

Elektroakustische Multipolmodellierungen in der Strömungsakustik am Beispiel des Hinterkantenlärms

Peter Költzsch, Marcus Bauer, Andreas Witing, Andreas Zeibig, Max Kettlitz
TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Deutschland,
Email: Peter.Koeltzsch@ias.et.tu-dresden.de

Einleitung

Auf Basis der Lighthill'schen Analogie können physikalische Mechanismen der Strömungsschallerzeugung durch akustische Multipole modelliert werden. Beispiele dafür sind in der strömungsakustischen Literatur der letzten Jahrzehnte zu finden, so z. B. die Quadrupolmechanismen des Strahlärms, die Dipol- und Monopolmechanismen des Rotorlärms von Propellern und Ventilatoren.

In diesem Vortrag werden einige Untersuchungen zur Multipolmodellierung des Hinterkanten-Strömungslärms dargestellt. Außerdem wird auf den Zusammenhang zwischen den Wanddruckschwankungen auf einer überströmten Oberfläche und dem Fernfeldschalldruck eingegangen.

Multipoldarstellung

Die Lighthill'sche Theorie der aerodynamischen Schallerzeugung bzw. die daraus abgeleitete inhomogene Wellengleichung enthält im Quellterm die Elementarstrahler der klassischen Akustik: Monopol, Dipol, Quadrupol. Die Grundidee der so genannten Lighthill-Analogie lässt sich folgendermaßen erläutern: Die Realität der Strömung wird durch eine fiktive Anordnung von akustischen Elementarstrahlern modelliert, deren Schallabstrahlung zum Fernfeld führt. Damit ist das Problem der Schallerzeugung durch Strömungen auf ein klassisches Problem der Akustik zurückgeführt. Diese Aussage soll hier noch weiter auf die Akustik fokussiert werden: die Multipolmodellierung wird elektroakustisch realisiert!

Die Schallerzeugung am umströmten Tragflügel beruht auf der Wechselwirkung zwischen der Strömung und dem Tragflügel als festes, umströmtes Hindernis. Von den zahlreichen physikalischen Mechanismen der Schallerzeugung soll hier nur die Wechselwirkung der Strömung mit der Hinterkante betrachtet werden.

Berechnungen zur Richtcharakteristik

Numerische Berechnungen: Die Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms wurde mit dem hybriden Verfahren SNGR + CAA (Stochastic Noise Generation and Radiation + Computational Aeroacoustics) berechnet [1] [2], und zwar für verschiedene Werte der He-Zahl kL .

Analytische Berechnungen: Zu diesen Verfahren gehören insbesondere die Theorien von Ffowcs Williams / Hall [3], von Tam/Yu [4], von Howe [5] und von Casper/Farassat [6], siehe dazu auch [7], [8].

Die ausgeprägteste Theorie zur Berechnung des Hinterkantenlärms für beliebige Werte der He-Zahl kL

wurde von Howe vorgelegt. Mit dieser Theorie sind die Richtcharakteristiken der Schallabstrahlung mit Berücksichtigung der Vielfachstreuung an der Vorder- und Hinterkante für den Winkelbereich $\Theta = 0^\circ - 180^\circ$ und für ausgewählte Werte der He-Zahl kL (hier dargestellt: sehr kleine und sehr große Werte) berechnet worden [7]:

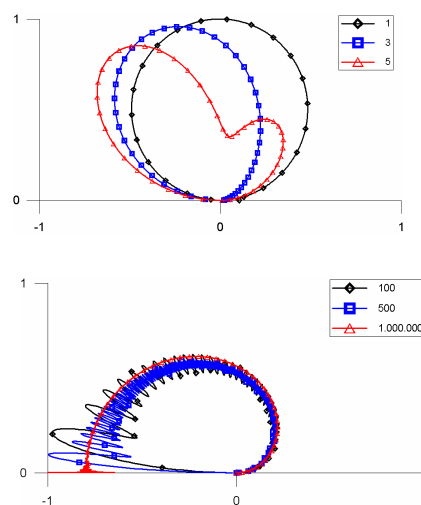


Abbildung 1: Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms, berechnet mit der Theorie von Howe

Für tiefe Frequenzen ($kL = 1$) zeigt sich eine ausgeprägte Dipol-Richtcharakteristik. Mit zunehmender Frequenz wird das Verhältnis der Tragflügel-Sehnenlänge zur Schallwellenlänge größer. Die Streueffekte an den Kanten nehmen zu, die Zahl der Keulen der Richtcharakteristik wächst an. Für sehr große Werte der He-Zahl kL nähert sich die Richtcharakteristik der Kardioidenform für die Schallabstrahlung der Quelle an der Kante der halbunendlichen Platte.

Modellmessungen zur Richtcharakteristik

Die Messung der Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms kann in einem aeroakustischen Windkanal erfolgen, allerdings ist dies mit großen Schwierigkeiten behaftet. Deshalb wurde hier eine reine akustische Messmethode für die Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms verwirklicht: eine Lautsprecheranordnung an der Hinterkante einer Platte wurde als ideales Dipolmodell zur Ausmessung der Richtcharakteristik der Schallabstrahlung im schallreflexionsarmen Raum verwendet [10].

Aus Abbildung 2 ist für $kL = 10$ der Vergleich der im schalltoten Raum gemessenen Richtcharakteristik der Dipol-Plattenanordnung mit den Rechenwerten ersichtlich. Insbesondere zeigt sich im Winkelbereich zwischen 90 und 180 Grad eine gute Übereinstimmung, auch bei höheren kL -Werten.

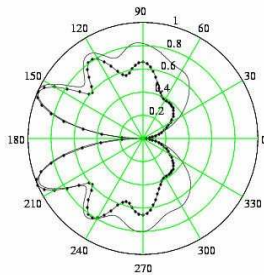


Abbildung 2: Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms, Vergleich Rechnung/Messung für $kL = 10$; Messung: Linie, Rechnung (SNGR+CAA): Linie mit Symbolen

Für kleine Mach-Zahlen ist der Einfluss der Strömung auf die akustische Richtcharakteristik vernachlässigbar gering. Die Ergebnisse nach der Theorie von HOWE stimmen mit den numerischen Ergebnissen besser überein, wenn bei den numerischen Verfahren die Richtcharakteristik tatsächlich im Fernfeld der Platte berechnet wird (nach R. EWERT).

Die geschilderten Modellmessungen im reflexionsarmen Raum sind auch für eine typische Fahrzeugstruktur durchgeführt worden, und zwar für eine Strebe, deren Querschnittsform einen Halbzylinder mit Heckdreikant zeigt, siehe Abb. 3.

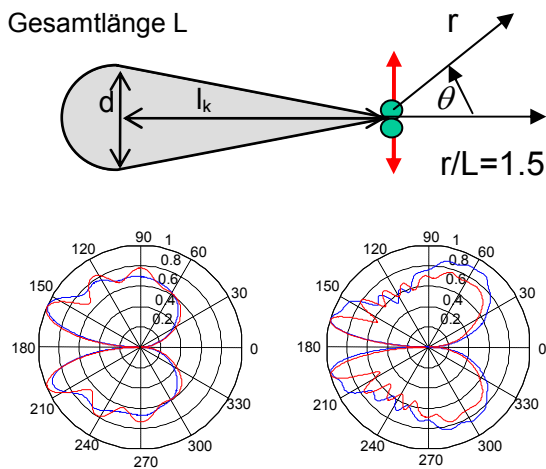


Abbildung 3: Richtcharakteristik des Hinterkantenlärms einer Strebe, Messwerte im schalltoten Raum, $kL = 10/20$

Zusammenhang zwischen den Wanddruckschwankungen und dem Fernfeld-Schalldruck

Bei den inhomogenen Wellengleichungen der Strömungsakustik gibt es zahlreiche Formulierungen, die im Quellterm neben den Geschwindigkeitsschwankungen auch die Druckschwankungen in der Strömung beinhalten [9].

Dazu gehören auch die Wanddruckschwankungen, die einerseits mit numerischen Methoden der Strömungsmechanik berechnet werden können, andererseits gibt es für die Druckkorrelationen und Druckspektren auf den festen Oberflächen umfangreiches messtechnisches bzw. halbempirisches Datenmaterial.

Das Problem des Zusammenhanges zwischen den Wanddruckschwankungen und dem Fernschallfeld beinhaltet die Frage, ob die Wanddruckschwankungen das akustische Quellgeschehen eindeutig widerspiegeln. Praktische positive Belege dafür sind Validierungen vom aeroakustischen Windkanal, siehe [6]. Einige Überlegungen und Recherchen zu diesem Problem sind in [8] dargestellt.

Zusammenfassung

Die Messwerte der elektroakustischen Modellierung von Strömungsschallquellen zeigen in bestimmten Winkelbereichen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen numerischer Rechnungen und mit den Rechenwerten nach den Theorien von HOWE und CASPER/FARASSAT. Die Ergebnisse gelten für kleine Mach-Zahlen sowie kleine bis mittlere Helmholtz-Zahlen, hier: $f = (400 \dots 3000)$ Hz. Mit der Theorie von HOWE lässt sich der Übergang von der Dipol-Richtcharakteristik (Form einer Acht) bei kleinen He-Zahlen bis zur Kardiodenform bei sehr großen Werten von L zu λ (halbunendliche Platte) sehr anschaulich zeigen.

Das Messverfahren im schalltoten Raum kann auch für andere Geometrien (Flugzeuge, Pkw, Lkw, Schienenfahrzeuge) und andere Elementarstrahler (Quadrupole / Monopole) angewendet werden. Das Fernschallfeld lässt sich aus den Wanddruckschwankungen auf der überströmten Oberfläche berechnen. Dazu gibt es einige Theorien und Gleichungssysteme; eine umfassende Theorie dazu mit dem Ergebnis praktisch anwendbarer Formeln steht gegenwärtig noch aus.

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung der numerischen Berechnungen im Rahmen des Verbundprojektes SWING+, dem BMBF im Rahmen des Verbundprojektes "Leiser Verkehr" und der Friedrich- und Elisabeth-BOYSEN-Stiftung für die Förderung der messtechnischen Untersuchungen an den Tragflügelmodellen im schalltoten Raum.

Literatur

- [1] M. Bauer: Applicability of the SNGR-Model to compute trailing edge noise. Proceedings CFA/DAGA 2004, Strasbourg, 2004
- [2] J. Delfs, T. Lauke: Numerical simulation of aeroacoustic noise by DLR's code PIANO. Version 0.45. DLR, Institut für Aerodynamik u. Strömungstechnik, Braunschweig 2003
- [3] J. E. Ffowcs Williams, L. H. Hall: Aerodynamic sound generation by turbulent flow in the vicinity of a scattering half plane. J. Fluid. Mech. 40 (1970) 657-670
- [4] Ch. K. W. Tam, J. C. Yu: Trailing edge noise. AIAA 75-489, AIAA Aero-Acoustics Conference, Hampton, Va., (1975). Pp. 259-280
- [5] M. S. Howe: Edge-source acoustic Green's function for an airfoil of arbitrary chord, with application to trailing-edge noise. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics 54 (2001) 1, 139-155
- [6] J. Casper and F. Farassat: Broadband trailing edge noise prediction in the time domain. Journal of Sound and Vibration 271 (2004) pp. 159 – 176
- [7] P. Költzsch, M. Bauer, A. Witing, A. Zeibig, M. Kettlitz: Beitrag zur Modellierung von Strömungsschallquellen mit akustischen Elementarstrahlern. Vortrag, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Dresden, 2004
- [8] P. Költzsch: Literaturrecherche zum Problemkreis der Wanddruckschwankungen in der Strömungsakustik. Bericht 28. Februar 2005, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, TU Dresden
- [9] P. Költzsch: Flow Acoustics. In: Mechel, F. P. (Herausgeber): Formulas of Acoustics. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York etc., 2002. Chapter N, pp. 846 – 929
- [10] M. W. Kettlitz: Messtechnische Untersuchung der Schallabstrahlung von Multipolen an einem Tragflügelmodell. Studienarbeit, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, TU Dresden 2004