Optimierte Schallreduktion in Axialventilatorsystemen durch mikroperforierte Absorber

Felix Czwielong[1], Sebastian Floss[2], Manfred Kaltenbacher[2], Stefan Becker[1]

[1] *Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, FAU Erlangen, Deutschland, Email: cz@ipat.fau.de*

[2] *Institut für Mechanik und Mechatronik E325-3 Technische Akustik, TU Wien, Österreich, Email: sebastian.floss@tuwien.ac.at*

Einleitung

Mit den Verwendungen von mikroperforierten Absorbern (MPA) in HVAC-Systemen [1] und als Rohrauskleidung in Axialventilator-Rohrsystemen [2] konnte gezeigt werden, dass die von der Turbomaschine abgestrahlte Schallleistung mittels der mikroperforierten Absorber deutlich reduziert werden kann. Dabei werden die MPAs flach an die Oberfläche montiert während sich hinter diesen ein mit Luft gefülltes Rückvolumen befindet. Die entstehenden sprunghaften Querschnittsänderungen nehmen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften des Systems wobei die MPAs gleichzeitig als Strömungsleiteinrichtung fungieren. Aufgrund dieser Anordnung wird das Strömungsfeld beeinflusst, was zur Reduzierung der Druckerhöhung der Turbomaschinen im System führen kann. In dieser Studie soll einerseits der Effekt von mikroperforierten Absorbern im direkten Umfeld von Axialventilatoren untersucht werden und anderseits durch eine Variation der Rückvolumeneinbauen eine verbesserte Schallreduktion erreicht werden. Bei den Veränderungen des Rückvolumens wird dabei stets eine möglichst gleichbleibende oder verbesserte aerodynamische Kennlinie der Ventilatoren gefordert.

Mirkoperforierte Absorber

Im Allgemeinen bestehen mikroperforierte Absorber aus einer mikroperforierte Platte (MPP), welche sich über einer schallharten Wand befindet. Dabei stellt die Distanz zwischen der MPP und der schallharten Wand das Rückvolumen hinter der MPP dar. Der MPA wird über die seine Porosität und seinen spezifischen Strömungswiderstand charakterisiert. Die Dissipation der Schallwellenenergie findet innerhalb der kleinen im sub-millimeter Bereich liegenden Perforationen statt. Diese Dissipation ist für spezifischen Frequenzen am stärksten ausgeprägt, wenn der Abstand zwischen MPP und schallharten Wand genau einem $\lambda/4$ -Resonator für die spezifische Frequenz entspricht. In Abbildung 1 ist der in dieser Arbeit verwendete MPA gezeigt. Die Perforierungen sind in diesem Fall in Schlitzform ausgeführt anstatt wie im üblichen Fall als kreisförmige Öffnungen.

In Abbildung 2 ist das für diese Untersuchungen verwendete mit MPAs ausgekleidete Rohrsegment dargestellt. Hierfür wurden 0.5 mm dicke MPP aus Edelstahl von der Firma $Acoustimet^{TM}, SONTECH$ verwendet. Der

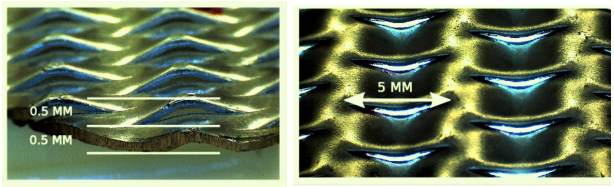

Abbildung 1: Photographie der verwendeten mikroperforierten Absorber

Durchmesser des gesamten Rohrsegments beträgt 506 mm und ist damit um 6 mm größer als das eigentlich vorgesehene Rohrsegment ohne MPA. Die absorbierende Fläche weist eine axiale Länge von L= 440 mm auf und der Abstand zwischen MPP zum reflektierenden Rückvolumenwand ist D= 137 mm.

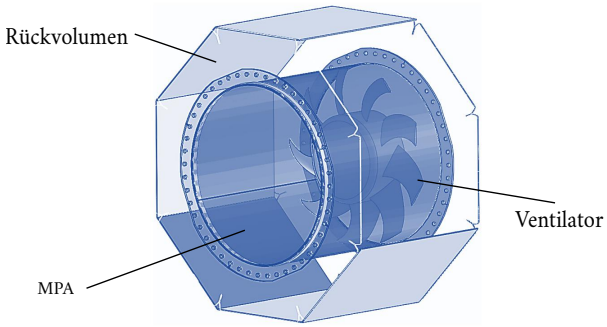

Abbildung 2: CAD-Darstellung des mikroperforierten Rohrs mit Axialventilator und Rückvolumen

Versuchsaufbau

Die experimentellen Untersuchungen zu dem Thema, welche Auswirkungen ein überströmter mikroperforierter Schallabsorber im direkten Umfeld von einem Axialventilator ausübt, wurden im Axialventilatorprüfstand des Lehrstuhls für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (iPAT) an der FAU Erlangen durchgeführt. Bei dem Prüfstand handelt es sich um einen nach DIN EN ISO 5801 [3, 5] ausgelegten Axialventilatorprüfstand. Dieser erlaubt es die aerodynamischen Eigenschaften von Axialventilatoren zu bestimmen. Dabei wird der Volumenstrom über eine Volumenstrommessdüse am Einlass bestimmt. Die Druckdifferenz zwischen Saugseite und Umgebung wird mittels Differenzdrucksensor gemessen

[4]. Der Betriebspunkt des Axialventilators kann über ein Hilfsgebläse und eine Drosselklappe eingestellt werden. Für die Untersuchungen der Schallabstrahlung des Ventilators ist im Prüfstand ein reflektionsarmer Raum integriert, welcher einen Ruheschalldruckpegel von $Lp = 28$ dB für den Frequenzbereich von $f \epsilon$ [0,1 kHz, 10 kHZ] aufweist [6]. Für die Charakterisierung des Schallfeldes werden fünf Freifeldmikrophone auf der Saugseite des Axialventilators positioniert. Diese befinden sich in einem Abstand von $R = 1000$ mm zur Einlaufdüse des Rohrsystems. Die Messungen des Schalldrucks und der aerodynamischen Eigenschaften des Ventilators werden simultan an stationären Betriebspunkten durchgeführt. In Abbildung 3 ist eine Schnittdarstellung des Axialventilatorprüfstands dargestellt.

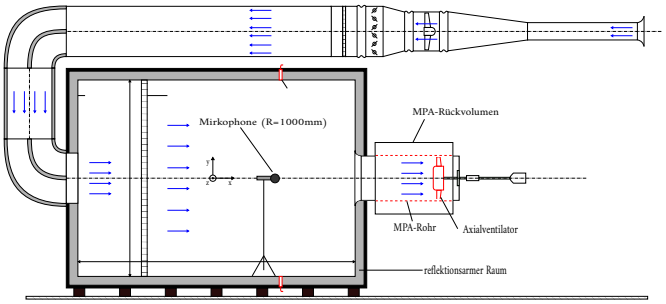

Abbildung 3: Schematische Schnittdarstellung des Axialventilatorprüfstands mit eingebauten mikroperforiertem Rohrsystem und Axialventilator

In dieser Studie soll einerseits gezeigt werden, welche Auswirkungen mikroperforierte Schallabsorber auf die Schallabstrahlung des Axialventilatorsystem ausüben, und anderseits, wie dieses System modifiziert werden kann, damit eine optimale Schallreduktion entsteht. Insgesamt werden vier verschiedene Fälle in dieser Studie untersucht, siehe Abbildung 4. Der erste Fall ist der Referenzfall, Abbildung 4(a). Beim Referenzfall wird der Ventilator in einem normalen Kanal betrieben. Im zweiten Fall, Abbildung 4(b), wird der Kanal teilweise durch ein Rohr bestehend aus mikroperforierten Absorber ersetzt. Zudem befinden sich hinter diesen Absorbern ein Rückvolumen, welches eine Länge von D_{MPA}=137 mm aufweist [2]. In den Fällen drei und vier wurde einerseits das Rückvolumen azimutal in vier Segmente Unterteilt, Abbildung 4(c), und anderseits zusätzlich zu dieser Unterteilung das Rückvolumen noch axial in 3 Segmente unterteilt, Abbildung 4(d). Bei den Fällen mit eingebauter MPA arbeitet der Ventilator direkt oberhalb des überströmten Absorbers. Der Kopfspalt, welcher eine dominante akustische Schallquelle darstellt, ist bei den Fällen mit eingebauter MPA um 3 mm größer als beim Referenzfall.

Ergebnisse und Diskussion

In dieser experimentellen Studie wurde der Einfluss von mikroperforierten Absorbern auf die Schallabstrahlung von Axialventilatoren untersucht. In Abbildung 5 sind

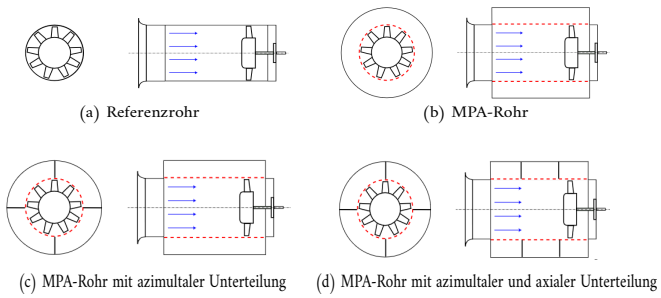

Abbildung 4: Darstellung der verschiedenen Rohrsetups: (a) Referenzfall mit normalem Rohr, (b) Rohrsegment bestehend aus mikroperforierten Absorbern, (c) MPA-Rohr mit azimutaler Unterteilungen des Rückvolumens und (d) MPA-Rohr mit azimutaler und axialer Unterteilungen des Rückvolumens

die Schalldruckspektren der vier Versuchsanordnungen dargestellt. Diese Spektren stellen dabei gemittelte Schalldruckspektren für die fünf Freifeldmikrophone im reflektionsarmen Raum des Axialventilatorprüfstands dar.

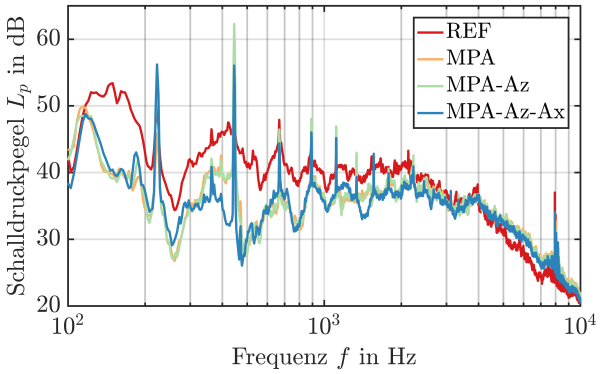

Abbildung 5: Schalldruckspektrum bei einem Volumenstrom von $\dot{V}$= 1,46 m^3/s.

Die emittierten Schalldruckspektren zeigen, dass die Varianten mit eingebauten MPA in einem Frequenzbereich von $f \epsilon$ [0,12 kHz, 2,5 kHZ] unterhalb des Referenzfalls liegen. Dabei können Schallreduktionen von bis zu 13 dB bei spezifischen Frequenzen erreicht werden. Diese Reduktion kann den schallabsorbierenden Eigenschaften der MPA zugeordnet werden. Neben diesen Reduktionen können weiterhin aber auch Erhöhungen einiger Frequenzen festgestellt werden. So ist beispielsweise die Blattfolgefrequenz bei $f = 222$ Hz im Vergleich zum Referenzfall erhöht. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Phänomen auf die störende Schweißnaht im MPA-Rohr zurückzuführen ist. Diese stellt eine lokale Störquelle dar, welche die instationären Schaufelkräfte verstärkt. Zudem kann im hochfrequenten Bereich eine Steigerung der Abstrahlung festgestellt werden. Es wird davon ausgegangen, dass dies das Eigengeräusch der MPA ist, welche bei der Überströmung mit der Luft entsteht. Die unterschiedlichen Unterteilungen des Rückvolumens verändern ihre Schallabsorptionseigenschaften nicht hinsichtlich des Frequenzbereichs, in

welchem der Absorber wirkt. Dennoch ist in der vierten Variante mit den azimutalen und den axialen Unterteilungen ist eine verstärkte Reduktion der Harmonischen der Blattfolgefrequenz und im Schmalbandbereich von $f \epsilon$ [0,32 kHz, 0,5 kHZ] ersichtlich.

Die aerodynamischen Kennlinien der verschiedenen Systeme zeigen, dass die Systeme mit eingebautem MPA eine geringere Druckerhöhung des Ventilators zulassen. Hierbei stellt vor allem der Bereich von $\dot{V} \epsilon$ [1,2 m^3/s; 1,7m^3/s] als eigentlicher Arbeitsbereich des Ventilators einen wichtigen Bereich dar, in welchem die Druckerhöhung möglichst hoch sein sollte. Diese Reduktion der statischen Druckerhöhung ist darauf zurückzuführen, dass die erzeugten Druckdifferenzen, über einen mögliche Rückströmung der Luft durch die mikroperforierten Absorber, reduziert wird. Dabei zwingt der Ventilator die Strömung aufgrund der radialen Komponente der induzierten Drallströmung durch die Schallabsorberöffnungen [2].

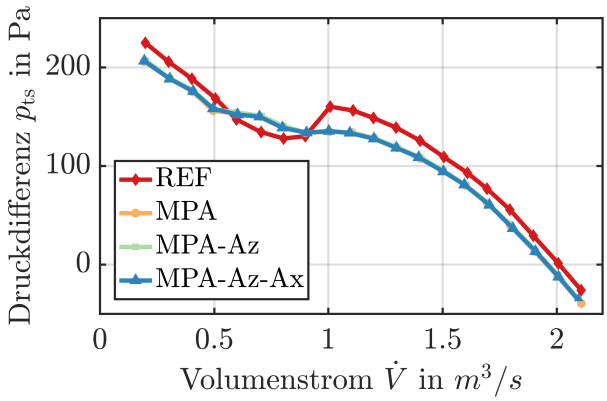

Abbildung 6: Aerodynamische Kennlinie der vier Versuchsanordnungen

Die akustischen Kennlinien, welche über den Gesamtschalldruckpegel je Betriebspunkt gebildet werden, verdeutlichen, welche Schallreduktion durch das Konzept des mikroperforierten Rohrs erreicht werden kann. So können im instationären Teillastbereich Reduktionen von bis zu 12,4 dB im Schalldruckpegel erreicht werden. Es ist ersichtlich, dass die Ausprägung des Schalldruckpegels bei niedrigen Volumenströmen im Vergleich zum Referenzfall wesentlich gedämpfter auftritt. Die hohen Schalldruckpegel im Bereich niedriger Volumenströme treten aufgrund von Wechselwirkungen des Ventilators mit rotierenden Instabilitäten wie rotierendes Abreisen und Kopfspaltströmung auf. In den meisten Fällen strahlen diese Schallentstehungsmechanismen schmalbandig als subharmonische zu der Blattfolgefreqeuenz ab. Der mikroperforierte Schallabsorber zeigt bei diesen Fällen gesteigerte Schallreduktionseigenschaften. Analysiert man die Ergebnisse hinsichtlich der verschiedenen Einbauten im Rückvolumen zeigt sich, dass vor allem der Fall mit axialen und azimutalen Einbauten eine weitere Reduzierung des Schalldruckpegels im Überlastbereich von bis zu 1,3 dB bewirkt. Nur azimutal eingebaute Segmente bewirken hingegen eine Erhöhung des Schalldruckpegels im Überlastbereich.

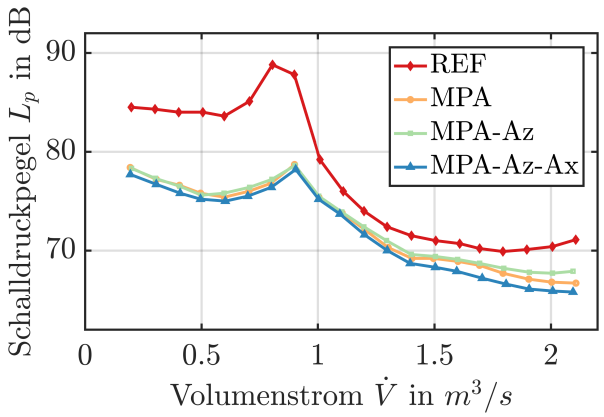

Abbildung 7: Akustische Kennlinie der vier untersuchten Setups

Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden experimentelle Untersuchungen zur Steigerung der Schallreduktion in einem MPA bestückten Rohr für Axialventilatorsysteme durchgeführt. Dabei wurden vier verschiedene Fälle (Ref, MPA, MPA-AZ, MPA-AZ-AX) untersucht. Die Experimente wurden im Axialventilatorprüfstand des Lehrstuhls für Prozessmaschinen und Anlagentechnik durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass das neuartige Konzept der Einbringung von MPAs in das Rohrsystem von Axialventilatoren zu einer deutlichen reduzieren des Schalldruckpegels von bis zu 13 dB führt. Gleichzeitig wurde anhand der aerodynamischen Kennlinien gezeigt, dass der vom Ventilator erzeugte Drucksprung reduziert wird, was allerdings im Vergleich zu der Reduktion des Schalldruckpegels gering ausfällt. Einbauten im Rückvolumen nehmen keinen Einfluss auf die aerodynamische Kennlinie des Ventilators. Allerdings konnte mit den Einbauten, welche eine azimute und axiale Unterteilung des Rückvolumens bewirkten eine weitere Schallreduktion um 1,3 dB bei hohen Volumenströmen erreicht werden. Dies ist vor allem auf eine Reduktion der Harmonischen der Blattfolgefrequenz und einer weiteren Schallreduktion im Bereich von $f \epsilon$ [0,32 kHz, 0,5 kHZ] zu zuordnen. Für zukünftige Untersuchen wird es Ziel sein einerseits das Eigengeräusch der überströmten mikroperforierten Schallabsorber zu verstehen und andererseits das Konzept der Einbringung der MPAs als Rohr für Axialventilatoren weiter zu optimieren umso eine kostengünstige Möglichkeit zu bilden Rohrsysteme leiser zu gestalten ohne dabei den Wirkungsgrad des Axialventilators zu beeinflussen.

Literatur

[1] Floss, S.; Kaltenbacher, M.:Different HVAC application scenarios with microperforated absorbers. Fortschritte der Akustik - DAGA 2018, München, 2018

[2] Floss, S.; Czwielong, F.; Krömer, F.; Becker S.; Kaltenbacher, M.:Achieving axial fan sound reduction with micro-perforated absorbers. Fortschritte der Akustik - DAGA 2019, Rostock, 2019

[3] Czwielong, F.; Krömer F.; Becker S.:Experimental investigations of the sound emission of axial fans under the influence of suction-side heat exchangers. 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Delft, 2019, DOI: 10.2514/6.2019-2618

[4] Czwielong, F.; Krömer F.; Becker S.:Experimentelle Untersuchung der Schallabstrahlung von Wärmeübertrager-Axialventilator-Modulen. Fortschritte der Akustik - DAGA 2019, Rostock, 2019

[5] DIN, ENISO. 5801–Industrial fans–Performance testing using standardized airways (ISO 5801: 2007, including Cor 1: 2008)

[6] Krömer, F.; Czwielong F.; Becker S.:Experimental Investigation of the Sound Emission of Skewed Axial Fans with Leading-Edge Serrations. AIAA Journal 57(136):1-15, 2019, DOI:10.2514/1.J058134