

Experimentelle Untersuchungen zur Schallabstrahlung komplexer Filtergeometrien

F. T. Schulz^{1,2}, J. Giesler¹, E. Sarradj¹

Brandenburgische Technische Universität, ¹ Juniorprofessur Aeroakustik,

² Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungslehre, Cottbus

Email: schulzf@tu-cottbus.de / jens.giesler@tu-cottbus.de / ennes.sarradj@tu-cottbus.de

Einleitung

Zur Belüftung von Personenwagen bzw. zur Kühlung elektrischer Anlagen in Schienenfahrzeugen wird Außenluft angesaugt. Um diese von aufgewirbelten Staub- und Sandpartikeln sowie von Wassertropfen zu reinigen werden Filter in den Ansaugbereich eingebaut. Herkömmliche Filtermatten sind wartungsintensiv und nur bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten wirksam, weshalb die dort verwendeten Filter auf dem Prinzip der Fliehkraftabscheidung basieren. Eine beispielhafte Filtergeometrie ist in Abbildung 1 zu sehen.

Für eine dauerhafte Ansaugung darf der durch die Strömung erzeugte Schallpegel möglichst nicht höher sein als der andere Lärmquellen am Schienenfahrzeug. Bei steigendem Bedarf an Kühlluft und verbesserter Dämmung der Motoren ist die Entwicklung neuer Filtergeometrien notwendig. Dabei wird neben dem Druckverlust und der Abscheiderate auch die Schallemission berücksichtigt.

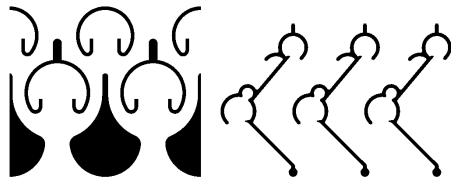


Abbildung 1: Von links nach rechts die Geometrien der Filter 1 und 3, Anströmung von unten; Filter 2 und 4 aus Patentschutz nicht gezeigt

Messraum und Versuchsaufbau

Der aeroakustische Windkanal der BTU Cottbus ist ein Freistrahwindkanal, dessen Messstrecke sich in einem Raum mit einem Volumen von 128 m³ und einer Wandfläche von 164 m² befindet. Die Ansaugstrecke des Kanals wurde, wie in Abbildung 2 dargestellt, verlängert. In der Mitte des Einlaufquerschnitts wurde ein Flügelradanemometer installiert. Ebenso wurde eine Prandtlsonde in der Mitte des Nachlaufquerschnitts montiert. Zur Vermeidung des starken Freistrahlergeräusches wurde keine Düse an der Ausblasstrecke entfernt.

Die Schalleistung der durchströmten Filter wurde nach DIN-3741 (Hallraumverfahren) bestimmt. Zur Messung der Schalldruckpegel wurden sechs Mikrofonpositionen verwendet. Die benötigten Nachhallzeiten wurden nach DIN-3382-2 ermittelt.

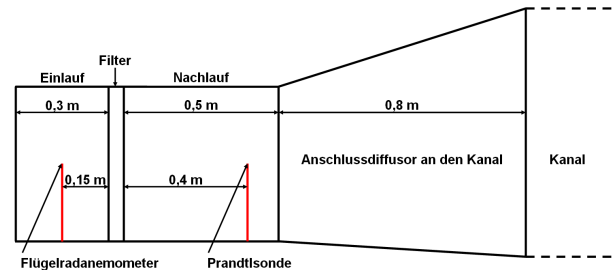


Abbildung 2: Messaufbau vor dem Ansaugbereich des aeroakustischen Windkanals

Geschwindigkeits- und Druckmessung

Zur Bestimmung des flächenbezogenen Volumenstromes durch die Filterprobe wurde die Geschwindigkeit in der Mitte des Einlaufkanals sowie die nicht verblockte Anströmfläche der Probe bestimmt. Hierbei wurde angenommen, dass es aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten keine Einschnürung der Strömung gibt. Die Verblockung des Kanals durch das Flügelradanemometer betrug 4% und kann daher vernachlässigt werden.

Die Messung des Druckverlustes wurde mit den statischen Druckbohrungen einer Prandtlsonde hinter der Filterprobe durchgeführt. Hierbei wurde angenommen, dass vor der Probe der gleiche Gesamtdruck wie im Messraum herrscht. Der Druckverlust der beiden Kanalstücken ohne Filter wurde gemessen und kann vernachlässigt werden. Eine Variation der Sondenposition stromab der Filterprobe ergab keine Änderung des Druckverlustes.

Ergebnisse

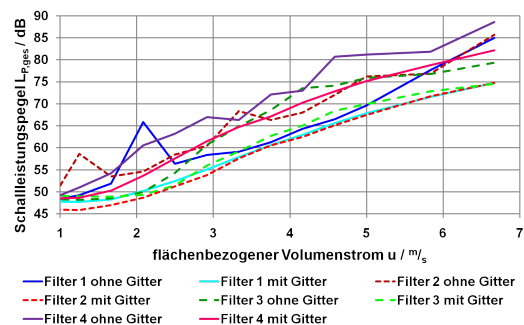


Abbildung 3: Schalleistungspegel der untersuchten Filter mit und ohne vorgesetztem Turbulenzgitter

Im Zuge des Projektes wurden vier Filter mit jeweils 13 verschiedenen Volumenströmen in der Konfiguration mit

und ohne vorgesetztem Turbulenzgitter gemessen. In Abbildung 3 sind die Schalleistungspegel der Filter über dem flächenbezogenen Volumenstrom dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass durch Vorsetzen des Turbulenzgitters der Schalleistungspegel reduziert wird. Dies ist auf die Reduktion der tonalen Anteile im Schallspektrum zurückzuführen.

Es ist weiter zu erkennen, dass die Filter 1 und 2 mit vorgesetztem Turbulenzgitter die geringsten Schalleistungspegel aufweisen und somit als die leisesten bezeichnet werden können. Hingegen weist Filter 4 die höchsten Pegel auf.

Zur weiteren Untersuchung wurden zwei Vergleichskurven einerseits für die Schalleistung von Einzelhindernissen nach Gordon [2, 1]

$$P = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{S}{\rho^2 c^3} \Delta p^3 \quad (1)$$

und andererseits für Turbulenzgitter nach Hubert [3]

$$P = 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{S}{\rho^2 c^3} \Delta p^3 \quad (2)$$

in das Diagramm 4 eingefügt. In den Gleichungen steht S für die effektive durchströmte Filterfläche, ρ für die Dichte, c für die Schallgeschwindigkeit und Δp für den Druckverlust über der Probe. Es ist zu erkennen, dass

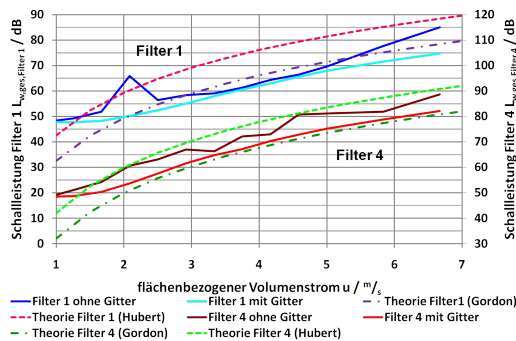


Abbildung 4: Vergleich der Schalleistungspegel der Filter 1 und 4 mit Theorien nach Hubert und Gordon

die Entwicklung der Schalleistungspegel von Filter 4 mit Turbulenzgitter ab einem flächenbezogenen Volumenstrom von 2 m/s sehr gut mit der Theorie nach Gordon übereinstimmt. Die Pegel von Filter 1 dagegen folgen zwar der Tendenz, liegen aber um ca. 4 dB darunter.

Somit ist zu vermuten, dass die Theorie von Gordon zur Abschätzung des Schalleistungspegels zukünftiger Filtergeometrien mit vorgesetztem Turbulenzgitter verwendet werden kann. Die Analyse der Ergebnisse für die Filter ohne vorgesetztes Turbulenzgitter zeigt, dass die Theorie nach Hubert eine obere Abschätzung ermöglicht, solange keine dominanten tonalen Komponenten vorhanden sind.

Numerische Simulationen

Im Zuge der Untersuchungen wurden mit OpenFOAM (Version 1.5) Simulationen der Durchströmung der Filter mit dem RAS-Turbulenzmodell (Reynolds Averaged Stress) nach Launder, Reece und Rodi (LRR-Modell)

durchgeführt. Aus diesen wurde der Druckverlust ermittelt und mit den gemessenen verglichen.

Es zeigen sich deutliche Diskrepanzen, die auf die hohe Komplexität der Strömung zurückzuführen sind. Dennoch wurden basierend auf den Simulationen Geometrieänderungen durchgeführt und die neuen Filter simuliert. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Simulation zu sehen. Der Druckverlustbeiwert von Filter 4 konnte um 50% gesenkt werden. Dies entspricht nach den Theorien von Gordon und Hubert einer Reduktion des Schalleistungspegels um 9 dB, wodurch die Schallentstehung am neuen Filter ungefähr mit der von Filter 1 bis 3 vergleichbar wäre.

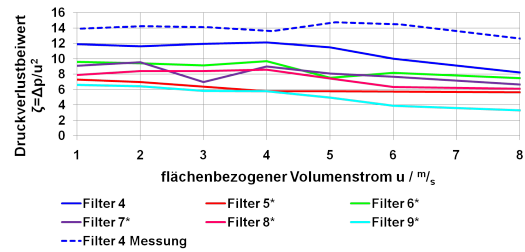


Abbildung 5: Ergebnisse der Druckverlustbeiwerte der Simulation neuer Filtergeometrien; neue Geometrien sind mit einem * gekennzeichnet

Zusammenfassung

Es sollten neue Filtergeometrien mit verbesserten Eigenschaften entwickelt werden. Dazu wurden die bestehenden Filter im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus einerseits auf den Druckverlust, andererseits auf den Schalleistungspegel hin untersucht. Vergleiche mit den Theorien für den Schalleistungspegel nach Gordon für Einzelhindernisse und Hubert für Lüftungsgitter zeigten eine hohe Ähnlichkeit, wodurch diese Formeln zur Abschätzung künftiger Filter dienen können. Simulationen von neuen Filtergeometrien basierend auf dem Filter 4 haben eine Reduktion des Druckverlustbeiwertes um 50% ergeben. Dies lässt nach den Theorien auf eine Reduktion des Schalleistungspegels um 9 dB für die neu entworfene Filtergeometrie schließen.

Danksagung

Dieses ZIM-Verbundprojekt (Förderkennzeichen KF 2293901 KO 9) wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.

Literatur

- [1] Gordon, C. G.: Spoiler-Generated Flow Noise. II. Results. Journal of Acoustical Society of America 45-1 (1969), 214-223
- [2] Gordon, C. G.: Spoiler-Generated Flow Noise. I. The Experiment. Journal of Acoustical Society of America 43-5 (1968), 1041-1048
- [3] Hubert, M.: Untersuchungen über Geräusch durchströmter Gitter, Dissertation (1969)