

## Aeroakustische Validierungsschallquelle für Benchmarktests

Carsten Spehr<sup>1</sup>, Stefan Kröber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DLR Göttingen, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, 37073 Göttingen, E-Mail: Carsten.Spehr@dlr.de

<sup>2</sup>Daimler AG, 71059 Sindelfingen, E-Mail: Stefan.Kroeber@daimler.com

### Einleitung

Im Entwicklungsprozess des modernen Fahr- und Flugzeugbaus bilden experimentelle Untersuchungen und numerische Simulationen eine wichtige Grundlage. Allerdings zeigt der Vergleich der Ergebnisse beider Methoden insbesondere für aeroakustische Fragestellungen zum Teil deutliche Unterschiede. Eine besondere Herausforderung liegt bei aeroakustischen Quellen, die sensitiv auf die Anströmbedingungen reagieren [1]. Für Validierungsuntersuchungen, die experimentelle und numerische Ergebnisse vergleichen sollen, werden aeroakustische Referenzschallquellen benötigt, die idealerweise in verschiedenen Windkanälen zum Beispiel auch mit offener oder geschlossener Messtrecke reproduzierbare Messergebnisse erzeugen. In diesem Beitrag wird eine aeroakustische Quelle vorgestellt, die sich auf der Grundlage bisheriger experimenteller Erfahrungen für solche Validierungsexperimente eignet.

### Aeroakustische Kalibrierplatte

In den vergangenen Jahren wurden vom DLR im Rahmen von Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Messungen in Windkanälen mit offener und geschlossener Messtrecke Messungen mit einer aeroakustischen Referenzschallquelle durchgeführt. ([2], [3]) Die Schallquelle besteht aus einem beidseitig überströmten zweidimensionalem Strömungskörper mit einem elliptischen Querschnitt (Länge 600mm, Sehnenlänge 150mm and Dicke 30mm) und beinhaltet fünf verschiedene Kavitäten, die nebeneinander auf einer Seite des Körpers angeordnet sind. Diese Kavitäten wirken in der Windkanalströmung als aeroakustische Schallquellen mit bekannten Wirkmechanismen. In Boden jeder Kavität ist zusätzlich ein Elektretmikrofon installiert, um die Druckfluktuationen innerhalb der Kavität zu bestimmen.

Kavitäten als Schallquellen stellen mit der akustischen Rückkopplung ein anspruchsvolles Simulationsthema dar und adressieren mit den überströmten Hohlräumen ein bedeutendes industrierelevantes Problem. Die Quellpositionen und die zu erwartenden Signale dieser Quelle sind bekannt und können mit entsprechenden Experimenten in unterschiedlichen Windkanälen nachvollzogen werden.

Von vielen experimentellen und numerischen Methoden ist bekannt, dass die Strömung über eine Kavität sowohl tonale als auch breitbandige Strömungsgeräusche produzieren kann. (z.B. Rossiter [4] und Tam and Block [5]) Beim Design der Kavitäten wurde darauf geachtet, möglichst laute und charakteristische Quellen zu erzeugen, die gut zu lokalisieren sind, wobei der Strömungskörper gleichzeitig

eine geringe Verblockung und einen geringen Auftrieb im Windkanal erzeugen soll.

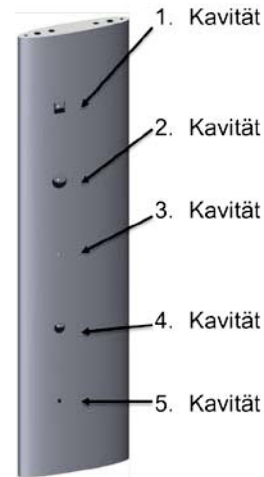


Abbildung 1: Elliptische Platte mit fünf Kavitäten

Wie in Abbildung 1 erkennbar, hat der Körper 5 Kavitäten die unterschiedliche Quellcharakteristiken erzeugen sollen. Die Dimensionen ( $D_c$ , Durchmesser und  $L_c$ , Tiefe der Kavitäten) sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Dimensionen der Kavitäten

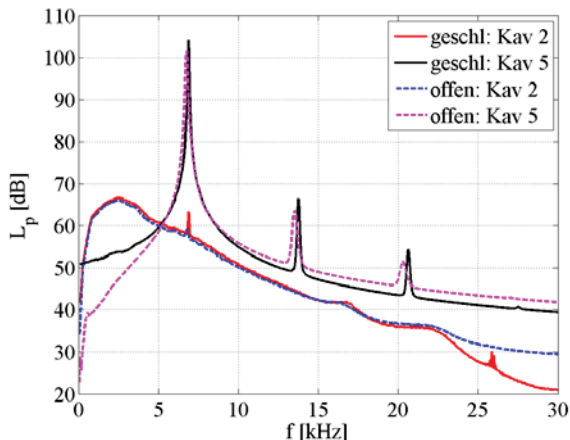
| Kavität | Form und Dimension      | $D_c$ | $L_c/D_c$ |
|---------|-------------------------|-------|-----------|
| 1       | rechteckig: 15mm × 15mm | 5 mm  | 3         |
| 2       | rund: Ø 20 mm           | 5 mm  | 4         |
| 3       | rund: Ø 3 mm            | 3 mm  | 1         |
| 4       | rund: Ø 15 mm           | 5 mm  | 3         |
| 5       | rund: Ø 5 mm            | 10 mm | 0.5       |

Durch die unterschiedlichen Geometrien sollen die Kavitäten unterschiedliche Quellmechanismen anregen.

- Kavität 1 soll als flache rechteckige Kavität sowohl breitbandige als auch tonale Komponenten anregen.
- Kavität 2 soll als flache aber runde Kavität eine breitbandige Schallquelle darstellen.
- Kavität 3 soll hat als runde Kavität ein Tiefe zu Durchmesser Verhältnis von 1 und ist an der Grenze zwischen flacher und tiefer Kavität, wodurch a priori nicht klar ist, ob eher breitbandiger oder tonaler Schall abgestrahlt wird.
- Kavität 4 ist von den geometrischen Verhältnissen vergleichbar mit Kavität 1 aber rund und sollte daher eine breitbandige Schallquelle darstellen.
- Kavität 5 wurde so gestaltet, dass es bei bestimmten Frequenzen zu einer Kopplung zwischen den Helmholtz-Resonanzen und den Rossiter-Moden kommen sollte, und so eine starke tonale Schallquelle entsteht.

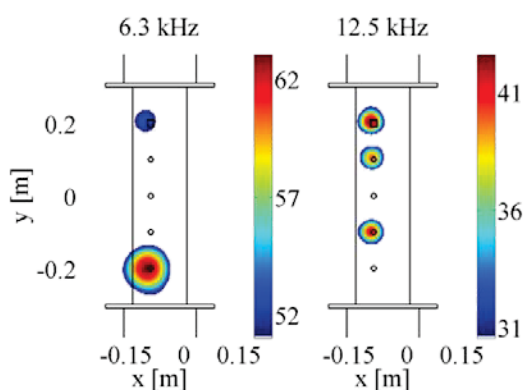
## Messergebnisse

Mit der aeroakustischen Kalibrierplatte wurde Messungen in der geschlossenen Messtrecke des Großen Windkanals der TU-Berlin (GroWiKa) und in der offenen Messtrecke des Aeroakustischen Windkanals Braunschweig (AWB) durchgeführt. In Abbildung 2 sind Spektren der Mikrofone in den Kavitäten 2 und 5 im Vergleich der Messungen in der offenen und der geschlossenen Messtrecke dargestellt.



**Abbildung 2:** Ergebnisse der Mikrofone in den Kavitäten bei Messungen im AWB (offene Messtrecke) und im GroWiKA (geschlossene Messtrecke) bei 35m/s

Kavität 2 weist ein breitbandiges Spektrum auf und Kavität 5 wird von sehr starken tonalen Anteilen dominiert, wobei die Kavitätenspektren in beiden Messtrecken eine sehr große Ähnlichkeit aufweisen. In der geschlossenen Messtrecke werden bei den Tönen leicht höhere Frequenzen gemessen. Dies ist wahrscheinlich auf leicht unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten zurückzuführen.



**Abbildung 3:** Quellkarten von Mikrofonarraymessungen im AWB bei 35m/s

In Abbildung 3 sind Ergebnisse von Messungen im AWB dargestellt. Die Messungen wurden mit einem Mikrofonarray mit 144 Kanälen in der offenen Messtrecke durchgeführt. Die 6,3 kHz-Terz wird von der Kavität 5 mit ihrem sehr starken tonalen Anteil dominiert, während bei 12,5 kHz die Kavitäten 1, 2 und 4 die dominierenden Quellen sind.

## Zusammenfassung und Diskussion

Die aeroakustische Referenzschallquelle hat sich in Messungen in zwei Windkanälen bewährt. Dabei weisen die akustischen Messungen trotz großer Sorgfalt in der Beibehaltung der Randbedingungen Differenzen auf, die auf die unterschiedlichen Messbedingungen in den Windkanälen zurückgeführt werden können [3]. Die Anströmgeschwindigkeiten wurden zwar in beiden Windkanälen gleich gesetzt, aber die festen Wände in der geschlossenen Messtrecke in Verbindung mit der Verdrängungswirkung des Strömungskörpers aufgrund ihrer endlichen Dicke resultieren wohl in leicht höheren Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Kavitäten.

Dies bedeutet insbesondere, dass für weitere Untersuchungen, die der numerischen Validierung dienen sollen, die Strömung um die aeroakustische Kalibrierplatte ebenfalls bestimmt werden muss. Auf Grund der Sensibilität der aeroakustische Schallgenerierung hinsichtlich der lokalen Strömungsbedingungen, sollten im Bereich der Kavitäten sowohl die mittleren als auch die fluktuierenden Geschwindigkeitsgrößen bestimmt werden. Hierfür sind auf Grund der nicht intrusiven Messweise PIV-Messungen geeignet [5].

## Literatur

- [1] D. P. Lockard, CAA Validation and Benchmark Experiments for Airframe Noise: Needs, Challenges and Near Term Prospects. 13th CEAS-ASC 2009 Workshop & 4th Scientific Workshop X3-NOISE, 1. - 2. Okt. 2009, Bukarest, Rumänien
- [2] S. Kröber und C. Spehr. Vergleichbarkeit von Mikrofon-Array-Messungen in Offenen und Geschlossenen Windkanälen. DEGA Workshop "Simulation und Validierung bei Strömungsschallproblemen" (2013), 20-21 November, München
- [3] S. Kröber. Comparability of microphone array measurements in open and closed wind tunnels. (2013), Dissertation TU-Berlin, Berlin
- [4] J. E. Rossiter. Wind-tunnel experiments on the flow over rectangular cavities at subsonic and transonic speeds. (1964) Technical report, Aero. Res. Council. R. & M. No. 3488
- [5] K. W. Tam und P. J. W. Block. On the tones and pressure oscillations induced by flow over rectangular cavities. Journal of Fluid Mechanics, (1978) 89 (2):373 - 399
- [6] A. Henning, K. Ehrenfried, A. Heider, L. Koop und C. Spehr. Application of piv in acoustic and aeroacoustic experiments. (2009) 25 Years of Particle Image Velocimetry in Aerodynamics, 23.-25. Sept. 2009, Göttingen