



Leiser Flugverkehr II – Abschlussveranstaltung **Arbeitspaket 2B – Lärmarmer Zellenentwurf**

**Werner Dobrzynski, Michaela Herr, Michael Pott-Pollenske,
Markus Lummer, Fritz Boden und Guido Voss**

DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig



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

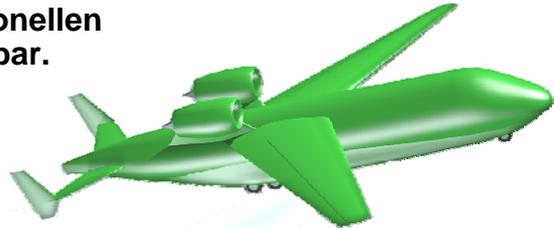


Folie 1 > LFVK II Abschlusspräsentation > Dobrzynski

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. Daher ist die Vorhersage und Reduktion der Beiträge der verschiedenen Umströmungslärmquellen ein wichtiges Ziel aktueller Fluglärmforschung. Darüber hinaus kann der Zellenentwurf unter Einbeziehung der Triebwerksanordnung an der Zelle einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Abstrahlung von Triebwerksgeräuschen zum Boden hin durch Abschattungen zu mindern.

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

Um die in den Visionen 2020 formulierten Lärminderungsziele zu erreichen, müssen alle Potenziale der Lärminderung genutzt werden. Dies heißt zum einen, dass jede einzelne Lärmquelle für sich gemindert werden muss, zum anderen aber auch, dass Sekundäreffekte genutzt werden müssen. Werden zum Beispiel die Triebwerke über den Tragflächen angeordnet, so können die Fahrwerke kleiner – und damit deren Umströmungsgeräusch leiser – werden, und die Abstrahlung der Triebwerksgeräusche zum Boden hin kann durch die Abschattungswirkung der Tragflächen vermindert werden.

Hieraus leiten sich sinngemäß die im Projekt bearbeiteten Aufgaben ab:

1. Lärm Aspekte müssen schon in der Vorentwurfphase berücksichtigt werden. Hierfür werden die Grundlagen in Form eines parametrischen Quellmodells für das Umströmungsgeräusch bereitgestellt.
2. Hinterkanten von Auftriebsflächen sind wesentliche Umströmungsgeräuschquellen. Die Minderung des Hinterkantengeräusches ist daher eine vordringliche Aufgabe.
3. Bei der Entwicklung von neuen Flugzeugkonfigurationen muss geklärt werden, in welchem Maße und auf welche Weise die Abschattungswirkung der Zelle bezüglich des Triebwerksgeräusches am Besten genutzt werden kann.
4. Die Entwicklung der Wirbelschleppen für einen Flugzeugentwurf mit minimaler Geräuschabstrahlung muss untersucht werden, um zu vermeiden, dass sich in der Folge eine Erhöhung des Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzials ergibt.

Anmerkung: Fahrwerksgeräusche wurden hier nicht betrachtet, da diesbezügliche Aufgaben im Rahmen von europäischen Forschungsvorhaben bearbeitet werden.

Umströmungslärmkriterien für den Vorentwurf

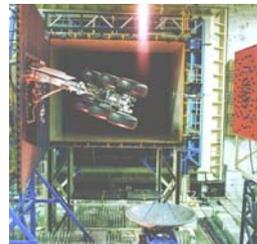
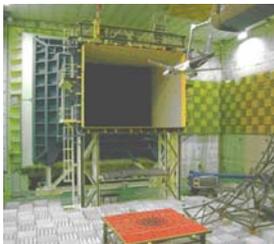


Zielsetzung:

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

Methodik:

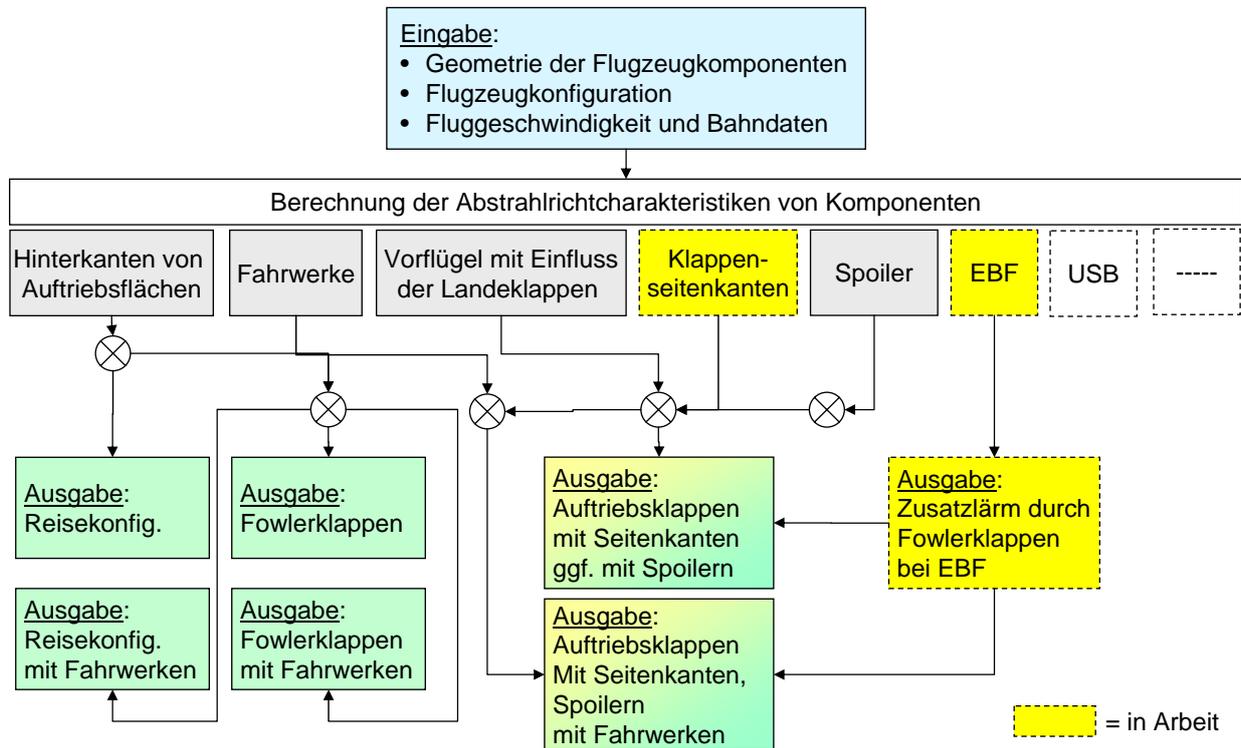
- Analyse und Bewertung von akustischen Daten aus Windkanal- und Flugversuchen und Daten/ Analysen aus der Literatur.
- Korrelation der Messdaten mit globalen Auslegungs- und Strömungsparametern unter Berücksichtigung bekannter physikalischer Zusammenhänge für Einzelquellen.
- Formulierung von semiempirischen/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



Um Lärm Aspekte im Vorentwurf berücksichtigen zu können, müssen (1) die Entwurfskriterien für eine lärmarme Flugzeugauslegung dokumentiert werden und (2) ein Lärmvorhersageverfahren entwickelt werden, das eine vergleichende Abschätzung der zu erwartenden Geräuschpegel auf der Basis der in diesem frühen Entwurfsstadium verfügbaren, globalen Auslegungsdaten erlaubt.

Ein solches Vorhersageverfahren für das Umströmungsgeräusch wurde auf der Grundlage von existierenden Messdaten an verschiedenen Flugzeugmodellen und Fahrwerken im Deutsch-Niederländischen Windkanal (DNW-LLF) und aus Überflugmessungen (im Rahmen von gemeinsamen Forschungsvorhaben mit der Deutschen Lufthansa) entwickelt und für die Anwendung im Vorentwurf aufbereitet.

Umströmungslärmkriterien für den Vorentwurf



Das so entwickelte Vorhersageverfahren für das Umströmungsgeräusch der Zelle ist modular aufgebaut, benötigt als Eingabegrößen nur globale Geometriedaten der Zellenkomponenten und erlaubt die (nahezu) beliebige Kombination von Einzelschallquellen.

Entsprechend dem gegenwärtigen Stand der verfügbaren Schallmessdaten, sind allerdings einige wichtige Quellen von Umströmungsgeräuschen noch nicht erfasst. Dies bezieht sich insbesondere auf die Schallabstrahlung von den Seitenkanten der Landeklappen. Weiterhin fehlen Daten aber auch zur Modellierung der Geräuschabstrahlung bei „strahlangeblasenen Landeklappen“ (Externally Blown Flaps – EBFs) oder auch für das zur Auftriebssteigerung dienende Überblasen der Tragflächen durch den Antriebsstrahl (Upper Surface Blowing – USB). Letztere Maßnahmen werden gegebenenfalls bei künftigen Flugzeugkonfigurationen mit extremen Hochauftriebseigenschaften zum Einsatz kommen, um durch „schnelles Steigen“ und „steiles Landen“ zur Minderung des Lärms in der Umgebung von Flughäfen beizutragen.

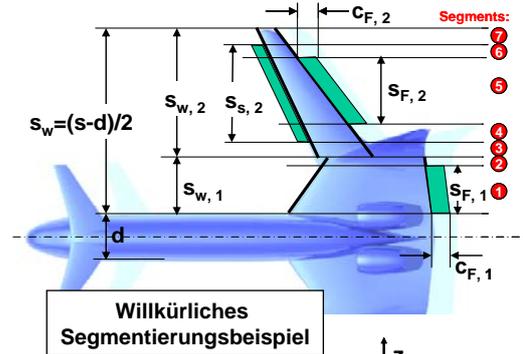
Um das Vorhersagemodell mit den noch fehlenden Schallquellenmodellen zu vervollständigen, sind gegenwärtig Forschungsvorhaben in Bearbeitung, die die genannten Lücken in der Messdatenbasis schließen sollen.

Umströmungslärmkriterien für den Vorentwurf



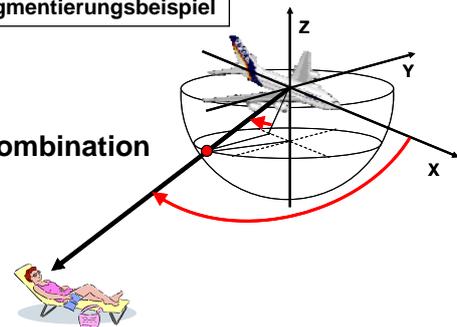
Eingabe:

- **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 und Fluggeschwindigkeit.



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



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

Abschlussveranstaltung LFKV II, Göttingen, 17.09.2007, Folie 5

Zur Vorbereitung des Schallquellmodells für die Anwendung auf beliebige, unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen wurde das Eingabeformat auf globale Geometriedaten von Tragflächensegmenten mit jeweils unterschiedlicher Konfiguration umgestellt (d.h. Tragfläche ohne oder mit Fowlerklappen bzw. auch mit Vorflügel).

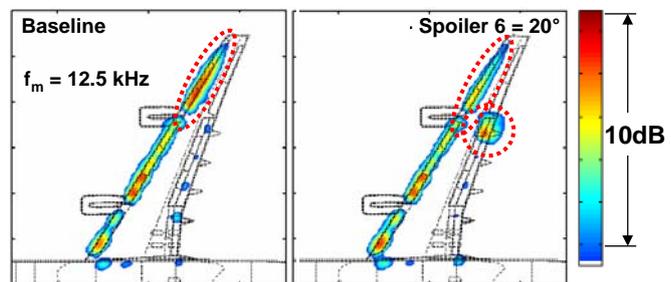
Bezüglich der Fahrwerke ist neben dem Typ (Hauptfahrwerk oder Bugfahrwerk) und der Konfiguration (z.B. einachsiger oder mehrachsiger) auch der Installationsort von Bedeutung. Bei einer Fahrwerksanordnung unter der Tragfläche ergibt sich infolge der Zirkulation eine gegenüber der Fluggeschwindigkeit reduzierte lokale Anströmgeschwindigkeit, was zu einer deutlichen Geräuschminderung führt.

Weiterhin können auch Lärminderungspotenziale, wahlweise für alle Einzelquellen von Umströmungsgeräuschen, im Vorhersagemodell berücksichtigt werden.

Als Ergebnis der Geräuschberechnung werden die Richtcharakteristiken der Schallabstrahlung in Form von Terzschalldruckpegeln für eine vorgegebene Geschwindigkeit ausgegeben. Die Vorgabe der Fluggeschwindigkeit ist erforderlich, da die Pegel verschiedener Einzelquellen unterschiedlichen Geschwindigkeitsgesetzen folgen. Die berechnete Richtcharakteristik bezieht sich dennoch auf eine ruhende Quelle und einen konstanten Referenzabstand, so dass die Einflüsse der Quellbewegung (Doppler-Effekt, konvektive Verstärkung) und der Schallausbreitung (geometrische und atmosphärische Dämpfung) bezüglich des Immissionsortes für den gewählten Flugfall individuell bestimmt werden können.

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.**



Das bestehende Vorhersagemodell für das Umströmungsgeräusch der Zelle ist modular aufgebaut, um im Zuge weiterer Erkenntnisse zu den Abstrahleigenschaften der Einzelquellen die entsprechenden Module verbessern zu können.

Das Vorhersagemodell basiert zur Zeit noch auf der Annahme, dass alle Einzelquellen im Wesentlichen von einander unabhängig sind (mit Ausnahme des vom Installationsort abhängigen Fahrwerksgeräusches). Diese Annahme kann jedoch im Einzelfall zu erheblichen Fehleinschätzungen führen. Ein Beispiel hierfür ist die am Vorflügel eintretende Geräuschminderung beim Ausschlag einer Spoilers, verursacht durch die Änderung der Gesamtzirkulation und damit der lokalen Strömungsgrößen im Bereich des Vorflügels. Daher werden künftige Arbeiten darauf abzielen, mit Hilfe von RANS-Rechnungen für verschiedene Hochauftriebskonfigurationen die aeroakustischen Wechselwirkungen mit in die Vorhersage einzubeziehen.

Die Kombination des Vorhersagemodells für das Umströmungsgeräusch mit einem entsprechenden Modell für das Triebwerksgeräusch und einem Verfahren zur Abschätzung von Abschattungseffekten ist bereits in Angriff genommen.

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



Turbulent überströmte Hinterkanten von Auftriebsflächen stellen eine der „klassischen“ Quellen von Umströmungsgeräusch dar. Schon frühe Untersuchungen zu dieser Thematik haben gezeigt, dass durch eine strömungsdurchlässige Gestaltung der Endkanten (bürstenartige Kantenmodifikationen) eine Geräuschminderung erzielt werden kann.

Daher wurde im Projekt eine systematische experimentelle Studie begonnen, um einerseits die Potenziale solcher bürsten- bzw. kammartigen Modifikationen auszuloten und andererseits auch die wesentlichen Einflussparameter hinsichtlich der Lärminderungswirkung zu ermitteln. Zur Identifikation der Haupteinflussparameter wurden sowohl lokale Strömungsgrößen als auch die technische Ausführung der Kantenmodifikationen betrachtet.

Für die technische Umsetzung solcher Lärminderungsmaßnahmen an realen Hochauftriebskomponenten wurden im Rahmen dieser Studie einfache Skalierungsgesetze abgeleitet. Die gewonnenen Erkenntnisse können auch zur Lösung ähnlich gelagerter Problemstellungen herangezogen werden, in denen Hinterkantengeräusch eine wesentliche Rolle spielt (z. B. Lüfter und Windkraftanlagen).

Leise Hinterkante



Versuchsaufbauten im AWB Düse: 0.8 m x 1.2 m

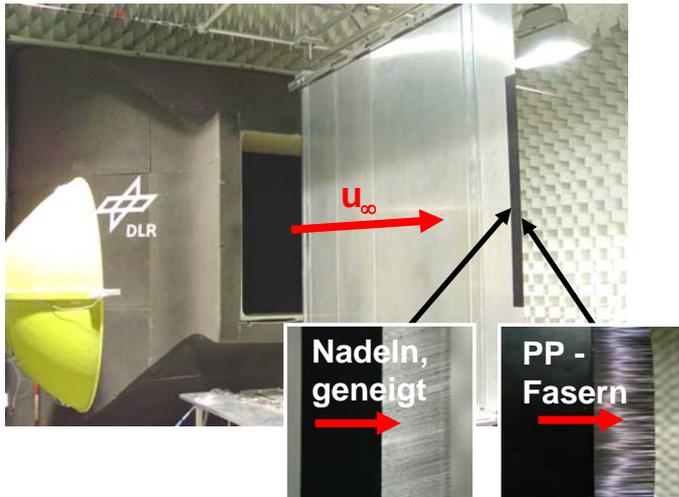
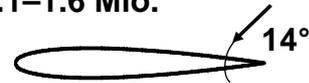
Ebene Platte

Re = 2.1–7.9 Mio.



NACA0012

Re = 1.1–1.6 Mio.



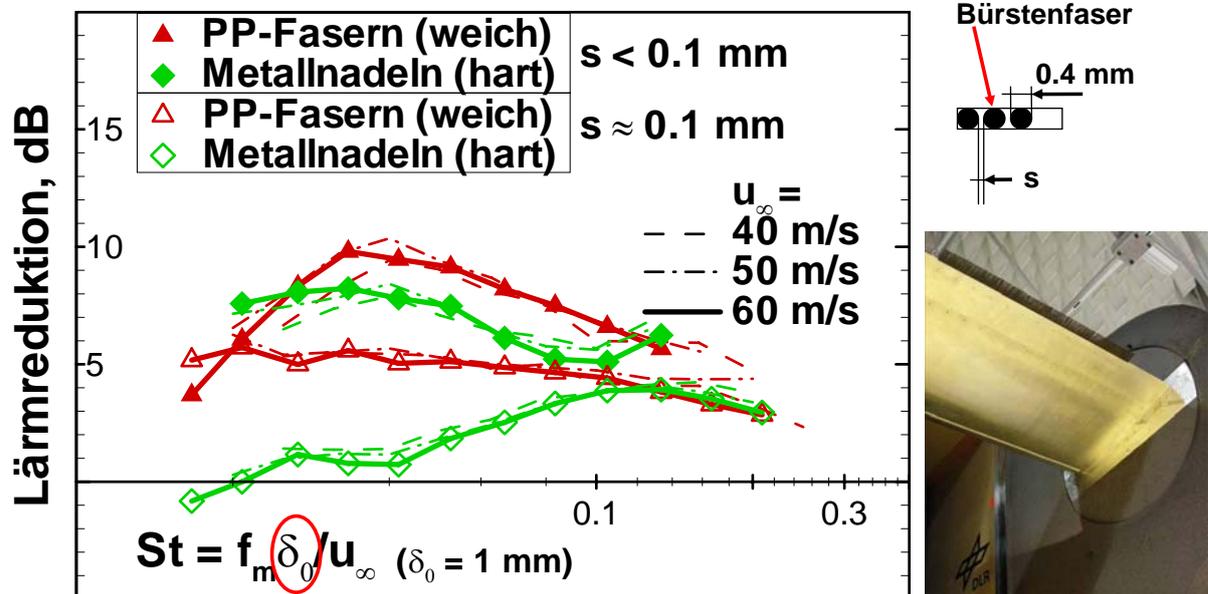
Akustische und aerodynamische Messungen zum Hinterkantengeräusch wurden im Aeroakustischen Windkanal Braunschweig (AWB) durchgeführt. Der AWB ist ein geschlossener Windkanal mit offener Messstrecke (Düsenquerschnitt 1,2 m mal 0,8 m), dessen Betriebsgeräusch durch Dämpfungskulissen im Umluftkanal stark reduziert ist. Eine absorbierende Auskleidung der Wände des Messraumes erlaubt akustische Messungen unter Freifeldbedingungen. Zur Schallquelllokalisierung wurde im vorliegenden Experiment eine Richtmikrofonanordnung (elliptischer Hohlspiegel mit 1/4"-Mikrofon im Nahfokus) benutzt.

Diese Untersuchungen wurden zunächst an einer Platte variabler Länge (zur Variation der Reynoldszahl) und später auch an einem NACA0012-Profil konstanter Sehnenlänge mit jeweils verschiedenen Hinterkantenmodifikationen durchgeführt.

Die untersuchten Hinterkantenmodifikationen bestanden hauptsächlich aus einreihigen Faseranordnungen mit unterschiedlichem Faserabstand, die in Verlängerung der (undurchlässigen) Tragflächenhinterkante angebracht waren. Getestet wurde Fasermaterial verschiedener Länge, Dicke, Steifigkeit (z. B. Stahlnadeln gegenüber Fasern aus Polypropylen PP) und Orientierung relativ zur Hauptströmungsrichtung. Ergänzende Messungen erfolgten an einer geschlitzten Hinterkantenausführung am NACA0012-Profil (Kamm mit 14° Zuspitzungswinkel).

Ergebnisse – Lärminderungsmaßnahmen

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



Als Ergebnis zeigte sich, dass bürsten- oder kammartige Hinterkanten bei geeigneter Gestaltung das Hinterkantengeräusch um bis zu 10 dB reduzieren können. Entscheidend für den Lärminderungseffekt ist die Realisierung eines minimalen Faserabstandes. In der Umsetzung heißt das, dass die Fasern praktisch ohne sichtbaren Abstand nebeneinander anzuordnen sind.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Flexibilität der Fasern keine notwendige Voraussetzung für das Erzielen einer Geräuschminderung ist. Auch starre Fasern sowie die geschlitzte Hinterkantenvariante (Kamm am NACA0012-Profil) bewirken eine signifikante Geräuschreduktion. Allerdings zeigen flexible Fasern im Vergleich zu unbeweglichen Metallnadeln eine gesteigerte Lärminderungswirkung.

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.

Neben der systematischen Quantifizierung der Geräuschminderung durch verschiedene Kantenmodifikationen erbrachten diese Untersuchungen auch weitere grundsätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der Schallerzeugung an Abströmkanten. Diese betreffen u. a. den Einfluss der erzwungenen Transition auf die spektrale Zusammensetzung des Hinterkantengeräusches sowie das (stark geometrieabhängige) Auftreten von Hiebtonphänomenen auch im Falle sehr dünner Hinterkanten. Solche quasi-tonalen Komponenten im Spektrum des Hinterkantengeräusches, zurückzuführen auf periodische Wirbelablösungen von der Abströmkante, werden durch kamm- oder bürstenförmige Modifikationen der Kante vollständig eliminiert. Die erzielte Geräuschminderungswirkung verschiedener Hinterkantenmodifikationen zeigte sich nahezu unabhängig von Parametern der Eingangsströmung (z. B. der mittleren Strömungsgeschwindigkeit u_∞ , der Verdrängungsdicke der turbulenten Grenzschicht δ^* bzw. dem Druckgradienten im Bereich der Hinterkante). Stattdessen sind Auslegungsparameter der Bürsten bzw. Kämme für das Erzielen einer maximalen Geräuschminderung entscheidend. Die Schallabstrahlung von der Hinterkante mit derart gestalteten Faseranordnungen zeigte sich nahezu unbeeinflusst vom Anstellwinkel.

Es wird angenommen, dass die Geräuschminderungswirkung durch „Aufweichung“ des Impedanzsprunges an der Kante erreicht wird, der im Falle undurchlässiger Hinterkanten für die Kantenverstärkung des Grenzschicht/ Oberflächen-Interaktionsgeräusches ursächlich ist. Hierbei könnte zusätzlich auch eine (die Kantenbedingung weiter modifizierende) viskose Dämpfung der turbulenten Druckschwankungen infolge der in den Faserzwischenräumen induzierten, schwachen Wechselströmung eine wesentliche Rolle spielen.

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).**



Voraussetzung für den Entwurf von Flugzeugkonfigurationen, die eine wirksame Abschattung der Triebwerksgeräusche erlauben, ist die Verfügbarkeit eines Werkzeugs zur Berechnung solcher Abschattungseffekte für reale Frequenzen bis 10 kHz (im Originalmaßstab). Hierzu ist ein Strahlverfolgungsverfahren am Besten geeignet, wenn es Beugungseffekte und den Einfluss einer überlagerten Strömung berücksichtigen kann. Die Entwicklung und Validierung eines solchen Verfahrens war Gegenstand dieser Aufgabe.

Für das Validierungsexperiment (im Modellmaßstab) wird eine Monopolschallquelle mit quantifizierbarer Abstrahlung bis zu sehr hohen Frequenzen (mindestens 50 kHz) benötigt, die relativ zum Flugzeugmodell unterschiedlich positioniert werden kann, ohne selbst das Schall- und Strömungsfeld zu stören. Die Entwicklung einer solchen Testschallquelle war eine der Aufgaben und Voraussetzung für den experimentellen Teils dieses Arbeitspakets.

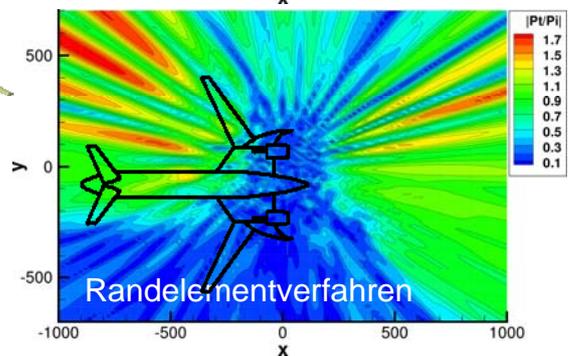
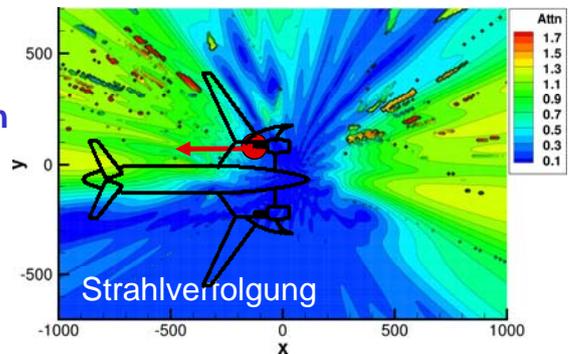
Lärmarme Flugzeugkonfigurationen



- 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:



Zur ersten Überprüfung des im Projekt entwickelten Strahlverfolgungsverfahrens mit Berücksichtigung von Beugungseffekten kann ein Vergleich der erzielten Ergebnisse zur Schallabschattung mit solchen aus Berechnungen mit einem Randelementverfahren (Boundary Element Method, BEM) dienen. Ein solcher Vergleich (zunächst ohne überlagerte Strömung), für eine niedrige Frequenz von 340 Hz, wo das Randelementverfahren mit vertretbarem Aufwand noch verwendet werden kann, zeigte befriedigende Übereinstimmung bezüglich der Schattensignatur am Beispiel der LNA1- (Low Noise Aircraft 1) Konfiguration. Für das hier ausgewählte Beispiel (nur eine Schallquelle über dem rechten Flügel) ergeben sich Schallpegelminderungen seitlich unter dem Modell von maximal bis zu 20 dB.

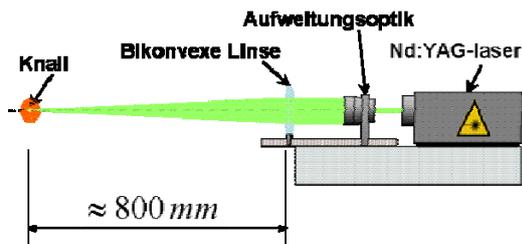
Lärmarme Flugzeugkonfigurationen



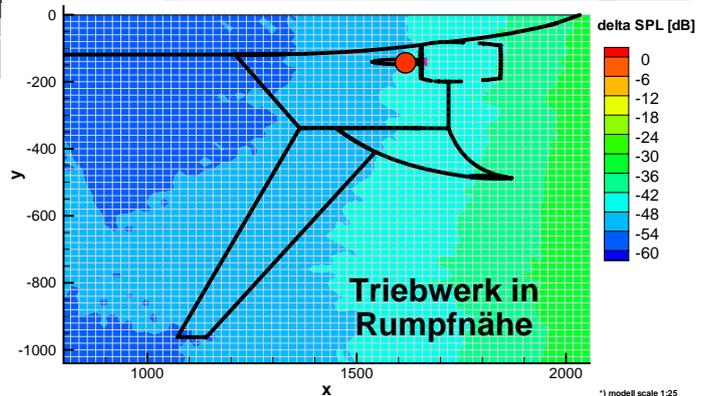
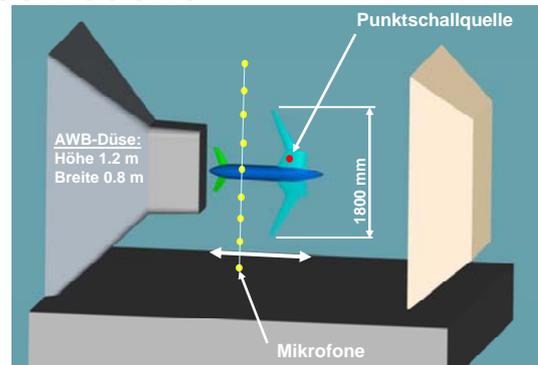
Abschattungsmessungen für verschiedene Triebwerkspositionen:

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



Bei der Entwicklung der Testschallquelle für das Validierungsexperiment wurde die Idee aufgegriffen, mit Hilfe eines gepulsten Lasers durch Strahlaufweitung mit anschließender Fokussierung in einem gewählten Abstand (Fokuspunkt) ein Plasma zu erzeugen, was definitionsgemäß eine ideale Monopolschallquelle (Massenfluktuation) mit der Pulsfrequenz ergeben muss. Da alle hierzu nötigen Geräte außerhalb der Strömung angeordnet sind, erlaubt dieses Verfahren ein sozusagen „berührungsloses“ Einbringen einer Schallquelle an nahezu beliebiger Stelle in die Strömung.

Das Verfahren wurde erfolgreich zur Vermessung der Abschattungswirkung am LNA1 (zunächst ohne Strömung) für verschiedene Quellpositionen (Triebwerkspositionen) angewendet. Allerdings ist die exakte Auswertung der sehr kurzen und in ihrer Signalform nicht immer identischen Schallimpulse sehr schwierig. Ein zuverlässiges Analyseverfahren befindet sich derzeit noch in der Entwicklung, so dass die zunächst ermittelten Abschattungsergebnisse noch einer Überprüfung bedürfen.

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.**

Sowohl die theoretischen/ numerischen Arbeiten mit dem Ziel der Entwicklung eines Strahlverfolgungsverfahrens zur Berechnung von Abschattungswirkungen als auch dessen experimentelle Validierung konnten noch nicht vollständig abgeschlossen werden. Zum einen muss der Einfluss einer überlagerten Strömung noch berücksichtigt werden und zum anderen muss auf der experimentellen Seite die Analysetechnik der Messdaten verbessert werden.

Dennoch konnte gezeigt werden, dass durch gezielte Anordnung und Formgebung der Tragflächen in Verbindung mit geeigneten Triebwerkspositionen über den Tragflächen beträchtliche Geräuschminderungspotenziale durch Abschattung erschlossen werden können.

Wirbelschlepe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen

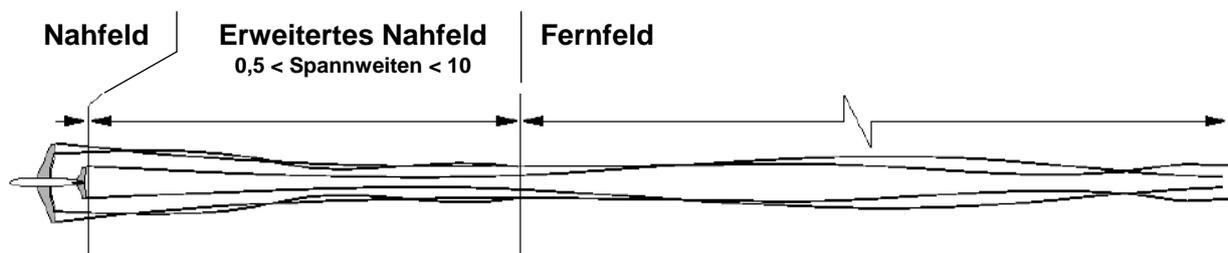
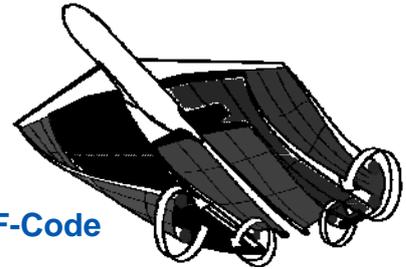


Zielsetzung:

- 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 15

Zur vergleichenden Bewertung des Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzials für einen Flugzeugentwurf mit minimaler Geräuschabstrahlung wurden die Wirbelschleppen für die LNA1-Konfiguration einerseits und ein Referenzflugzeug konventioneller Konfiguration andererseits berechnet. Für diese Simulationen kamen die im DLR validierten und standardmäßig eingesetzten Rechenverfahren zum Einsatz.

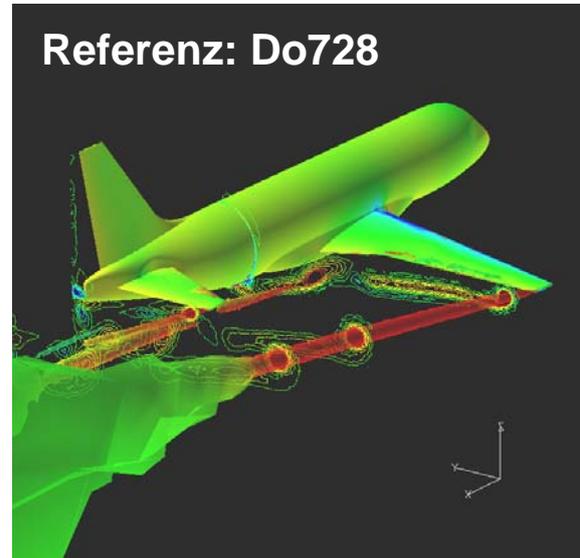
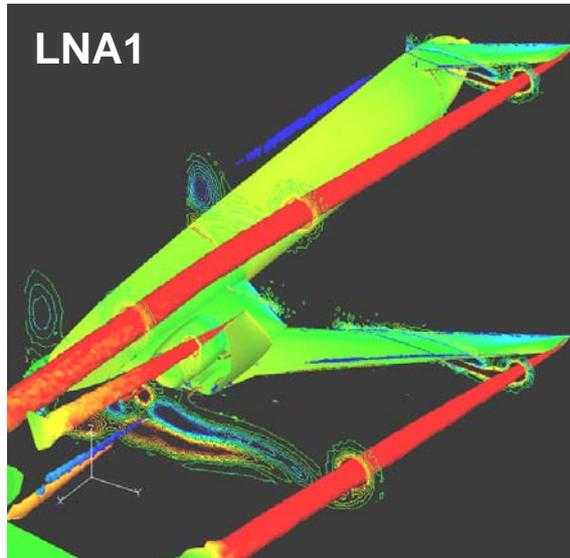
Anders als geplant konnten allerdings keine Fernfeldrechnungen durchgeführt werden, da diese wegen des Fehlens von Daten für das Referenzflugzeug im getrimmten Zustand wenig zusätzliche Information vermittelt hätten.

Wirbelschleppe bei lärmarmen Flugzeugkonfigurationen



Beispielergebnisse für Anstellwinkel 6°:

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



Die Nahfeldrechnungen (also bis etwa $\frac{1}{2}$ Spannweite hinter dem Flugzeug) ergaben bei beiden Konfigurationen ähnliche Wirbelstärken. Von Interferenzeffekten zwischen dem vom Höhenleitwerk des LNA1 abgehenden Wirbels mit stromab liegenden Flugzeugkomponenten (Triebwerk und Seitenleitwerk) abgesehen, lassen diese Ergebnisse auf jeweils etwa gleiches Wirbelschleppen-Gefährdungspotenzial schließen.

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.