

Anwendung der Boundary-Elemente-Methode und der numerischen Optimierung zur Auslegung einer Beugungskante mit Helmholtz-Resonatoren für Lärmschutzwände

O. Zaleski¹, A. Bockstedte¹, O. von Estorff², M. Auerbach³

¹ Novicos GmbH, 21073 Hamburg, mail@novicos.de

² TU Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung, 21073 Hamburg, estorff@tu-harburg.de

³ Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, m.auerbach@bast.de

Einleitung

Lärmschutzwände (LSW) werden vielerorts zum Schutz gegen Verkehrslärmbelastungen eingesetzt. Um diese weiter zu verringern, werden Verbesserungsmöglichkeiten des LSW-Lärmschutzes, insbesondere bei moderaten Bauhöhen, gesucht. Da die Lärmbelastung wesentlich durch Beugungseffekte an der oberen Kante der Lärmschutzwand verursacht wird, kommt der Weiterentwicklung der Beugungskanten eine bedeutende Rolle zu.

In diesem Beitrag wird erläutert, wie mit Hilfe von Modellen der Boundary-Elemente-Methode (BEM) [1] und unter Anwendung der parameterbasierten Optimierung eine auf den spezifischen Lkw-Lärm einer Schnellstraße angepasste Ausführung von Lärmschutzwänden mit Beugungskante aus Helmholtz-Resonatoren ausgelegt werden kann.

Anwendung der Boundary-Elemente-Methode

Wesentlich für die Wirkung der LSW-Aufsätze ist die Realisierung einer möglichst schallweichen Oberfläche auf der Beugungskante. Bei der Darstellung dieser Bedingungen durch Helmholtz-Resonatoren ist die Frequenzabhängigkeit der durch Resonatoren realisierbaren Impedanz zu betrachten. Daher sind zunächst Berechnungen der Resonanzfrequenz von Helmholtz-Resonatoren bei stufenweiser Veränderung ihrer Abmessungen durchgeführt worden. Hierbei wurden Ergebnisse der aus der Literatur bekannten empirischen Formeln mit den Resultaten der BEM-Simulationen verglichen. Ein typischer Vergleich dieser Art ist in der Abbildung 1 zu sehen. Es ist gut zu erkennen, dass die Gültigkeit der Literaturformeln für die Resonanzfrequenz von Helmholtz-Resonatoren sich jeweils

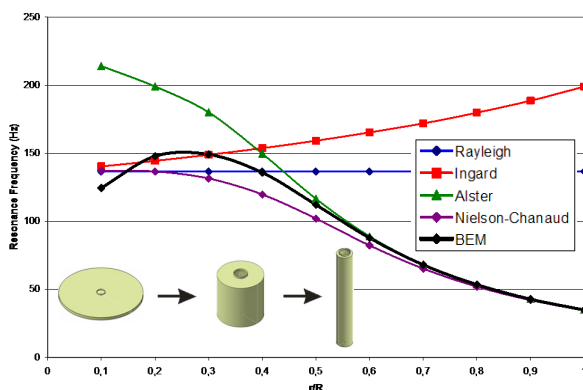


Abbildung 1: Vergleich der BEM-Ergebnisse und mehrerer empirisch ermittelter Resonanzfrequenzen bei Streckung von Resonatoren mit konstantem Volumen.

nur auf eingeschränkte Bereiche der Geometrieparameter erstreckt, während die numerischen BEM-Berechnungen einen guten Übergang zwischen diesen Modellen nachzeichnen. Die BEM liefert somit – gemessen am Stand der Technik – schnelle und vertrauenswürdige Berechnungsergebnisse. Die Entwicklung der LSW-Beugungskante basiert hier deshalb auf dieser Methode. Alle BEM-Analysen werden mit 2D-Modellen im Programm Sysnoise [2] durchgeführt.

Anwendung der numerischen Optimierung

Die Anwendung von numerischer Optimierung ist in diesem Fall besonders sinnvoll, da die physikalischen Effekte im Hinblick auf die Akustik anspruchsvoll sind und eine Vielzahl von Varianten untersucht werden muss, bevor sich die angestrebte hohe Wirkung der Beugungskante einstellt. Mit Mitteln der parameterbasierten Optimierung werden zwei Aufgaben gelöst: Bestimmung einer vorteilhaften Außenkontur der Beugungskante und dann detaillierte Dimensionierung der innerhalb dieser Außenkontur platzierten Einzelresonatoren. Hierbei werden die BEM-Modelle um Optimierungsroutinen des Programms Optimus [3] erweitert.

Die meisten Beugungskanten haben eine zylindrische Form. Mit der Einschränkung, dass im Innern des LSW-Aufsatzes hinreichend Einbauraum für die Einbringung der Helmholtz-Resonatoren vorhanden sein muss, sind mithin auch andere Aufsatzformen möglich. Um zusätzliche Vorteile, die sich aus der äußeren Formgebung für die Schallschirmung ergeben können, auszunutzen, wird die Außenkontur parametrisiert und einer Optimierung unterzogen. Als parametrisierte Beugungskante wird eine Schar von 26 Stützpunkten gewählt (Abbildung 2). Zwei dieser Punkte bilden die Anschlüsse des Aufsatzes an die Wand und liegen fest. Die restlichen Stützpunkte verteilen sich in gleichmäßig um den Mittelpunkt des Ausgangs-zylinders. Ihre Winkelpositionen werden festgehalten, während die radialen Abstände zum Mittelpunkt in vorgegebenen Grenzen variieren können. Die Stützpunkte werden in der jeweiligen Lage mit Splines zur neuen Kontur verbunden. Als zu minimierende Zielfunktion wird die aufsummierte Schallleistung durch eine Kontrollfläche hinter der LSW ausgewertet.

Die optimierte Aufsatzkontur ist in der Abbildung 2 zu sehen. Die zugelassene horizontale Spannweite der Kontur ist voll ausgeschöpft, die seitlichen Stützpunkte haben den maximalen Abstand. Die Oberseite der Kontur ist stark abgeflacht, wodurch die seitlichen Ausleger dicht an die Höhenbegrenzung herangeschoben sind. Auf der der Schallquelle zugewandten Seite ist allerdings eine Abflachung zu erkennen, die sich im Zuge der Optimierung als stabil

erwiesen hat. An der Unterseite der Kontur ergibt sich hingegen ein deutlich unregelmäßigerer Verlauf. Die weitere Analyse der Zwischenlösungen zeigt, dass die Form der Unterseite jedoch einen deutlich geringeren Einfluss auf die Schirmwirkung als die Oberseite hat und die Größe der unteren Keulen stark von der Lage der Schallquelle abhängt.

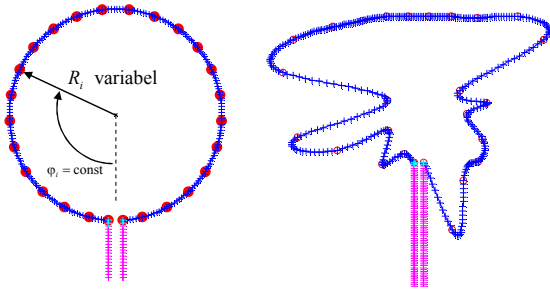


Abbildung 2: Parametrisierte Ausgangskontur (links) und ihre optimierte Form (rechts).

Die Festlegung der Außenkontur erfolgt in Anlehnung an die gefundene optimierte Kontur, allerdings wird diese Form deutlich vereinfacht. Entsprechend Abbildung 3 wird für den Aufsatz eine aus zwei Kreisbögenabschnitten zusammengesetzte bikonvexe Form gewählt. Die flache bikonvexe Form ähnelt der Form eines T-Aufsatzes und nutzt die Vorteile der Mehrfachbeugung und eines vergrößerten Gesamtbeugungswinkels. Durch die Wölbungen entsteht ein Innenraum, in dem die Resonatoren untergebracht werden können. Gleichzeitig lassen die zusammenlaufenden Außenkanten das Profil schlanker und weniger aufdringlich erscheinen.

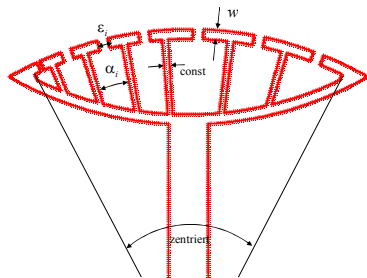


Abbildung 3: Bikonvexer Aufsatzentwurf mit parametrisierten Resonatorräumen.

Die Auslegung der einzelnen Resonatorräume erfolgt erneut mittels Optimierung. Hierzu ist eine geeignete Parametrisierung der Resonatorräume gewählt worden (Abbildung 3). In das bikonvexe Aufsatzprofil werden sieben Kammern eingebracht, deren Breite jeweils durch den Winkel α_i , bezogen auf den Mittelpunkt des oben liegenden Kreissegmentes, festgelegt wird. Die Kammern reichen dabei bis zur unteren Schale. Die entsprechenden Öffnungswinkel der Spalte sind mit ϵ parametrisiert, die einheitliche Stärke der Deckplatte, die ebenfalls Einfluss auf die Luftmassen in den Resonatoröffnungen hat, mit w . Nach diesen Vorgaben werden optimale Abmessungen der Resonatoren ermittelt.

Messtechnische Ergebnisüberprüfung

Die Wirksamkeit der entwickelten Beugungskante wurde durch Messungen bestätigt. Hierbei kam ein im Rahmen von FE 02.272/2006/LRB entwickeltes Messverfahren zum Einsatz. Deswegen konnte die LSW-Länge bei der Messung auf 20 m begrenzt werden. Das Ergebnis bestätigt die numerische Vorhersage (Abbildung 4). Die Abnahme des Schalldruckpegels in den Terzen bis 2,5 kHz variiert zwischen 0,5 dB und 11,5 dB, wobei sie in den meisten Terzen mindestens 4 dB beträgt. In dem Frequenzbereich des Lkw-Lärms, für den die Beugungskante ausgelegt wurde, beträgt der Unterschied mindestens 8 dB.

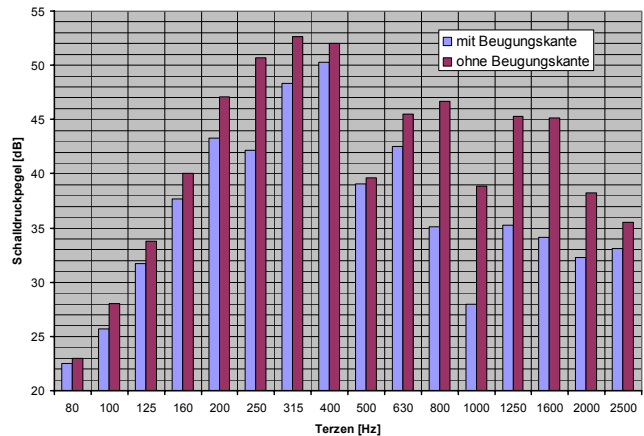


Abbildung 3: Gemessener Schalldruckpegel hinter einer Lärmschutzwand mit und ohne Beugungskante.

Zusammenfassung

Mit Techniken der numerischen Simulation wurde eine neuartige Beugungskante entwickelt. Hierbei wird der Effekt der Schallbeugung an einem LSW-Aufsatz mit der Resonatorwirkung von mehreren Helmholtz-Resonatoren kombiniert. Die Dimensionierung der Beugungskante und der in ihrem inneren unterbrachten Resonatoren erfolgte mit Mitteln der Boundary-Elemente-Modelle erweitert um parameterbezogene Optimierung. Die beschriebene Anwendung zeigt, dass es mit Mitteln der numerischen Akustik sehr gut gelingt, auch komplexe Schallfeldeffekte nachvollziehbar zu machen und das hieraus entstandene Wissen zur Entwicklung neuartiger und effizienter technischer Systeme einzusetzen. Weitere Informationen zu den hier vorgestellten Arbeiten können [4] entnommen werden.

Literatur

- [1] O. von (Editor): Boundary Elements in Acoustics, Advances & Applications. WIT Press, Southampton, 2000.
- [2] LMS International: SYSNOISE Rev 5.6, User's Manual. Leuven, 2011.
- [3] NOESIS Solutions NV: User's Manual OPTIMUS Rev. 9.0. Leuven, 2010.
- [4] O. Zaleski, A. Bockstedte: Lärmschutzwände mit Beugungskante aus Helmholtz-Resonatoren für Lkw. BAST-Berichte, Bergisch Gladbach, im Druck.