

## Experimentelle Untersuchungen zu strömungsinduzierten Schallquellen

Christian Hahn<sup>1</sup>, Georg Hepke<sup>2</sup>, Stefan Becker<sup>2</sup>, Manfred Kaltenbacher<sup>1</sup>, Franz Durst<sup>2</sup>, Reinhard Lerch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Sensorik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

### Einleitung

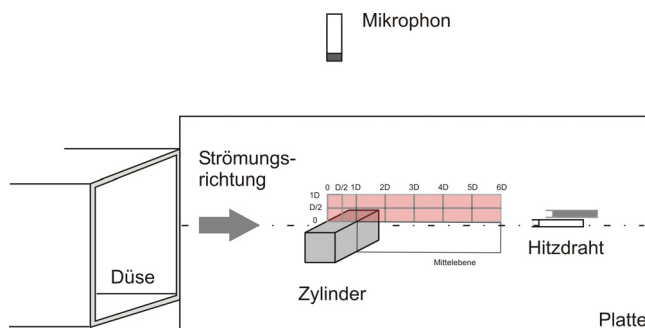
Von besonderem Interesse in der Strömungsakustik ist die Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen strömungsmechanischen Größen und akustischen Fernfeldgrößen. Hierzu werden im Rahmen eines Projektes („Strömungsinduzierter Lärm“, gefördert durch die Bayerische Forschungstiftung) Korrelationsmessungen an einfachen Geometrien durchgeführt. Das Ziel der Untersuchungen ist es, signifikante Bereiche zu identifizieren, die für die Schallabstrahlung verantwortlich sind. Als Objekte werden ein überströmter Vierkant-Zylinder und eine vorwärtsspringende Stufe analysiert.

### Messumgebung

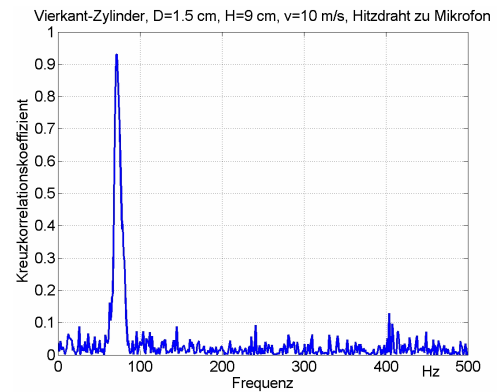
Die Messungen erfolgen in einem aeroakustischen Windkanal, welcher in einen reflexionsarmen Raum (untere Grenzfrequenz 300 Hz) integriert ist. Es können Windgeschwindigkeiten bis zu 50 m/s bei einem niedrigem Turbulenzgrad ( $< 0.2\%$ ) und homogener Geschwindigkeitsverteilung in der offenen Meßstrecke erzeugt werden.

### Korrelationsmessungen an Vierkantzylinder

Der Vierkant-Zylinder befindet sich auf einer Platte, die bündig an die Düse des Kanals angeschlossen ist und wird vollständig umströmt (3D-Fall). Mittels synchroner Messung von lokaler Strömungsgeschwindigkeit und Fernfeldschalldruckpegel wird die Stärke der Korrelation dieser beiden Größen zueinander erfasst. Durch Traversieren der Hitzdrahtsonde wird die Korrelation für verschiedene Positionen im Strömungsfeld gemessen. Abb. 1 zeigt den generellen Aufbau und das lokale Gitter für die Abtastung.



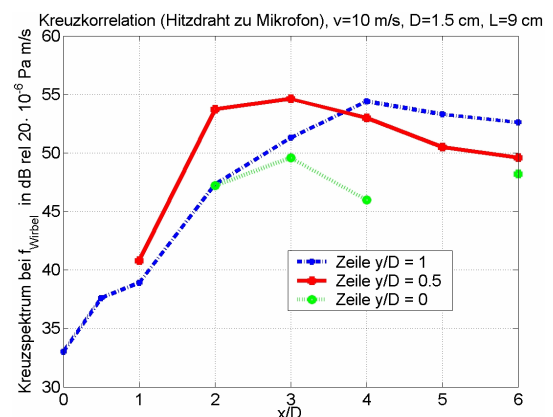
**Abbildung 1:** Schematischer Messaufbau der Korrelationsmessungen zwischen lokaler Strömungsgeschwindigkeit und Fernfeldschalldruckpegel an einem überströmten Vierkantzylinder



**Abbildung 2:** Kohärenzspektrum zwischen lokaler Geschwindigkeit und Fernfeldschalldruckpegel an einem überströmten Vierkantzylinder bei Position (3D/1D)

Die Kohärenz zwischen beiden Signalen ist durchwegs sehr hoch und wie in Abb. 2 zu sehen nur für die Wirbelablösefrequenz dominant. Der Kreuzkorrelationskoeffizient ist hierbei definiert als Quotient aus Kreuzspektrum geteilt durch die Wurzel des Produktes der Autospektren.

Um den absoluten Beitrag einer lokalen Geschwindigkeitsschwankung zum Schalldruckpegel zu erfassen, wird das Kreuzspektrum benötigt. Abb. 3 zeigt den räumlichen Verlauf der Amplituden des Kreuzspektrums an verschiedenen Messorten. Die höchsten Beiträge zur Schallerzeugung sind im Bereich 2 bis 4 Zylinderdurchmesser hinter dessen Vorderkante auf einer Höhe von einem halben Durchmesser zu finden. Die Ordinate ist hierbei in dB, bezogen auf das Produkt aus einem Druck von  $20\ \mu\text{Pa}$  und einer Geschwindigkeit von 1 m/s, skaliert.



**Abbildung 3:** Räumliche Verteilung der Maxima der Kreuzkorrelation zwischen lokaler Geschwindigkeit und Fernfeldschalldruckpegel eines umströmten Vierkantzylinders

In diesem Bereich erreicht der RMS-Wert der Geschwindigkeitsfluktuationen ebenfalls sehr hohe Werte. Der Rückschluß von Bereichen hoher Schwankungsamplituden auf die Schallerzeugung ist jedoch nicht sinnvoll, sondern nur mittels Korrelationsmessungen möglich [1].

Zur Abschätzung des Beitrages von Oberflächenwechselkräften auf die Schallerzeugung ist geplant, Korrelationen zwischen lokalem Wanddruck und Fernfeldschall durchzuführen.

### Messungen an vorwärtsspringender Stufe

Eine ebene Platte mit aufgesetzter Stufe wird, wie in Abb. 4 zu sehen, bündig an die Düse des Windkanals montiert. Die Stufenhöhe beträgt bei allen Versuchen 12 mm.

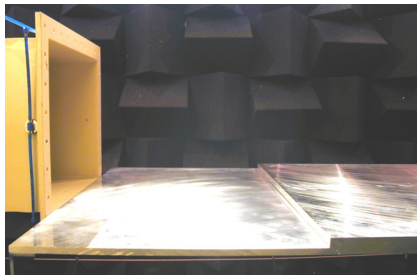


Abbildung 4: Messaufbau zur aeroakustischen Untersuchung der vorwärtsspringenden Stufe

Eine Messung des abgestrahlten Schalls im Fernfeld zeigt deutlich den im Gegensatz zur Zylinderumströmung breitbandigen Charakter. Die Messungen werden jeweils im Vergleich zur Überströmung einer flachen Platte in einer Entfernung von 1 m normal zur Plattenoberfläche durchgeführt (Abb. 5). Eine Normierung der Schallspektren mittels Strouhalzahl und einer Abhängigkeit des Schalleistungspegels von der 6. Potenz der Geschwindigkeit führt zu einer guten Übereinstimmung.

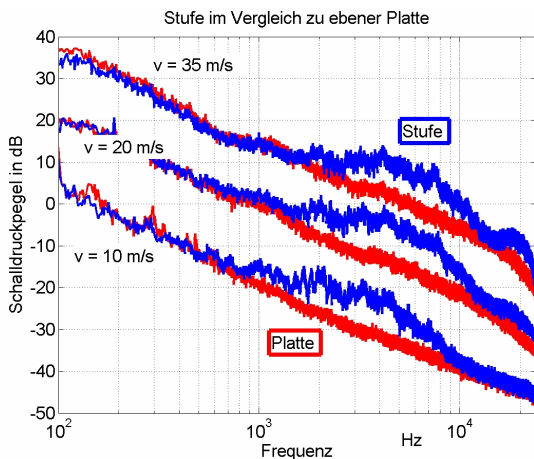


Abbildung 5: Schalldruckspektren der überströmten Stufe

Zur Lokalisierung der Schallquellen werden Korrelationsmessungen mit instationären Wanddrucksonden und Fernfeldmikrofonen durchgeführt. Hierzu werden die Sonden an verschiedenen Positionen entlang der Hauptströmungsrichtung in der Mittelebene platziert. Die Auswertung der Wanddrucksonden untereinander ergibt

keine Kohärenzen von Sonden vor der Stufe zu Sonden hinter der Stufe. Die Gebiete vor und hinter der Stufe sind strömungsmechanisch voneinander getrennt. Nur innerhalb dieser Gebiete ist Kohärenz vorhanden.

Eine Korrelation der Wanddrucksonden ergibt nur für Sonden vor der Stufe klare Kohärenzen zum Schallsignal, wie in Abb. 6 zu erkennen. Dies ist im Einklang damit, dass die Signale der Wanddrucksonden im Gebiet hinter der Stufe untereinander nur in einem zur akustischen Abstrahlung unterschiedlichen Frequenzbereich kohärent sind.

Eine mögliche Erklärung hierfür ist, daß der Fußwirbel vor der Stufe gut in lateraler Richtung korreliert ist, und eine kohärent abstrahlende Linien-schallquelle bildet, welche leicht vom Fernfeldmikrofon erfasst werden kann. Im Bereich hinter der Stufe sind die Schallquellen vermutlich durch den Strömungsabriß an der Kante in lateraler Richtung inkohärent, wodurch sich eine Vielzahl von unkorrelierten Einzelschallquellen ausbildet. Die einzelne lokale Schallquelle, zu der die Wanddruckmessung korreliert, geht in diesem Bereich wahrscheinlich im Gesamtpegel der anderen Einzelquellen unter. In weiteren Untersuchungen soll diese Vermutung an zusätzlichen Meßpunkten überprüft werden.

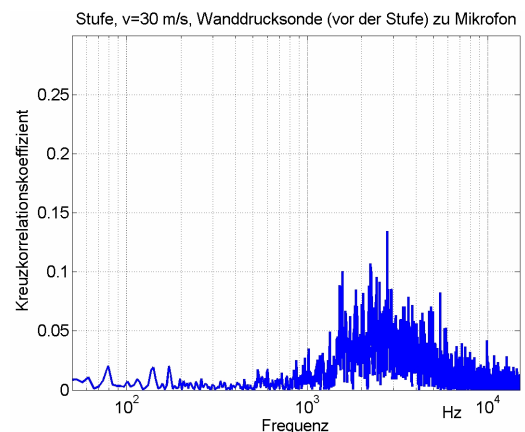


Abbildung 6: Kohärenz zwischen instationärer Wanddrucksonde (vor der Stufe) und Fernfeldmikrofon

### Zusammenfassung

Die Korrelationsmeßtechnik erweist sich als nützliches Werkzeug, um auf experimentellem Weg eine Lokalisation strömungsinduzierter Schallquellen durchzuführen. Bei Messungen am Zylinder trat über das gesamte abgetastete Strömungsfeld eine hohe Kohärenz zwischen lokaler Geschwindigkeit und Fernfeldschalldruck auf, so dass über die Kreuzkorrelation der lokale Beitrag zur Schallerzeugung quantifiziert werden kann. Bei der Stufe hingegen konnte nur im Bereich des Fußwirbels eine klare Kohärenz zwischen lokalem Wanddruck und erzeugtem Schall gemessen werden.

### Literatur

[1] Siddon T.E.: Surface dipole strength by cross-correlation method. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 53, pp. 619 – 633, 1973