

**Arbeitspaket „Lärminderung an der Quelle“**



**Umströmungslärm**

W. Dobrzynski, M. Pott-Pollenske, B. Gehlhar,  
L. Stechow, M. Herr, J. Alvarez-Gonzalez

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Braunschweig

**Projekt „Leiser Flugverkehr“, Abschlusspräsentation  
16. März 2004 / Köln-Porz**



Ansprechpartner:

Dr. Werner Dobrzynski  
DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Abt. Technische Akustik  
Lilienthalplatz 7  
38302 Braunschweig  
Tel. 0531 295 2172  
Fax 0531 295 2320  
E-mail: werner.dobrzynski@dlr.de

## Umströmungslärm





**Hochauftriebssysteme**

**Fahrwerke**

**Interaktion**

**Motivation:**  
Zellenlärm und Triebwerkslärm sind im **Landeanflug** heute etwa gleichbedeutend. Lärmquellen sind:

- Fahrwerke und
- Hochauftriebssysteme
- Fahrwerks/Klappen Interaktion,

**Zielsetzung:**

- Aufklärung der Lärmquellenmechanismen
- Minderung von Fahrwerks- und Hochauftriebslärm um je 3 dB
- Entwicklung und Validierung halbempirischer Quellmodelle

**Methodik:** Quellstudien im Windkanal und Validierung durch Überflugmessungen (Messungen im DNW-LLF in Kooperation mit Partnern in EU-Projekten)



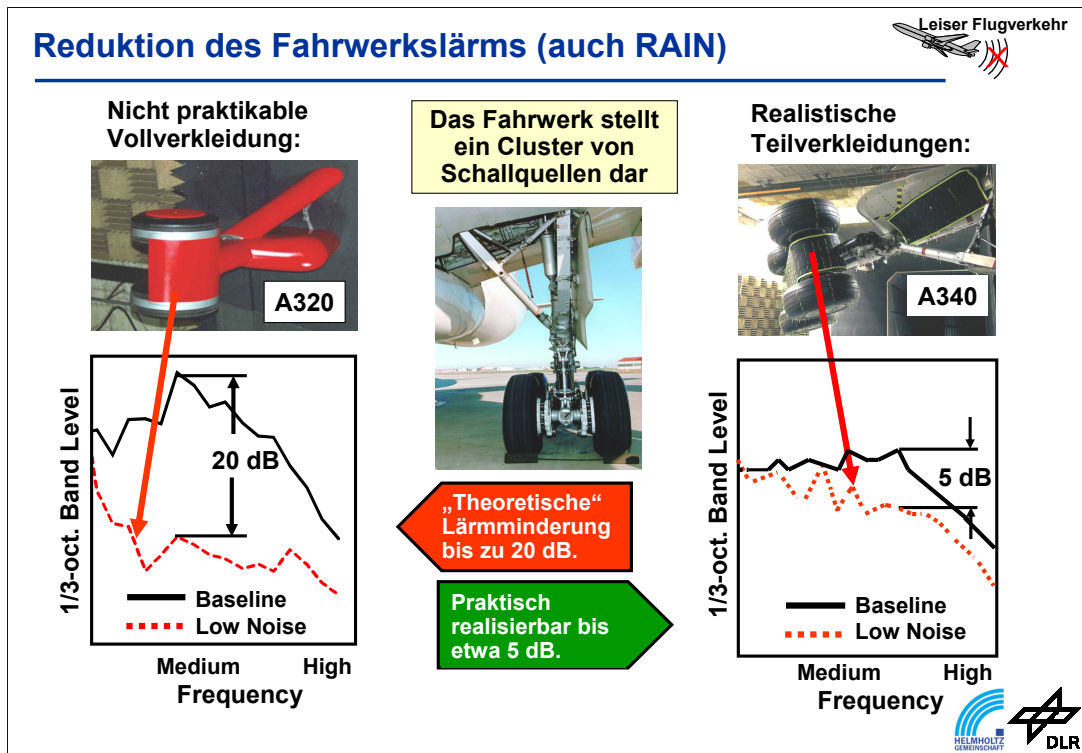
Auf Grund der erfolgreichen Minderung des Triebwerkslärms wird das Überflugeräusch moderner Verkehrsflugzeuge im Landeanflug vom Umströmungsgeräusch der Zelle entscheidend mitbestimmt. Die Umströmung der Fahrwerke und der Hochauftriebssysteme liefert die wesentlichen Beiträge zu diesem so genannten Zellenlärm.

Die Arbeiten im Projekt dienten daher im Einzelnen den folgenden Zielen:

- Erarbeitung von Konstruktionsvorschlägen zur Minderung des Fahrwerkslärms
- Aufklärung der Entstehungsmechanismen des Hochauftriebslärms
- Entwicklung von Technologien zur Lärminderung an Hochauftriebssystemen
- Quantifizierung des Wechselwirkungslärms Fahrwerksnachlauf/Klappe
- Entwicklung von Schallquellmodellen für die wesentlichsten Strömungslärmquellen zur Anwendung für Lärmprognoserechnungen
- Validierung der Windkanalmessergebnisse durch Überfluglärmessungen unter kontrollierten Bedingungen.

Im Ergebnis sollte bei dominierendem Umströmungsgeräusch im Landeanflug eine Halbierung der am Boden auftreffenden Schallenergie erreicht werden.

Zur Klärung von Schallquellmechanismen und zur Entwicklung von Lärminderungsmaßnahmen wurden experimentelle Untersuchungen in aeroakustischen Windkanälen durchgeführt. Die Ergebnisse der Windkanalstudien dienten auch der Entwicklung von halbempirischen Schallquellmodellen für die Anwendung in Lärmprognoseverfahren. Zur Validierung der erarbeiteten Schallquellmodelle wurden Überfluglärmessungen an einem Airbus A319 der Deutschen Lufthansa durchgeführt. Ergänzend zu den ursprünglich im Projektplan verabredeten Referenzmessungen zur Erstellung einer Lärmdatenbasis für Prognosezwecke, wurden im Zuge dieser Messkampagne auch ausgewählte Lärminderungsmaßnahmen untersucht.



Zu den wesentlichen Quellen von Umströmungsgeräuschen gehören die Fahrwerke. Im Rahmen einer ersten Bestandsaufnahme (vor Projektbeginn) erfolgten Geräuschmessungen an einem Fahrwerk des Airbus A320. Messungen wurden für verschiedene Fahrwerkskonfigurationen durchgeführt, unter anderem auch mit einer „strömungsgünstigen“ Vollverkleidung der gesamten Fahrwerksstruktur. Dieser Prinzipversuch zeigte ein theoretisch erreichbares Lärminderungspotenzial von mehr als 10 dB: „theoretisch“ deshalb, weil der Grad der installierten Verkleidungen die wesentlichen Funktionen des Fahrwerks behinderte (wenn nicht sogar verhinderte).

Es zeigte sich weiterhin, dass die komplexe Struktur heutiger Flugzeugfahrwerke ein „Cluster“ von Einzelschallquellen darstellt. Nachrüstbare Technologien zur Lärminderung müssen sich daher auf „strömungsgünstige“ Teilverkleidungen von Fahrwerkskomponenten beschränken.

Da in ersten Versuchen auch mit realistischen Teilverkleidungen ein nicht unerhebliches Lärminderungspotenzial erreicht worden war, wurden in einer europäischen Studie zum Fahrwerkslärm weitere Untersuchungen an A340 Originalfahrwerken vorgenommen.

Dabei ging es primär darum die wesentlichen Schallquellbereiche zu identifizieren und geeignete Verkleidungen für die betreffenden Fahrwerkskomponenten zu entwickeln. Hierzu kamen ein Mikrofon-Array und ein akustischer Hohlspiegel des DNW zum Einsatz.

Im Rahmen dieser Studie wurden aber auch Fernfeldschallmessungen durchgeführt. Die Messungen zeigten, dass mit realistischen, nachrüstbaren Teilverkleidungen eine Lärminderung um bis zu 3 dB (bezüglich des Gesamtpegels) möglich ist.

Auf der Grundlage der erarbeiteten Datenbasis konnte ein zunächst rein empirisches Schallquellmodell für Lärmprognosen erstellt werden.

## Zusatzschallquellen am Originalflügel



Im DNW-LLF wurden am A320 Originalflügel konstruktionsbedingte Zusatzschallquellen identifiziert:

- Überströmung von Hohlräumen in Flügel und Klappen
- Schräganströmung der „slat-tracks“
- Umströmung der Klappenmechanik

**Konsequenz:**  
Modellmessergebnisse können nicht unmittelbar mit Überflugdaten verglichen werden!



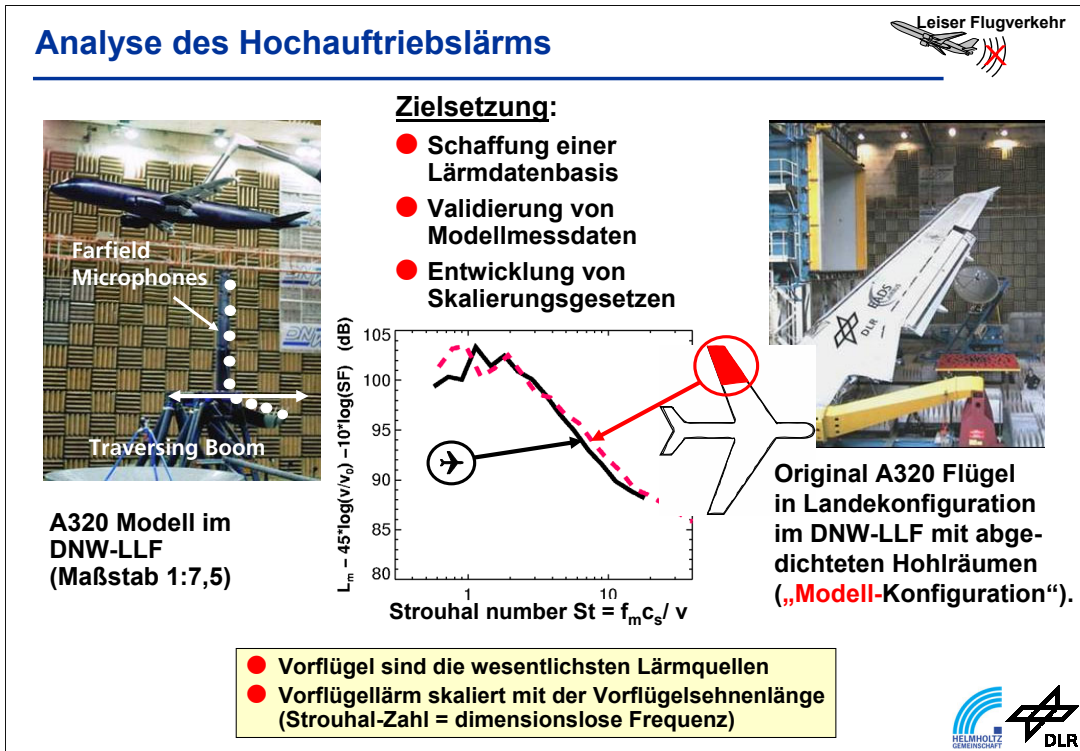
Aeroakustische Untersuchungen an einem Originalflügel des Airbus A320 waren vornehmlich dazu gedacht um im Vergleich mit Modellmessergebnissen Skalierungsgesetze für den Umströmungslärm der Hochauftriebssysteme zu entwickeln und Lärminderungstechnologien zu erproben. Tatsächlich wurden durch diesen Versuch auch wesentliche, zusätzliche Erkenntnisse zum Umströmungslärm realer Flugzeugkonstruktionen gewonnen.

Es wurden konstruktionsbedingte Zusatzlärmquellen gefunden, die naturgemäß an idealisierten Modellen nicht beobachtet werden können. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Löcher und Hohlräume in verschiedenen Bauteilen, deren Überströmung sowohl zu tonaler als auch zu breitbandiger Geräuschabstrahlung führt.

Für den Airbus A320 kann erwartet werden, dass allein nach Beseitigung „konstruktionsbedingter“ Zusatzschallquellen wie

- Flügelausschnitte für Vorflügelhalter,
- Hohlräume in der Klappenseitenkante,
- Löcher in der Flügeloberfläche und
- Vorflügelhalter und Klappenhaltermechanik,

der Umströmungslärm des Hochauftriebsflügels um bis zu 2 dB gemindert werden kann. Damit wird deutlich, dass Modellmessergebnisse nicht unmittelbar auf die Großausführung übertragen werden können.

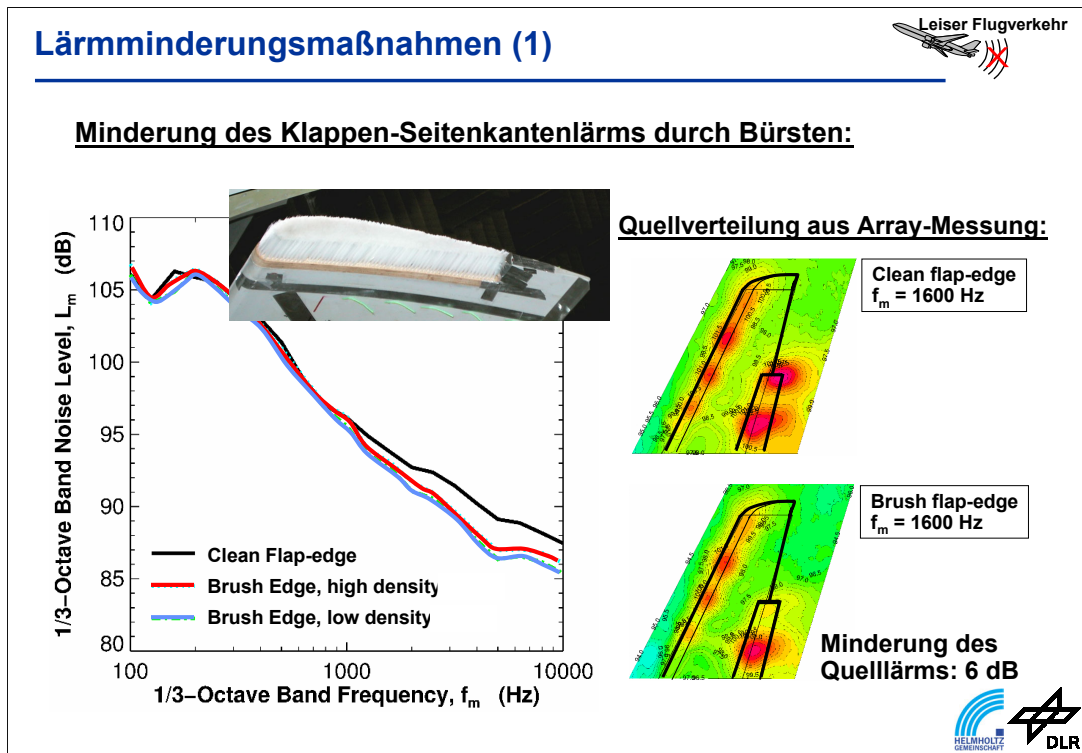


Ausführliche Vermessungen des Umströmungsgeräusches von A320 Hochauftriebssystemen erfolgten an einem Flugzeugmodell (Maßstab 1:7,5) und am A320 Originalflügel in der offenen Messstrecke des DNW-LLF.

In diesen Versuchen wurde das „Schallfernfeld“ für unterschiedliche Anströmgeschwindigkeiten (bis 70 m/s) und Anstellwinkel systematisch vermessen. Damit wurde eine umfangreiche Datenbasis für die Entwicklung von zunächst semiempirischen Lärmprognoseverfahren geschaffen.

Detaillierte Quellstudien wurden insbesondere am Vorflügel durchgeführt, da er als die wesentlichste Lärmquelle am Hochauftriebssystem erkannt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass die Richtcharakteristik des Vorflügelärms ein Maximum entgegen der Flugrichtung aufweist. Aus dem Vergleich der Messergebnisse am Modell und am Originalflügel des A320 ergab sich, dass der Frequenzmaßstab des Vorflügelärms zur geometrischen Größe des Vorflügels umgekehrt proportional ist, aber mit der Anströmgeschwindigkeit proportional wächst. Weiterhin zeigte sich, dass die Schallintensität mit der 4,5ten Potenz der Anströmgeschwindigkeit und proportional zur geometrischen Größe des Vorflügels ansteigt. Als charakteristische Größe wurde hier zunächst die Vorflügelsehne gewählt.

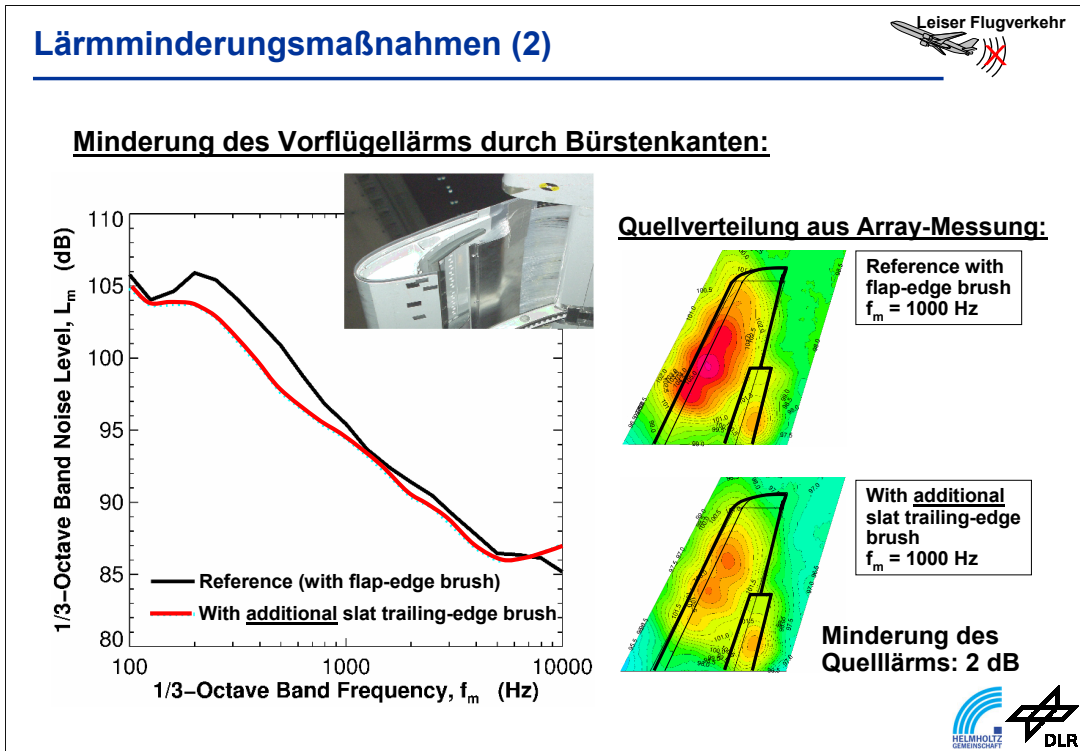
Ein Vergleich der dementsprechend normierten Messergebnisse vom A320 Modell und dem Originalflügel ist oben gezeigt. Angesichts des erheblichen Größenunterschiedes der betrachteten Vorflügelkonfigurationen (Skalierungsfaktor SF = 7,5) ist die sich ergebende Übereinstimmung der über der Strouhal-Zahl aufgetragenen, normierten Geräuschspektren ausgezeichnet.



Untersuchungen zur Minderung der Strömungsgeräusche von der Seitenkante der Landeklappen zeigten, dass die Installation strömungsdurchlässiger Endkanten - in Form von porösen Metallschäumen oder Bürsten (Ergebnis aus dem EU-Projekt RAIN) - eine deutliche Lärminderung bewirkt.

Die Messergebnisse am Originalflügel bestätigten die aus Modellversuchen bekannte Erkenntnis, dass Seitenkantenlärm bei vergleichsweise hohen Frequenzen dominiert. Die mit dem Mikrofon-Array ermittelte Schallquellverteilung zeigt überdies, dass die erprobten Lärminderungsmaßnahmen den Seitenkantenlärm praktisch beseitigen und der Landeklappenhalter die nächst wichtige Einzellärmquelle darstellt.

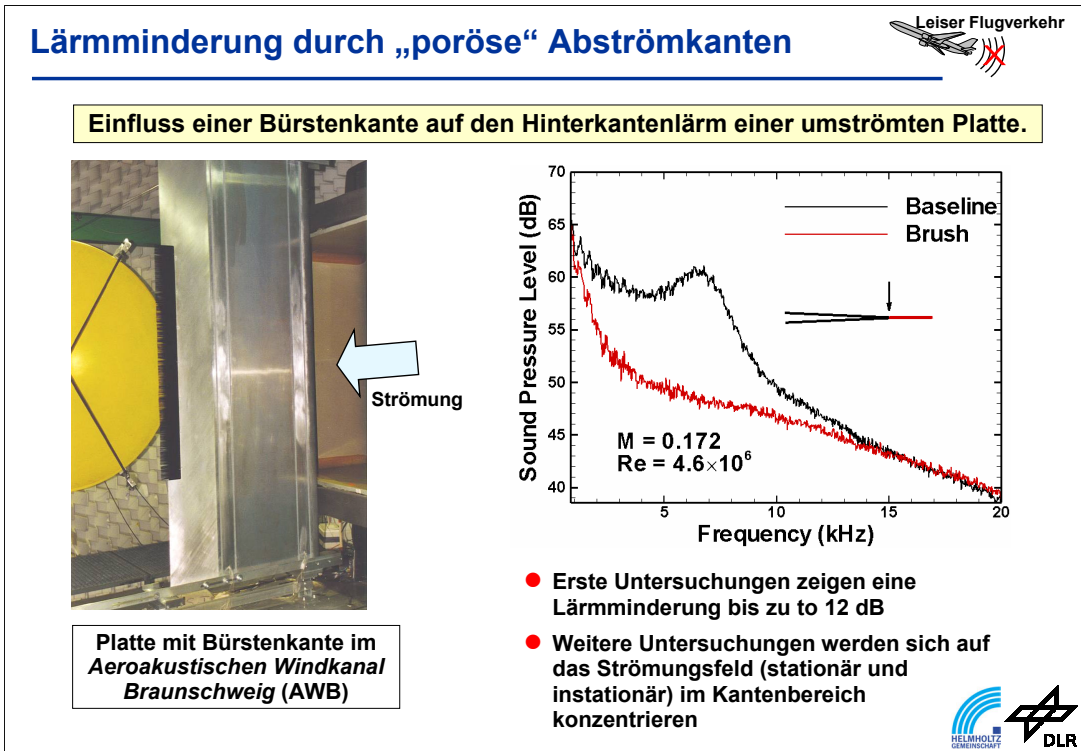
Erkenntnisse aus aerodynamischen und akustischen Untersuchungen am generischen Hochauftriebsmodell im AWB haben weiterhin gezeigt, dass strömungsdurchlässige Endkanten den Durchmesser des Kantenwirbels vergrößern. Die lärmindernde Wirkung von strömungsdurchlässigen Endkanten könnte daher auf der Abschwächung der Diskontinuität der Strömungsrandbedingungen an der Seitenkante beruhen.



Weitere Untersuchungen zielten ab auf die Verminderung des Abstrahlwirkungsgrades von der überströmten oberen Vorflügelhinterkante. Schall entsteht an überströmten Kanten durch Umwandlung eines Teils der turbulenten Wanddruckschwankungen in ausbreitungsfähige Druckwellen. Da dieser Prozess ursächlich mit der un stetigen Änderung der Randbedingungen an der Kante zusammenhängt, wurde eine Änderung der Kanteneigenschaften im Sinne eines mehr stetigen Überganges von der harten Wand in die freie Strömung auch hier als potenzielle Lösung zur Lärminderung angesehen.

Die praktische Umsetzung erfolgte in Form eines in Hauptströmungsrichtung ausgerichteten Bürstenansatzes an der oberen Vorflügelhinterkante. Im Windkanalversuch konnte sowohl im Modellmaßstab als auch am A320 Originalflügel eine Minderung des Vorflügelärms um 2 bis 3 dB erreicht werden. Die hier dargestellten Messergebnisse zeigen die lärmindernde Wirkung einer „Borstenreihe“ an der oberen Abströmkante des Vorflügels und zwar sowohl als Ergebnis der Fernfeldschallmessung als auch der Schallquelllokalisierung durch das Mikrofon-Array. Eine Lärminderung ist vornehmlich bei niedrigen Frequenzen zu beobachten, in dem Frequenzbereich, wo das Maximum des Vorflügelärms auch im Modellversuch (nach maßstabsgerechter Skalierung) gefunden wurde.


Die physikalischen Hintergründe dieses beachtlichen Lärminderungserfolges sind jedoch noch nicht im Detail geklärt.



Da die Mechanismen der Lärminderung durch Bürstenkanten zur Zeit noch nicht vollständig erfasst sind, können weder Skalierungsgesetze noch das maximale Minderungspotenzial angegeben werden. Daher wurden weitergehende aeroakustische Untersuchungen zu den relevanten Quellmechanismen an einem generischen Hinterkantenmodell im Aeroakustischen Windkanal Braunschweig (AWB) eingeleitet. Dieses Modell besteht aus einer beidseitig umströmten ebenen Platte variabler Sehnenlänge. Zur Untersuchung verschiedener Kantenkonfigurationen ist die Abströmkante auswechselbar. Erste Ergebnisse bestätigen die lärmindernde Wirkung von Bürstenkanten.

In diesem Grundlagenexperiment sollen insbesondere die Einflüsse der wesentlichen Auslegungsparameter von Bürstenkanten, wie z. B. Dicke, Dichte, Länge und Flexibilität, im Hinblick auf das erreichbare Lärminderungspotenzial ermittelt werden. Für die Beschreibung der Quellmechanismen sollen darüber hinaus die Zusammenhänge zwischen den akustischen Messgrößen und den stationären und instationären Strömungsgrößen im Kantenbereich bestimmt werden. Diese Untersuchungen konnten noch nicht abgeschlossen werden.

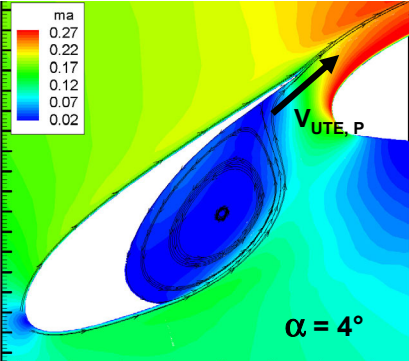


Leiser Flugverkehr 

### Lärmeinfluss des Vorflügelspaltes (1)

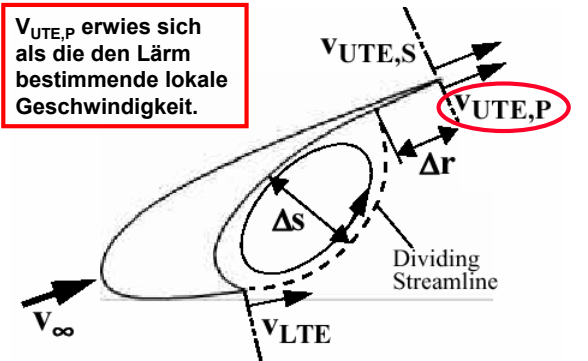
Lokale Strömungsgrößen wurden aus CFD Rechnungen (RANS) ermittelt:


- Lokale Geschwindigkeiten zu beiden Seiten der Abströmkanten am Vorflügel ( $v_{UTE,P}$ ,  $v_{UTE,S}$ ,  $v_{LTE}$ )
- Abstand  $\Delta r$  auf der Rückseite zwischen Wiederanlegelinie und Abströmkante
- Dicke  $\Delta s$  des Rückseitenwirbels



$\alpha = 4^\circ$

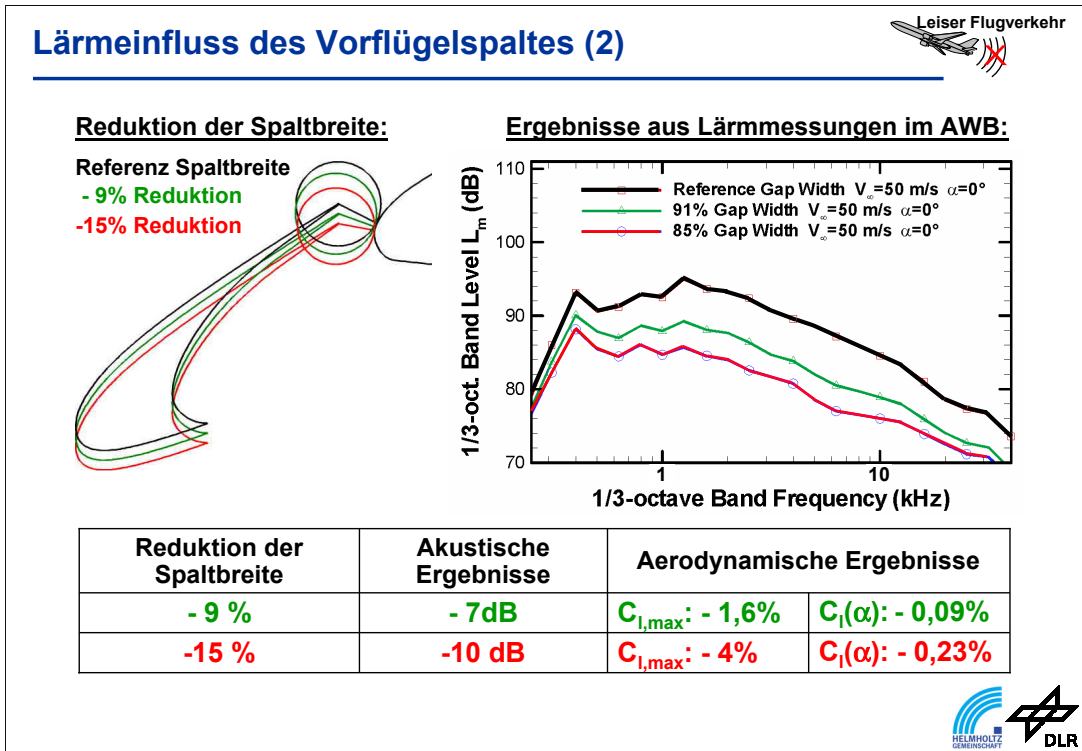
$v_{UTE,P}$  erwies sich als die den Lärm bestimmende lokale Geschwindigkeit.





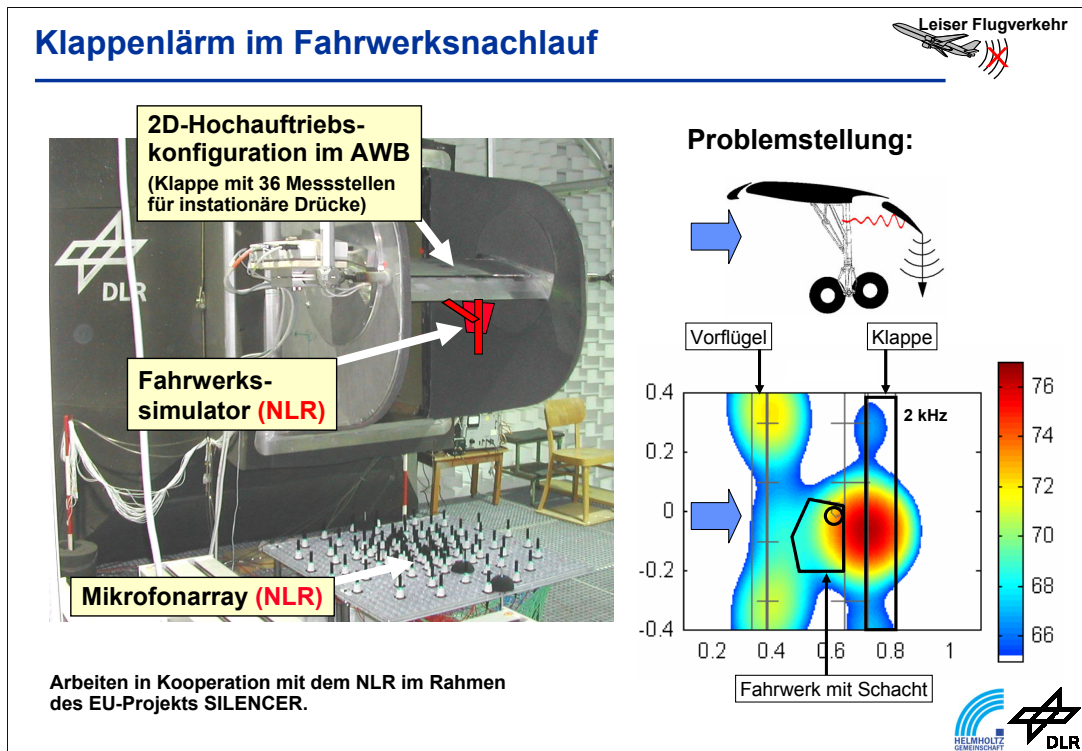
Der Zusammenhang zwischen Vorflügelstellung, den zugehörigen lokalen Strömungsgrößen und der sich ergebenden Lärmabstrahlung wurde in einer Parameterstudie im Windkanal untersucht.

Hierzu wurden Lärmmessungen am generischen Modell im AWB bei unterschiedlicher Vorflügelspaltbreite durchgeführt. Aus dem Vergleich lokaler Strömungsfeldgrößen (aus CFD-Rechnungen) mit gemessenen Schalldruckspektren zeigt sich, dass die rückseitige Abströmgeschwindigkeit an der oberen Hinterkante des Vorflügels die Schallabstrahlung vom Vorflügel am deutlichsten beeinflusst.



Durch eine systematische Verringerung der Vorflügelspaltbreite (bis auf 85% des Ausgangszustands) konnte eine beträchtliche Lärminderung erreicht werden, die zum großen Teil durch die mit der Spaltverengung verbundene Absenkung der Abströmgeschwindigkeit an der Vorflügelhinterkante verursacht wird. Die gleichzeitig für eine Verengung der Spaltweite berechnete Absenkung des Maximalauftriebsbeiwertes blieb dabei unter 4 %.

Diese Parameterstudie zeigt die Notwendigkeit, die Optimierung von Vorflügeleinstellungen künftig in Abstimmung zwischen aerodynamischem und akustischem Verhalten vorzunehmen.



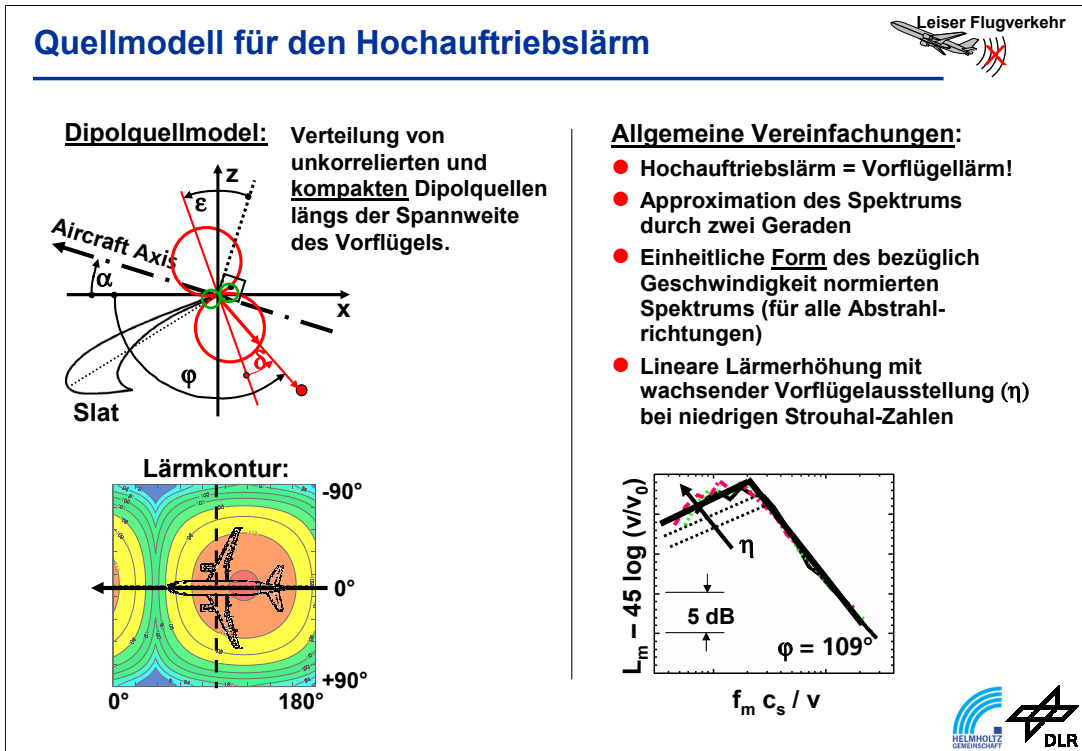
Zusätzlicher Strömungslärm kann entstehen, wenn der turbulente Strömungsnachlauf von Fahrwerken auf stromab ausgefahrene Landeklappen auftrifft.

Daher wurden Modelluntersuchungen (Maßstab 1:13 bezüglich eines Airbus A340) zur Bestimmung der Interaktionslärmcharakteristika am generischen 2D-Hochauftriebsmodell im AWB in Kooperation mit dem NLR (in Verbindung mit dem EU-Projekt SILENCER) durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass für praktisch relevante Abstände stromab des Fahrwerksbeins sowohl die Strömungsprofile als auch die Turbulenzcharakteristika des Nachlaufs nahezu unbeeinflusst sind von der geometrischen Modelldetaillierung. Daher konnte zur Modellierung des Fahrwerksnachlaufs für die Modellversuche ein vereinfachter „Fahrwerkssimulator“ eingesetzt werden, im Wesentlichen nur bestehend aus dem Fahrwerksbein, der Seitenkraftstütze und der Schachttür.

Neben anderen Lärmquellen am Hochauftriebsflügel liefert der Interaktionslärm durch turbulente Anströmung der Landeklappe einen bedeutenden Beitrag zum Gesamtlärm für Frequenzen bis ca. 5 kHz im Modellmaßstab (entspricht etwa 0,4 kHz beim Original).

Diese Studie erbrachte die folgenden Erkenntnisse:

- Turbulenz infolge des Überströmens des offenen Fahrwerksschachtes wird im Spalt zur Landeklappe auf die Saugseite der Klappe transportiert, während Turbulenz im Strömungsnachlauf des Fahrwerksbeins über Druck- und Saugseite des Klappenprofils abströmt.
- Der turbulente Nachlauf des Fahrwerksbeins ist für die Erzeugung von zusätzlichen Strömungsgeräuschen bedeutender als Strömungsturbulenzen im Gefolge der Scherschicht über dem offenen Fahrwerksschacht.
- Interaktionslärm entsteht im Nasenbereich der Landeklappe. Die Schallintensität wächst mit der 6. Potenz der Strömungsgeschwindigkeit.



Die umfassende Bewertung der aus den experimentellen Untersuchungen ermittelten Eigenschaften des Vorflügelärms führte für die Quellmodellierung zum Ansatz einer spannweiten Verteilung von kompakten Dipolquellen an der Hinterkante des Vorflügels. Dabei wird berücksichtigt, dass im wesentlichen Frequenzbereich (Strouhal-Zahlen um 2) die Schallwellenlänge deutlich größer ist als die Vorflügelsehne.

Demgegenüber berücksichtigt dieses einfache Quellmodell allerdings weder die Einflüsse des benachbarten (ausgedehnten) Hauptflügels noch die der Schallausbreitung durch die Geschwindigkeitsgradienten im Vorflügelspalt auf die Abstrahlcharakteristik. Das auf der Basis dieses einfachen Quellmodells entwickelte semiempirische Lärmprognoseverfahren muss daher mit jeweils neu verfügbaren Daten immer wieder systematisch überprüft und neue Erkenntnisse zur Verbreiterung der physikalischen Basis herangezogen werden.

Als Eingangsdaten werden neben Fluggeschwindigkeit und Anstellwinkel lediglich globale Geometriegrößen der Tragflächen und des Vorflügels, sowie dessen Ausstellwinkel benötigt. Unter der Voraussetzung, dass bei heutigen Verkehrsflugzeugen der Vorflügel die dominierende Lärmquelle darstellt, kann das Modell daher in idealer Weise für Lärmprognoserechnungen verwendet werden.

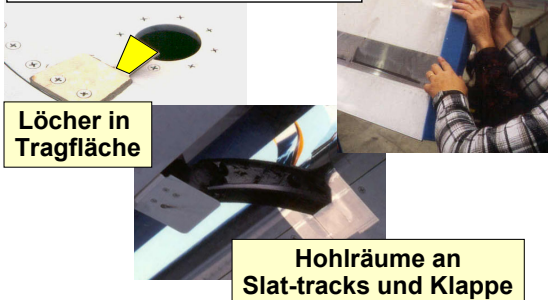
## Überflugmessungen für Prognosezwecke (1)



Durchführung von Überflugmessungen an einem Airbus A319 der DLH (Flügel identisch mit A320) in seiner Basiskonfiguration und mit lärmindernden Modifikationen an Zelle und Triebwerk zur

- quantitativen Erfassung der Fernfeldschallabstrahlung
- Lokalisierung und vergleichenden Bewertung von Einzelschallquellen am Flugzeug

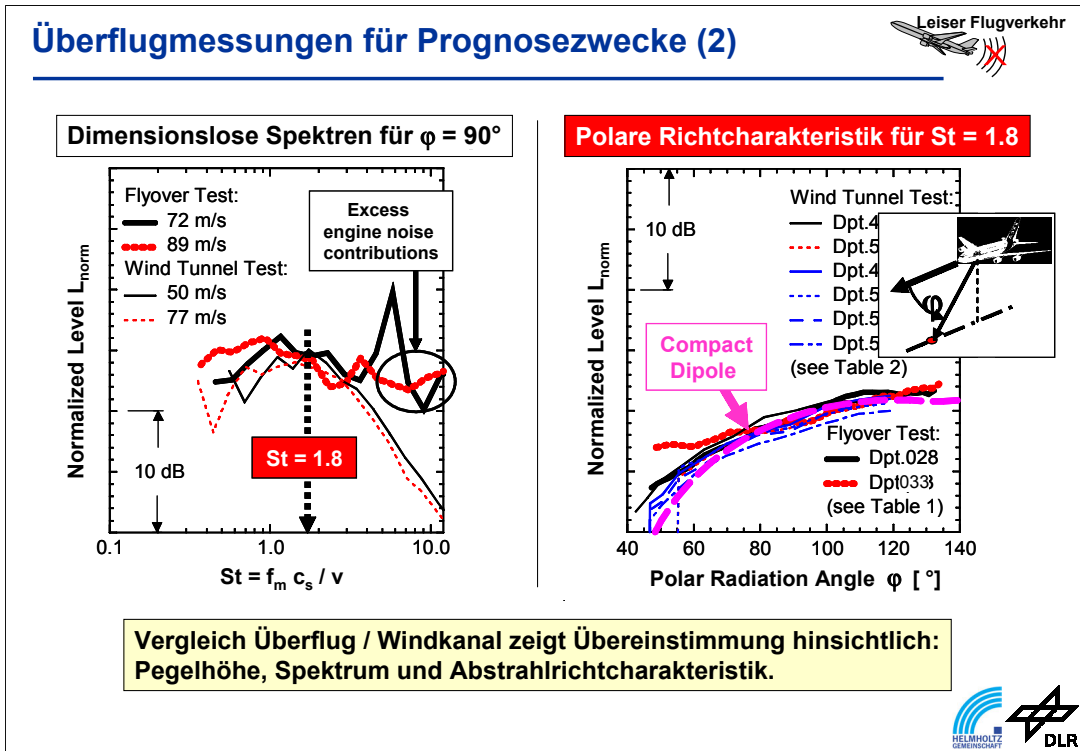
Maßnahmen an der Zelle:



Zur Absicherung der Übertragbarkeit von Messergebnissen aus Windkanalversuchen sind Vergleiche mit Lärmmessdaten aus Überflugversuchen unerlässlich. Zu solchen Versuchen ergab sich im Laufe des Projekts die Möglichkeit einer Zusammenarbeit mit der Deutschen Lufthansa, die Lärmmessungen zur Demonstration der Wirkungen nachrüstbarer Lärminderungsmaßnahmen durchführen wollte. Hier zeigte sich eine unerwartete Übereinstimmung in den jeweils gewünschten Messrandbedingungen:

- Flugversuchsträger A319 (baugleicher Flügel wie A320) entsprechend den untersuchten Windkanalmodellen.
- Nachrüstbare Lärminderungsmaßnahmen wurden aus Vorkenntnissen und den im Projekt erworbenen Kenntnissen definiert und waren geeignet, „konstruktionsbedingte“ Zusatzschallquellen zum Teil zu beseitigen, so dass das Umströmungsgeräusch des realen Flugzeugs besser mit dem eines idealisierten Modells vergleichbar sein würde.
- Lärminderungsmaßnahmen an der Zelle waren das Abdichten von Löchern und Hohlräumen an Fahrwerkskomponenten und in den Tragflächen, um die Vorflügelhalter und in den Klappenseitenkanten.
- Zur Erstellung eines Basisdatensatzes für den Vergleich mit Windkanalmessergebnissen enthielt der Versuchsplan Messungen mit minimaler Triebwerksleistung („flight-idle“) und verschiedenen Klappenstellungen, mit ein- oder ausgefahrenem Fahrwerk, bei jeweils verschiedenen Fluggeschwindigkeiten.

Unter den verschiedenen für den Flugversuch realisierten Modifikationen an Zellenkomponenten war eine besonders wirkungsvoll: Die intensive Tonerzeugung durch überströmte Druckausgleichsöffnungen in der Flügelunterseite konnte vollständig unterdrückt werden. Dies gelang durch die Erzeugung von Längswirbeln stromauf der Druckausgleichsöffnung mittels kleiner Wirbelgeneratoren, die zuvor im Rahmen der Lärmmessungen am A320 Originalflügel im DNW-LLF erfolgreich getestet worden waren.



Zum Vergleich von Lärmdaten für den A320/A319 aus Windkanal- und Flugversuchen wurden beide Datensätze (nach Rückrechnung auf Quellgrößen, d.h. Berücksichtigung von Windkanalkorrekturen und Ent-Dopplern der Flugdaten) entsprechend den im vereinfachten Quellmodell verankerten Parameterabhängigkeiten normiert.

Im linken Diagramm wird der Vergleich der Terzpegelspektren aus Windkanal- und Flugversuch für den senkrechten Überflugpunkt gezeigt. Für den Bereich kleiner Strouhal-Zahlen zwischen 1 bis 3 ergibt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Messergebnisse, während bei großen Strouhal-Zahlen (Frequenzen) das Umströmungsgeräusch im Fluge immer noch vom Triebwerkslärm überdeckt wird.

Den Vergleich der polaren Abstrahlrichtcharakteristika aus Windkanal- und Flugversuch zeigt das rechte Bild für die vom Vorflügelärm bestimmten Pegel bei einer Strouhal-Zahl von 1,8. Es ergibt sich gute Übereinstimmung sowohl hinsichtlich des absoluten Pegels als auch der Richtwirkung der Schallabstrahlung.

## Zusammenfassung

---



- Der Umströmungslärm heutiger Fahrwerke kann durch nachrüstbare aerodynamische Teilverkleidungen gemindert werden
- An Hochauftriebssystemen führt die Überströmung von Hohlräumen zu erheblichen, aber vermeidbaren Strömungsgeräuschen
- Am Hochauftriebssystem stellt der Vorflügel die wesentlichste Schallquelle dar und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Spaltbreite zum Hauptflügel
- Abströmgeräusche von End- und Seitenkanten der Auftriebsflächen können durch geeignete Kantengestaltung (z.B. Bürsten, poröse Endkanten) beträchtlich gemindert werden
- Die turbulente Zuströmung zur Landeklappen (Fahrwerksnachlauf) führt zur Abstrahlung zusätzlichen Interaktionslärms
- Für den Fahrwerkslärm und den Vorflügelärm wurden halbempirische Quellmodelle entwickelt und durch Überflugmessergebnisse validiert



## Schlussfolgerungen

---



- An verschiedenen Zellenkomponenten wurden zum Teil beträchtliche Lärminderungspotenziale ermittelt
- Diese treten jedoch in unterschiedlichen Frequenzbereichen auf und wirken schon deshalb nicht additiv. Zudem bestimmt die lauteste Quelle den Lärm des Gesamtsystems (z. B. Fahrwerk, Vorflügel, Klappenkante, etc.)
- In der Summe ist für die nächste Generation konventioneller Flugzeuge eine Minderung des Umströmungslärms um ca. 3 dB realisierbar
- Für das Gesamtflugzeug kann diese Minderung im Landeanflug nur dann voll umgesetzt werden, wenn der Pegel des Triebwerkslärms mindestens 10 dB unter dem des Umströmungslärms liegt

