

# Forschungsarbeiten am IAG im Rahmen des Forschungsprojekts SWING+

Sandro Guidati, Jasmin Ostertag, Siegfried Wagner  
Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart, Deutschland;  
Email: sandro.guidati@iag.uni-stuttgart.de

## Einleitung

Verkehrslärm hervorgerufen von Flugzeugen, Straßen- und Schienenfahrzeugen wirkt sich negativ auf das Wohlbefinden der Menschen aus. Trotzdem finden Lärmreduktionskonzepte nur sehr schleppend Einzug in den Entwurfsprozess dieser Produkte. Einfache Verfahren könnten zu einer kosteneffektiven Lärmvermeidung führen und über die Möglichkeiten der Lärminderung hinausgehen. Mit der Entwicklung entsprechender Verfahren beschäftigt sich die Forschergruppe des Deutschen Forschungsprojektes SWING+ (Simulation of Wing Flow Noise Generation), welches von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert wird. Das Projekt beschäftigt sich mit Umströmungslärm (airframe noise), der durch Hochauftriebshilfen hervorgerufen wird. Anhand von einfachen Testfällen, welche einzelne an einer Hochauftriebskonfiguration auftretende Schallmechanismen wiedergeben, werden die von den verschiedenen Projektpartnern entwickelten numerischen Verfahren validiert.

Die aerodynamischen Untersuchungen werden im Laminarwindkanal (LWK) des IAG, die akustischen Messungen im Akustischen Windkanal Braunschweig (AWB) des DLR mit dem dort eingebauten Hohlspiegel und dem Akustischen Array Stuttgart (AAS) durchgeführt.

Das Institut für Aerodynamik und Gasdynamik (IAG) der Universität Stuttgart hat als einer der fünf Projektpartner das Lärmvorhersagemodell SATIN (Statistical Approach to Turbulence Induced Noise) entwickelt, das auf der Akustischen Analogie nach Lighthill<sup>1</sup> basiert.

In diesem Paper werden exemplarisch die Ergebnisse eines experimentellen Testfalls aus SWING+ und erste Simulationen mit SATIN vorgestellt.

## Experimente zur Validierung numerischer Lärmvorhersageverfahren

Die akustischen Messungen wurden im AWB durchgeführt. Neben dem dort festinstallierten Akustischen Hohlspiegel kam ein am IAG entwickeltes Mikrofonarray<sup>2</sup> zum Einsatz. Im Rahmen von SWING+ wurden drei verschiedene Testfälle untersucht:

- Testfall 1 ist ein 2D-Profil
- Testfall 2 ist ein 2D-Profil mit Fowler-Klappe
- Testfall 3 ist eine Flügelspitze.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Messungen für den Testfall 2 abgebildet. Bei allen Konfigurationen wurde die Umschlagslage mit Hilfe von Trippings an Positionen fixiert, die den Bedingungen eines realen Flügels entsprechen.

### Testfall 2 – Hinterkantenlärm eines 2d-Profiles mit Klappe

Mit Hilfe des Arrays konnte als Hauptlärmquelle die Hinterkante des Hauptprofils identifiziert werden (Abbildung 1). Einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtlärmerzeugung leistet das Ablösegebiet im Klappenkasten. Daher wurde in einer alternativen Konfiguration der Klappenkasten mit einem Füllstück versehen, wodurch eine Ablösung in diesem Bereich verhindert werden konnte. Sowohl die Ergebnisse der Arraymessung als auch der

Hohlspiegelmessung (Abbildung 2) zeigen deutlich den Einfluss des Füllstücks.

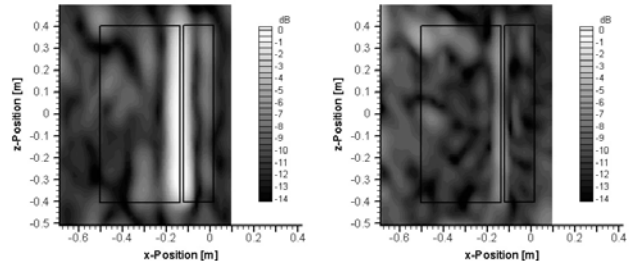


Abbildung 1: Testfall 2 - 2D Profil mit Klappe, Vergleich der Ergebnisse der Arraymessung bei 4000 Hz für die Konfiguration ohne (linkes Bild) und mit Füllstück (rechtes Bild). Die Kontur von Hauptprofil und Fowler-Klappe ist durch die schwarze Umrandung angedeutet.

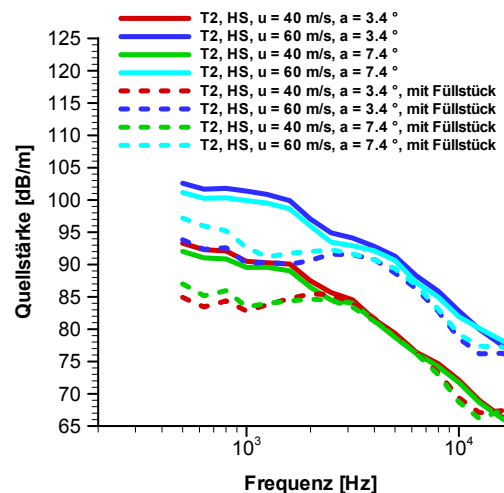


Abbildung 2: Testfall 2 - 2D Profil mit Klappe, Vergleich der Ergebnisse der Hohlspiegelmessung für verschiedene Anstellwinkel und Strömungsgeschwindigkeiten, Quellstärke an der Hinterkante in dB/m, Terzspektren.

## Lärmvorhersageverfahren SATIN

Eine ausführliche Herleitung des Lärmvorhersageverfahrens SATIN findet sich in verschiedenen Veröffentlichungen<sup>3,4,5</sup>, weswegen hier nur in knappen Worten auf die generelle Vorgehensweise eingegangen wird.

Um die Auto- und Kreuzkorrelationen zwischen bestimmten Punkten im Raum zu berechnen, wird die spektrale Leistungsdichte als Funktion einer Greenschen Funktion und einer Zwei-Punkt-Korrelation zweiter Ordnung der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen verwendet.

Das Strömungsfeld und damit der Quellterm (Lighthill-Tensor) werden mittels der mit dem FLOWer Code des MEGAFLOW Software Systems gelösten RANS-Gleichungen (Reynolds-averaged Navier-Stokes) beschrieben. Auf deren Basis können Verteilungen lokaler Größen der Turbulenz ermittelt und Stromlinien um den interessierenden Körper bestimmt werden. Die

Korrelationen der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen werden unter der Annahme axialsymmetrischer homogener Turbulenz beschrieben. Entlang der Stromlinien wird die Greensche Funktion als Lösung der akustischen Wellengleichung mittels einem Randlelementverfahren (BEM) numerisch berechnet. Ausgehend von diesen Größen liefert SATIN das Schalleistungsdichtespektrum des Fernfeldlärms. Die Modellparameter des Vorhersageverfahrens SATIN wurden detailliert in den oben zitierten Veröffentlichungen beschrieben.

Zwischenzeitlich wurde ein nichtlineares Turbulenzmodell nach Wallin in den FLOWer Code implementiert. Es handelt sich dabei um ein explizites algebraisches Reynoldsspannungsmodell, welches bereits die „richtige“ Struktur des Reynoldsspannungstensors liefert. Dadurch müssen die beiden Anisotropieparameter  $\lambda$  und  $\xi$  nicht mehr modelliert werden. Die in SATIN verwendeten Modellparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt und in Stichworten erläutert.

Tabelle 1: Modellparameter von SATIN

Empirische Konstante „empiric“	
$empiric = \frac{\lambda}{\sqrt{\xi}}$	Relation zwischen Längenskalenverhältnis $\lambda = L_2/L_1$ u. Reynoldsspannungsverhältnis $\xi = u_2^2/u_1^2$
Turbulente Strouhalzahl „St“ (=1)	
$St = \frac{\Omega L_1}{u}$	Verhältnis der charakteristischen Frequenz der Turbulenz $\Omega$ , der turbulenten Längenskala $L_1$ und der turbulenten Geschwindigkeit $u$
Längenskalierungsfaktor „ $\gamma$ “	
$\gamma = \frac{L_1}{L_{RANS}}$	Beziehung zwischen der akustisch relevanten integralen Längenskala und der turbulenten Längenskala $L_{RANS} = \sqrt{k}/\omega$ , die man aus RANS-Lösungen erhält

## Vergleich Experiment -Vorhersage im Fall von Hinterkantenlärm eines NACA 64418-Profiles

Das Lärmvorhersagemodell SATIN wurde bereits erfolgreich für den Fall von Hinterkantenlärm einer ebenen Platte eingesetzt.

Erste Untersuchungen zur Vorhersage von Geräuschen, die sich aufgrund der Interaktion einer turbulenten Profilgrenzschicht mit dessen 2d-Hinterkante ergeben, wurden anhand der Messdaten eines NACA 64-418 Profils (Profiltiefe 0.4 m) durchgeführt, welches in dem EU-Projekt DATA im AWB akustisch und im LWK aerodynamisch untersucht wurde. Abbildung 3 vergleicht die gemessenen und mit SATIN berechneten Schalleistungspegel des Hinterkantenlärms des 2d- Profils. Die erzielten Rechenergebnisse zeigen für die vorliegenden Strömungsfälle ( $\gamma$  variiert mit dem Anstellwinkel  $\alpha$ ) gute Übereinstimmungen mit den Messdaten.

Es handelt sich dabei um vorläufige Ergebnisse. Für die weitere Validierung von SATIN wird der Testfall 1 (einfaches, unsymmetrisches 2D-Profil) des SWING+ Projekts herangezogen werden.

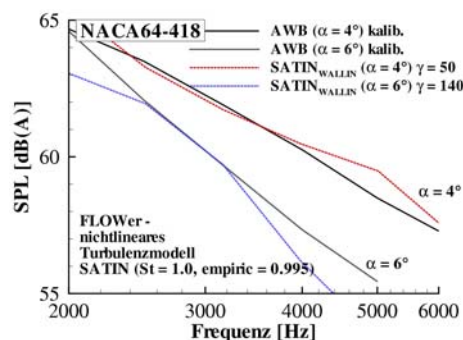


Abbildung 3: Vergleich der Hohlspiegelmessergebnisse (AWB) mit den SATIN-Vorhersagen für ein NACA 64-418 Profil ( $U_\infty = 60$  m/s,  $Ma = 0.176$ ,  $Re = 1.6$  Mio,  $\alpha = 4^\circ; 6^\circ$ )

## Zusammenfassung

In den im vorliegenden Paper vorgestellten akustischen Messungen konnte der Einfluss der Strömungsablösung im Klappenkasten eines Hochauftriebssystems quantifiziert werden. Durch das Einfügen eines Füllstücks und der damit erreichbaren Vermeidung von Ablösung lässt sich die Lärmabstrahlung im Frequenzbereich bis 2 kHz um ungefähr 5 dB verringern.

Das auf der Akustischen Analogie nach Lighthill basierende Lärmvorhersageverfahren SATIN wurde kurz umrissen und die wichtigsten Modellparameter beschrieben. Aufgrund der Verwendung eines algebraischen Reynoldsspannungsmodells im RANS-Löser FLOWer konnte auf die Modellierung der Anisotropieparameter  $\lambda$  und  $\xi$  verzichtet werden. Erste Ergebnisse der Vorhersage von Hinterkantenlärm für ein 2d NACA 64-418 Profil wurden präsentiert. Sie zeigen gute Übereinstimmungen mit den Messungen.

## Danksagung

Wir bedanken uns bei den Mitarbeitern des AWB des DLR Braunschweig für die gute Zusammenarbeit. Ein Dankeschön geht an Alan Celic für die Durchführung der RANS-Rechnungen. Unser Dank geht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung des Projekts SWING+.

- LIGHTHILL, M. J.: *On Sound Generated Aerodynamically; I. General Theory*. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Vol. 211, pp. 564-687, 1952.
- OSTERTAG, J. S. D.; GUIDATI, S.; GUIDATI, G.; WAGNER, S.; WILDE, A.; KALITZIN, N.: *Prediction and measurement of airframe noise on a generic body*. Paper pres. at the 6<sup>th</sup> AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Lahaina/Hawaii, USA, 12-14 June 2000, AIAA-Paper 2000-2063.
- GUIDATI, S.; BRAUER, C.; WAGNER, S.: *The reflection canceller – phased array measurements in a reverberating environment*, Paper pres. at the 8<sup>th</sup> AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Breckenridge/Colorado, USA, 17-19 June 2002, AIAA-Paper 2002-2462.
- OSTERTAG, J.; GUIDATI, G.; WAGNER, S.: *Prediction of trailing-edge noise using space-time correlations of turbulence and tailored Green's function*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 4-7 July 2000, Vol. III, 1291-1298.
- OSTERTAG, J. S. D.; CELIC, A.; WAGNER, S.: *Trailing-Edge Noise Prediction by SATIN on the Basis of Steady RANS Solutions*. Paper pres. at the 8<sup>th</sup> AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Breckenridge/Colorado, USA, 17-19 June 2002, AIAA-Paper 2002-2471.