

Bedeutung der Laufrad-Anströmung für die Aeroakustik eines Kfz-Kühlerlüfters

Maren Gollub¹, Dieter Gnant², Reinhard Blumrich¹, Christoph Semmler² und Jochen Wiedemann¹

¹ FKFS, 70569 Stuttgart

² Daimler AG, 71059 Sindelfingen

Einleitung

Im Stand von Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb aber auch insbesondere im Ladebetrieb von Elektrofahrzeugen kann das Außengeräusch vom Kühlerlüfter deutlich dominiert werden [1] [2]. In diesen Betriebszuständen fehlen andere, maskierende Geräusche. Besonders störend werden tonale Komponenten des Lüftergeräusches empfunden [1], die trotz gängiger Schallreduktionsmaßnahmen weiterhin signifikant vorhanden sind. Um neue Reduktionsmaßnahmen entwickeln zu können, werden die Ursachen der tonalen Komponenten eines Serienlüfters in Einbausituation detailliert experimentell analysiert.

Grundlagen der Schallentstehung

Tonaler Schall, der effektiv abgestrahlt wird, kann bei Ventilatoren durch die sogenannte Rotor-Stator-Interaktion entstehen [3]. Begegnet eine Rotorschaukel während der Rotation dem Nachlauf einer Statorschaukel, dann entsteht ein Druckpuls [4]. Gleiches gilt auch für die Wechselwirkung des Rotors mit einer ungleichförmigen (bzw. asymmetrischen) Zuströmung [4]. Vereinfacht betrachtet bilden die Druckpulse ein Druckfeld, das mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit rotiert [4]. An einem festen Ort im ruhenden Bezugssystem wird dieses rotierende Druckfeld als zeitliche Druckschwingung und damit als Ton wahrgenommen [4].

Prüfstands Aufbau

Zur Untersuchung der tonalen Komponenten des Kfz-Lüfters wurde ein Prüfstand entwickelt, der die Einbausituation im Fahrzeug berücksichtigt (vgl. Abb. 1). Aus einem vergleichbaren Systemdruckverlust und ähnlichen Zu- und Abströmverhältnissen resultiert eine zum Fahrzeug vergleichbare Akustik [5]. Um sich auf die Aeroakustik des Lüfters konzentrieren zu können, wird dieser von einem gekapselten Elektromotor im Bereich der Verbrennungsmotorattrappe über eine Welle angetrieben (vgl. Abb. 1). Dabei wird der stehende Teil des ursprünglichen Antriebs durch eine E-Motor-Attrappe ersetzt.

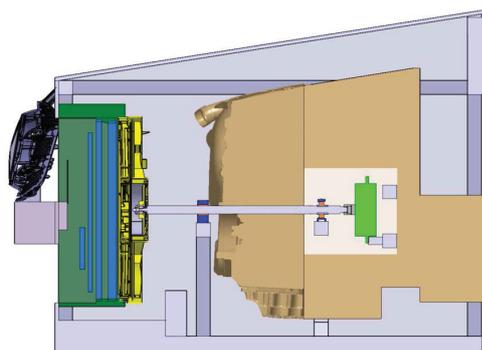


Abbildung 1: Skizze des Prüfstandsbaus

Bei dem in diesem Beitrag untersuchten Kfz-Lüfter handelt es sich um einen Serienlüfter (vgl. Abb. 2). Zur Geräuschreduktion weist das Laufrad gesichelte und asymmetrisch über den Umfang angeordnete Schaufeln auf, die an den Blattspitzen über einen Mantelring miteinander verbunden sind. Die Anzahl an Laufradschaufeln und Motorhaltestreben ist aufeinander abgestimmt und letztere sind auch asymmetrisch über den Umfang angeordnet.



Abbildung 2: Untersuchter Kfz-Serienlüfter

Untersuchung der Schallentstehung

Erste Untersuchungen zur Schallquellenortung lieferten für die dominante tonale Komponente bei 290 Hz (1. Blattfolgefrequenz) Quellen im oberen und unteren Laufradbereich [5]. Um weitere Hinweise zur Entstehung der einzelnen tonalen Komponenten zu bekommen, wurden detaillierte experimentelle Untersuchungen durchgeführt.

In einem Halbfreifeldraum wurde hierzu das Lüftergeräusch des Prüfstands in 2 m Abstand stromauf des Lüfters und in 1,65 m Höhe vom Boden mit einem Kunstkopf aufgezeichnet. Dies ist der Referenzpunkt für die akustischen Messungen, da der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem von einem Passanten wahrgenommenen Außengeräusch liegt.

Durch Modifikation der Lüfterzarge und weiteren Maßnahmen wurde der Einfluss

- der Abdichtung zwischen Lüfter und Kühler,
- der Motorhaltestreben,
- der sonstigen Zargenelemente und
- des Kühler-Lüfter-Abstands

auf die tonalen Komponenten des Lüftergeräusches untersucht. Während mit Punkt 2 die Rotor-Stator-Interaktion betrachtet wurde, zielen die Punkte 1,3 und 4 auf die ungleichförmige Zuströmung als Ursache für Schallentstehung ab.

Einfluss der Abdichtung zwischen Lüfter und Kühler

Bei dem vorliegenden Kühlmodul liegt der Lüfter an den seitlichen Rändern auf dem Kühler direkt auf. Am oberen

und unteren Rand hingegen sind Spalte vorhanden. Im ersten Schritt wurden diese Spalte abgedichtet. Der Vergleich der Geräuschspektren mit und ohne Spaltabdichtung zeigt deren Einfluss auf das Geräusch des Original-Lüfters (vgl. Abb. 3). Durch die Spaltabdichtung wird das relativ breitbandige lokale Maximum bei ca. 3,8 kHz eliminiert und die dominante tonale Komponente bei 290 Hz geringfügig reduziert. Die Spaltabdichtung führt jedoch auch zu einer Erhöhung der tonalen Komponenten bei 415 Hz und 580 Hz.

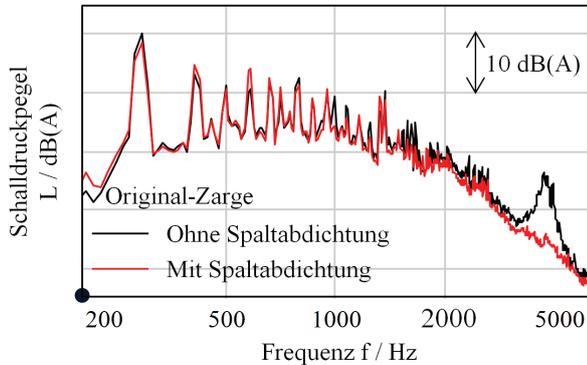


Abbildung 3: Einfluss der Spaltabdichtung auf das Geräusch des Original-Lüfters (Gesamtpegelreduktion um 0,5 dB(A))

Einfluss der Motorhaltestreben

Im zweiten Schritt wurden die Motorhaltestreben sowie die E-Motor-Attrappe entfernt. Die Verlängerungen der Motorhaltestreben im Zargenplenum wurden beibehalten. Der Vergleich der Geräuschspektren mit und ohne Motorhaltestreben liefert den Anteil, der aus der Interaktion des Laufrads mit den Motorhaltestreben resultiert (vgl. Abb. 4). Es ergibt sich eine Reduktion einiger tonaler Komponenten, wobei die dominante erste und zweite Blattfolgefrequenz bei 290 Hz und 580 Hz davon unberührt bleibt.

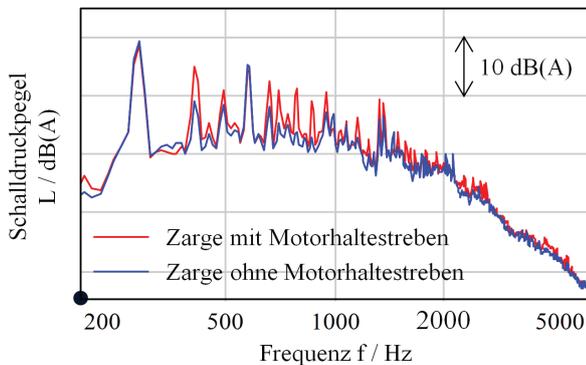


Abbildung 4: Einfluss der Motorhaltestreben auf das Lüftergeräusch (mit Spaltabdichtung, Gesamtpegelreduktion um 1 dB(A))

Einfluss sonstiger Zargenelemente

Im Anschluss wurden die Verlängerungen der Motorhaltestreben, die Steckerhalterung, die Zargenfixierungen oben und unten entfernt, Vertiefungen aufgefüllt und Öffnungen abgedichtet. Durch den Vergleich dieser idealisierten Zarge mit der Zarge ohne Motorhaltestreben ergibt sich der Anteil dieser sonstigen Zargenelemente (vgl. Abb. 5). Vor allem wird durch diese Zargenelemente die erste Blattfolgefrequenz bei 290 Hz deutlich reduziert.

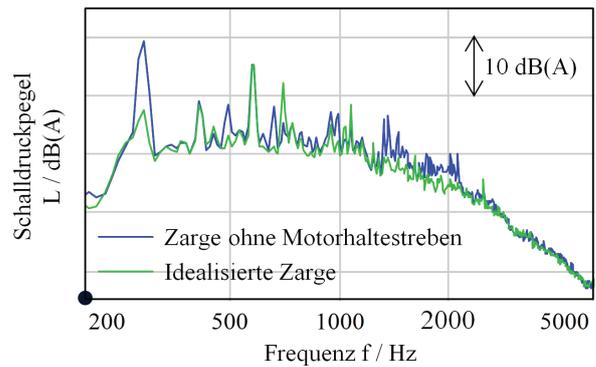


Abbildung 5: Einfluss der sonstigen Zargenelemente auf das Lüftergeräusch (mit Spaltabdichtung, Gesamtpegelreduktion um 2 dB(A))

Für die idealisierte Zarge hat die Spaltabdichtung einen anderen Einfluss, sie trägt wesentlich zur Pegelreduktion bei (vgl. Abb. 6). Ohne Spaltabdichtung erhöhen sich einige tonale Komponenten u.a. bei 290 Hz deutlich. Das lokale Maximum bei ca. 3,8 kHz tritt ohne Spaltabdichtung nicht auf, da es von Öffnungen stammt, die bei dieser Zargenvariante abgedichtet sind.

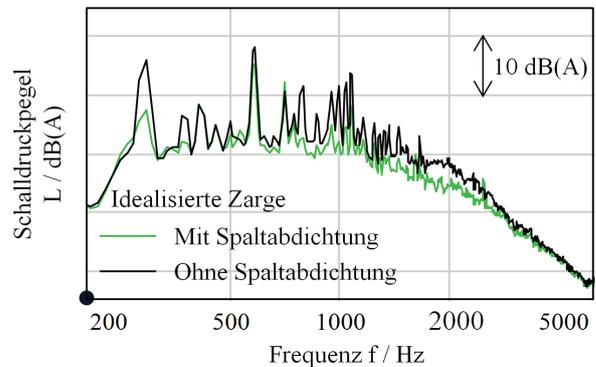


Abbildung 6: Einfluss der Spaltabdichtung auf das Lüftergeräusch mit idealisierter Zarge (Gesamtpegelreduktion um 3 dB(A))

Einfluss des Kühler-Lüfter-Abstands

Zuletzt wurde untersucht, ob der Abstand zwischen Kühler und Lüfter einen Einfluss auf die Zuströmung und damit auf die tonalen Komponenten des Lüftergeräuschs hat. Hierzu wurde lediglich die idealisierte Zarge im Prüfstands Aufbau 20 mm weiter stromab platziert. Durch einen größeren Abstand ergibt sich eine deutliche Reduktion der zweiten Blattfolgefrequenz bei 580 Hz sowie der Frequenzen 415 Hz und 1080 Hz (vgl. Abb. 7). Resultat ist ein Geräusch nahezu ohne tonale Komponenten.

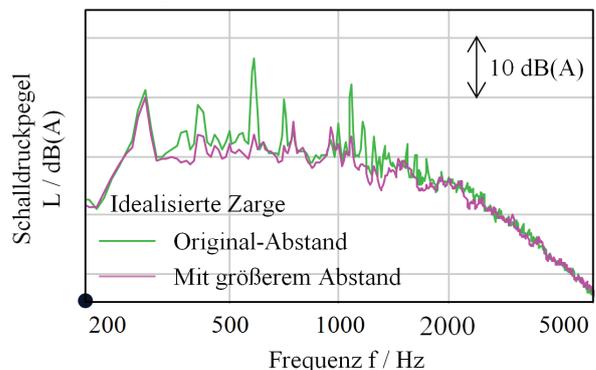


Abbildung 7: Einfluss des Kühler-Lüfter-Abstands auf das Lüftergeräusch mit idealisierter Zarge (mit Spaltabdichtung, Gesamtpegelreduktion um 2,9 dB(A))

Zusammenfassung und Ausblick

Für einen Kfz-Kühlerlüfter, der schon übliche Maßnahmen zur Reduktion der tonalen Komponenten infolge der Rotor-Stator-Interaktion aufweist, wurden die Ursachen der Schallentstehung in Einbausituation experimentell analysiert. Zum einen verursachen die zum Laufrad anströmseitig platzierten Motorhaltestreben aufgrund der Interaktion mit den Laufradschaufeln noch tonale Komponenten. Die erste Blattfolgefrequenz wird durch eine gestörte Anströmung zum einen aufgrund der Spalte und zum anderen aufgrund der sonstigen anströmseitig platzierten Zargenelemente verursacht. Offensichtlich entsteht die zweite Blattfolgefrequenz ebenfalls durch eine gestörte Anströmung, die vom Kühler-Lüfter-Abstand beeinflusst wird. Die laufradnahe Anströmsituation zeigt sich somit als effiziente Möglichkeit, die vorhandenen tonalen Anteile zu reduzieren. Es wurde hierdurch ein deutlich angenehmeres Geräusch erreicht.

Um fahrzeugaugliche Reduktionsmaßnahmen entwickeln zu können, beschäftigen sich zukünftige Untersuchungen detaillierter mit den konkreten Schallentstehungsmechanismen der ersten und zweiten Blattfolgefrequenz.

Literatur

- [1] Zeller, P.: Handbuch Fahrzeugakustik. Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch. Wiesbaden: Viewig+Teubner Verlag, 2012.
- [2] Kohlenberg, F.; Letens, U.: Bewertung der Lästigkeit von Geräuschen während des stationären Ladens batterieelektrischer Fahrzeuge. Poster / DAGA 2018, 19.-22. März 2018, München.
- [3] Neise, W.: Grundlagen der Schallentstehung und Lärminderungsmaßnahmen bei Ventilatoren. In: Bommes, L.; Fricke, J.; Klaes, K. (Hrsg.): Ventilatoren. Essen: Vulkan-Verlag, 1994.
- [4] Carolus, T.: Ventilatoren. Aerodynamischer Entwurf, Schallvorhersage, Konstruktion. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2013.
- [5] Gollub, M.; Gnannt, D.; Blumrich, R., Semmler, C.; Wiedemann, J.: Bestimmung aeroakustischer Schallquellen an Kfz-Kühlerlüftern. In: Rottengruber, H.; Henze, W.; Luft, T. (Hrsg.): Motor- und Aggregate-Akustik. 10. Magdeburger Symposium. Tagungsband. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, IMS-EMA, 2018.