

Lokalisierung von Einzelschallquellen an Axialventilatoren mittels eines Mikrofonarray-Systems

Marc Schneider¹, Marius Lehmann²

¹ *ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Deutschland, Email: marc.schneider@de.ebmpapst.com*

² *ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Deutschland, Email: marius.lehmann@web.de*

Einleitung

Die integrale Schalleistung eines Axialventilators setzt sich aus den Beiträgen verschiedener Einzelschallquellen zusammen. Daher ist es von Interesse, die Verteilung und Stärke der Schallquellen auf den Schaufeln zu bestimmen. So kann abgeschätzt werden, welche Modifikationen zu einer Verringerung der Schalleistung führen.

Um die Verteilung der Schallquellen zu bestimmen, können neben numerischen CAA Simulationen auch Messungen mit Mikrofonarrays gemacht werden. Die Auswertung basiert dabei auf Beamforming-Verfahren. Bei der Fa. ebm-papst wird seit mehreren Jahren ein Mikrofonarray-System eingesetzt, mit welchem neben stehenden auch rotierende Schallquellen lokalisiert werden können.

Es werden Messungen bei ungestörter und gestörter Zuströmung mit einem Axialventilator durchgeführt. Die gestörte Zuströmung wird auf zwei verschiedene Weisen erzeugt. Zum einen werden Messungen mit einem Wärmetauscher als realitätsnaher Anwendungsfall eines Axialventilators gemacht. Zum anderen wird ein Vorbau in Form eines Kastens verwendet. Dieser entspricht einem Wärmetauscher ohne Lamellen.

Bei gestörter Zuströmung erhöht sich die Schallabstrahlung im niederfrequenten Bereich. Das liegt daran, dass turbulente Strukturen mit der Vorderkante interagieren und Wechselbelastungen verursachen [1].

Bei den Messungen werden poröse Vorderkanten eingesetzt. Dadurch soll ein Druckausgleich zwischen Druck- und Saugseite ermöglicht und in Folge dessen eine Verminderung der Wechselbelastung erreicht werden. Als Referenz werden ebenfalls Messungen mit Standardvorderkante gemacht.

Messtechnik

Der Aufbau des Mikrofonarrays ist in Abbildung 1 dargestellt. Es besteht aus drei konzentrisch angeordneten Ringarrays verschiedener Größen. Sie haben die Durchmesser $d = 1,6\text{ m}$, $d = 0,8\text{ m}$ und $d = 0,4\text{ m}$ und bestehen aus $M = 40$, $M = 24$ und $M = 16$ äquidistant angeordneten Mikrofonen. Die beiden kleineren Ringe befinden sich in einer Ebene. Ihr Abstand zum großen Ring kann stufenlos verstellt werden. Bei den vorliegenden Untersuchungen beträgt er $\Delta h = 0,5\text{ m}$.

Die Mikrofonsignale werden virtuell in Rotation versetzt, sodass sich der Ventilator aus Sicht des Mikrofonarrays

im stehenden System befindet [2]. Dazu wird die Drehzahl per Laser aufgenommen. So können neben stehenden auch rotierende Schallquellen lokalisiert werden. Die Messzeit beträgt $T = 15\text{ s}$. Zur Berechnung der Schallbilder wird der Beamforming Algorithmus CLEAN-SC [3] verwendet. Als Steuervektor wird „True Location“ [4] genutzt. In den Schallbildern wird die Stärke einer Quelle als Schalldruckpegel L_p angegeben, den diese in der Mitte des Mikrofonarrays erzeugt.

Die Messungen werden im Prüfstand der Fa. ebm-papst gemacht. In diesem können aerodynamische und akustische Messungen gleichzeitig durchgeführt werden. Er besteht aus zwei Halbfreifeldräumen, in deren Trennwand der Ventilator eingebaut wird.

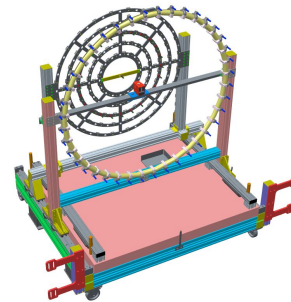


Abbildung 1: Aufbau des Mikrofonarrays als CAD Modell.

Messaufbau

Der Messaufbau ist in Abbildung 2 bis 4 zu sehen. Das Mikrofonarray wird saugseitig positioniert. Sein mittlerer Abstand zur Trennwand des Prüfstands beträgt $h = 1,425\text{ m}$ bei den Messungen unter ungestörter Zuströmung und mit Wärmetauscher sowie $h = 1,05\text{ m}$ bei den Messungen mit Kasten.

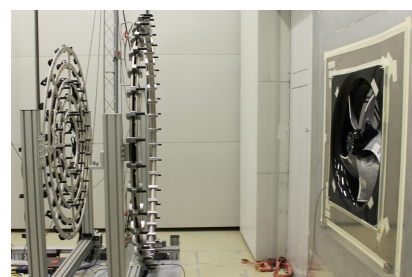


Abbildung 2: Messaufbau mit ungestörter Zuströmung.

Bei diesem Aufbau werden die oberen und unteren Mikrofone wegen des geringen Messabstands h durch den Wärmetauscher bzw. Kasten abgeschattet. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass diese Variante wegen der feineren Auflösung bei tiefen Frequenzen einem größeren Messabstand ohne Abschattung vorzuziehen ist.



Abbildung 3: Messaufbau mit saugseitig montiertem Wärmetauscher.

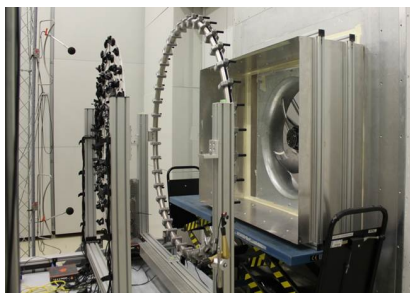


Abbildung 4: Messaufbau mit saugseitig montiertem Kasten.

Die Untersuchungen werden an einem Axialventilator mit $d = 0,788$ m Durchmesser gemacht. Bei diesem können die Vorderkanten gewechselt werden. In Abbildung 5 ist zu sehen, welcher Bereich der Vorderkanten ausgetauscht werden kann.



Abbildung 5: Axialventilator mit wechselbaren Vorderkanten.

Einfluss der Zuströmung auf die Spektren

In Abbildung 6 ist die spektrale Schalleistung $L_W(f)$ für die drei Zuströmbedingungen mit Standardvorderkante dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Schallabstrahlung im tiefen und mittleren Frequenzbereich durch die gestörte Zuströmung in beiden Fällen erhöht wird. Bei

Zuströmung durch den Kasten ist die Differenz $\Delta L_W(f)$ deutlich größer als mit Wärmetauscher.

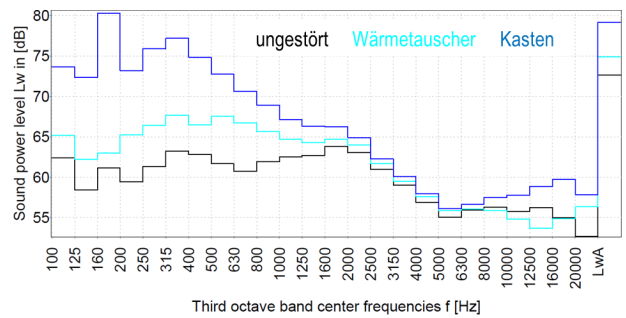


Abbildung 6: Terzbandspektren der Schalleistung $L_W(f)$ mit Standard Vorderkante für die drei Zuströmbedingungen.

Messergebnisse mit Wärmetauscher

In Abbildung 7 sind die Terzbandspektren der Schalleistung $L_W(f)$ für die Messung mit Standardvorderkante und poröser Vorderkante zu sehen. Sie sind mit saugseitig montiertem Wärmetauscher aufgenommen worden.

Die Schalleistung konnte durch den Einsatz poröser Vorderkanten in keinem Terzband verringert werden. Bis zu der Frequenz $f = 2500$ Hz liegen die Spektren, insbesondere ab $f = 630$ Hz, nah beieinander. Oberhalb dieser Frequenz $f > 2500$ Hz werden die Pegel $L_W(f)$ durch die porösen Vorderkanten deutlich erhöht. Letzteres wird wahrscheinlich durch Resonanzen in den Porositäten verursacht. Der A-bewertete Gesamtschalleistungspegel $L_{W,A}$ wird durch die porösen Vorderkanten leicht erhöht.

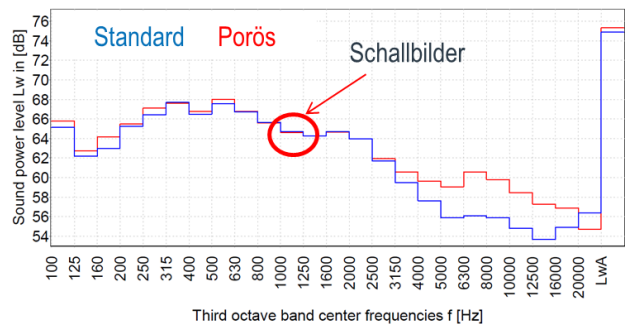


Abbildung 7: Terzbandspektren der Schalleistung $L_W(f)$ mit Standard- und poröser Vorderkante und saugseitig montiertem Wärmetauscher.

Mit Hilfe von Schallbildern soll untersucht werden, weshalb die Schallemission durch den Einsatz poröser Vorderkanten im vorliegenden Fall nicht verringert werden kann. Sie sind in Abbildung 8 und 9 für das Terzband $f = 1000$ Hz zu sehen. Diese Frequenz wird gewählt, weil dort der Wärmetauscher zum einen noch Einfluss auf die Schallentstehung hat und zum anderen die Auflösung des Mikrofonarrays ausreichend fein ist.

In Abbildung 8 werden die Schallbilder für die Standardvorderkante bei ungestörter Zuströmung und mit Wärmetauscher verglichen. Bei ungestörter Zuströmung

werden die stärksten Schallquellen in der Mitte der Schaufel gefunden. Sie sind von mehreren schwächeren Quellen umgeben.

Bei gestörter Zuströmung durch den Wärmetauscher fällt auf, dass sich die Position der stärksten Quellen kaum ändert. Sie werden leicht in Richtung Vorderkante verschoben, befinden sich aber immer noch deutlich hinter dieser. Die Quellen, die bei ungestörter Zuströmung gefunden werden, werden mit Wärmetauscher verstärkt und es kommen weitere hinzu. Diese sind im mittleren Bereich der Schaufelhöhe entlang der gesamten Sehnenlänge verteilt.

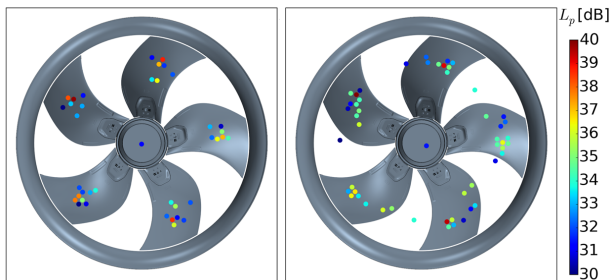


Abbildung 8: Schallbilder der Frequenz $f = 1000$ Hz. Mit Standardvorderkante bei ungestörter Zuströmung (links) und Wärmetauscher (rechts).

In Abbildung 9 ist zu sehen, dass sich diese Quellverteilung durch die porösen Vorderkanten kaum ändert. Dies kann wie folgt interpretiert werden: Die porösen Vorderkanten haben keine entscheidende Wirkung, weil die stärksten Schallquellen, die die Schallabstrahlung dominieren, nicht in deren Bereich liegen. Stattdessen werden durch die turbulente Zuströmung hinter dem Wärmetauscher Schallquellen verstärkt, die bereits bei ungestörter Zuströmung gefunden werden.

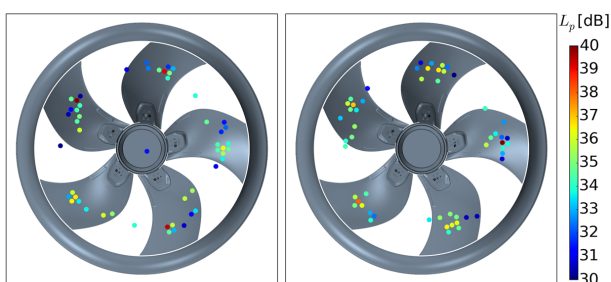


Abbildung 9: Schallbilder der Frequenz $f = 1000$ Hz. Mit Standardvorderkante (links) und poröser Vorderkanten (rechts) bei Zuströmung durch den Wärmetauscher.

Messergebnisse mit Kasten

Als nächstes werden die Messergebnisse mit Zuströmung durch einen Kasten diskutiert. In Abbildung 10 sind die Terzbandspektren der Schalleistung $L_W(f)$ für die beiden Vorderkanten zu sehen. Im Frequenzbereich $250 \text{ Hz} \leq f \leq 1600 \text{ Hz}$ wird die Schallabstrahlung durch die porösen Vorderkanten verringert. Bei hohen Frequenzen

$f > 2500 \text{ Hz}$ liegt das Spektrum der porösen Vorderkanten wie schon im Fall mit Wärmetauscher über dem der Standardvorderkanten. Die A-bewertete Gesamtschalleistung $L_{W,A}$ ist mit porösen Vorderkanten leicht niedriger als mit Standardvorderkante.

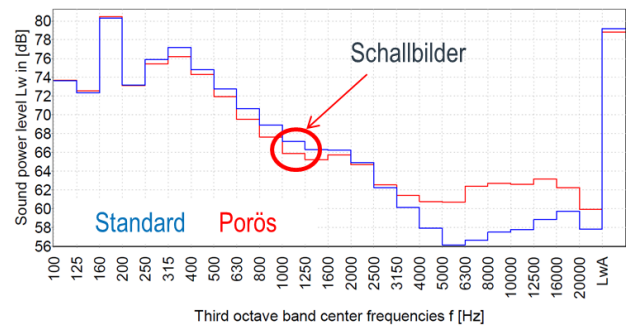


Abbildung 10: Terzbandspektren der Schalleistung $L_W(f)$ mit Standard- und poröser Vorderkante. Mit saugseitig montiertem Kasten.

Das Schallbild der Messung mit Standardvorderkante und Zuströmung durch den Kasten unterscheidet sich von jenem mit Wärmetauscher (Abbildung 11). Die Schallquellen erzeugen höhere Schalldruckpegel L_p , weshalb auch die Farbskala gegenüber Abbildung 8 und 9 um $\Delta L_p = 5 \text{ dB}$ angehoben ist. Sie liegen weiter außen und deutlich näher an der Vorderkante.

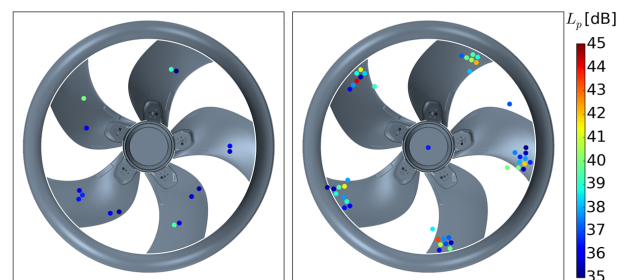


Abbildung 11: Schallbilder der Frequenz $f = 1000$ Hz. Mit Standardvorderkante bei Zuströmung durch Wärmetauscher (links) und Kasten (rechts).

Im Ergebnis der Messung mit poröser Vorderkante (Abbildung 12) sind diese äußeren Schallquellen nicht mehr bzw. stark abgeschwächt zu sehen. Es werden stattdessen Quellen weiter innen gefunden. Ihre Positionen und Pegel ähneln denen der Schallquellen in Abbildung 9 mit Wärmetauscher. Diese Ergebnisse können wie folgt interpretiert werden: Die Zuströmung durch den Kasten verursacht Schallquellen im äußeren Bereich der Vorderkante. Diese dominieren die Schallabstrahlung. Durch den Einbau poröser Vorderkanten können sie weit abgeschwächt werden. Dadurch erscheinen in den entsprechenden Schallbildern Quellen in ähnlichen Bereichen wie bei der Zuströmung durch den Wärmetauscher. Es ist denkbar, dass es sich dabei um Quellen handelt, die durch den gleichen Mechanismus wie im Fall mit Wärmetauscher entstehen. Aufgrund der niedrigen Dynamik eines Ringarrays werden sie nicht gefunden, wenn starke Schallquellen im Außenbereich vorhanden sind.

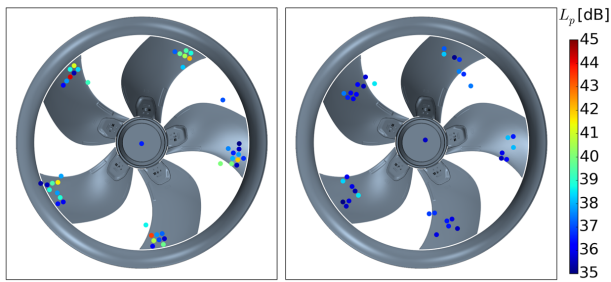


Abbildung 12: Schallbilder der Frequenz $f = 1000$ Hz. Mit Standardvorderkante (links) und poröser Vorderkanten (rechts) bei Zuströmung durch den Kasten.

Zusammenfassung

Bei gestörter Zuströmung z.B. durch einen Wärmetauscher wird die Schalleistung eines Ventilators im tiefen und mittleren Frequenzbereich erhöht. Es wurde untersucht, ob durch den Einsatz poröser Vorderkanten diese Erhöhung verkleinert werden kann. Dazu sind neben Schalleistungsmessungen auch Messungen mit dem Mikrofonarray-System der Firma ebm-papst gemacht worden. Mit diesem können durch virtuelle Rotation des Arrays auch bewegte Schallquellen auf den Schaufeln eines Ventilators lokalisiert werden. Dies ist auch möglich, wenn sich der Schall durch einen Wärmetauscher hindurch ausbreiten muss.

Die Zuströmung wird zum einen durch einen Wärmetauscher und zum anderen durch einen saugseitig montierten Kasten gestört. Letzterer entspricht einem Wärmetauscher ohne Lamellen.

Im Fall mit Wärmetauscher kann die Schallabstrahlung bei tiefen und mittleren Frequenzen durch den Einsatz poröser Vorderkanten nicht verringert werden. In den Schallbildern des Mikrofonarrays ist zu sehen, dass die stärksten Schallquellen nicht an der Vorderkante gefunden werden. Stattdessen werden Quellen, die schon bei ungestörter Zuströmung vorhanden sind, verstärkt.

Im Fall der Zuströmung durch einen Kasten wird die Schallabstrahlung im tiefen und mittleren Frequenzbereich durch den Einsatz poröser Vorderkanten verringert. Aus den Schallbildern kann geschlossen werden, dass bei dieser Zuströmung der äußere Bereich der Standardvorderkante die dominierende Schallquelle ist. Durch den Einsatz poröser Vorderkanten wird diese Schallquelle stark abgeschwächt und es werden Quellen an den Orten und mit den Pegeln gefunden, die denen bei der Zuströmung durch den Wärmetauscher ähneln.

Literatur

- [1] Carolus, T.: Ventilatoren. Springer Vieweg (2013)
- [2] Herold, G., Sarradj, E.: Microphone Array Method for the Characterization of Rotating Sound Sources in Axial Fans. Fan 2015, Lyon, France (2015)
- [3] Sijtsma, P.: CLEAN based on spatial source coherence. International Journal of Aeroacoustics (2007)

- [4] Sarradj, E.: Three-Dimensional Acoustic Source Mapping with Different Beamforming Steering Vector Formulations. Advances in Acoustics and Vibration (2012)