

Gleichzeitige Kontrolle zweier Drehklangkomponenten in einer axialen Turbomaschine bei Verwendung aeroakustischer Gegenschallquellen

Olaf Lemke¹, Wolfgang Neise², Lars Enghardt² Michael Möser³

¹ DFG-Sonderforschungsbereich 557 „Kontrolle komplexer turbulenter Scherströmungen“, Technische Universität Berlin, Email: olaf.lemke@pi.tu-berlin.de

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

³ Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Technische Universität Berlin

Einleitung

Die Hauptursache der Entstehung des Drehklangs in axialen Turbomaschinen sind nach Tyler und Sofrin [1] instationäre periodische Kräfte als Folge der Rotor-Stator Interaktion. In einem DFG-geförderten Forschungsvorhaben wird, abweichend von konventionellen Lautsprechermethoden, ein alternatives Verfahren zur Minderung dieses tonalen Lärms auf Basis der Erregung aeroakustischer Sekundärschallquellen mittels Drucklufteinblasung im Blattspitzenbereich untersucht. Mit dieser Methode können entweder der Pegel der Blattpassierfrequenz (BPF) (vgl. Schulz [2]) oder einzelner höherer Harmonischer (vgl. Lemke et al. [3] und [4]) gemindert werden. Die wesentlichen Einflussparameter zur Anpassung von Amplitude und Phasenlage des resultierenden Sekundärschallfeldes sind der Einblasmassenstrom und die Umfangsposition der Düsen bezüglich des Stators.

Mit der bisher verwendeten einreihigen Düsenanordnung konnte ein Freiheitsgrad des Sekundärschallfeldes kontrolliert werden. Ein Ziel aktueller Untersuchungen ist die gleichzeitige Kontrolle mehrerer tonaler Komponenten und damit mehrerer Freiheitsgrade durch die Verwendung axial gestaffelter Düsenringe.

Versuchsaufbau

Die Experimente zur Minderung der 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 Schaufeln 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 ($\zeta = s/c = 0,6\%$). Der Stator 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 Ausblaskanal. Damit ist eine Zerlegung der Wanddruckschwankungen in azimutale Moden möglich.

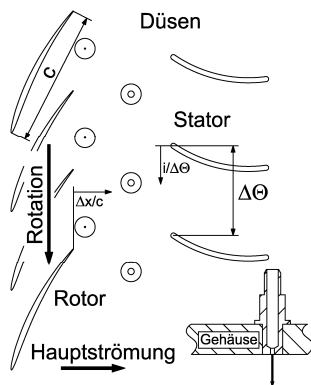


Abbildung 1: Beeinflussungskonfiguration und verwendete Düsen im Blattspitzenbereich.

Die Drucklufteinblasung erfolgt über zwei axial gestaf-

felte Düsenringe mit jeweils 16 zylindrischen Düsen mit radialer Einblasrichtung zwischen Rotor und Stator, schematisch dargestellt in Abb. 1. Im Ring I beträgt der Axialabstand zur Rotorhinterkante $\Delta x/c = 0,03$ und der Düsendurchmesser $d_{I,Düse} = 0,8$ mm. Der zweite Düsenring Ring II hat einen Axialabstand von $\Delta x/c = 0,35$ mit einem Düsendurchmesser von $d_{II,Düse} = 1,5$ mm. Die Umfangsposition beider Düsenringe ist jeweils konstant bei $i_I/\Delta\Theta = 0,96$ und $i_{II}/\Delta\Theta = 0,51$.

Ergebnisse

In Voruntersuchungen wurde für jeden Ring einzeln die Umfangsposition i innerhalb einer Statorpassage $\Delta\Theta$ sowie der Einblasmassenstrom M_{Jets} variiert und damit die Phasenlage und die Amplitude des Sekundärschallfeldes verändert. Ziel war es die Beeinflussungsparameter zur Minderung einer tonalen Komponente des Spektrums ohne größere Auswirkungen auf andere tonale Komponenten zu bestimmen, damit bei der nachfolgenden simultanen Beeinflussung eindeutige Aussagen möglich sind. Für die Pegel von BPF und 2-BPF konnten solche Parameter nicht bestimmt werden, da auf Grund der konstruktiv bedingten axialen Düsenpositionen deren Minderungen erhebliche Auswirkungen auf andere Komponenten hatten. Damit ergaben sich die oben aufgeführten Umfangspositionen für Ring I und Ring II zur Minderung des 4-BPF sowie 3-BPF Pegels. In den Experimenten fand die Variation beider Einblasmassenströme gegeneinander statt. Damit wird nur die Amplitude bei konstanter Phasenlage verändert.

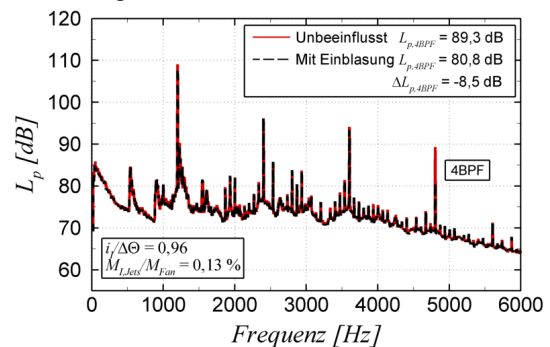


Abbildung 2: Schalldruckspektrum mit Minderung des 4-BPF Pegels durch Ring I im Ausblaskanal.

Abb. 2 zeigt die Schalldruckspektren für den Ausblaskanal des Ventilators mit und ohne Drucklufteinblasung bei Beeinflussung nur mit Ring I für die optimalen Parameter zur Pegelminderung von 4-BPF um $\Delta L_{p,4-BPF} = -8,5$ dB. Der Einblasmassenstrom beträgt $M_{I,Jets}/M_{Fan} = 0,13\%$ des vom Ventilator ohne Beeinflussung geförderten Massenstroms.

In Abb. 3 ist das Ergebnis für die alleinige Beeinflussung mit Ring II dargestellt. Der 3-BPF-Pegel kann in diesem Fall um $\Delta L_{p,3-BPF} = -5,0$ dB bei einem Einblasmassenstrom von $M_{II,jets}/M_{Fan} = 0,64$ % gemindert werden. Dies hat nahezu keinen Einfluss auf andere tonale Komponenten insbesondere nicht auf den 4-BPF-Pegel. Im Gegensatz zu Abb. 2 ist jedoch ein massiver Anstieg im Breitbandrauschen zu erkennen, da die Düsenfreistrahlen für die gegebene Umfangsposition von $i_{II}/\Delta\theta = 0,51$ auf die Statorblätter treffen. Für eine effektive Geräuschminderung ist dieser Punkt daher nicht geeignet, jedoch liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen hier auf der Beeinflussung tonaler Komponenten. Nähere Untersuchungen zu strömungsmechanischen Effekten bei Drucklufteinblasung und deren akustische Auswirkungen sind in Lemke et al. [4] zu finden.

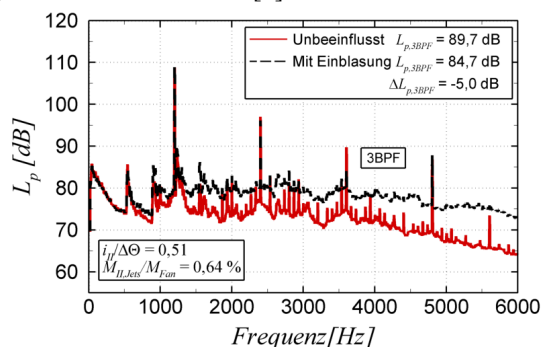


Abbildung 3: Schalldruckspektrum mit Minderung des 3-BPF Pegels durch Ring II im Ausblaskanal.

Im nächsten Schritt erfolgte die simultane Beeinflussung durch beide Ringe mit den zuvor bestimmten Einblasmassenströmen an den gegebenen Umfangspositionen. Abb. 4 zeigt die resultierenden Schalldruckspektren mit gleichzeitigen Pegelminderungen für 3-BPF und 4-BPF mit vernachlässigbaren Auswirkungen auf andere Harmonische der BPF.

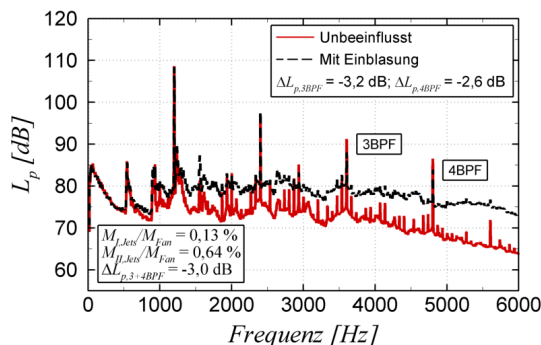


Abbildung 4: Schalldruckspektrum für die Pegelminderung von 3-BPF und 4-BPF mit beiden Ringen bei einfacher Überlagerung im Ausblaskanal.

Die Pegelminderungen der jeweiligen Frequenzkomponenten fallen gegenüber den zuvor einzeln beeinflussten Fällen weniger stark aus. Eine klassische lineare Superposition beider Düsenringe scheint nur begrenzt möglich zu sein, d.h. die Einblasstrahlen beeinflussen sich evtl. gegenseitig, da die Düsen nahezu in einer Linie mit der Rotorabströmung im Absolutsystem liegen (vgl. Abb. 1).

Eine Variation der Massenströme gegeneinander ergab, dass bei simultaner Beeinflussung auch leicht höhere Pegelminderungen für die jeweilige Frequenzkomponente gegenüber der Einzelbeeinflussung möglich sind. Allerdings fällt die Minderung der jeweiligen anderen Komponente dann gerin-

ger aus, und der gesamt benötigte Einblasmassenstrom ist höher. Die Umfangspositionen und damit die Phasenlagen wurden nicht verändert, da die Anzahl zu variierenden Parameter zu erheblichen Messzeiten führt.

Zur Beurteilung der gleichzeitigen Beeinflussung wird der Summenpegel aus beiden Frequenzkomponenten $\Delta L_{p,3+4-BPF}$ gebildet. Durch die Variation beider Massenströme kann auch hier ein Minimum gefunden werden. Abb. 5 zeigt das Schalldruckspektrum bei optimal eingestellten Einblasmassenströmen in beiden Ringen für eine Minderung im Summenpegel um $\Delta L_{p,3+4-BPF} = -5,2$ dB gegenüber $-3,0$ dB im einfach überlagerten Fall.

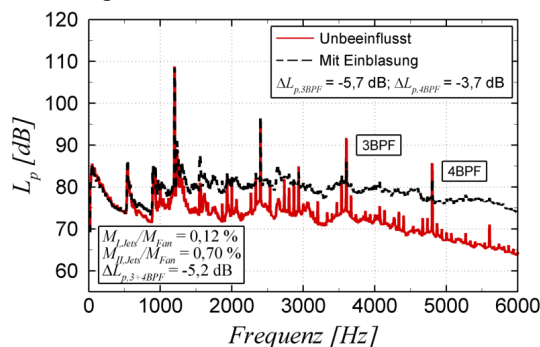


Abbildung 5: Schalldruckspektrum für die Pegelminderung von 3-BPF und 4-BPF mit beiden Ringen bei optimaler Überlagerung im Ausblaskanal.

Zum Erreichen dieses Minimums ist ein höherer Gesamteinblasmassenstrom erforderlich. Dabei bleibt der Einblasmassenstrom für Ring I zur Beeinflussung des 4-BPF Pegels nahezu konstant. Wesentlicher Einflussparameter zur Kontrolle des Summenpegels ist der Einblasmassenstrom von Ring II, da der 3-BPF Pegel hier pegelbestimmend ist.

Zusammenfassung

Die Minderung des Drehklangs eines Axialventilators kann durch Drucklufteinblasung im Blattspitzenbereich erreicht werden. Mit einem Düsenring konnte bisher eine tonale Komponente des Drehklangs und damit ein Freiheitsgrad des Sekundärschallfeldes in Amplitude und Phasenlage kontrolliert werden. Die gleichzeitige Kontrolle von zwei Freiheitsgraden, hier des 3-BPF und 4-BPF Pegels, erfolgte über zwei axial gestaffelte Düsenringe, wobei eine klassische Superposition als Folge der gegenseitigen Beeinflussung der Düsenfreistrahlen beider Ringe nur bedingt möglich ist.

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.: Aktive Geräuschminderung des Drehklangs axialer Turbomaschinen durch Strömungsbeeinflussung., Dissertation TU-Berlin Juni 2004.
- [3] Lemke, O., Neise, W., Möser, M.: Aktive Minderung höherer Harmonischer des Drehklangs axialer Turbomaschinen durch Strömungsbeeinflussung. Fortschritte der Akustik DAGA 06, 20.-23.3.2006, Braunschweig.
- [4] Lemke, O., Neise, W., Möser, M., Enghardt L.: Control of higher-order modes at blade passage frequency harmonics of axial turbomachines by steady air jet actuation. Fan Noise 2007, 17.-19. September Lyon, France, 2007.