

# Aktive Minderung höherer Harmonischer des Drehklangs axialer Turbomaschinen durch Strömungsbeeinflussung

Olaf Lemke<sup>1</sup>, Wolfgang Neise<sup>2</sup>, Michael Möser<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DFG-Sonderforschungsbereich 557 „Beeinflussung komplexer turbulenter Scherströmungen“  
Technische Universität Berlin, Email: Olaf.Lemke@pi.tu-berlin.de

<sup>2</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Antriebstechnik, Abteilung Triebwerksakustik

<sup>3</sup> Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Technische Universität Berlin

## Einleitung

Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens werden Möglichkeiten zur aktiven Minderung des Drehklangs eines Axialventilators untersucht. Abweichend von konventionellen Verfahren wird auf den Einsatz von Lautsprechern zur Erzeugung des gegenphasigen Schallfeldes verzichtet. Stattdessen werden strömungserregte Gegen-schallquellen verwendet, die aus einer Beeinflussung der Strömung im Blattspitzenbereich des Rotors resultieren. Bei geeigneter Wahl der Parameter wie Stärke und Umfangsposition der Beeinflussung, kann das aeroakustisch erzeugte sekundäre Schallfeld in seiner Amplitude und Phasenlage derart eingestellt werden, dass es zu einer destruktiven Überlagerung mit dem primären Schallfeld kommt.

## Theoretische Grundlagen

Ursache der tonalen Geräusentstehung in axialen Turbomaschinen sind instationäre periodische Kräfte, die als Folge der Wechselwirkung zwischen Zuströmung und Rotor sowie Rotor und Stator entstehen. Tyler und Sofrin [1] erstellten einen Zusammenhang (Gl. (1)), der die entstehenden Umfangsmodenordnungen  $m$  bei der Blattpassierfrequenz (BPF) und deren Harmonischer  $h \geq 1$  in Abhängigkeit von der Anzahl der Rotorschaukeln  $Z$  und Statorschaukeln  $V$  beschreibt:

$$m = h \cdot Z + s \cdot V. \quad (1)$$

In Gl. (1) kann  $s$  jeden beliebigen ganzzahligen Wert zwischen  $-\infty \leq s \leq +\infty$  annehmen. Bei gegebener Anzahl von Rotor- und Statorschaukeln ergeben sich unendlich viele dominante Umfangsmodenordnungen  $m$  bei jeder Harmonischen  $h$  der BPF. Durch die Randbedingungen der angeschlossenen Strömungskanäle sind jedoch dort nicht alle Moden ausbreitungsfähig.

Zur Minderung der tonalen Komponenten wird in Analogie zur beschriebenen Rotor-Stator Interaktion die gleiche Anzahl von Störungen  $V$  für eine Rotor-Störung Interaktion gewählt, um das Sekundärschallfeld in seiner Umfangsstruktur dem Primärschallfeld für eine destruktive Überlagerung nachzubilden. Die Minderung der BPF konnte unter Verwendung verschiedener Arten der Strömungsbeeinflussung in Schulz et al. [2] und Schulz [3] erfolgreich gezeigt werden. Dabei erwies sich das Einblasen von Druckluft über gleichmäßig am Umfang verteilte zylindrische Düsen als Methode mit dem größten Geräuscheminderungspotenzial.

Numerische Untersuchungen von Ashcroft et al. [4] ergaben, dass das Druckfeld um den hochenergetischen Düsenfrei-

strahl ähnlich dem eines umströmten Zylinders ist. Die Wechselwirkungen der Druckfelder von Rotorschaukeln und Freistrahlen führen zur Ausbildung zusätzlicher instationärer periodischer Schaufelkräfte an den Hinterkanten der Blattspitzen des Rotors, die als sekundäre Schallquellen interpretiert werden können.

Das Verfahren ist auch für die Beeinflussung höherer Harmonischer der BPF einsetzbar. Dabei kann die gleiche Anzahl von Aktuatoren verwendet werden, da in Analogie zum Entstehungsmechanismus des primären Schallfeldes auch das Sekundärschallfeld aus der Rotor-Störung Interaktion die gleiche modale Struktur bei höheren Harmonischen der BPF aufweist wie das Primärschallfeld. Diese höher Harmonischen Anteile des Sekundärschallfeldes können durch geeignete Wahl der Beeinflussungsparameter in ihrer Amplitude und Phasenlage ebenfalls für eine destruktive Überlagerung mit dem Primärschallfeld angepasst werden.

## Versuchsaufbau

Die Experimente zur Minderung des Drehklangkomponenten wurden an einem Hochdruck-Axialventilator mit einem Gehäusedurchmesser von  $D_{Geh} = 358$  mm und einem Nabenverhältnis von  $\varepsilon = 0,62$  durchgeführt. Der Rotor hat  $Z = 18$  profilierte Schaukeln vom Typ NACA 5-63-(10) mit einer Sehnenlänge von  $c = 53,6$  mm und einem Staffelungswinkel von  $\nu = 27^\circ$  an der Blattspitze. Der Kopfspalt beträgt  $s = 0,3$  mm ( $\zeta = s/c = 0,6\%$ ). Das Leitrad hat  $V = 16$  unprofilierte Kreisbogenschaukeln.

Der Axialventilator wird im Versuchsstand in einer Anordnung mit Ansaug- und Ausblaskanal mit reflexionsarmen Kanalabschlüssen betrieben. Die Schalldruckmessung erfolgt über 32 äquidistant über den Umfang verteilte wandbündig eingebaute  $\frac{1}{4}$  Zoll-Mikrofone im Ansaug- und Ausblaskanal. Damit ist eine Zerlegung der Wanddruckschwankungen in azimutale Moden möglich. Die Drucklufteinblasung erfolgt über  $V = 16$  zylindrische Düsen mit einem Durchmesser von  $d_{Düse} = 1,5$  mm in radialer Kanalrichtung zwischen Rotor und Stator bei einem axialen Abstand von  $\Delta x/c = 0,12$  stromab der Rotorhinterkanten.

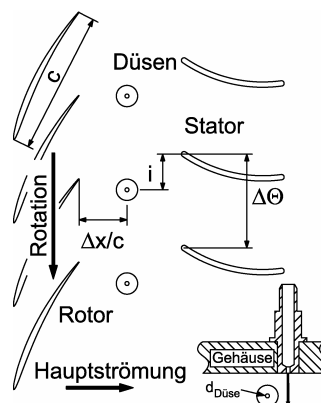


Abbildung 1: Beeinflussungskonfiguration und verwendete Düsen.

## Ergebnisse

Die entscheidenden Parameter für Amplitude und Phase der Umfangsmode des Sekundärschallfeldes für die jeweilige Harmonische der BPF sind der Einblasmassenstrom  $M_{In}$  sowie die Umfangsposition  $i$  bezogen auf die Statorvorderkanten innerhalb einer Statorteilung  $\Delta\Theta = 22,5^\circ$ . In den Messungen sind beide Parameter schrittweise variiert worden. Abbildung 2 zeigt die Schalldruckpegel  $L_{p,m=4}$  der dominanten Umfangsmode  $m=4$  bei der doppelten BPF ( $f = 2400$  Hz) über dem Einblasmassenstrom  $M_{In}/M_{Vent.}$  in Prozent des vom Ventilator ohne Beeinflussung geförderten Massenstroms und der Umfangsposition  $i$  für den Ausblaskanal. Die horizontale Ebene stellt den Zustand ohne Drucklufteinblasung da.

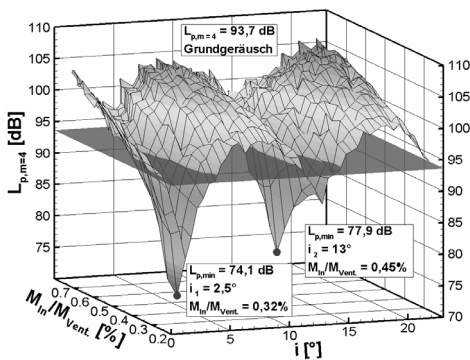


Abbildung 2: Schalldruckpegel der Umfangsmode  $m = 4$  bei 2BPF in Abhängigkeit des Einblasmassenstroms und der Umfangsposition

Deutlich zu erkennen sind zwei ausgeprägte Minima und Maxima innerhalb einer Statorpassage, so dass im Sinne der Überlagerung zweier Wellen neben einer Minderung auch eine Verstärkung möglich ist. Die Anzahl der Minima innerhalb einer Passage ist durch die Ordnung  $h$  der Harmonischen festgelegt, doch unterscheiden sich beide Minima in den erreichten Pegelminderungen und der eingeblasenen Druckluftmenge. Bei den Unterschieden könnte es sich um strömungsmechanische Phänomene handeln, so dass im ersten Minimum bei  $i_1 = 2,5^\circ$  der Düsenfreistrahл zwischen zwei Statorschaufeln hindurch strömt, wohingegen er im Fall des zweiten Minimum bei  $i_2 = 13^\circ$  vermutlich auf die Statorvorderkante trifft.

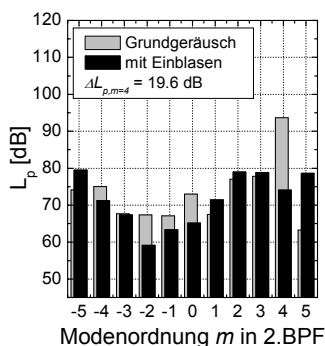


Abbildung 3: Azimutales Modenspektrum bei der zweiten BPF.

BPF in das Rauschen abgesenkt. In Abbildung 4 ist das zugehörige Frequenzspektrum des Schalldruckpegels für den Ausblaskanal dargestellt. Durch Minderung der dominanten Mode  $m = 4$  wird der Pegel der doppelten BPF um

$\Delta L_p = 5$  dB gegenüber dem Grundgeräusch gemindert. Auch die BPF selbst wird für das erste Minimum von  $i_1$  um  $\Delta L_p = 4,5$  dB gemindert. Die maximale Pegelminderung für die hier nicht dargestellte BPF beträgt  $\Delta L_p = 16,6$  dB bei einer Umfangsposition von  $i = 5^\circ$ . Pegelminderungen sind aber auch in einem Bereich von  $\Delta i = \pm 4^\circ$  um dieses Optimum möglich, so dass das erste Optimum  $i_1$  für die doppelte BPF im Bereich einer Pegelminderungen der BPF liegt.

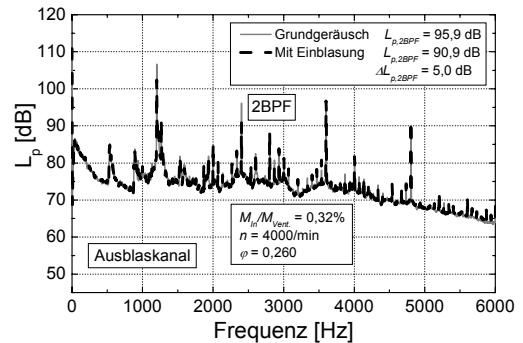


Abbildung 4: Schalldruckspektrum mit und ohne Drucklufteinblasung für optimale Pegelminderung der 2BPF im Ausblaskanal.

Für die dreifache und vierfache BPF werden die Pegel angehoben, da sich bei der Umfangsposition  $i_1 = 2,5^\circ$  die jeweiligen Schallfeldanteile von Primär- und Sekundärfeld bezüglich ihrer Phasenbeziehung nicht optimal im Sinne der Geräuschminderung überlagern. Für diese Schallfeldanteile sind jedoch auch optimale Beeinflussungspositionen nachzuweisen. Als Folge des relativ geringen Einblasmassenstroms fällt die Anhebung des höherfrequenten Breitbandrauschens, welches durch die Düsenfreistrahlen entsteht, sehr gering aus.

## Zusammenfassung

Die Untersuchungen dienen dazu, das Prinzip der tonalen Geräuschminderung unter Verwendung strömungsinduzierter Gegenschallquellen auch für höherharmonische der BPF zu zeigen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl der Minima der Ordnung der Harmonischen der BPF entspricht. Die optimalen Beeinflussungspositionen unterscheiden sich jedoch voneinander als Folge unterschiedlicher Phasenbeziehungen. Für eine erfolgreiche Geräuschminderung müssen die Minima möglichst beieinander liegen.

## Literatur

- [1] Tyler, J. M., Sofrin, T. G.: Axial flow compressor noise studies., Transactions of the Society of Automotive Engineers 70, 309-332 (1962).
- [2] Schulz, J., Neise, W., Möser, M.: Experimental Investigation of Active Control of the Tonal Noise Components of Axial Turbomachinery with Flow Control., 7. Congrès Français d'Acoustique, CFA/DAGA 04, 22.-25. März 2004, Straßburg, Frankreich.
- [3] Schulz, J.: Aktive Geräuschminderung des Drehklangs axialer Turbomaschinen durch Strömungsbeeinflussung., Dissertation TU-Berlin Juni 2004.
- [4] Ashcroft, G., Schulz, J.: Numerical modelling of wake-jet interaction with application to active noise control in turbomachinery., 7. Congrès Français d'Acoustique, CFA/DAGA 04, 22.-25. März 2004, Straßburg, Frankreich.