

Schalldämpfer zur Reduktion tonalen Störschalls in durchströmten Rohrleitungen

Siegbert Versümer¹, Frank Kameier², Rainer Fackendahl³

¹ Fachhochschule Düsseldorf, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: siegbert.versuemer@fh-duesseldorf.de

² Fachhochschule Düsseldorf, 40474 Düsseldorf, Deutschland, Email: frank.kameier@fh-duesseldorf.de

³ Lufttechnik GmbH & Co. KG, 41749 Viersen-Süchteln, Deutschland, Email: fackendahl@ltv.de

Einleitung

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes wurde ein Schalldämpferkonzept zur Einhaltung hoher Anforderungen an den Anwohnerlärmschutz für die Papierindustrie konzipiert, umgesetzt und vor Ort vermessen. Die entwickelte Methode hatte den Fokus auf die Reduktion tiefrequenten, tonalen Störschalls, der bei der Papierherstellung durch die Vakuumpumpen verursacht wird. Aufgrund hoher Feuchte und möglichem Feststofftransport musste auf faserige Absorber, Schlitz- und Lochplattenabsorber, wie auch auf Helmholtzresonanzschalldämpfer verzichtet werden. Das durch die beiden zweiflügeligen Drehkolbenpumpen erzeugte Ströngeräuschspektrum ist, gemessen im Abluftkanal stromab der Pumpen, in Abbildung 1 dargestellt. Die pegeldominierende Frequenzkomponente liegt stets bei 99 Hz. Die ihr zugehörige Wellenlänge variiert jedoch durch Schallgeschwindigkeitsänderungen im Abluftstrom um ± 60 mm (Temperaturschwankungen: ± 5 °C).

Der neue Schalldämpfer wurde für eine mit ca. 22 m/s durchströmte Rohrleitung entwickelt und dämpft schmalbandig bei 99 Hz. Er benötigt einen kleinen Bauraum von ca. 1 m \times 1,5 m \times 0,5 m, ist unempfindlich gegenüber Wasser, gesättigter, ca. 55 °C warmer Luft sowie Papierfetzen und ist deshalb nur selten zu warten.

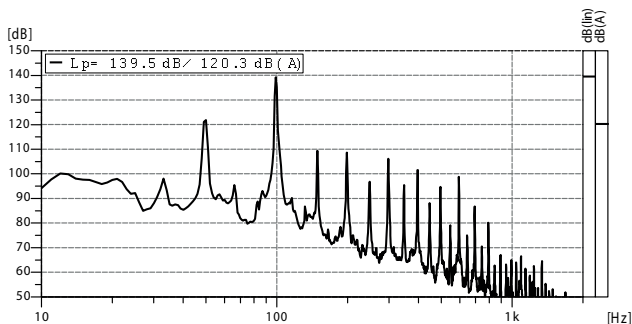


Abbildung 1: Störgeräuschspektrum im Abluftkanal der Papiermaschine. Die pegeldominierenden, tonalen Anteile sind durch die zur Wasserabscheidung unerlässlichen Drehkolbenpumpen verursacht.

Konzeption

Zur Umsetzung der schmalbandigen Dämpfung bieten sich Resonanzabsorber an, insbesondere diejenigen, welche das Wirkprinzip destruktiver Interferenz nutzen. Dabei wird ein dem Störschall um 180° phasengedrehter Schall dem ursprünglichen Störschall zugeführt, wodurch eine Auslöschung und somit die Schalldämpfung statt-

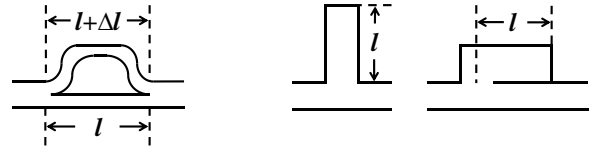


Abbildung 2: Links: $\lambda/2$ -Resonator mit $\Delta l \hat{=} \lambda/2$, realisiert durch eine Umwegstrecke

Rechts: Zwei Versionen des $\lambda/4$ -Resonators mit $l = \lambda/4$ als Stichleitungen bzw. Abzweige. [2]

findet. Dies kann in einfacher Weise durch eine $\lambda/2$ -Umwegstrecke, oder, mit deutlich geringerem Bauraum, durch eine $\lambda/4$ -Stichleitung, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind, realisiert werden. Beim $\lambda/4$ -Resonanzabsorber werden die Resonanzfrequenzen f_n in Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit c_0 und der effektiven Länge l_{eff} der Stichleitung bestimmt durch die Gleichung 1.

$$f_n = \frac{c_0}{4l_{eff}}(2n + 1); \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

Die effektive Länge des Umweges oder der Stichleitung ist aufgrund der Mündungskorrektur länger als die geometrische Länge, weshalb letztere stets etwas kürzer auszuliegen ist. In der Literatur sind lediglich empirische Werte für die Mündungskorrektur zu finden, welche sich alle auf Kanäle mit sehr kleinem runden Querschnitt beziehen [2][3][4]. Bei großen Abmessungen, welche nicht mehr klein gegenüber der Wellenlänge sind und bei Öffnungen, die nicht einen zu allen Seiten in freien Raum münden, ist somit mit Abweichungen zu rechnen. Folglich ist der Absorber mit trimmbarer Länge auszustattet worden.

Als Nachteil dieses ungedämpften Resonanzabsorbers ist die Anregbarkeit der Resonanzfrequenzen auch durch Strömungsrauschen zu nennen. Wegen der turbulenten Strömung müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die Anregung durch Strömungsrauschen zu minimieren oder gar zu vermeiden. Blevins [1] beispielsweise stellt diverse Modifikationen der Stichleitungsöffnung dar. Sie dienen als Grundlage für die im nachfolgenden Abschnitt durchgeführten Modellversuche und machen aber auch deutlich, dass ein Kompromiss zwischen bestmöglicher Vermeidung der akustischen Anregung der Resonanzfrequenzen durch Strömungsrauschen und einer möglichen Zunahme des breitbandigen Strömungsgeräusches gefunden werden muss. Ein einfaches Abdecken der Öffnung durch Flies kam aufgrund der hohen Feuchte und des Wasser- und Feststofftransportes im Abluftkanal nicht in Betracht.

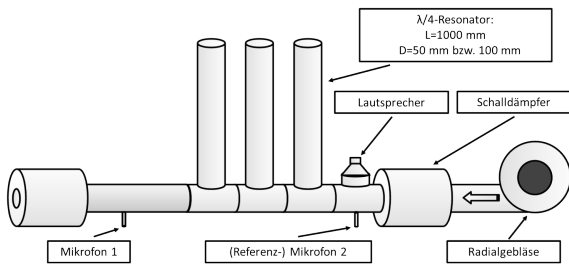


Abbildung 3: Schematischer Modellaufbau im reflexionsarmen Raum mit leisem Freistrahler der FH D zur Bestimmung der Einfügedämpfung und des strömungsinduzierten Geräusches an der Stichleitungsmündung.

Modellversuche

Zur Erprobung der Stichleitung als Schalldämpfer im durchströmten Rohr wurden zwei Modellaufbauten im reflexionsarmen Raum mit leisem Freistrahler der Fachhochschule Düsseldorf durchgeführt: Zuerst sehr einfach gehalten mittels handelsüblicher runder HT-Rohre, anschließend, der Situation in der Papierfabrik näher, als rechteckige Metallversion. Die Abbildung 3 zeigt den Aufbau mit HT-Rohren, der sich aus einem Radialgebläse, einem Rohrschalldämpfer, einem Lautsprecher zum Einspeisen der Messsignale, der eigentlichen Teststrecke mit einer oder mehreren Stichleitungen und zwei Mikrofonen, welche zur Bestimmung der Einfügedämpfung mittels eines Zweimikrofonverfahrens verwendet wurden. Da aus Platzgründen auf den zweiten, eigentlich notwendigen Rohrschalldämpfer stromab als reflexionsarmer Abschluss verzichtet werden musste, wirkt sich rücklaufender Schall negativ auf die Messung aus. Um diese Einflüsse zu minimieren, wurden alle Messungen auf eine Referenzmessung mit Kanal ohne Stichleitungen bezogen.

Im Anschluss an die HT-Rohr-Modellversuche, wurden aufbauend auf der gewonnenen Erfahrung, sechs verschiedene gestaltete Metall-Stichleitungen entworfen und strömungsakustisch vermessen.

Umsetzung

Mit den Erkenntnissen aus den Modellversuchen wurde schließlich eine rechteckige Stichleitung mit einer Öffnungsfläche von $400 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ und einer variablen Länge aus Edstahl gefertigt. Durch eine Messreihe mit Längenvariation wurde die optimale geometrische Länge von $l = 922 \text{ mm}$ bestimmt. Mit der nach der effektiven Länge umgestellten Gleichung 1 errechnet sich für 55°C warme und gesättigte Luft eine effektive Länge von $l_{eff} = 937 \text{ mm}$. Die Differenz dieser beiden Längen beschreibt eine Mündungskorrektur von $\Delta l = 15 \text{ mm}$, welche stark von den in der Literatur angegebenen Werten abweicht. Es ist somit davon auszugehen, dass die zur Vermeidung von strömungsinduzierter Anregung des Resonanzschalldämpfers vorgenommenen Modifikationen der Stichleitungsöffnung die Mündungskorrektur signifikant beeinflussen.

Die Abbildung 4 zeigt die Schalldruckpegel einer Vorher-

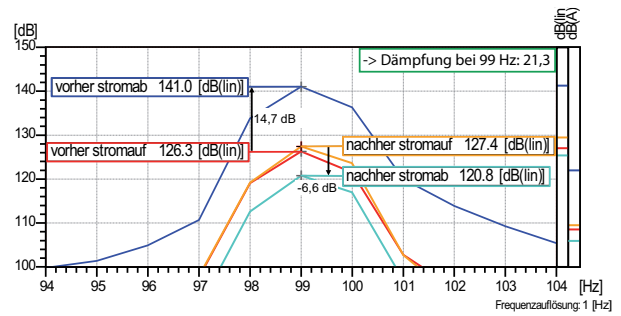


Abbildung 4: Schalldruckpegel bei 99 Hz der Vorher- und Nachhermessung mit je einem Mikrofon stromauf und stromab der Stichleitung zur Bestimmung der Einfügedämpfung.

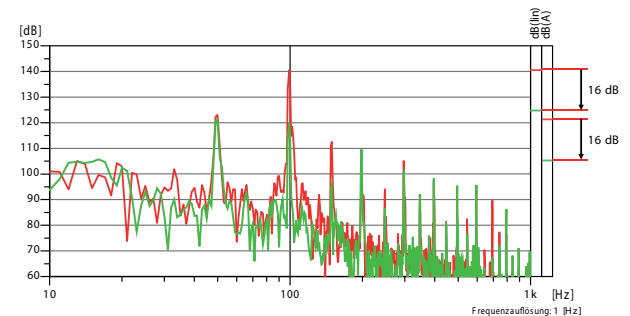


Abbildung 5: Breitbandspektrum der Vorher- (Rot) und Nachhermessung (Grün) an der Position stromab der Stichleitung mit einer Gesamtschalldruckpegelreduktion von 16 dB.

Nachher-Messung für jeweils ein Mikrofon stromauf und stromab des Resonanzschalldämpfers. Die Differenz von 1,1 dB am stromauf positionierten (Referenz-) Mikrofon zwischen der Vorher- und der Nachhermessung sind auf leicht unterschiedliche Betriebszustände der Papiermaschine zurückzuführen. Die Pegel der Nachhermessung wurden entsprechend nach unten korrigiert. Dadurch ergibt sich bei 99 Hz eine Pegelreduktion von 21,3 dB. Dem Breitbandspektrum in Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass kein nennenswertes breitbandiges Strömungsgeräusch und auch keine tonalen Anteile hinzugekommen sind. Der lineare und der A-bewertete Gesamtschalldruckpegel reduzieren sich durch den Resonanzschalldämpfer um jeweils 16 dB.

Literatur

- [1] Blevins, R. Flow-Induced Vibration. Krieger Malabar, 1994
- [2] Fuchs, H. V.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010
- [3] Henn, H.: Ingenieurakustik. Vieweg+Teubner, 2008
- [4] Kurtze, G.: Physik und Technik der Lärmbekämpfung. G. Braun, Karlsruhe, 1975