

# Reaktive Absorber für schallabsorbierende Fahrbahnbeläge – räumliche Anordnung und räumliche Dichte

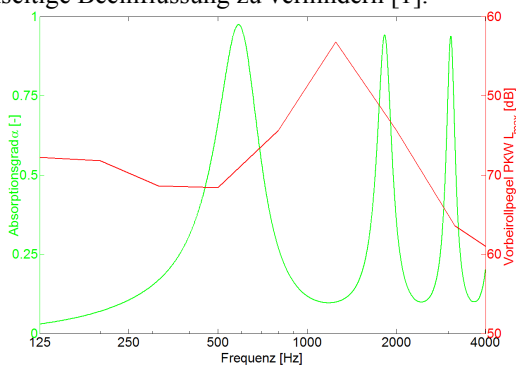
Manuel Männel, Thomas Beckenbauer

Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, Deutschland, Email: manuel.maennel@MuellerBBM.de

## Einleitung

Dem Stand der Technik entsprechende offenporige Deckschichten wirken frequenzselektiv und sind somit nicht optimal an das zu dämpfende breitbandige Reifen-Fahrbahn-Geräusch angepasst (siehe Abbildung 1). Aufgrund des Aufbaus herkömmlicher offenporiger Deckschichten aus bituminös gebundenen Mineralstoffen mit ausgeprägter Ausfallkörnung ist es im Vergleich zu bauakustisch optimierten Absorbern nicht möglich, alle relevanten Absorberkennwerte hinsichtlich einer hohen und breitbandigen Absorption beliebig zu optimieren.

Ein Ansatz zur Steigerung der absorbierenden Wirkung ist die Kombination von offenporigem Asphalt mit Helmholtzresonatoren, um so die auftretenden Frequenzbereiche geringer Absorption zu verbessern. Die besonderen Einbaubedingungen in Verbindung mit offenporigem Asphalt, die Notwendigkeit der Anpassung an die räumlich stark begrenzte Schallquelle (Reifen-Fahrbahn-Kontakt) und die Zielfrequenz im Bereich der minimalen Absorption des offenporigen Asphalts liefert dabei enge Vorgaben an die Dimensionierung der Resonanzabsorber. In dem hier interessierenden Bereich der Resonanzfrequenzen von ca. 800 Hz bis 1600 Hz ergeben sich verhältnismäßig kleine äquivalente Schallabsorptionsflächen wodurch eine hohe Resonatordichte zu planen ist. Dabei sollte beachtet werden, dass sich die äquivalenten Schallabsorptionsflächen der einzelnen Resonatoren nicht überdecken, um eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern [1].



**Abbildung 1:** Vergleich des Absorptionsgrades zweischichtiger offenporiger Asphalte mit dem Vorbeifahrerspektrum eines PKW bei 80 km/h.

## Räumliche Anordnung und räumliche Dichte

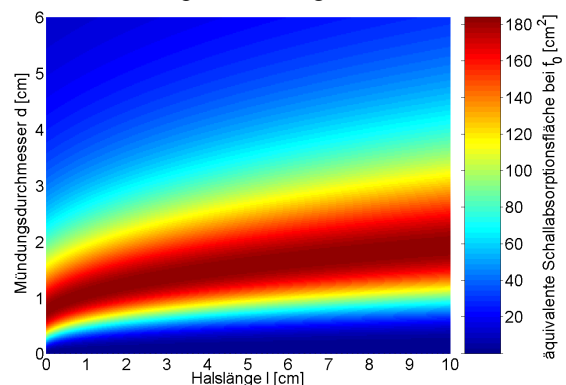
Die räumliche Dichte der Helmholtzresonatoren hängt je nach gewünschter flächenhafter Verbesserung der absorbierenden Wirkung des Gesamtaufbaus zuerst von deren äquivalenter Schallabsorptionsfläche ab. Soll ein breiter Frequenzbereich abgedeckt werden – wozu im Allgemeinen parallel geschaltete Resonatoren bei verschiedenen Resonanzfrequenzen verwendet werden – muß auch deren wirksame Bandbreite in die

Überlegungen zur räumlichen Dichte einbezogen werden. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Helmholtzresonators hängt vom Verhältnis des inneren Verlustwiderstands  $R_i$  zum Realteil der Strahlungsimpedanz  $R_a$  ab. Wird die Resonanzfrequenz  $f_0$ , unter Zuhilfenahme von z.B. [3], ausreichend genau bestimmt und der innere Verlustwiderstand  $R_i$  des Resonators z.B. mit den entsprechenden Abschätzungen in [4] berechnet, so ergibt sich die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A_0$  für frei aufgehängte Resonatoren bei der Resonanzwellenlänge  $\lambda_0$  zu:

$$A_0 = \frac{\lambda_0^2}{\pi} \frac{R_i/R_a}{(1 + R_i/R_a)^2} \quad [\text{m}^2] \quad (1)$$

Bei Einbau in eine schallharte Wand, bzw. um  $\Delta d \ll \lambda_0/4$  vor einer schallharten Wand, ergibt sich aufgrund der Schall-druckverdoppelung eine Verdoppelung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche.

So kann die äquivalente Schallabsorptionsfläche für beliebige Paare von Mündungsdurchmessern und Halslängen der Resonatoren bei konstanter Resonanzfrequenz wie in Abbildung 2 dargestellt werden. Um die Resonanzfrequenz  $f_0$  konstant zu halten ist das eingeschlossene Luftvolumen des Resonators dabei auf die Abmessungen des Resonatorhalses entsprechend abgestimmt.



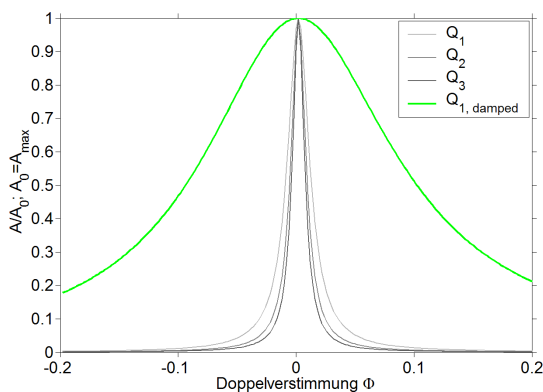
**Abbildung 2:** Abhängigkeit der äquivalenten Schallabsorptionsfläche ungedämpfter Helmholtzresonatoren ( $f_0=1$  kHz) von deren Halslänge  $l$  und Mündungsdurchmesser  $d$ .

Diese Rechenergebnisse stimmen mit stichprobenartigen Messungen gut überein.

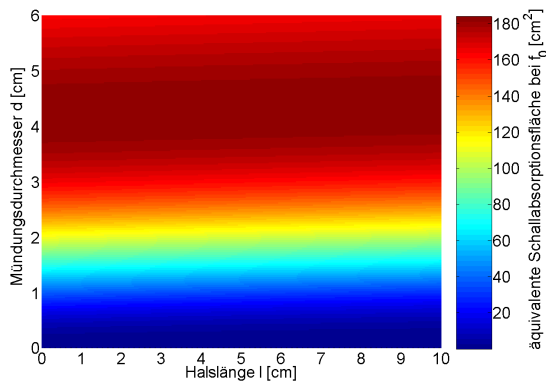
Für die Planung der Resonatordichte muß neben der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eines einzelnen Resonators dessen wirksame Bandbreite bestimmt werden. Dabei zeigt sich, wie in Abbildung 3 dargestellt, dass die resultierende Bandbreite in Abhängigkeit von der Doppelpertimmung

$$\phi = (f/f_0) - (f_0/f) \quad [-] \quad (2)$$

für ungedämpfte Resonatoren sehr klein ausfällt, also deren Resonanzgüte sehr hoch ist. Demnach wären für eine breitbandig absorbierende Wirkung eine Vielzahl gegeneinander verstimmt Resonatoren pro Flächeneinheit notwendig, wohingegen mit einer schwachen ausfüllenden Bedämpfung des Innenvolumens mit einem Strömungswiderstand  $\mathcal{E} = 100 \text{ Pa s/m}^2$  die Resonanzgüte bereits deutlich verringert werden kann. Somit kann bereits mit einem Resonatortyp eine bedeutend größere Bandbreite abgedeckt werden (Abb. 3). Allerdings sind nach Gleichung (1) die veränderten geometrischen Verhältnisse zu beachten, da sich mit der zusätzlichen Bedämpfung der innere Verlustwiderstand  $R_i$  erhöht. In Abbildung 4 ist die äquivalente Absorptionsfläche in Abhängigkeit von den geänderten Parametern dargestellt. Es zeigt sich, dass die Zunahme des Mündungsdurchmessers  $d$  mit einer Zunahme der Halslänge  $l$  im Maximum der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A_0$  im bedämpften Zustand weniger stark ausgeprägt ist, da der innere Verlustwiderstand nun maßgeblich durch die Bedämpfung des Innenvolumens bestimmt wird, die von der Öffnungsgeometrie unabhängig ist.

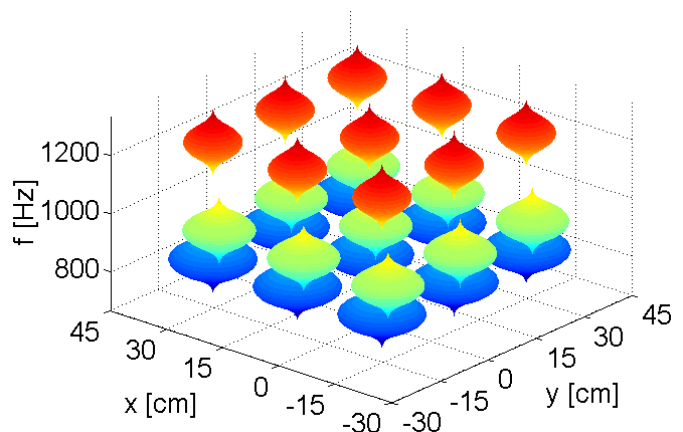


**Abbildung 3:** Zu  $A_0$  relative maximale äquivalente Absorptionsfläche in Abhängigkeit von der Doppelverstimmung  $\Phi$  bei einer Resonanzfrequenz  $f_0 = 1 \text{ kHz}$  für ungedämpfte Resonatoren bei verschiedenen Öffnungslängen ( $Q_1$  ( $l=1\text{cm}$ ),  $Q_2$  ( $l=5\text{cm}$ ),  $Q_3$  ( $l=9\text{cm}$ )) und einem Resonator ( $Q_{1,damped}$  ( $l=1\text{cm}$ )) mit einer ausfüllenden Volumenbedämpfung ( $\mathcal{E}=100 \text{ Pa s/m}^2$ ).



**Abbildung 4:** Abhängigkeit der äquivalenten Schallabsorptionsfläche bedämpfter Helmholtzresonatoren ( $\mathcal{E}=100 \text{ Pa s/m}^2$ ;  $f_0=1 \text{ kHz}$ ) von deren Halslänge  $l$  und Mündungsdurchmesser  $d$ .

Durch Umrechnung der Relativgröße Doppelverstimmung  $\Phi$  in Frequenzen und der relativen äquivalenten Absorptionsfläche in absolute Werte kann ein Rotationskörper mit der Frequenzachse als Rotationsachse über einer Fläche mit den Dimensionen Länge  $x$  und Breite  $y$  gebildet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Doppelverstimmung nicht proportional zur Frequenz ist und somit der entstehende Körper keine planparallele Symmetrieebene zur  $x$ - $y$ -Ebene besitzt. Somit kann eine Verteilung der Resonatoren in der Fläche bezogen auf deren äquivalente Schallabsorptionsfläche bei und neben ihrer Resonanzfrequenz für eine oder mehrere Arten von Resonatoren dargestellt werden. Die Querschnittsfläche der Raumkörper über der Frequenz  $f$  entspricht der äquivalenten Absorptionsfläche des Resonators bei der Frequenz  $f$ . In Abbildung 5 ist die Verteilung von je neun Helmholtzresonatoren bei drei verschiedenen Resonanzfrequenzen  $f_0$  (800 Hz, 1000 Hz und 1200 Hz) in Anlehnung an die tetragonal-raumzentrierte Einheitszelle eines Bravais-Gitters dargestellt. In dem dargestellten Fall überdecken sich die einzelnen äquivalenten Schallabsorptionsflächen nicht, wodurch sich die Resonatoren nicht gegenseitig beeinflussen können, der Raum ist allerdings auch nicht vollständig ausgefüllt – es wird sich also ein mittlerer Absorptionsgrad kleiner 1 einstellen. Je höher die Resonanzfrequenz der Resonatoren liegt, desto geringer ist entsprechend Gleichung (1) deren maximale äquivalente Schallabsorptionsfläche.



**Abbildung 5:** Anordnung von 3 verschiedenen Helmholtzresonatoren (bezüglich der Resonanzfrequenz; durch die farbliche Kennzeichnung zu unterscheiden).

## Literatur

- [1] Mechel, F.: Schallabsorber, Band I - Äußere Schallfelder, Wechselwirkungen. S.Hirzel Verlag, Stuttgart, 1989.
- [2] Hofman, R. und van der Kooij, J.: Results from the Dutch Noise Innovation Program Road traffic (IPG) and Roads to the Future Program (WnT). Proc. inter noise 2003, Korea, paper no. N1003.
- [3] Alster, M.: Improved calculation of resonant frequencies of Helmholtz resonators. J. Sound and Vibration, 24, 1972.
- [4] Mechel, F.: Schallabsorber, Band II - Innere Schallfelder, Strukturen. S.Hirzel Verlag, Stuttgart, 1995.