Streukörper auf Lärmschutzwand

Michael Chudalla[1]

[1] *Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 51427 Bergisch Gladbach, E-Mail: chudalla@bast.de*

Einleitung

Lärmschutzwände an Verkehrswegen bewirken durch ihre Aufstellung zwischen Emissions- und Immissionsort einen Schallschatten-Bereich. Damit werden immissionsseitig Pegelreduktionen im Bereich von 10 dB(A) erreicht. Diese Pegelreduktion ist abhängig vom Abstand des Immissionsortes und von dessen Höhe zur Lärmschutzwand. Ein Maß für die Pegelreduktion ist der Schallumweg (Formelzeichen z). Dieser berechnet sich aus der Differenz zwischen den Schallwegen über die Beugungskante und dem direkten Schallweg (ohne Lärmschutzwand) zwischen Emissions- und Immissionsort.

Lärmschutzwände könnten wesentlich effektiver sein, gäbe es den Beugungseffekt bei der Wellenausbreitung nicht. Der Beugungseffekt bewirkt, dass Schall, ausgehend von der Beugungskante, in den Schattenbereich gelangt. Weiter erfolgt durch die Frequenzabhängigkeit der Beugung eine „Verfärbung“ des Frequenzspektrums. Hierbei spielt die Relation zwischen Schall-Wellenlänge und Abmessung der Lärmschutzwand eine große Rolle. Die nennenswerte Ausbildung eines Schattengebietes erfolgt erst, wenn die Höhe der Lärmschutzwand das 5-fache der Wellenlänge des auf sie treffenden Schalls übersteigt. Eine 4 Meter hohe Lärmschutzwand beginnt also erst ab einer Frequenz von ca. 400 Hz zu wirken. Für Frequenzen unterhalb von 400 Hz stellt sie praktisch kein Hindernis dar. Mit steigender Frequenz ($\lambda << h_{Lsw}$) nimmt der Beugungseffekt ab und der Schallschatten-Bereich dehnt sich aus.

Inspiration und Idee

An Deichen nahe bewohnter Gegenden und zum Schutz von Stränden vor Erosion werden sogenannte „Wellenbrecher“ installiert, welche das Land schützen, indem sie die Wellen brechen und ihnen ihre Energie entziehen. Dieses Prinzip dient als Grundlage beim Versuch, dem Schallfeld an der Beugungskante einer Lärmschutzwand Energie zu entziehen um den Beugungseffekt zu reduzieren. In [1] wurde versucht, den Beugungseffekt mit einem $\lambda/2$-Resonator entgegen zu wirken.

Setup

Die Untersuchungen wurden mit 2D Simulations-berechnungen verwirklicht (Software: [2]). Die Ausgangskonfiguration stellte eine 4 Meter hohe und 30 cm starke Lärmschutzwand dar, welche von einer 7 Meter entfernten, 5 cm über dem Boden platzierten Schallquelle beschallt wurde. Untersucht wurden Frequenzen zwischen 400 Hz und 2400 Hz.

Dieses Modell stellt, übertragen in den dreidimensionalen Raum, eine von einer Linienschallquelle beschallte unendlich lange Lärmschutzwand dar.

Auf der der Schallquelle gegenüber liegenden Seite wurde in einer Entfernung von 5 Metern zur Lärmschutzwand eine vertikale Auswertelinie definiert. Diese reichte vom Grund (0 m) bis auf eine Höhe von 10 m. Um Interferenzeffekte zu glätten und für den Vergleich zwischen den untersuchten Modellen stabile Einzahlwerte zu erhalten, wurde die Auswertelinie horizontal auf eine Breite von 1 m ausgedehnt (4,5 m bis 5,5 m). Weiter wurde sie vertikal in 2 m Abschnitte unterteilt (siehe Abbildung 1).

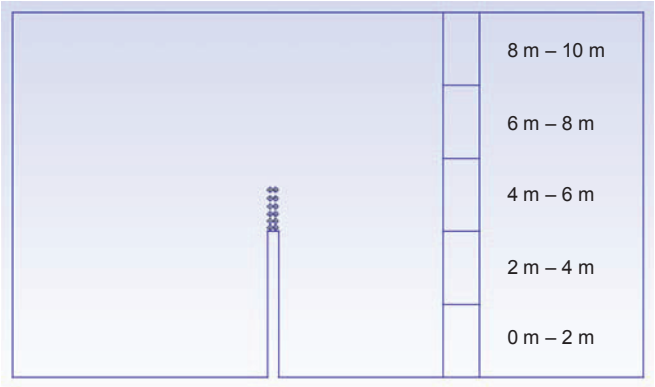

Abbildung 1: Fünf vertikale Auswertebereiche zur Ermittlung von Einzahlwerten für den Vergleich zwischen den untersuchten Streukörpervarianten.

Umsetzung

Oberhalb der Lärmschutzwand wurden (quasi als Verlängerung der Lärmschutzwand) runde Streukörper platziert. Übertragen in den dreidimensionalen Raum stellen diese runden Streukörper Zylinder dar.

Diese Zylinder füllten vier vertikal angeordnete quadratische Segmente deren Abmessungen der Stärke der Lärmschutzwand entsprechen.

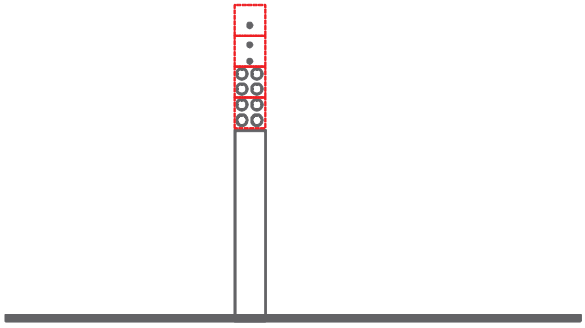

Abbildung 2: Auf die Ausgangs-Lärmschutzwand wurden unterschiedliche Anzahlen von Streukörper in vier imaginäre Segmente gefüllt.

Modelle

Ausgehend von einer Grundversion wurden drei weitere Versionen untersucht.

- In den Grundversionen wurden in je einer der vier Segmente 1, 4, 16, 64 bzw. 256 (Bezeichnung: S0 – S4) Streukörper untergebracht. Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,2 m (Abbildung 3).
- Das oberste Segment wurde entfernt. Die Abstände zwischen den drei verbliebenen Segmenten wurden linear von Segment zu Segment gedehnt (ergänzende Bezeichnung: _d3). Die Gesamthöhe entspricht der der Grundversion (Abbildung 4).
- Die Abstände aller vier Segmente wurden linear gedehnt (ergänzende Bezeichnung: _d4). Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,7 m (Abbildung 5).
- In vier Modellen wurden die Segmente mit ansteigender bzw. abfallender Anzahl an Streukörpern gefüllt (von: S0 bis S3, S3 bis S0, S1 bis S4 und S4 bis S1). Bezeichnungen: S0_S3, S3_S0, S1_S4 und S4_S1. Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,2 m (Abbildung 6).

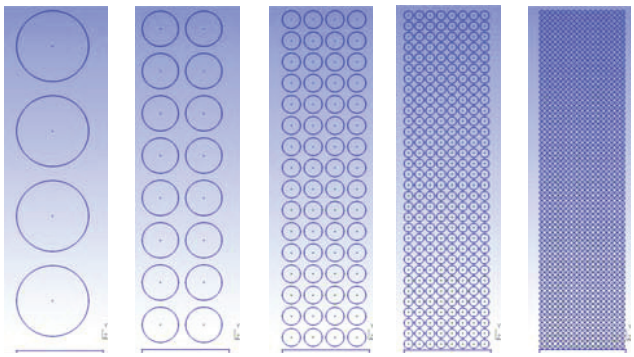

Abbildung 3: Grundversionen der auf die Lärmschutzwand aufgesetzten Streukörper (v.l.n.r. S0, S1, S2, S3 und S4). Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,2 m.

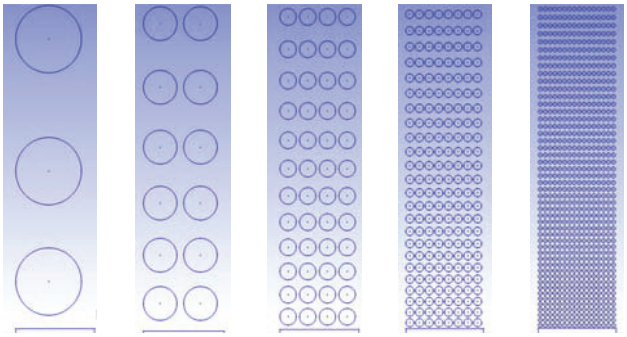

Abbildung 4: Nach Entfernung eines Segmentes wurden die Inhalte der verbliebenen drei Segmente auf dieselbe Endhöhe der Grundversionen linear gedehnt (5,2 m).

Die Grundversionen dienten der Untersuchung der Wirkungsweise der verschieden großen Streukörper. Es wurde Aufschluss über etwaige Sperr- bzw. Durchlassfrequenzen erwartet.

Da auch die Grundversionen an Streukörper-Aufsätzen plötzlich aufhören, entstand die Idee der gedehnten Varianten. Bei diesen lag die Überlegung zugrunde, die durch ein konstantes Gitter an Streukörpern schon aufgelöste Beugungskante sich noch weiter auflösen zu lassen.

Die Modelle, die aus unterschiedlichen Streukörpern zusammengestellt wurden, stellen einen Versuch dar, durch Kombination eine verbesserte (breitbandigere) Wirksamkeit zu erlangen.

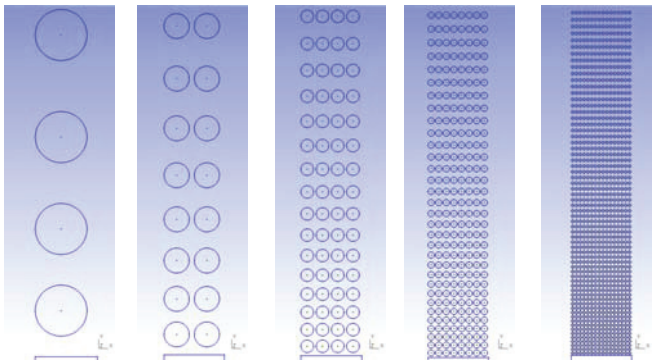

Abbildung 5: Die Abstände alle Streukörper der vier Segmente wurden linear gedehnt. Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,7 m.

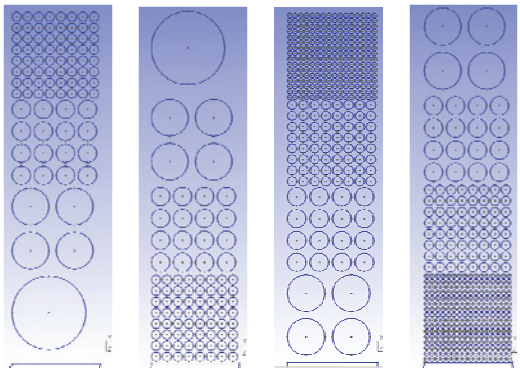

Abbildung 6: Vier Modelle mit ansteigender bzw. abfallender Anzahl an Streukörpern in den vier Segmenten (S0 bis S3, S3 bis S0, S1 bis S4 und S4 bis S1). Gesamthöhe inkl. Lärmschutzwand: 5,2 m.

Auswertung

Durch die auf die Lärmschutzwand aufgesetzten Streukörper wurde die Ausgangs-Lärmschutzwand in gewissem Maße erhöht, bzw. es wurden zusätzliche Hindernisse in den Schall-Ausbreitungsweg eingebracht. Daher erschien es nicht angemessen, die Berechnungen mit den Aufsätzen, den Ergebnissen der 4 m hohen Ausgangs-Lärmschutzwand gegenüber zu stellen. Daher wurde folgender Ansatz gewählt.

Unabhängig von der Füllung (S0, S1, S2, S3 oder S4) ist das Verhältnis von Streukörper-Fläche zur Gesamtfläche der Umhüllenden konstant. Also ist $1 \cdot A_{S0} = 4 \cdot A_{S1} = 16 \cdot A_{S2} = 64 \cdot A_{S3} = 256 \cdot A_{S4}$. Die Fläche der eingebrachten Hindernisse ist somit $4 \cdot A_{Sx}$ für die Grundversionen, die gedehnte Version mit 4 Segmenten sowie die Modelle mit vier unterschiedlichen Füllungen der Segmente. Für die Version, für die ein Segment entfernt wurde um die verbliebenen drei Segmente auf die Gesamthöhe der Grundversion mit 4

Segmenten zu dehnen gilt für die Summe der zusätzlich eingebrachten Flächen $3 \cdot A_{Sx}$.

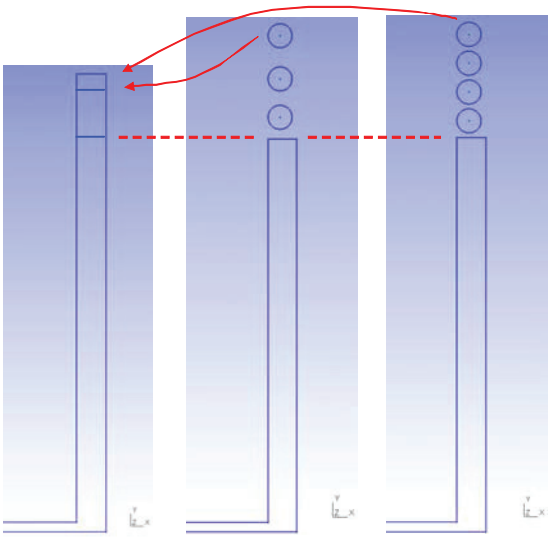

Abbildung 7: Referenz-Lärmschutzwände für 3- bzw. 4-segmentige Streukörperaufsätze.

Für die Berechnung der Einfügungsdämpfung wurden die jeweiligen Modelle mit einer Lärmschutzwand verglichen, die um die Fläche der eingefügten Streukörper erhöht wurde.

Ergebnisse

Zur Visualisierung der Schallausbreitung wurden Color-Maps erstellt. Abbildung 8 zeigt diese beispielhaft.

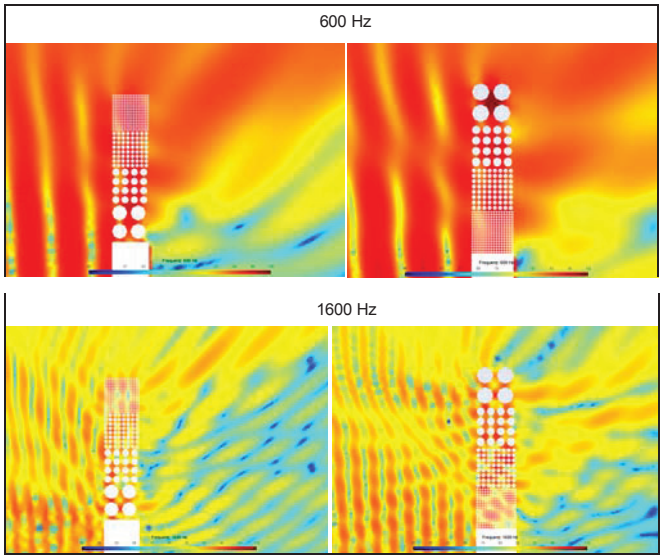

Abbildung 8: Beispuielhafte Color-Maps bei 600 Hz und 1600 Hz für die Modelle mit variierenden Segmenten in ansteigender bzw. abfallender Anzahl (S1_S4 und S4_S1).

Da durch die Streukörpern die Beugung über die Lärmschutzwand-Oberkante beeinflusst werden sollte, wurde bei der Auswertung der Daten besonderes Augenmerk auf die Auswertebereiche 0 m – 2 m, 2 m – 4 m und auch 4 m – 6 m gelegt (siehe auch Abbildung 1), die unterhalb der Beugungskante liegen.

In diesen unteren drei Bereichen wurden bei einzelnen Frequenzen zwischen 400 Hz und 2400 Hz teils hohe Pegelreduktionen erreicht (siehe Abbildungen 9 – 12). Der Anschaulichkeit halber wurden in den Diagrammen die Balken der wirksamen Varianten mit ihren Kurzbezeichnungen (siehe „Modelle“) beschriftet und diese auch als Grafik eingefügt (siehe auch Abbildungen 3 – 6). Die Balken und Grafiken besonders herausragender Varianten wurden zusätzlich mit einem roten Rahmen versehen.

Bei 400 Hz (Abbildung 9), der niedrigsten der untersuchten Frequenzen, sind alle fünf 4-segmentigen Grundversionen annähernd gleich wirksam. Sie zeigen im untersten Bereich eine Pegelreduktion von mindestens 3 dB. Auffallend sind die Varianten S0 und S0_S3, deren Wirksamkeiten hier über -5 dB zeigen und, ohne großen Verlust, noch in die beiden darüber liegenden Bereiche hinein reichen

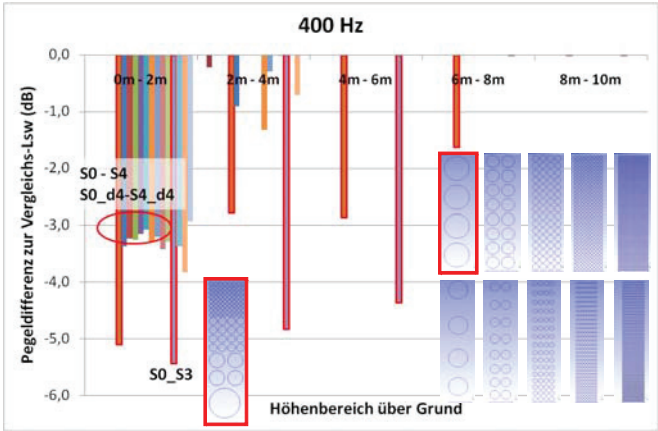

Abbildung 9: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvariante zur jeweiligen Referenz-Lärmschutzwand für die fünf Auswertebereiche für die Frequenz 400 Hz.

Bei 600 Hz (Abbildung 10) fallen mit Ausnahme der S1-er Variante, verglichen mit 400 Hz, als wirksamste Aufsätze die gedehnten Varianten weg. Dafür zieht sich die Wirksamkeit ohne nennenswerte Abschwächung recht konstant durch die relevanten unteren drei Bereiche.

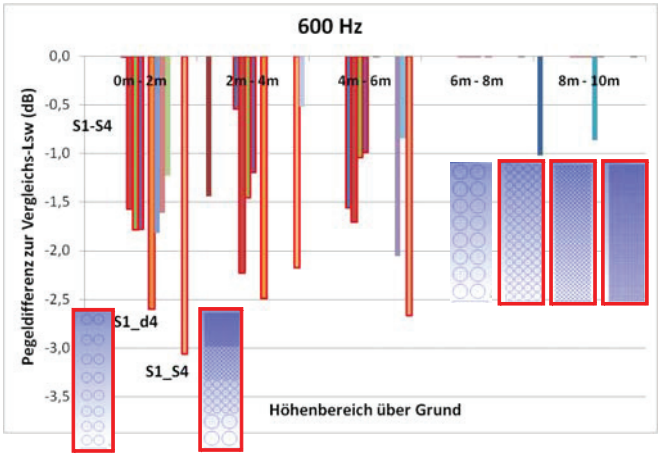

Abbildung 10: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvariante zur jeweiligen Referenz-Lärmschutzwand für die fünf Auswertebereiche für die Frequenz 600 Hz.

Die gedehnten 4-segmentigen Varianten S2_d3 bis S4_d3 zeigen bei der Frequenz von 1200 Hz die besten Resultate (Abbildung 11). Auch die Variante S2_d4 zeigt mit -3,7 dB im Bereich von 2 m – 4 m Höhe eine sehr gute Wirksamkeit.

Es fällt auf, dass insgesamt, betrachtet man sowohl die Anzahl an wirksamen Varianten als auch die Pegelreduktion, die Wirksamkeit zu höheren Frequenzen geringer wird. Dies ist nicht verwunderlich, da höhere Frequenzen besser abgeschirmt werden. So werden schon bei der Referenz-Lärmschutzwand in den abgeschirmten Bereichen große Pegelminderungen erreicht. Das Potential zu Verbesserungen wird zu höheren Frequenzen also niedriger.

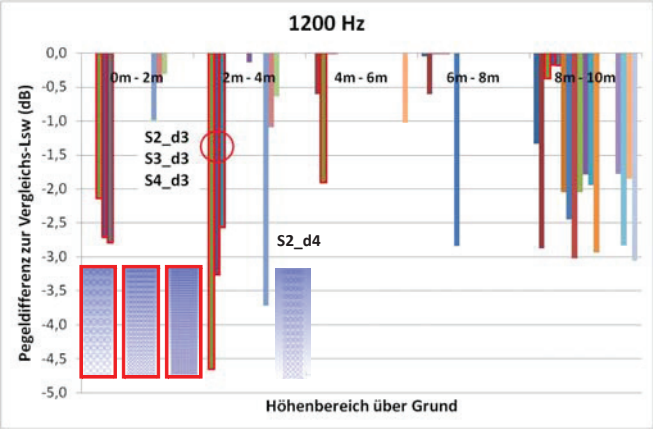

Abbildung 11: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvariante zur jeweiligen Referenz-Lärmschutzwand für die fünf Auswertebereiche für die Frequenz 1200 Hz.

Bei 2400 Hz (Abbildung 12) ist nur noch im Schattenbereich zwischen 2 m - 4 m eine Pegelreduktion zu erkennen. Diese werden mit den Varianten S2 bis S4 in der Grundversion und S3 und S4 in der gedehnten Version (4 Segmente) erreicht.

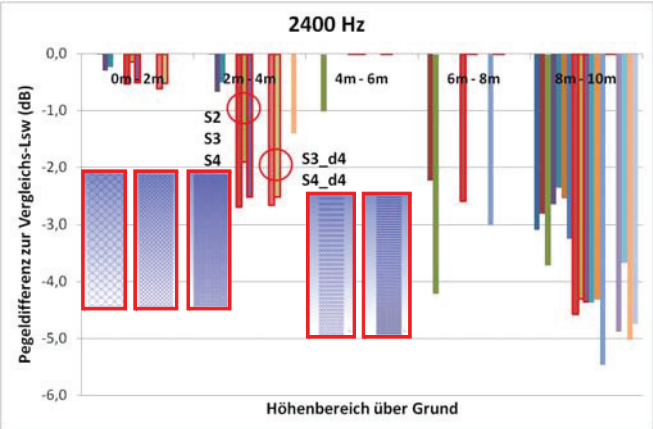

Abbildung 12: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvariante zur jeweiligen Referenz-Lärmschutzwand für die fünf Auswertebereiche für die Frequenz 2400 Hz.

Zusammenfassung

Anhand der Simulationsberechnungen konnte die grundsätzliche Wirksamkeit der Streukörper-Aufsätze nachgewiesen werden. Es werden teilweise hohe Pegelminderungen erzielt. Betrachtet man die wirksamsten Varianten bei den einzelnen Frequenzen, fällt auf, dass diese mit steigender Frequenz zu kleineren Streukörpern tendieren.

Ausblick

Mit den Erkenntnissen dieser Untersuchung sollen weitere Aufsätze konstruiert werden. Hierbei wird an geometrische Erweiterungen über die Beugungskante hinaus gedacht, wie auch an einen quasi fraktalen Aufbau bzw. Anordnung der Streukörper. Hierbei stellt die beispielsweise die Umhüllende eines Segmentes, gefüllt mit S4-er Streukörpern, kein Quadrat dar, sondern die S0-Kreisfläche.

In weitegehenden Untersuchungen sollen dann die besten Varianten im Modellmaßstab in der „Halle für akustische Modelltechnik“ der Bundesanstalt für Straßenwesen aufgebaut werden. Die Messungen an diesen Modellen sollen die Simulationsergebnisse verifizieren.

Literatur

[1] Chudalla, M.; Bartolomaeus W.; Mehra S.-R..: Anwendung des Interferenzschalldämpfer-Prinzips auf eine Lärmschutzwand. DAGA (2011)

[2] Software SYSNOISE, URL: `http://novicos.de/news/lms-sysnoise`