

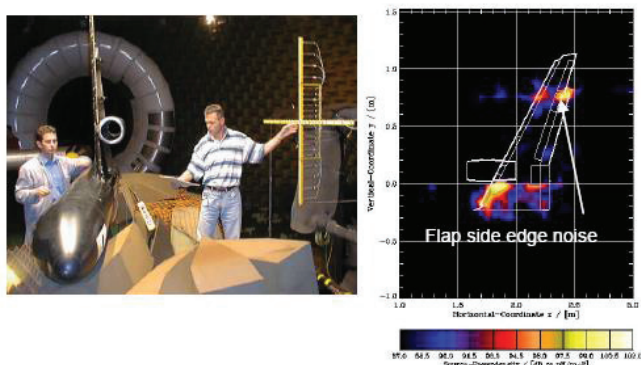
## Konzept zur Reduzierung von Seitenkantenlärm

J. Reichenberger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Airbus Group Innovations, 81663 München, Germany, E-Mail: [johann.reichenberger@airbus.com](mailto:johann.reichenberger@airbus.com)

### Einleitung

Die effiziente Reduzierung von Flugzeuglärm ist für das kontinuierliche Anwachsen der zivilen Luftfahrt ein wichtiger Punkt. In den letzten Jahrzehnten wurden große Anstrengungen unternommen den Triebwerkslärm zu reduzieren. Im Landeanflug jedoch ist der Umströmungslärm vergleichbar mit dem Triebwerkslärm. Deshalb müssen Maßnahmen zur Minderung der Umströmungslärmquellen, wie Fahrwerk und Hochauftriebssysteme, erarbeitet werden. Die Lärmquellen an den Hochauftriebssystemen werden gewöhnlich in Vorflügelärm und Klappenseitenkantenlärm (Abbildung 1) eingeteilt, wobei letzterer das Thema dieser Arbeit ist. Studien in den letzten Jahren zu den Mechanismen und Modellierung der Hochauftriebslärmquellen ergaben eine Anzahl von numerischen, semi-analytischen Modellierungsansätzen zu lokalen instationären Strömungseffekten, welche die Quellen zur Akustik im Fernfeld darstellen. Einen wesentlichen Beitrag zum Klappenlärm liefert die Klappen-seitenkante. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß durch Anbringen von z.B. Bürsten, porösen Materialien oder „Zäunen“ der Klappenseitenkantenlärm an der Quelle reduziert werden kann. In dieser Arbeit wird ein neuartiges Konzept vorgestellt, das den Seitenkantenlärm reduziert und den Auftrieb erhöht.

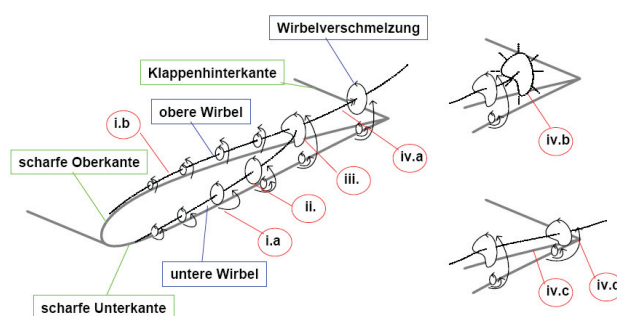


**Abbildung 1:** Klappenseitenkantenlärm mittels Mikrophonarray im Windkanal identifiziert.

### Lärmquellmechanismen an der Seitenkante

Die Quellmechanismen von Klappenseitenkantenlärm wurde in einer großen Anzahl von Veröffentlichungen diskutiert, wobei für elementare Studien die Referenzkonfigurationen gewöhnlich flache eckige Klappenseitenkanten mit einem spezifischen Wirbelsystem waren. Die Ausbildung von Randwirbeln an der oberen und unteren Seitenkante beruht auf dem statischen Druckunterschied zwischen oberer und unterer Klappenoberfläche. Die Randwirbel von der unteren

Seitenkante bewegen sich stromabwärts entlang der Hauptstromlinien in Richtung obere Seitenkante und verschmelzen mit den Randwirbeln an der Klappenoberseite zu einem einzelnen Seitenkantenwirbel der mit Verwirbelungen aus der von der unteren Seitenkante stammenden Scherschicht versorgt wird und schließlich als düsenähnliche Strömung die Klappenoberfläche verlässt. Weitere Studien haben gezeigt, dass sich bei hohen Anstellwinkeln verschmolzene Wirbel auch auflösen.



**Abbildung 2:** Übersicht der lokalen Strömungsfelder an einer Klappenseitenkante

Aus diesen dargestellten Grundströmungsfeldern (Abb. 2) lassen sich folgende Mechanismen der Lärmerzeugung ableiten:

i. Seitenkantenlärm und Strömungsaufspaltung an den scharfen Kanten. (a.) Die turbulente Grenzschicht an der Druckseite der Klappe wandert über die untere Klappenseitenkante. Dies ist auch mit dem Hinterkantenlärmmechanismus vergleichbar, bei dem Druckschwankungen an der diskontinuierlichen Hinterkante zum Teil als Schall abgestrahlt werden. Dieser Mechanismus gilt für die gesamte Profildicke. (b.) Die turbulente Grenzschicht an der Klappenseitenfläche wandert über die obere Klappenseitenkante.

ii. Die Druckschwankungen des Seitenkantenwirbels treffen auf die Klappenseitenfläche und die obere Seitenkante. Dabei wird der Wirbel kontinuierlich mit Instabilitäten aus der Scherschicht der unteren Seitenkante versorgt, die ein oszillierendes und rotierendes Wirbelfeld darstellen. Dieser Mechanismus tritt im mittleren Sehnenbereich der Klappe auf, wobei Wirbelverschmelzungen in der Nähe der Hinterkante auch Einfluß auf den Hinterkantenlärm haben können.

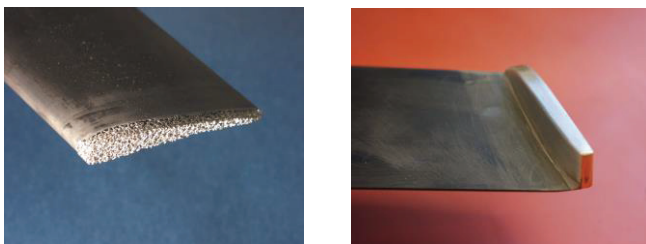
iii. Zwei Wirbel verschmelzen.

iv. Die Druckschwankungen der verschmolzenen Wirbel treffen auf die Saugseite und obere Seitenkante der Klappe. (a.) Im Falle daß sich ein verschmolzener Wirbel sehr schnell nach oben wegbewegt, ist dieser Mechanismus auf einen sehr schmalen Bereich stromabwärts begrenzt. Es kann

jedoch eine dösenähnliche Lärmentstehung aufgrund des beschleunigten Wirbelkern auftreten. (b.) Eine Wirbelauf-  
 lösung ist in sich eine eigene Lärmquelle. (c.) Befindet sich  
 ein verschmolzener Wirbel sehr nah an der oberen Ober-  
 fläche, so reagiert der instabile Wirbel mit der Klappen-  
 saugseite und der oberen Seitenkante. (d.) Falls der  
 verschmolzene Wirbel die Hinterkante passiert, ist auch die  
 Hinterkantenecke zu betrachten.

**Stand der Wissenschaft und Technik**

Die aktuellen Ergebnisse auf dem Gebiet aeroakustischer  
 Lärmreduzierung an Seitenkanten zeigen, dass wirksame  
 Maßnahmen wie (a) Profilzaun (Abbildung 3), (b) Poröse  
 Klappen-Seitenkanten (Abbildung 3), (c) Mikroperfora-  
 tionen und (d) Gezahnte Profilhinterkante für spezifische  
 Konfigurationen entwickelt werden konnten [1, 2].



Poröse Seitenkante

Profilzaun

Abbildung 3: Lärmreduzierungsmaßnahmen

**Neuartige Klappenseitenkante**

Die in Abbildung 4 dargestellte neuartige Klappenseiten-  
 kante reduziert die Entstehung der Seitenkantenwirbel, die

- a) die Lärmentstehung
- b) den aerodynamischen Auftrieb und Widerstand

maßgeblich mitbestimmen. Diese Geometrieform wird zum  
 Beispiel in der Vogelwelt äußerst erfolgreich eingesetzt. Für  
 die Anwendung dieses Konzeptes sind Zielfunktionen zu  
 definieren und die daraus resultierenden Design-Parameter  
 zu erarbeiten. In einem aeroakustischen und aerodyna-  
 mischen Windkanalversuch wurde dieses neuartige Konzept  
 erfolgreich getestet.

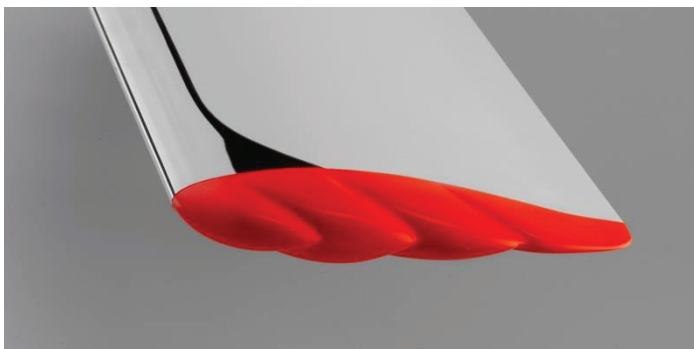


Abbildung 4: Neuartige Klappenseitenkante

**Windkanal - Versuch**

Die Akustik eines generischen Klappenmodells als Referenz  
 und modifizierter Seitenkante wurde im aeroakustischen  
 Windkanal (AWB) mit Mikrophonarrays und Fernfeld-  
 mikrofonen gemessen (Abbildung 5). Die Klappe hat eine  
 Sehnenlänge von 135 mm, Spannweite 400 mm und Höhe  
 20 mm.

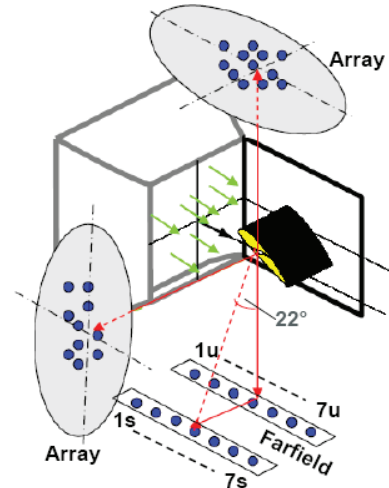


Abbildung 5: Aeroakustischer Windkanal

**Akustische Meßergebnisse**

Die modifizierte Seitenkante war auf einen Anstellwinkel  
 von Alpha 5° optimiert. Es wurden die Windgeschwindigkeit  
 (40, 50 und 60 m/s) und der Anstellwinkel von -20° bis +20°  
 in 5°-Schritten variiert. Dabei wurde eine Lärmreduzierung  
 von 5 dB erreicht (Abbildung 6),

- abhängig vom Anstellwinkel, wobei Alpha 5° die  
 beste Lärmreduzierung zeigt (Abbildung 7)
- unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit
- wirkt im Frequenzbereich von 200 Hz bis 16 kHz

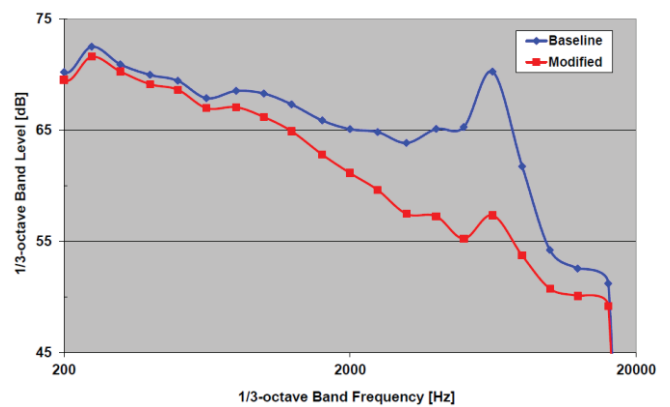
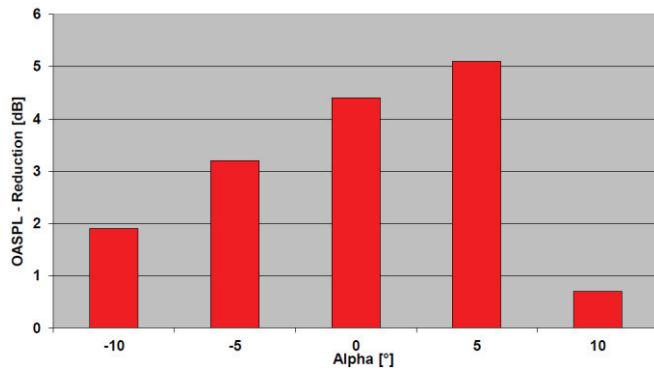


Abbildung 6: Lärmreduzierungspotential mittels lärmarmen  
 Seitenkante bei Strömungsgeschwindigkeit 50 m/s,  
 Alpha=5°, 1/3-Octave-Band Schalldruckspektrum mit dem  
 Mikrophonarray gemessen.



**Abbildung 7:** Reduzierung des Gesamtschalldruckpegels (1000 Hz – 16 kHz) abhängig vom Anstellwinkel Alpha.

Dieses neuartige Klappenseitenkantenkonzept wurde auch im Aerodynamischen Windkanal (TU München) getestet und zeigt eine signifikante Erhöhung des Auftriebes und Reduzierung des Widerstandes.

## Literatur

- [1] Drobietz, R., Borchers, I.: Generic wind tunnel study on side edge noise, 27th AIAA Aeroacoustics Conference, Cambridge Massachusetts, 2006-2509
- [2] Reichenberger, J., Herr, M.: Noise Control on Flap Side Edge, AIA-DAGA Conference on Acoustics, Merano, 2013-442