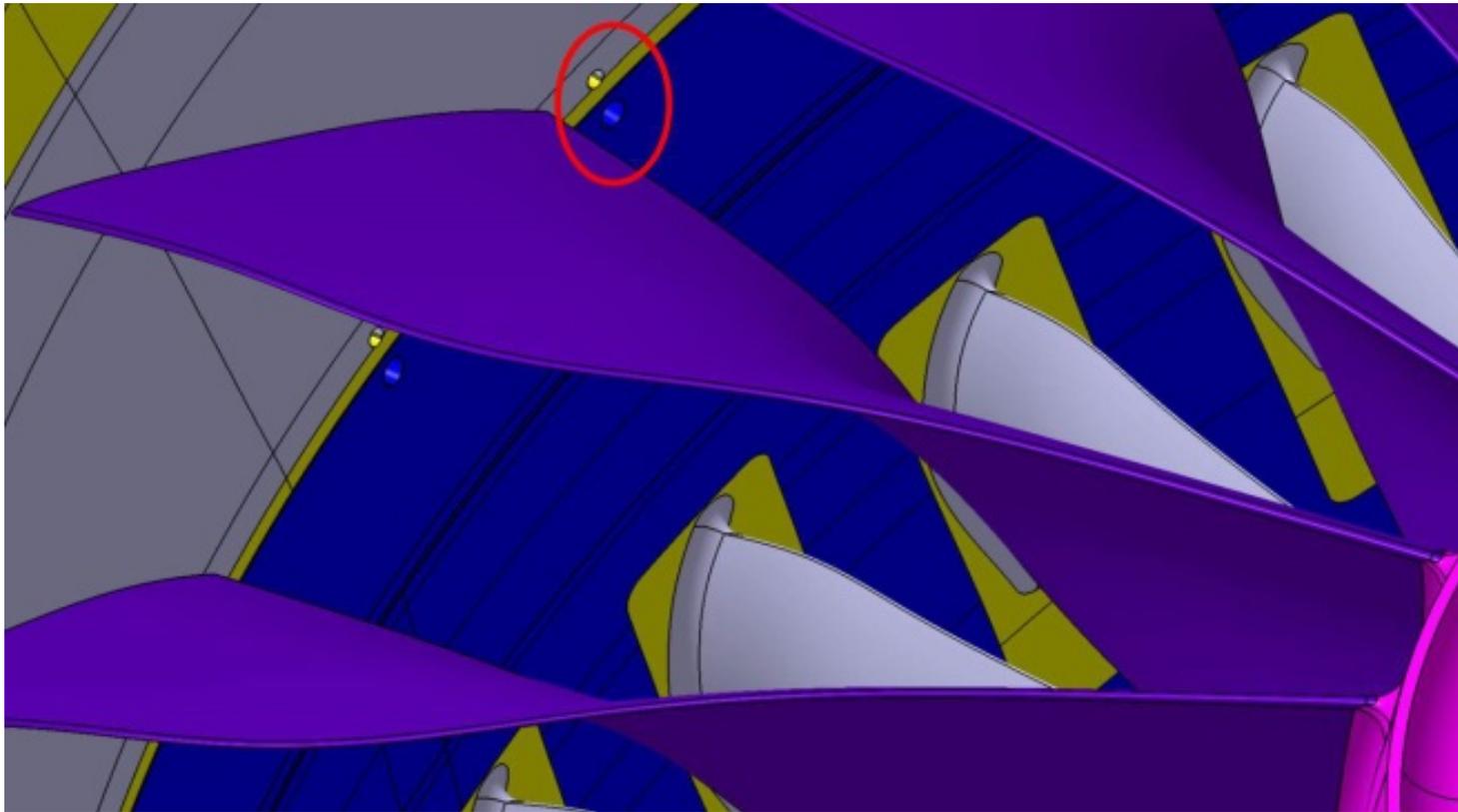
Regelung

Schallfeld -  
Synthese

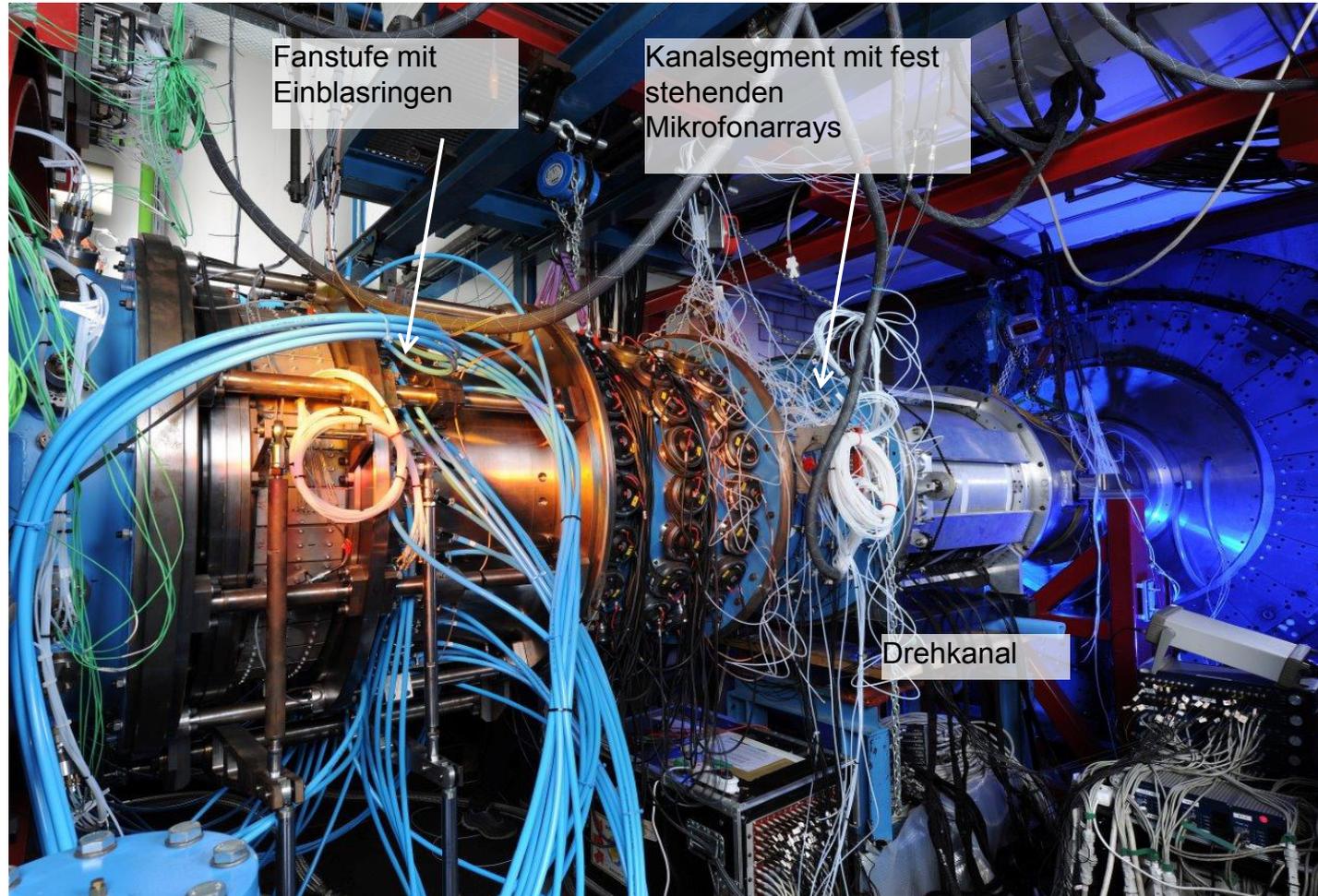


# ANC mit strömungsinduzierten Gegenschallquellen

- Reduzierung der Rotor-Stator-Interaktionstöne (Primärfeld) durch Überlagerung eines gegenphasigen sekundären Schallfelds
- Stationäres Einblasen von Druckluft zwischen Rotor und Stator → Störung des Potentialfelds an den Rotorblattspitzen → Erzeugung des Sekundärschallfeldes



## Großversuch



Mehrstufen-Zweiwellen-Axialverdichter-Prüfstand (M2VP)



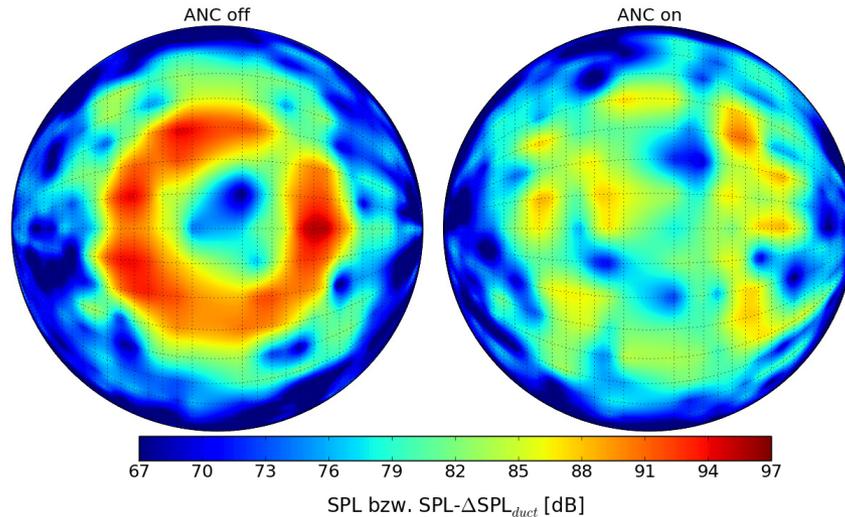
# Ergebnis der Regelung

- Erfassung des in die Beruhigungskammer abgestrahlten Schalls mittels eines traversierbaren halbkreisförmigen Mikrofonarrays (Fernfeldantenne FFA)
- Traversierung des Arrays über  $180^\circ$



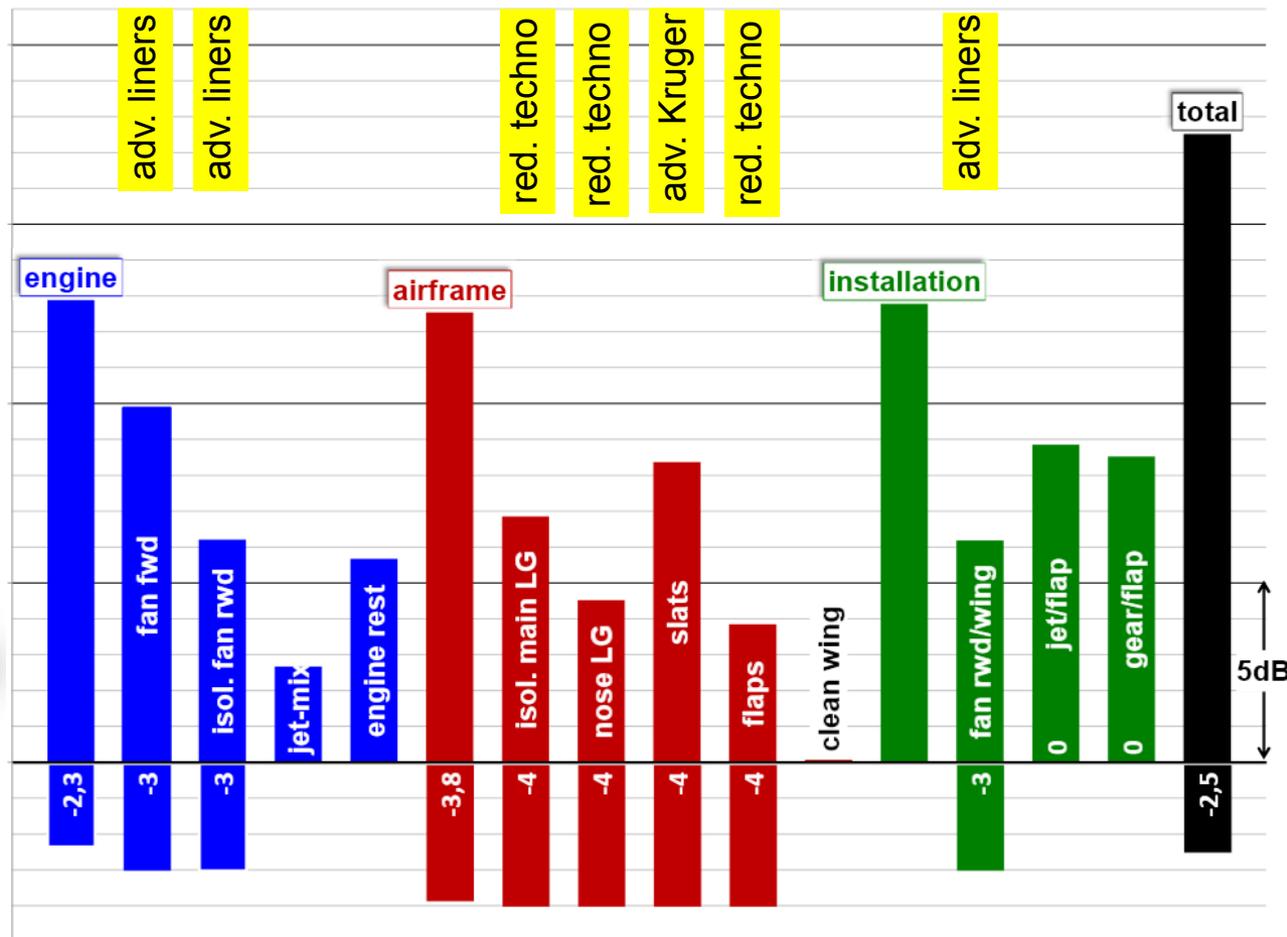
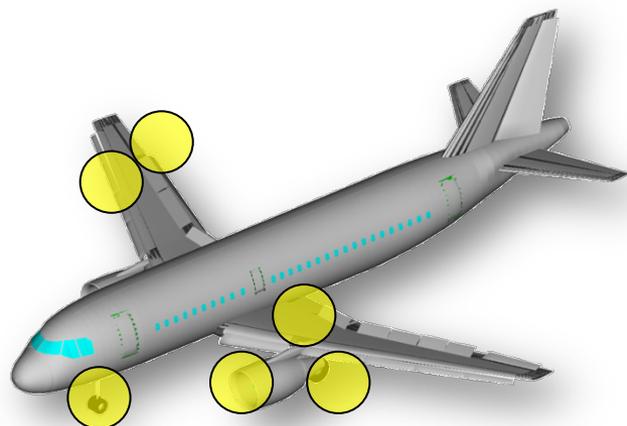
Beruhigungskammer

- Reduktion in den Hauptabstrahlwinkeln um 10 dB



# Noise reduction at conventional a/c – conceptual approach

Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach

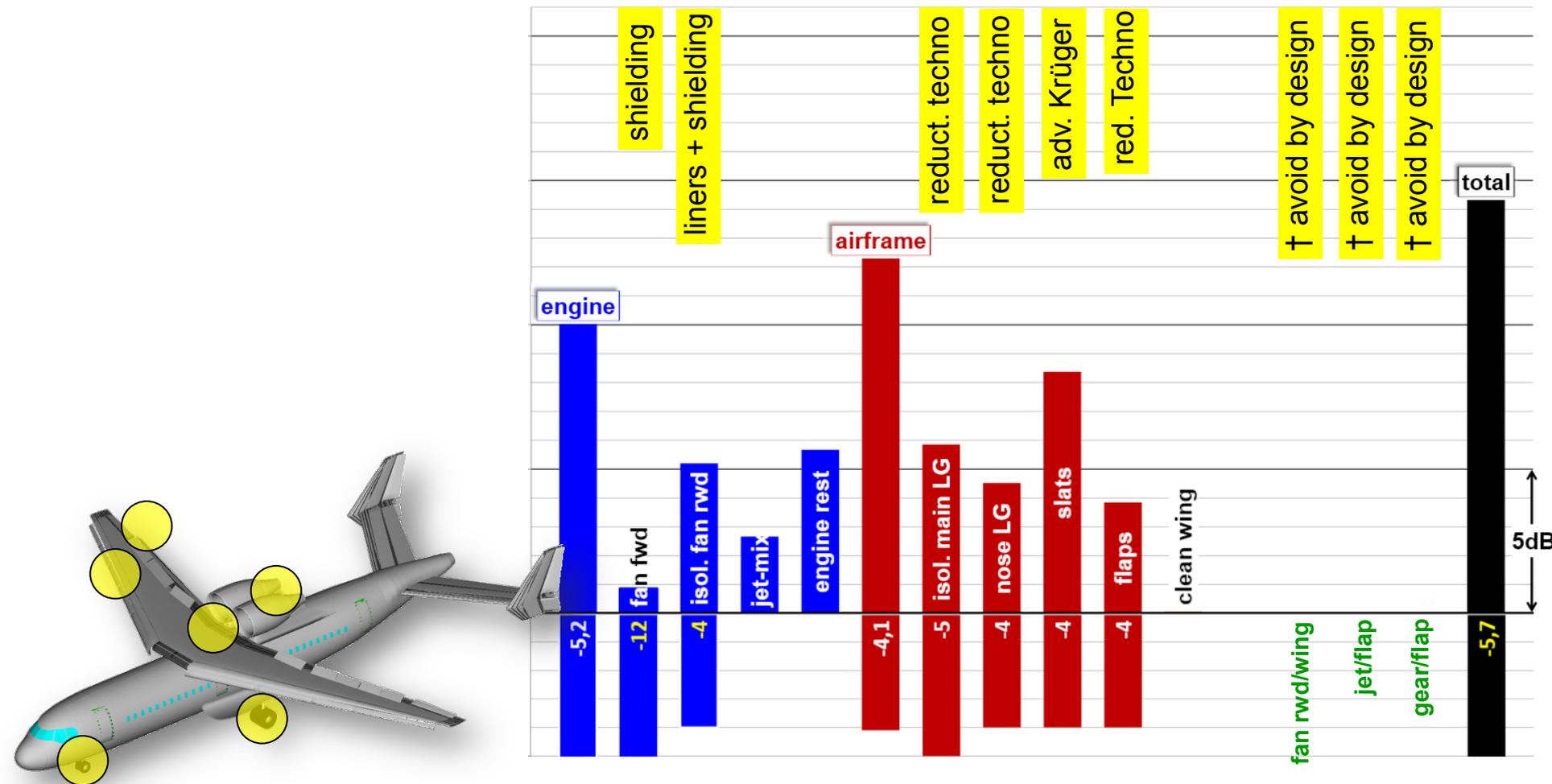


Conventional reduction technology insufficient for overall a/c noise reduction



# Low noise aircraft design – conceptual approach

Short to medium range aircraft, BPR 10-12, approach

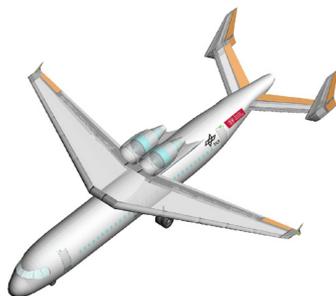
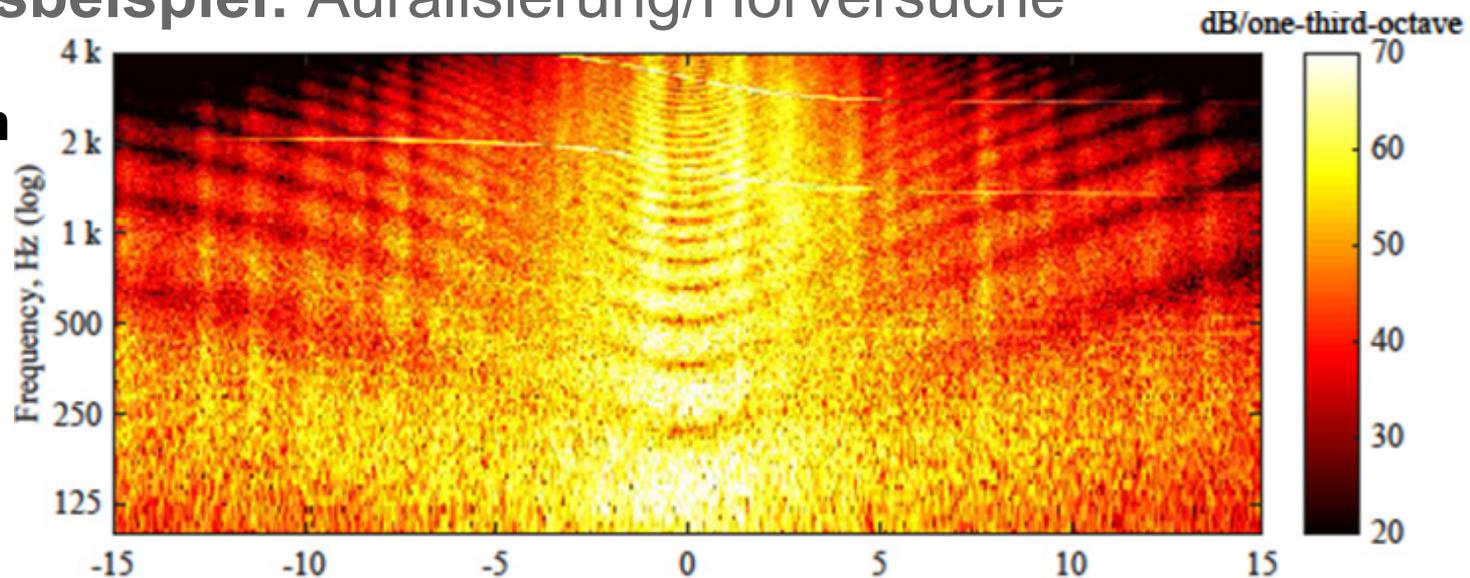


# Anwendungsbeispiel: Auralisierung/Hörversuche<sup>5</sup>

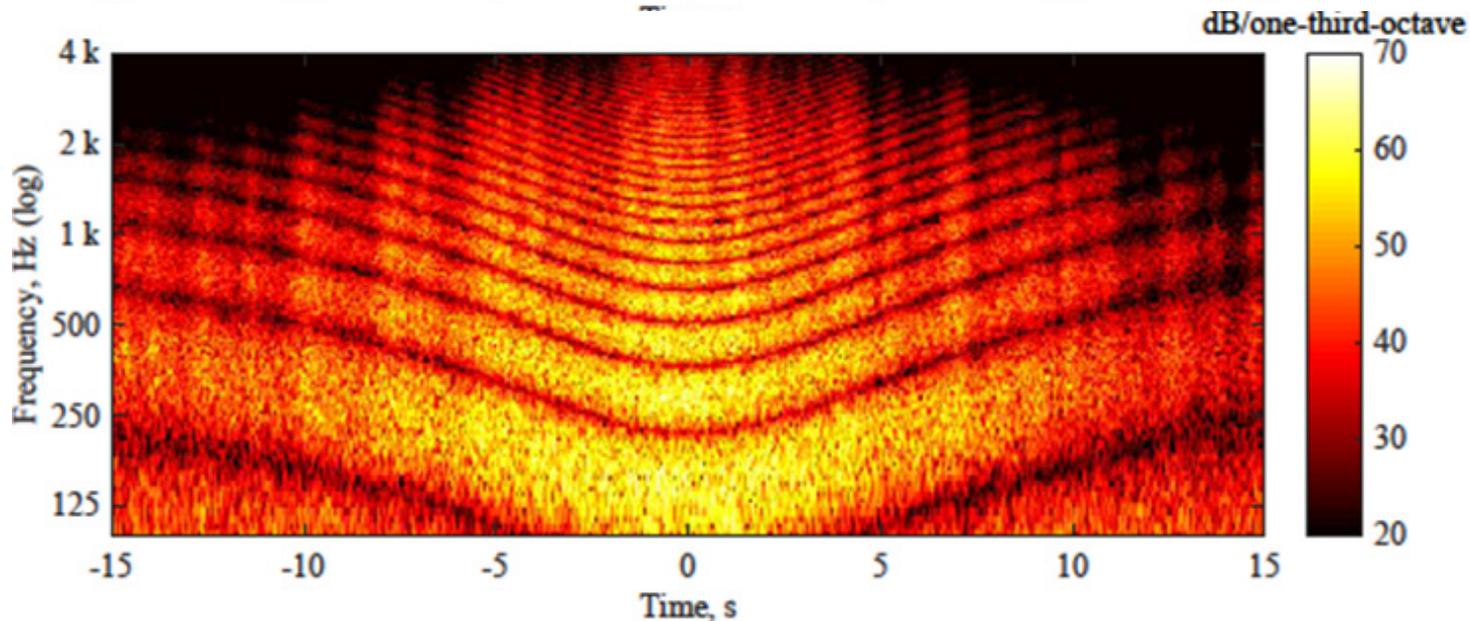
Observer @ 4 km



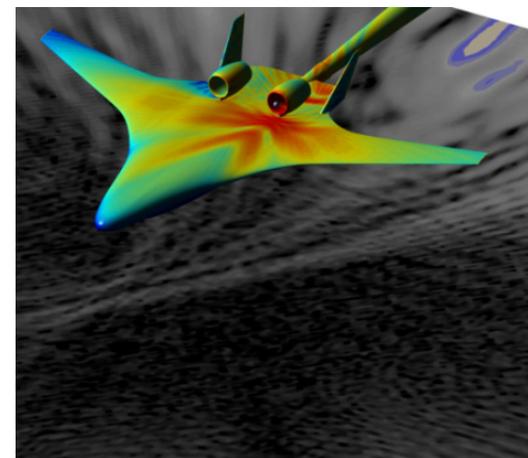
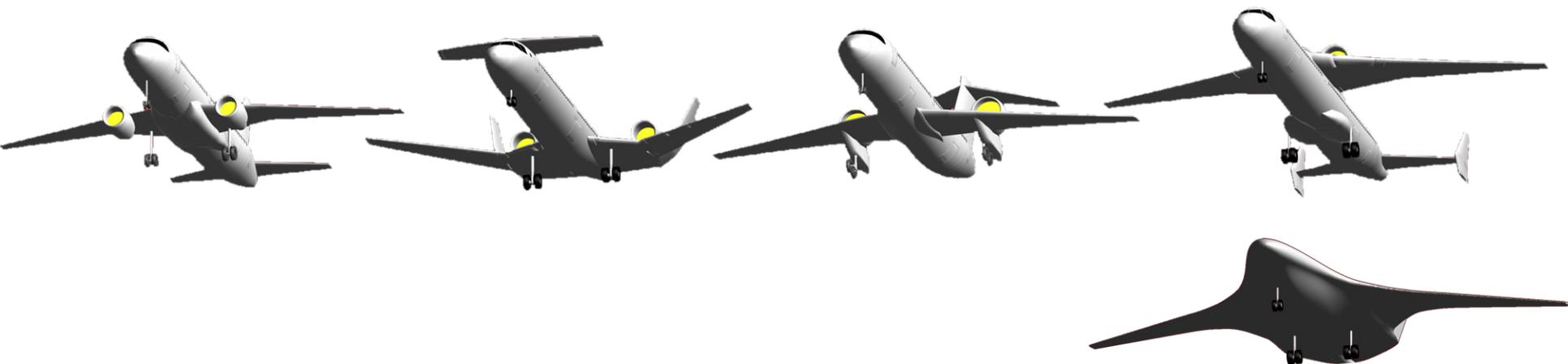
konventionell



lärmreduziert



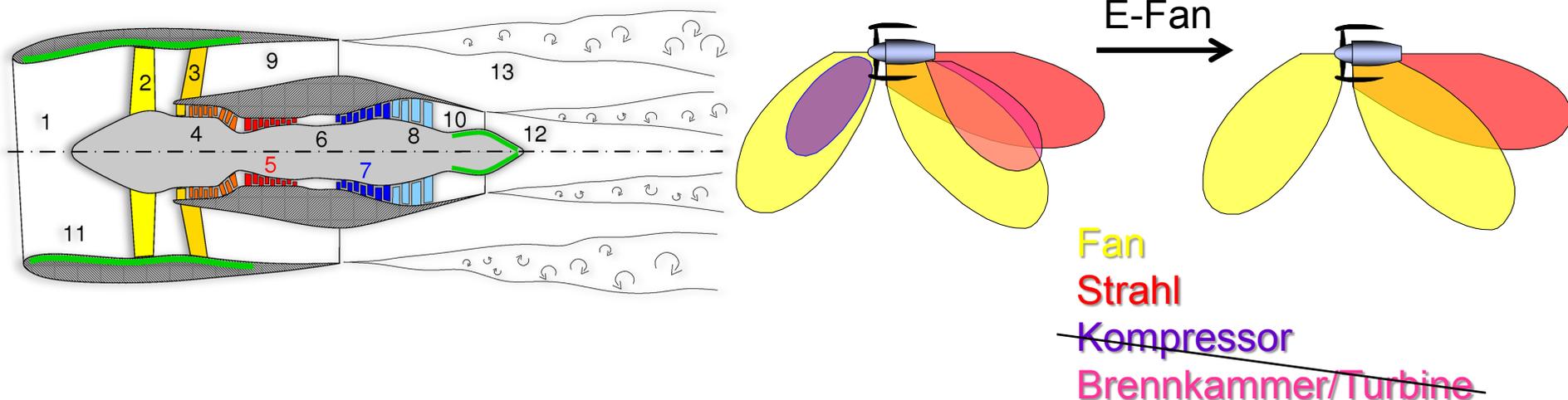
# Wie sieht das leise und effiziente Flugzeug der Zukunft aus ?



# Elektrische Antriebe = leise?



## Ersatz der Gasturbine durch E-Motor leise?



⇒ Erstmal **nein**, nicht wesentlich bei reinem Ersatz der Gasturbine  
 Grund: wesentliche Geräuschquellen rein aeroakustisch (anders als Auto)

⇒ Ausnahme: kolbenmotorgetriebene Propeller (Kleinflugzeuge)  
 wg. Vermeidung von Ungleichförmigkeit bei Rotation

⇒ **Aber:...**

## Neue Entwurfsräume bei elektrischen Antrieben



M. Hepperle, DLR

- viele verteilte Propeller: wenig Blattlast → geringer Lärm
- aktuelles Forschungsthema
- Batterien nur für Regionalflugzeuge, ansonsten hybrid-elektrisch



## Schlussfolgerungen

- Alle, Triebwerk, Flugwerk und Installationschallquellen wichtig
- Erheblicher Fortschritt in Lärminderungstechnologie triebwerkseitig in der Vergangenheit (am wichtigsten Strahl und Fan)
- Hocheffektive, fliegbare Lärminderungstechnologie für Fahrwerke entwickelt
- Hochauftriebssystem ist DIE Herausforderung für Landung
- Parasitäre Schallquellen relativ leicht eliminierbar
- Teilweiser Einsatz von Lärminderungstechnologie hat nur sehr begrenzten Effekt
- Triebwerke der nächsten Generation haben weniger dominante Tonanteile
- Lärmgetriebene neue Flugzeugentwürfe? Hohes Potenzial von Abschattung
- Das Lärminderungspotential elektrischer Antriebe in Verbindung mit alternativen Flugzeugarchitekturen muss erforscht werden



