

Veränderung der Richtcharakteristik abgestrahlter akustischer Moden am Triebwerkseinlauf mit Hilfe eines Virtual Scarfed Intake Liners

Daniel Redmann¹, Reinhard Pongratz¹

¹ EADS Innovation Works, 81663 München, Daniel.Redmann@eads.net

Einleitung

Absorptiv ausgelegte Liner sind aufgrund ihrer Effizienz bekannt und bilden heutzutage die Standardmethode zur Reduzierung des Triebwerkslärms. Diese Art der Liner wirkt allerdings weniger effektiv auf sich primär axial ausbreitende Moden. Die Lärmemissionen unter An- und Abflugbedingungen stellen somit immer noch ein kritisches Zulassungskriterium dar.

Mit Hilfe eines so genannten Virtual Scarfed Intake Liners (VSI-Liner) kann die Richtcharakteristik der vom Triebwerkseinlauf abgestrahlten akustischen Moden verändert und somit die Reduzierung des Schallteppichs am Boden bewerkstelligt werden. Die Anwendung dieser neuen Technologie verspricht aufgrund unveränderter Einströmung im Triebwerkseinlauf gepaart mit einem nur geringfügigen Gewichtszuwachs deutliche Vorteile gegenüber der Realisierung eines Negative Scarfed Intakes (siehe Abbildung 1).

Im Rahmen dieses Berichts wird die akustische Wirkungsweise eines solchen Liners anhand numerischer Simulationen sowie experimenteller Untersuchungen im Akustik-Labor von EADS Innovation Works näher betrachtet. Die theoretische Wirkung eines VSI-Liners aufgrund des Impedanzsprunges in unmittelbarer Nähe des Triebwerkseinlaufes konnte dabei sowohl anhand von Simulationen (ACTRAN-Berechnungen) als auch durch Messungen nachgewiesen werden, (Vermessung der Akustik im Fernfeld in einem reflexionsarmen Raum). [1]

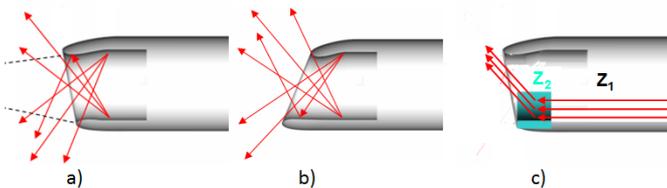


Abbildung 1: Wirkungsweise eines Scarfed Intakes
a) Ursprüngliche Konfiguration, b) negativ Scarfed Intake, c) Virtual Scarfed Intake

Numerische Auslegung eines Virtual Scarfed Intake Liners

Zur Überprüfung der Wirkungsweise eines aufgrund der Impedanzvariation reflektiv arbeitenden Liners im Einlaufbereich eines Triebwerks wurde eine Kombination aus ACTRAN, HyperMesh und MATLAB als eine Toolkette verwendet (siehe Abbildung 2).

Das Modell umfasste ca. 3,2 Mio. Volumenelemente und 0,05 Mio. Flächenelemente. Als äußere Geometrie dienten die Abmaßen des Labor-Kanals (Länge 1 m und Radius von 0,504 m) sowie eine angenommenen Halbsphäre im Einlauf

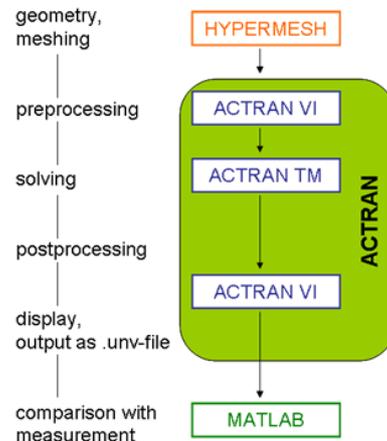


Abbildung 2: Simulationstool-Kette zur Auslegung eines VSI Liners

des Kanals mit dem Radius von 2 m (Radius entspricht der Mikrofonrichtantenne zur Vermessung des Fernfeldes). Die Position des VSI-Liners konnte dabei in axialer Richtung durch die Belegung bestimmter Segmente mit jeweiligen Impedanzwerten variiert werden. In Umfangsrichtung wurden fünf Belegungen mit unterschiedlicher azimuthaler Ausdehnung untersucht, 60°, 90°, 120°, 150° und 180°.

Zur Abschätzung geeigneter Linerimpedanzen wurde eine Parameterstudie anhand des oben beschriebenen Modells durchgeführt. Hierbei wurden für einen Liner konstanter axialer Länge und 180° Umfangssegmentierung Kennfelder für variierende Impedanzen erstellt (siehe Abbildung 3).

Zur Ermittlung der optimalen Linerposition wurden die drei Moden (6,0), (6,1) und (6,2) berücksichtigt. Die Begrenzung auf diese Moden erfolgte unter anderem aufgrund der Tatsache, dass nicht alle Moden in gleicher Weise von einem VSI-Liner abgelenkt werden können. Es ergab sich in diesem Fall folgender Impedanzwert: 0,1pc (1-i).

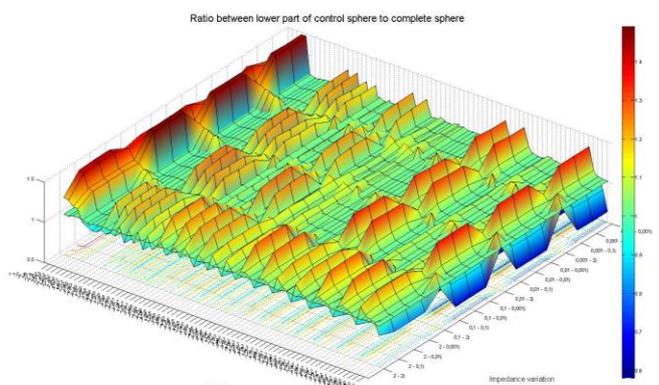


Abbildung 3: Verhältnis zwischen den Drücken an der unteren Halbsphäre zur gesamten Sphäre bezogen auf die Fläche der betrachteten Elemente für alle Moden bis zur cut-off Frequenz 3400 Hz

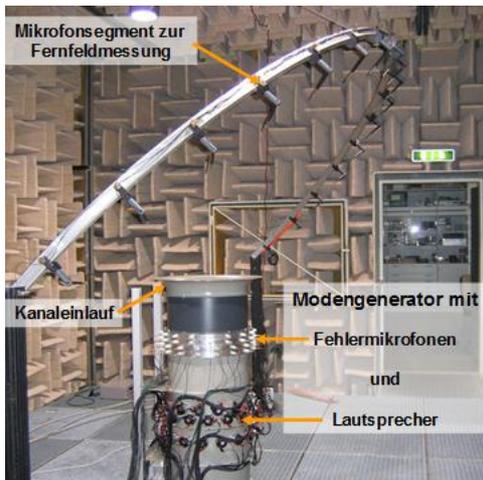


Abbildung 4: Versuchsaufbau in EADS IW Labor

Experimentelle Untersuchungen

Zur Validierung des ACTRAN-Modells wurde im reflexionsarmen Raum die Vermessung der Akustik im Fernfeld mit und ohne VSI-Liner im Einlauf gemäß dem Versuchsaufbau (siehe Abbildung 4) durchgeführt.

Die modale Anregung im Kanal erfolgt anhand eines Modengenerators (DSP-basierend), welcher über drei Lautsprecherebenen (48 Lautsprecher) und vier Mikrofonringen, bestückt mit bis zu 64 Mikrofonen, verfügt.

Das abgestrahlte Schallfeld wird anhand eines schwenkbaren Mikrofonbogens mit insgesamt 19 Mikrofonen detektiert. Die Rasterung der Mikrofone auf dem Bogen realisiert einen Winkelabstand von 10° . Der Bogen ist schwenkbar und ermöglicht eine stufenlose Abtastung (siehe Abbildung 4). Für den Vergleich zwischen Messung und Rechnung wurde das Schallfeld in Schritten von 10° abgetastet, so dass eine äquidistante Darstellung der Ergebnisse auf der Kontrollhemisphäre möglich wurde.

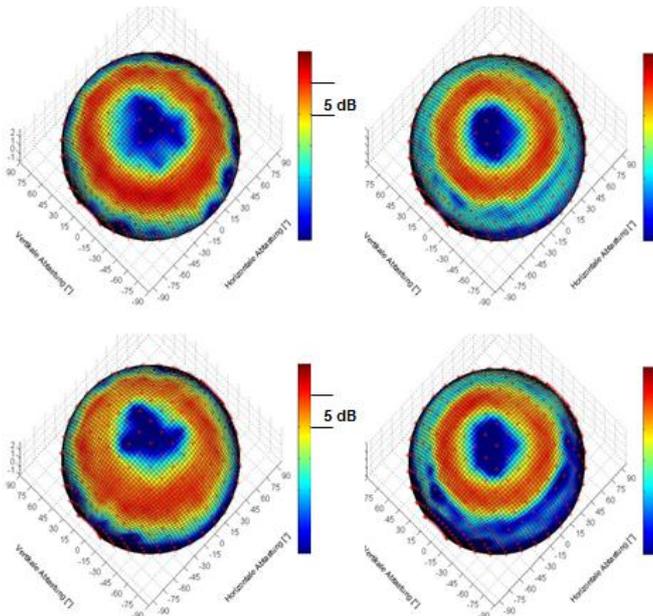


Abbildung 5: Mode (6,0) Schalldruckpegel an der vorderen Halbsphäre mit (oben) / ohne (unten) Linereinsatz (Liners: 180° Umfangsausdehnung und 2 cm axiale Länge); links – Messung, rechts – Simulation

Vergleich Messung – Rechnung

Im Falle der schallhart ausgeführten Einlauflippe vergleicht der obere Teil von Abbildung 5, gemessene und simulierte Schalldruckverteilung für die Mode (6,0). Für beide Fälle ergibt sich eine ähnliche, für eine (6,0)-Mode typische Druckverteilung.

Wird die schallharte Einlauflippe über ein Umfangssegment von 180° durch den schallweichen VSI-Liner ersetzt, ergeben Messung und Simulation die in der Abbildung 5 (unten) gezeigten Schalldruckverteilungen. Auch in diesem Fall stimmt das Simulationsergebnis qualitative sehr gut mit dem Messergebnis überein. Hier zeigt das Messergebnis eine größere Unschärfe, was die Ausbildung der Hauptabstrahlkeule des Schalldruckpegels betrifft. Aufgrund von herstellungsbedingten Impedanzvariationen über der Lineroberfläche ist im Vergleich zur schallharten Einlauflippe die Unschärfe deutlicher ausgebildet.

Der Vergleich beider Ergebnisse zeigt die ablenkende Wirkung des VSI-Liners für die Schallabstrahlung. Sowohl im Messergebnis als auch, jedoch stärker ausgeprägt im Simulationsergebnis, erkennt man im Raumwinkelsegment des Liners (rechts unten) eine verminderte Schallabstrahlung. Insbesondere werden im Bereich steiler Ausbreitungswinkel ($45^\circ - 90^\circ$) die Schalldruckpegel abgesenkt.

Zusammenfassung

Die Parameterstudien belegen, dass die Schallabstrahlung aus einem Kanal mittels reflektierenden Linersegments am Kanaleinlauf deutlich abgelenkt werden kann. Die resultierende Ablenkung hängt von der Linerimpedanz, seiner axialen Position und Länge sowie seiner Ausdehnung in Umfangsrichtung ab. Zur Erzielung einer maximalen Ablenkung reicht bereits eine relativ kleine Linerfläche aus. Die Simulationen haben weiterhin gezeigt, dass nicht alle Moden in gleicher Weise durch den VSI-Liner zu beeinflussen sind. Für die Auslegung eines auf der VSI-Technologie basierenden Liners ist somit die Kenntnis der im Triebwerk dominanten Moden essentiell.

Die erwartete Ablenkung der Hauptabstrahlrichtung konnte experimentell nachgewiesen werden. Die Simulationsergebnisse geben sowohl die abgestrahlte Schallfeldstruktur als auch die gemessene Änderung der Hauptabstrahlrichtung qualitativ wieder. Quantitative Unterschiede zwischen Rechnung und Experiment sind vorhanden und können durch die Wahl der Messpunkte sowie durch gemessene Impedanzunterschiede an der Lineroberfläche erklärt werden.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie* unter dem Förderkennzeichen **20T0809C** gefördert. Wir bedanken uns beim Projektträger für die Möglichkeit der Untersuchungen der vorgestellten Technologie im Rahmen des LuFo 4-2 MASSIF-EffekT. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] R. Pongratz, D. Redmann.: MASSIF EffekT - EADS Zwischenberichte 3.2 – 3.3, 3D Schallabsorber, 2010