

Entschärfte Beugung

Kann der Beugungseffekt durch Streukörper an der Beugungskante verringert werden?

Michael Chudalla¹

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 ($\lambda \ll h_{L,sw}$) 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 Simulationsberechnungen 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 wurde in fünf Frequenzschritten (600 Hz, 1000 Hz, 1400 Hz, 1800 Hz und 2200 Hz).

Dieses 2D-Modell stellt, übertragen in den dreidimensionalen Raum, eine von einer Linienschallquelle (zylinderförmig) beschallte unendlich lange Lärmschutzwand dar.

Um Interferenzeffekte zu glätten und um für den Vergleich zwischen den untersuchten Modellen stabile Einzahlwerte zu erhalten, wurden hinter der Lärmschutzwand in den Entfernungen 1 Meter, 5 Meter und 9 Meter zur Lärmschutzwand vertikale Auswertebereiche mit einer Breite von 1 m definiert (0,5 m bis 1,5 m, 4,5 m bis 5,5 m und 8,5 m bis 9,5 m). Weiter wurden sie vertikal in acht 1 m Abschnitte unterteilt (siehe Abbildung 1). Diese reichten vom Grund (0 m) bis auf eine Höhe von 8 m.

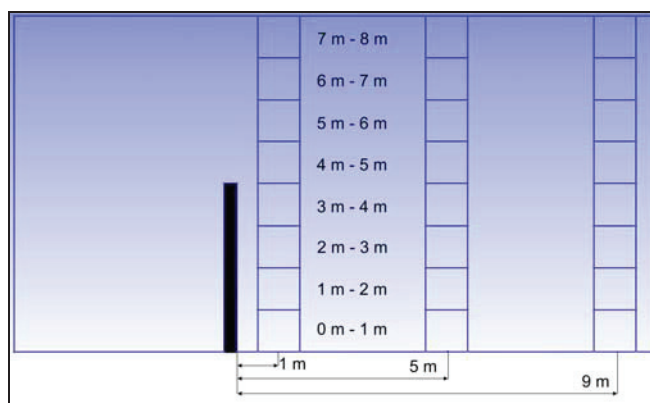


Abbildung 1: Acht vertikale Auswertebereiche in 3 Abständen zur Lärmschutzwand zur Ermittlung von Einzahlwerten für den Vergleich zwischen den untersuchten Streukörpervarianten.

Umsetzung

In drei Bereichen um die Beugungskante, wurden runde Streukörper platziert. Diese befanden sich vor und schräg über der Beugungskante (zur Fahrbahn hin bzw. von der Fahrbahn weg geneigt) der Lärmschutzwand. Übertragen in den dreidimensionalen Raum stellen diese runden Streukörper Zylinder entlang der Lärmschutzwand dar. Die Streukörper wurden in den Umhüllenden sechs verschiedener geometrische Formen angeordnet. Diese Umhüllenden und weitere Modifikationen bzw. Varianten werden unter „Modelle“ näher beschrieben. Die Umhüllenden wiesen in ihren maximalen Ausdehnungen Längen von 2 Metern auf.

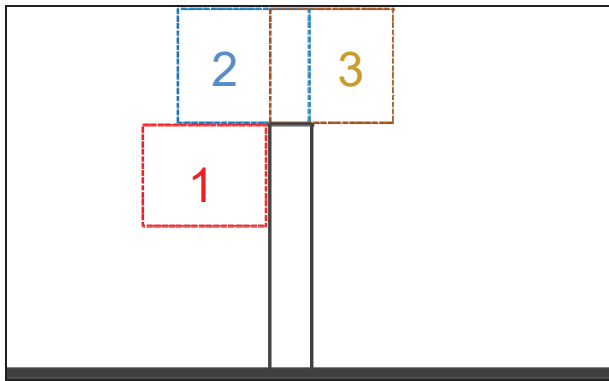


Abbildung 2: An die Ausgangs-Lärmschutzwand wurden unterschiedliche Arten von Streukörper-Umhüllenden-Geometrien in verschiedene Bereiche (1 bis 3) um die Beugungskante gesetzt.

Modelle

Es wurden die folgenden sechs Formen von Umhüllenden untersucht.

- gleichseitiges Dreieck (Prisma)
- gleichschenkliges Dreieck
- Kreisringausschnitt
- Rechteck
- konvexe Linse
- konkave Linse

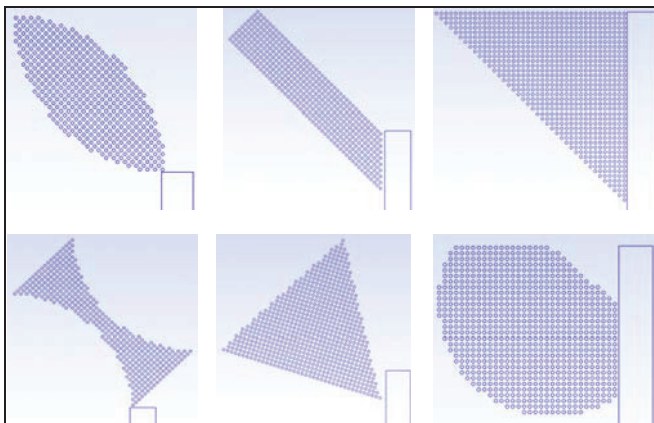


Abbildung 3: Umhüllenden-Formen der an der Beugungskante der Lärmschutzwand angebrachten Streukörper. Von links nach rechts: oben: Linse Konvex, Rechteck, gleichschenkliges Dreieck, unten: Linse konkav, gleichschenkliges Dreieck (Prisma), Kreisringausschnitt.

Die Füllung der Umhüllenden mit den Streukörpern wurde in 3 unterschiedlichen Streukörpergrößen/Rastermaßen gestaltet:

- Streukörperdurchmesser: 10 cm, Rastermaß 14 cm,
- Streukörperdurchmesser: 5 cm, Rastermaß 10 cm,
- Streukörperdurchmesser: 3 cm, Rastermaß 5 cm.

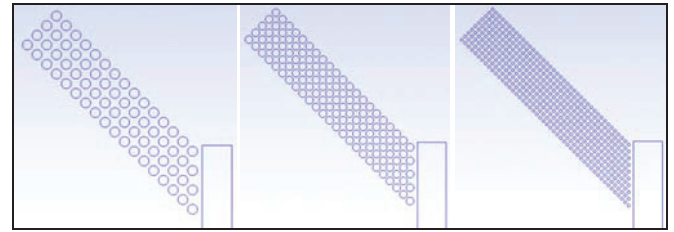


Abbildung 4: Drei Varianten an Streukörpergrößen/Rastermaßen wurden je Umhüllenden-Form untersucht. Von links nach rechts: 10 cm/14 cm, 5 cm/8 cm und 3 cm/5 cm.

Die gleichschenkligen Dreiecks-Modelle und der Kreisringausschnitt wurden bündig mit der Lärmschutzwand-Oberkante vor die Lärmschutzwand gesetzt. Die gleichseitige Dreiecksvariante wurde „schwebend“ schräg oberhalb vor der Beugungskante positioniert. Die Linsenformen und das Rechteck wurden, schräg zur Fahrbahn hin, bzw. von der Fahrbahn weg geneigt, an der Lärmschutzwand getestet.

Die Ausrichtung bzw. Anordnung der Streukörper innerhalb der Umhüllenden wurde variiert. Dies erfolgte entweder entlang verschiedener Außenkanten der Umhüllenden-Form (siehe Abbildung 5, linke Abbildungen) oder horizontal und um 45° geneigt (Abbildung 5, rechte Abbildungen). Hierdurch standen die Streukörper in Schall-Ausbreitungsrichtung im einen Falle hintereinander und im anderen Falle auf Lücke.

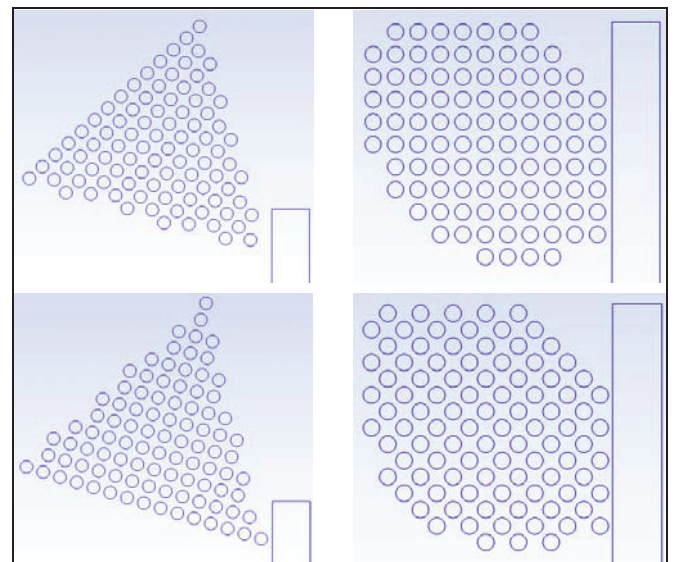


Abbildung 5: Links oben und unten: Ausrichtung der Streukörper entlang verschiedener Außenkanten. Rechts oben und unten: Horizontale bzw. um 45° gekippte Ausrichtung der Streukörper.

Auswertung

Durch die angebrachten Streukörper wurde die Ausgangs-Lärmschutzwand verändert, 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 Ausgangslärmschutzwand gegenüber zu stellen. Daher wurden die verschiedenen Streukörper-Varianten passenden Lärmschutzwand-Aufsätzen gleicher Längenausdehnung gegenüber gestellt, welche schallundurchlässig waren (siehe Abbildung 6).

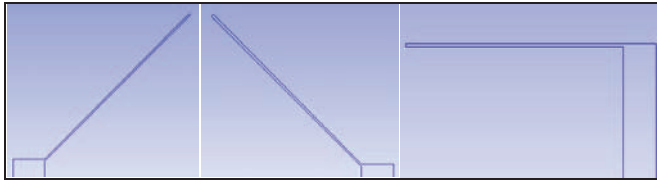


Abbildung 6: Vergleichs-Lärmschutzwandaufsätze. Links: schräg von Fahrbahn weg, Mitte: schräg zur Fahrbahn hin und rechts: horizontal Richtung Fahrbahn.

So wurden die gleichschenkligen Dreiecke und die Kreisringausschnitte der horizontalen Variante und die gleichseitigen Dreiecke und die Rechtecke der schräg zur Fahrbahn hin geneigten Variante gegenüber gestellt. Da die Linsen in beiden geneigten Varianten getestet wurden, wurden sie jeweils passend zugeordnet (siehe Abbildung 7).

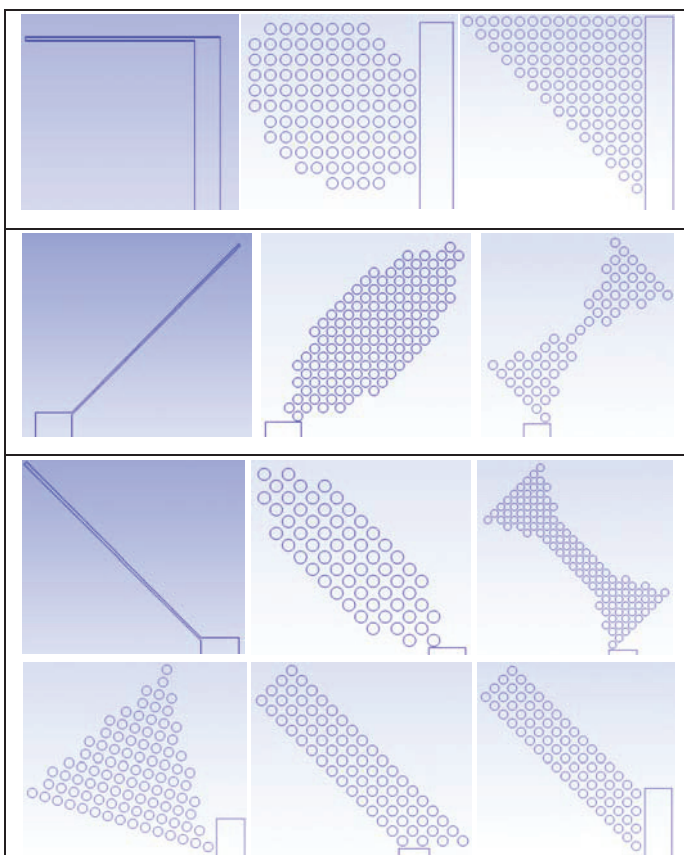


Abbildung 7: Zuordnungen der verschiedenen Streukörper-Varianten zu den Vergleichs-Lärmschutzwandaufsätzen.

Ergebnisse

Da durch die Streukörper die Beugung über die Lärmschutzwand-Oberkante beeinflusst werden sollte, wurde bei der Auswertung der Daten besonderes Augenmerk auf die Auswertebereiche im Schall-Schattengebiet gelegt. Dieser erstreckte sich direkt hinter der Lärmschutzwand (1 m) bis zur Höhe von 4 m, im Abstand von 5 m zur Lärmschutzwand bis 6 m Höhe und bei der größten untersuchten Entfernung zur Lärmschutzwand (9 m) bis auf 8 m Höhe.

Es wurden die Differenzpegel zwischen den modifizierten Varianten und der alleinigen Lärmschutzwand gebildet. Bei der Auswertung der Daten wurden die in Abbildung 7 dargestellten drei Gruppen gebildet, miteinander verglichen und die wirkungsvollsten Varianten den Vergleichs-Lärmschutzwandaufsätzen aus Abbildung 6 gegenüber gestellt. Diese sind im Folgenden in den Abbildungen 8 bis 10 dargestellt. Insgesamt ist zu erkennen, dass die Streukörper-Anordnungen ähnliche Verbesserungsmaße erreichen wie die Vergleichs-Lärmschutzwandaufsätze.

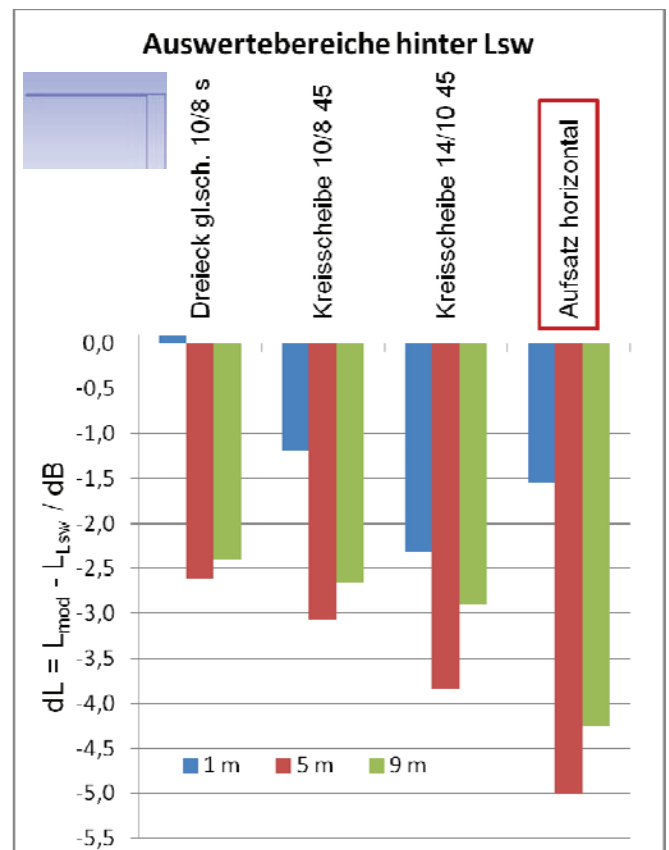


Abbildung 8: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvarianten des Bereits „1“ (siehe Abbildung 2) zur Lärmschutzwand ohne Anbauten.

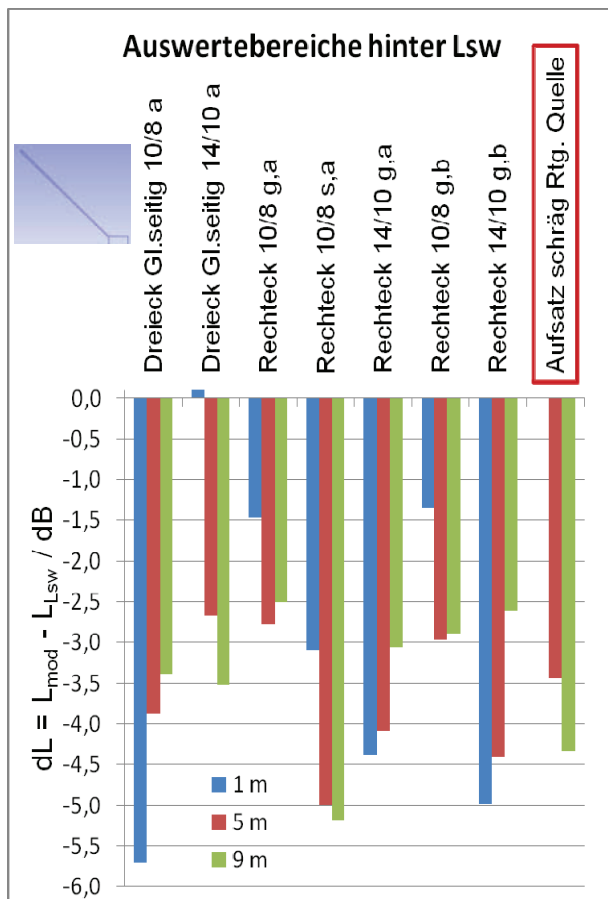


Abbildung 9: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvarianten des Bereits „2“ (siehe Abbildung 2) zur Lärmschutzwand ohne Anbauten.

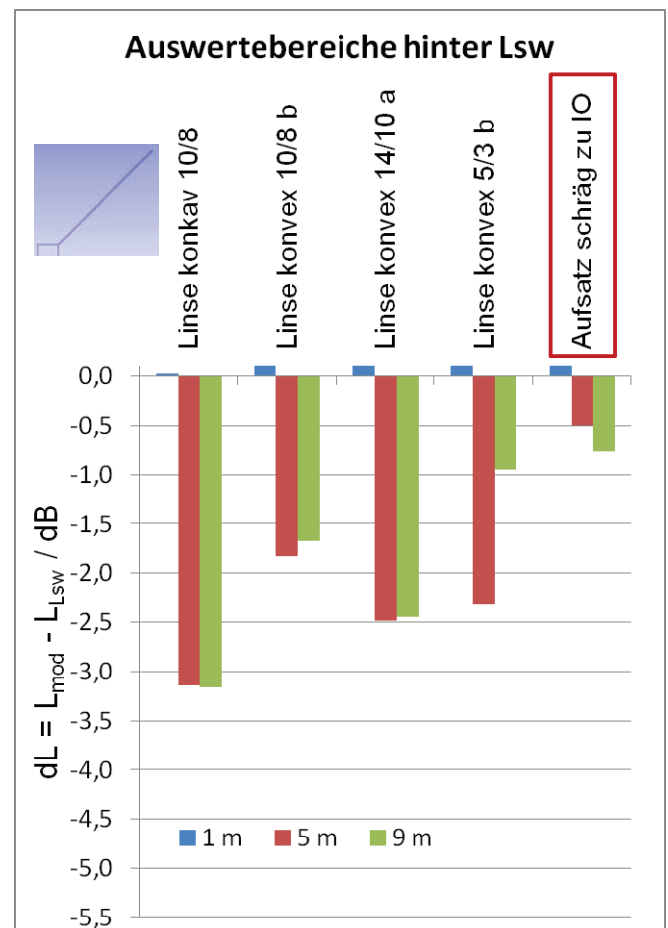


Abbildung 10: Darstellung des Differenzpegels der jeweiligen Aufsatzvarianten des Bereits „2“ (siehe Abbildung 2) zur Lärmschutzwand ohne Anbauten.

Zusammenfassung

Anhand der Simulationsberechnungen konnte die grundsätzliche Wirksamkeit der Streukörper-Aufsätze nachgewiesen werden. Es werden Pegelminderungen erzielt, die denen von undurchlässigen Lärmschutzwand-Aufsätzen entsprechen.

Ausblick

Weiterführende Auswertungen sollen Einblicke in die physikalischen Effekte innerhalb der Streukörperanordnungen ermöglichen. Mit den Erkenntnissen dieser Untersuchung sollen weitere Aufsätze konstruiert werden um dem Ziel, den Beugungseffekt zu reduzieren, einen Schritt näher zu kommen.

In weitestgehenden 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>