

Strömungsakustik an einem vereinfachten Fahrzeugklimasystem

Thomas Biermeier¹, Stefan Becker¹, Richard Borris², Paul Risch²

¹ Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik, 91058 Erlangen, Deutschland, Email: Thomas.Biermeier@ipat.uni-erlangen.de

² AUDI AG, 85045 Ingolstadt, Deutschland, Email: Richard.Borris@audi.de

Einleitung

Ökonomische und ökologische Aspekte erfordern neue, effiziente Antriebskonzepte für Fahrzeuge, wie z. B. Hybrid- oder Elektroantriebe. Der Wegfall der Verbrennungsmotoren, welche derzeit die akustische Kulisse im Fahrzeug dominieren, führt unausweichlich zur Demaskierung bisher nicht wahrnehmbarer Lärmquellen. Um auch für zukünftige Fahrzeugkonzepte eine angenehme Geräuschkulisse sicherstellen zu können, fokussiert sich die Automobilindustrie derzeit nachdrücklich auf derartige sekundäre Lärmquellen. Hierbei spielt das Fahrzeugklimatisierungssystem eine maßgebliche Rolle. Fahrzeugklimatisierungssysteme werden luftseitig durch die Laufradbewegungen des Lüftermoduls, sowie durch die turbulente Durchströmung der einzelnen Komponenten zu Schwingungen angeregt. Das vom jeweiligen Betriebspunkt abhängige Strömungsfeld, Hohlraummoden und Strukturschwingungen prägen die zwangsläufig resultierende, aber unerwünschte Schallabstrahlung. Bei bisherigen Lösungsansätzen stand die akustische Optimierung von Einzelkomponenten im Vordergrund. Auf Grund der vielfältigen Interaktion von strömungs- und strukturmechanischen, sowie akustischen Phänomenen kann aber nur durch eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Fahrzeugklimaanlage ein optimaler, geräuscharmer Zustand erreicht werden.

Ziel

Ziel der Untersuchungen ist es, die Schallabstrahlung des Gesamtsystems zu reduzieren und deren spektrale Verteilung zu bewerten. Hierbei gilt es, sowohl den Einfluss einzelner Systemkomponenten als auch die physikalischen Wechselwirkungen im Gesamtsystem zu analysieren. Am Ende der Forschungsarbeiten steht die Entwicklung eines Werkzeuges, das es erlaubt, Schallreduktionsmaßnahmen bereits in der Entwurfsphase von Klimaanlagen auf deren Wirksamkeit hin zu untersuchen.

Loesungsweg

Um ein besseres Systemverständnis zu entwickeln und die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse zu gewährleisten, wird ein komplementärer Ansatz gewählt. Die Untersuchungen erfolgen sowohl an Serienklimageräten, als auch an einem vereinfachten Anlagenmodell. Abb. 1 zeigt das vereinfachte Modell eines Klimageräteausströmers. Das vereinfachte Modell berücksichtigt alle relevanten akustischen Eigenschaften eines Serienklimageräts, wie z.B. breitbandiges Strömungsrauschen in Luftführungen oder an den Ausströmerlamellen entstehende, hochfrequen-

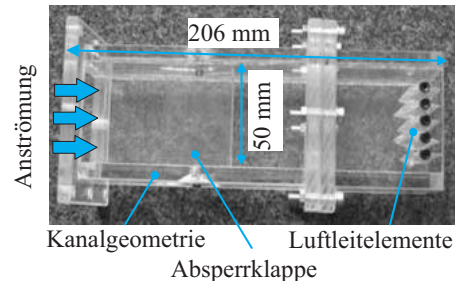


Abbildung 1: Vereinfachtes Modell eines Klimageräteausströmers. Alle aeroakustisch relevanten Eigenschaften eines Serienausströmers wurden bei der Konstruktion berücksichtigt.

te Schallanteile. Dieses Modell liefert Informationen über grundsätzliche physikalische Zusammenhänge des strömungsakustischen Verhaltens der Systemkomponenten. Ergänzt werden die experimentellen Untersuchungen durch numerische Simulationen an Einzelkomponenten, aber auch der Gesamtanlage. Im ersten Schritt wurde untersucht, ob es möglich ist, einzelne Klimagerätekomponenten, wie Frischluftansaugung oder Lüftermodul, für sie typischen Frequenzbereichen zuzuordnen. Im Anschluss daran werden die Schallentstehungsorte der Einzelkomponenten bestimmt, die abgestrahlte Schalleistung quantifiziert, sowie die Interaktion der Komponenten untersucht. Hierbei wird durch Vergleichsmessungen die Übertragbarkeit der an Komponenten und am Modell ermittelten Ergebnisse auf die akustischen Auswirkungen im Gesamtfahrzeug überprüft. Im letzten Schritt werden die Übertragungspfade des Schalls vom Entstehungsort bis in die Fahrgastzelle hinein ermittelt.

Ergebnis

In Abb. 2 sind die gemessenen Terzpegel bei konstantem Luftmassenstrom für unterschiedliche Frischluftansaugungen dargestellt. Die schwarze Messkurve zeigt die spektrale Schalldruckverteilung der Referenzkonfiguration. Die Frischluftansaugung erzeugt hierbei 4 % des Druckverlustes über das Gesamtsystem. Wird der Strömungswiderstand der Ansaugung auf 7 % erhöht, steigt der Schalldruckpegel (SPL) um 0,3 dB(A), siehe rote Kurve. Wie die blaue Kurve zeigt, wird bei einem Anstieg des Druckverlusts um 23 % das SPL um 1,7 dB(A) erhöht. Bei ansteigendem Druckverlust wird für einen konstanten Luftmassenstrom eine größere Lüfterraddrehzahl benötigt. Diese führt wieder-

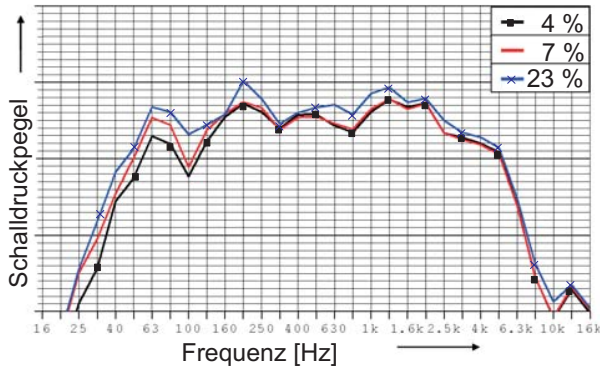


Abbildung 2: Schalldruckpegel in Abhängigkeit des Druckverlustes

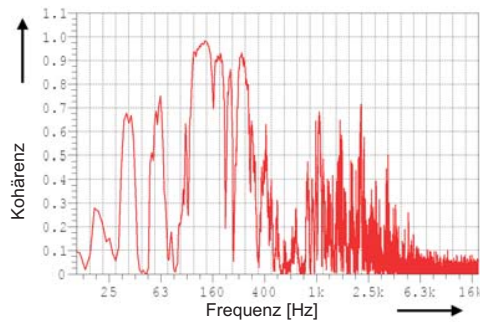


Abbildung 3: Kohärenz von Luftschall- und Beschleunigungssignal am Gehäuse

um zu größeren Geschwindigkeits- und Druckgradienten in der Strömung und somit zu einer vermehrten Schallentstehung. Zusätzlich führen geringe Unwuchten des Lüfterrads mit zunehmender Drehzahl zu größeren Amplituden der Gehäusevibration. Das Ergebnis ist ein erhöhter Anteil des Vibrationsschalls bei den Strukturschwingungen. Beide Effekte beeinflussen insbesondere den Frequenzbereich unterhalb 5 kHz.

Auch der akustische Einfluss an der Frischluftansaugung entstehender Strömungsabrissgeräusche auf die Fahrgastzelle konnte bestimmt werden. In mehreren Stufen wurde der Abstand der Frischluftansaugung zum Fahrzeuginnenraum mit Hilfe einer Luftführung vergrößert. Die an der Fahrerposition durchgeführten Kunstkopfmessungen ergaben keine Veränderungen der Geräuschkulisse. Ein direkter Zusammenhang zur im Ansaugkanal gemessenen Akustik ist in den Messungen nicht mehr nachweisbar. In der Abb. 3 ist der Kohärenzoeffizient zwischen dem Luftschall und dem Messsignal eines auf der Gerätewand angebrachten Beschleunigungsaufnehmers dargestellt. Insbesondere im Frequenzbereich zwischen ca. 100 Hz und ca. 350 Hz ergab sich mit über 90 % eine ausgeprägte Kohärenz der Messsignale. Dies lässt auf die zu Vibration angeregte Seitenwand als Geräuschquelle in diesem Frequenzbereich schließen, was durch weitere Messungen untermauert werden konnte. Die Ursache dafür bildet der turbulente Luftstrom, der nach dem Austritt aus dem Spiralgehäuse von der Wand des Klimageräts in den Luftverteilkasten umgelenkt wird.

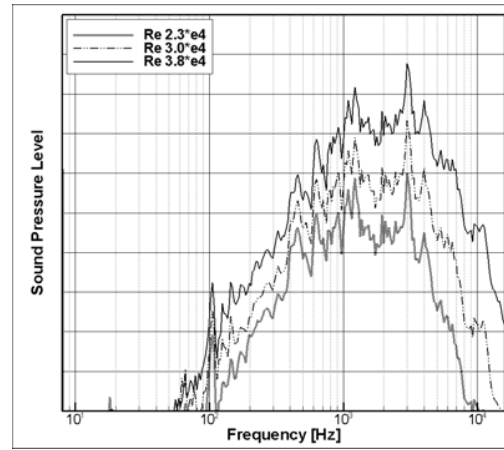


Abbildung 4: Akustisches Spektrum eines Serienausströmers bei unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten

Bei diesem Strömungsvorgang werden die Eigenfrequenzen der Seitenwand zur Schwingung angeregt. Der Vibrationsschall wird wiederum in die Strömung übertragen und gelangt über diese direkt in die Fahrgastzelle.

Ergänzend zu den Untersuchungen am Gesamtfahrzeug wurde auch das akustische Verhalten einzelner Systemkomponenten detailliert betrachtet. Abbildung 4 zeigt drei akustische Spektren eines Serienausströmers für unterschiedliche Reynolds-Zahlen. Es wird deutlich, dass die Strömungsgeschwindigkeit ausschließlich einen Offset der Spektren bewirkt. Ein Frequenzshift und somit eine Strouhalabhängigkeit kann nicht beobachtet werden. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Spektren in vier charakteristische Frequenzbereiche eingeteilt werden können, welche durch gezielte geometrische Formänderung beeinflussbar sind.

Ausblick

Die Untersuchungen werden auf die Lokalisierung und Quantifizierung der akustischen Quellterme im Modellklimagerät erweitert. Das vereinfachte Modell ermöglicht es, die unterschiedlichen, physikalischen Phänomene getrennt voneinander zu betrachten und grundsätzliche Aussagen über die Wechselwirkung einzelner Systemkomponenten zu treffen. Innovative Konzepte, wie z.B. Schallauslöschung durch Interferenz, sollen zunächst am vereinfachten Modell untersucht und anschließend auf das Seriengerät übertragen werden.

Literatur

- [1] Eilemann, A.: Practical Noise and Vibration Optimization of HVAC Systems. SAE Technical Paper Series (1999), 1999-01-0867
- [2] Wang, X., Watkins, S.: Noise Refinement Solutions for Vehicle HVAC Systems. SAE Technical Paper Series (2007), 2007-01-2184
- [3] Kuehnel, W., Paul, M., Schaake, N., Schrupf, M.: Practical Noise and Vibration Optimization of HVAC Systems. ATZ (12) (1999), pp. 1086-1095