

Den Schallquellen auf der Spur

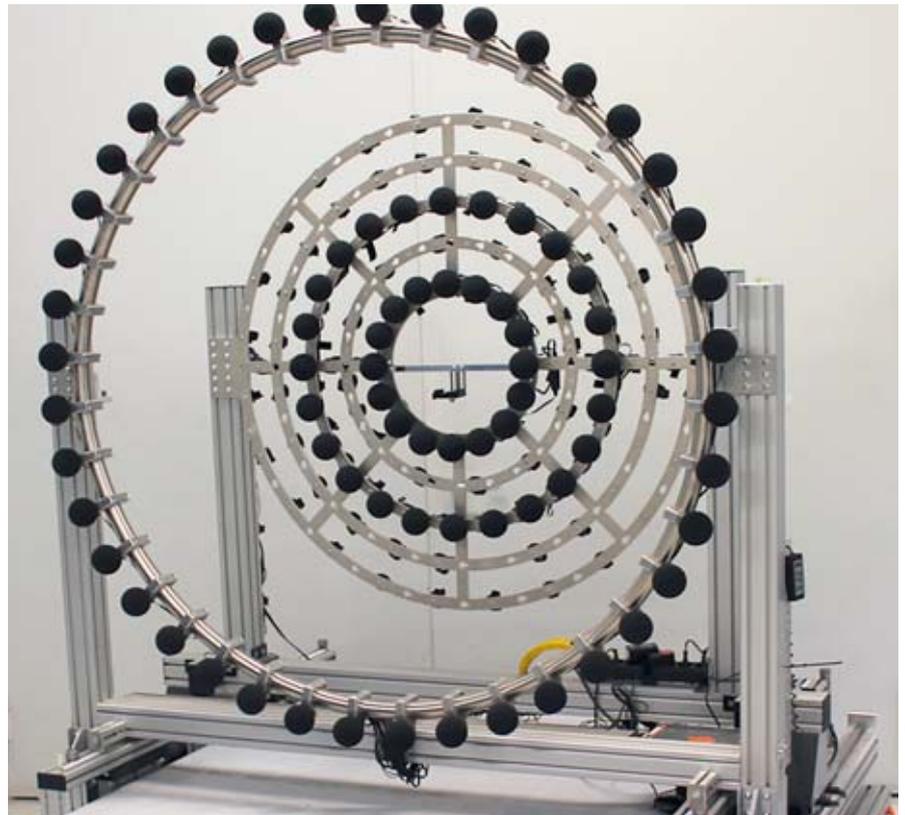
VENTILATORENTECHNIK Hier hat sich im Lauf der letzten Jahre einiges getan. Hocheffiziente, strömungstechnisch optimierte EC-Ventilatoren sind heute Stand der Technik und setzen sich in vielen Anwendungsbereichen der Kälte- und Klimatechnik durch. Dennoch gibt es immer Optimierungspotenzial, denn bei Ventilatoren sind nicht nur Effizienz und die aerodynamischen Daten (Luftleistung) ein wichtiges Qualitätsmerkmal, sondern auch die Geräuschentwicklung.

*Dr. Marc Schneider,
Gruppenleiter Entwicklung
Strömungstechnik, ebm-papst, Mulfingen*

■ Gerade die Geräuschentwicklung ist bei einem Ventilator allerdings eine sehr komplexe Erscheinung, da viele Schallquellen gleichzeitig die Wahrnehmung beeinflussen und es oft schwierig ist, die einzelnen voneinander zu trennen. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die Einbausituation mitberücksichtigt werden muss. Auf dem Weg zum optimalen Ventilator sind gründliche akustische Untersuchungen deshalb unerlässlich.

Schallquellen bei Ventilatoren auf die Spur zu kommen ist nicht einfach, denn während aerodynamische Simulationsprogramme recht weit entwickelt und am Markt etabliert sind, ist die Simulation von Aeroakustik heute noch Gegenstand der Forschung. Die erforderliche räumliche Auflösung kleiner turbulenter Strukturen verlangt im Vergleich zur aerodynamischen Simulation wesentlich höhere Zellzahlen.

Für einen Ventilator in einer bestimmten Strömungssituation können das sogar mehrere Millionen im zwei bis dreistelligen Bereich sein. Zudem ist immer eine hohe zeitliche Auflösung notwendig, typische Schritte liegen hier im Bereich von 10µs. Die benötigten Rechenressourcen und der damit ver-



→ Bild 1: Das kreisförmige Mikrofonarray, bei dem 80 Mikrofone auf zwei Ebenen angeordnet sind, ist im Ventilatorenprüfstand auf der Saugseite eingesetzt

bundene zeitliche und finanzielle Aufwand sind dementsprechend hoch. Deshalb werden auch z. B. bei Ventilatoren nur die größte-

ren (für die Akustik relevanten) turbulenten Strukturen aufgelöst.

Trotz dieser Einschränkungen bleibt der Aufwand beachtlich und zurzeit wird an Ansätzen zur Reduktion des Rechenaufwands gearbeitet. Unterstützung bringen dabei auch experimentelle Verfahren.

Beamforming mit dem Mikrofonarray

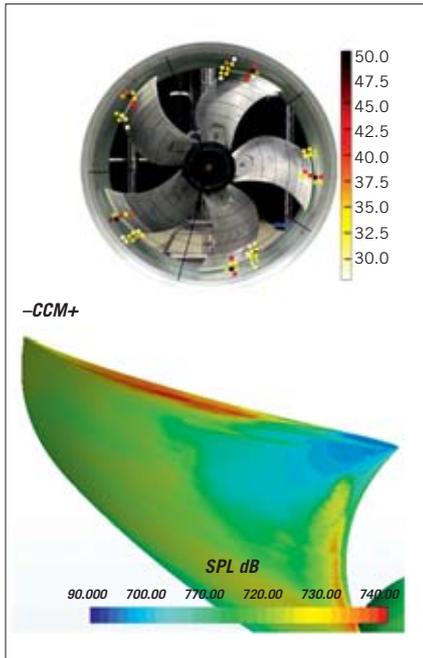
Als experimentelles Verfahren zur Ortung von Schallquellen am rotierenden Ventilator nutzt der Motoren- und Ventilatorenspezialist ebm-papst beispielsweise das sogenannte Beamforming-Verfahren als Ergänzung zu der auf-

Über ebm-papst

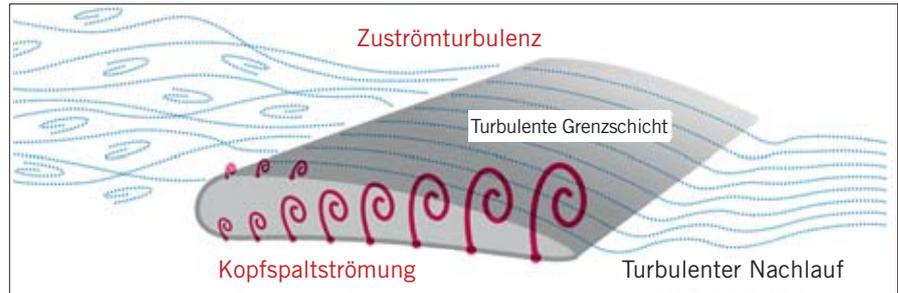
Die ebm-papst-Gruppe, Familienunternehmen mit Hauptsitz in Mulfingen, Baden-Württemberg, ist weltweit führender Hersteller von Ventilatoren und Antrieben. Seit der Gründung 1963 setzt man auf die Kernkompetenzen Motortechnik, Elektronik und Aerodynamik. Mit über 20000 Produkten bietet ebm-papst passgenaue, energieeffiziente und intelligente Lösungen für praktisch jede Anforderung in der Luft- und Antriebstechnik.

Im Geschäftsjahr 2019/20 erzielte ebm-papst einen Umsatz von 2,188 Mrd. € und beschäftigte knapp 15000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an 29 Produktionsstätten (u.a. in Deutschland, China und den USA) sowie 48 Vertriebsstandorten weltweit. Den Benchmark bei Ventilatoren- und Antriebslösungen setzt ebm-papst in nahezu allen Branchen wie z. B. in der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik, Maschinenbau, Intralogistik u.v.m.

Quelle: alle Bilder ebm-papst



→ **Bild 2:** Das Beamforming-Verfahren erkennt die gleichen Trends wie die aeroakustische Simulation – aufgrund der experimentellen Ergebnisse lässt sich somit auch die numerische Simulation überprüfen und optimieren



→ **Bild 3:** Die Zuströmturbulenzen und die Kopfspaltströmung sorgen für eine Geräuscherhöhung – Zuströmturbulenzen kommen vor allem dann zum Tragen, wenn der Ventilator eingebaut ist

wändigen aeroakustischen Simulation. Herzstück ist ein kreisförmiges Mikrofonarray (**Bild 1**), bei dem 80 Mikrofone auf zwei Ebenen angeordnet sind. Das Mikrofonarray ist im Ventilatorenprüfstand auf der Saugseite eingesetzt und misst dort die Laufzeitunterschiede der Schallwellen zu den einzelnen Mikrofonen. Ausgeklügelte Algorithmen werten dann die über 30 Sekunden bei bekannter Ventilator Drehzahl gewonnenen Daten aus. Das Ergebnis zeigt, dass das Beamforming-Verfahren die gleichen Trends erkennt wie die aeroakustische Simulation (**Bild 2**).

Aufgrund der experimentellen Ergebnisse lässt sich somit auch die numerische Simulation überprüfen und optimieren.

Die Auswertungen lassen bei einem typischen Axialventilator zwei dominante Geräuschquellen erkennen: die Kopfspaltströmung zwischen Schaufel und Wandring sowie die sogenannten Zuströmturbulenzen (**Bild 3**). Am Kopfspalt kommt es durch den Druckunterschied zwischen der Druck- und Saugseite zur Überströmung der Ventilator-schaufel an der Schaufelspitze. Die Strömung interagiert dort mit den vorhandenen



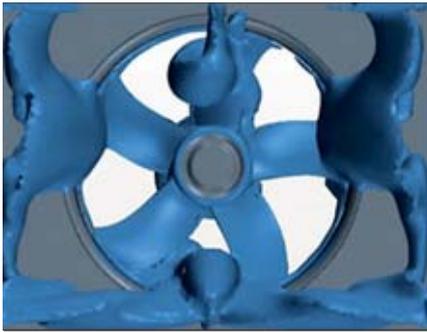
etz-stuttgart.de

- **Messtechnik – Prüfungen nach DIN EN 60204 (DIN VDE 0113)**
12. Mai 2021
- **Prüfung v. berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen DIN EN ISO 13855**
17. Mai 2021 – 18. Mai 2021
- **Automatisierungstechniker/in (ZVEI)**
07. Juni 2021 – 11. Juni 2021 (TIA Portal – Level 1)
26. Juli 2021 – 30. Juli 2021 (CODESYS – Level 1)
- **Schaltplanerstellung mit EPLAN Electric P8**
28. Juni 2021 – 30. Juni 2021
- **Meisterkurs Elektromaschinenbau Teil I + II (HWK)**
17. September 2021 – 31. März 2023

Weitere Kurse aus den Bereichen der Mechatronik und Elektro-/Informationstechnik finden Sie im Internet.



Bildung. Zukunft. etZ.
Elektro Technologie Zentrum
 Krefelder Straße 12 / 70376 Stuttgart
 T 0711 955916-0 / E info@etz-stuttgart.de



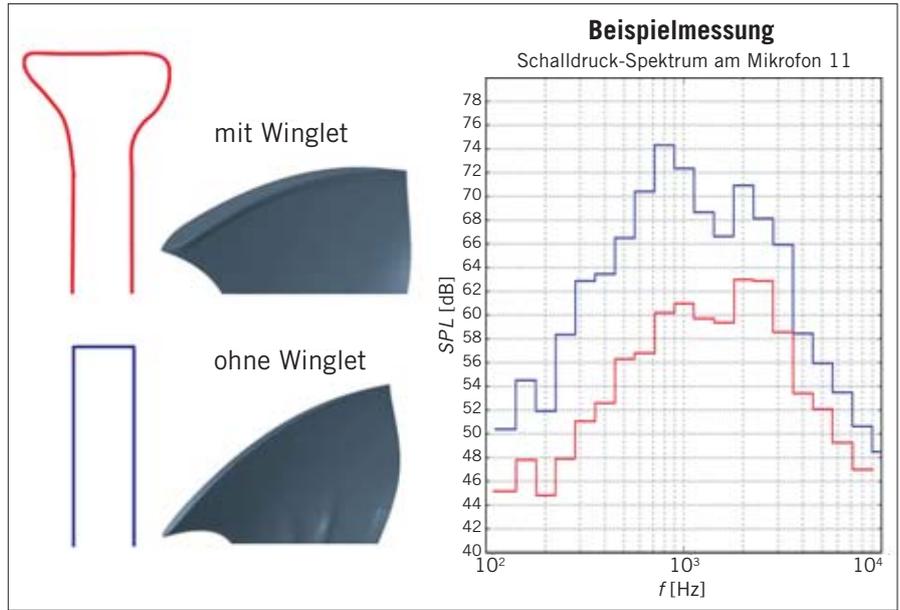
→ Bild 4: Wirbelzöpfe in einer kastenförmigen Zuflusssituation

Kanten, also der Schaufeloberfläche und der umgebenden Gehäusewand. Es bilden sich Wirbel, die bei der Ablösung den Schallpegel um bis zu 10 dB erhöhen können.

Zuströmturbulenzen kommen vor allem dann zum Tragen, wenn der Ventilator eingebaut ist. Für den Test mit dem Mikrofonarray wurde dazu ein Kasten gewählt, wie er beispielsweise bei Wärmetauschern üblich ist. An den Gehäusewänden entstehen Rückströmgebiete mit entsprechender Zirkulation, also Luftverwirbelungen. Diese werden dann zu den Stellen mit dem engsten Abstand zwischen Ventilator und Gehäusewand gezogen. Dort verbinden sich die Verwirbelungen beider Seiten miteinander. Diese »Wirbelzöpfe« sorgen dann für hohe Turbulenzen (Bild 4). An der Schaufelvorderkante kommt es dadurch zu großen Druck- und Geschwindigkeitsschwankungen, was zu teilweise drastischen Zusatzgeräuschen vor allem im niederfrequenten Bereich führt. Zum einen entsteht ein breitbandiges Rauschen, zum anderen aber auch schmalbandige tonale Schallanteile, die auch als Drehklang bezeichnet werden. Die dafür typischen, unangenehm »brummen- den« Geräusche hat wohl jeder schon einmal gehört.

Von der Ursachenforschung zur Geräuschbekämpfung

Sind die Geräuschquellen lokalisiert, lassen sich Maßnahmen ergreifen, um die Aeroakustik der Ventilatoren zu verbessern: Wie sich zeigte, hat der Spaltabstand zwischen Schaufelspitze und Wandring einen großen Einfluss auf das Geräuschverhalten. Zwar nimmt das Geräusch bei kleiner werdendem Spalt ab, aber das Spaltmaß kann aufgrund fertigungsbedingter Notwendigkeiten nicht beliebig verkleinert werden, ohne Berührungen der Schaufelspitze am Wandring zu riskieren.



→ Bild 5: Mit Winglets (rot) an der Schaufelspitze können die Kopfspaltströmung und die sich bildenden Wirbel so beeinflusst werden, dass sich eine deutliche Geräuschreduktion ergibt

Hier helfen »Winglets« weiter. Mit diesen definierten geometrischen Verformungen an der Schaufelspitze können die Kopfspaltströmung und die sich bildenden Wirbel so beeinflusst werden, dass sich eine deutliche Geräuschreduktion ergibt (Bild 5). Die Kopfspaltströmung wird positiv beeinflusst, was die Interaktion der Strömung mit den Kanten verringert. So ergibt sich eine Schalleistungsreduktion von bis zu 10 dB.

Um die Zuströmturbulenzen zu reduzieren, helfen geometrische Veränderungen am Ventilator alleine nicht, da sich diese aus der Einbausituation ergeben. Zusätzliche Dämmmaßnahmen am Gehäuse bringen meist auch wenig Erfolg, denn entsprechende Dämmplatten wirken typischerweise erst ab höheren Frequenzen.

Weiter hilft ein anderer Ansatz: Verbessert man die Zuflutung der Luft zum Ventilator,

verringern sich die Turbulenzen und somit auch die durch sie verursachten, lästigen niederfrequenten Geräusche. Bei ebm-papst hat man deshalb ein spezielles Vorleitgitter (Flowgrid) entwickelt, das praktisch wie ein Gleichrichter auf die Luftzufuhr wirkt. Es reduziert dadurch drastisch die geräuscherzeugenden Störungen in der Zuflutung und wirkt bei Axial- und Radialventilatoren gleichermaßen (Bild 6). Unabhängig von den baulichen Gegebenheiten und der Einbausituation im Gehäuse erreichen die Ventilatoren damit Geräuschwerte, die mit dem Betrieb unter Labortestbedingungen vergleichbar sind. Die aeroakustischen Untersuchungen haben damit bewiesen, dass sie erheblich zur Ventilatoren-Optimierung beitragen. Auf die Zukunft darf man gespannt sein, sicher werden die energieeffizienten Ventilatoren von ebm-papst immer noch ein bisschen leiser werden. ■



→ Bild 6: Unabhängig von den baulichen Gegebenheiten und der Einbausituation im Gehäuse erreichen die Ventilatoren mit dem Vorleitgitter (Flowgrid) Geräuschwerte, die mit dem Betrieb unter Labortestbedingungen vergleichbar sind