

## **Einfluss der Absorption von Lärmschutzwänden auf die Schallbeugung**

FA 2.328

Forschungsstelle: ACCON GmbH Ingenieurbüro für Schall- und Schwingungstechnik, Greifenberg

Bearbeiter:

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: November 2013

### **1 Problemstellung und Ziel**

In den RLS-90 wird zur Berechnung der Einfügungsdämpfung von Lärmschutzwänden (LSW) deren Geometrie herangezogen. Aus dem direkten Schallweg zwischen Quelle und Immissionsort und dem Weg über die LSW ergibt sich der sogenannte Schallumweg als Maß der zu erreichenden Pegelreduktion. Hierbei wird nicht zwischen reflektierenden und absorbierenden LSW unterschieden.

Ausgehend von Berechnungen mit der BEM-Methode und anhand von Messungen soll der Einfluss absorbierend bekleideter LSW (straßenseitig und/oder rückwärtig) auf das gebeugte Schallfeld ermittelt und gegebenenfalls eine Modifikation der RLS-90 vorgenommen werden.

### **2 Berechnungsverfahren**

Für die numerischen Berechnungen wird das Randelementverfahren (abgekürzt BEM = boundary element method) verwendet, da mit dieser Methode die akustische Wellengleichung gelöst werden kann und somit Brechungs- und Beugungseffekte an Hindernissen wie LSW mit vorgegebenen absorbierenden Impedanzrandbedingungen berechnet werden können. Mithilfe des Umweggesetzes allein kann die absorbierende Bekleidung nicht berücksichtigt werden.

Um eine schallharte Ebene in der BEM-Rechnung zu berücksichtigen, wird die entsprechende Green'sche Funktion des Halbraums verwendet. Diese enthält noch zusätzlich die an der schallharten Ebene gespiegelte Green'sche Funktion des Freifelds. Die Rechenergebnisse der BEM-Simulationen werden verglichen mit den Resultaten der RLS-90 für "einen langen Schirm konstanter Höhe parallel zu einem 'langen, geraden' Fahrstreifen" im zweidimensionalen Fall. Auch die Näherungsverfahren nach der VDI 2720 bzw. ISO 9613-2 werden hinzugezogen. Im dreidimensionalen Fall wird die in den RLS-90 angegebene Formel für das Abschirmmaß für die Einfachbeugung im Teilstückverfahren mit  $K_w = 1$  verwendet.

### **3 Simulationsrechnungen für zweidimensionale Lärmschutzwände**

In vielen praktischen Fällen ist die Länge der LSW sehr viel größer als ihre Höhe und die Schallquellen sind parallel zur Wand angeordnet bzw. bewegen sich parallel zur LSW. Daher kann man als eine erste gute Näherung eine gerade, unendlich lange LSW vor einer Linienquelle betrachten. Eine derartige Konfiguration kann durch ein zweidimensionales Modell dargestellt werden.

In einer Voruntersuchung werden die Ergebnisse bei impliziter und expliziter Berücksichtigung des Bodens nach VDI 2720 bzw. ISO 9613-2 verglichen. Hierbei zeigt sich, dass die Unterschiede für die beiden Berechnungen desto kleiner werden, je höher die Frequenz ist.

Im nächsten Schritt wird die 2-D-BEM mit der Näherungsformel für explizit berücksichtigten Bodeneinfluss verglichen.

Es ist hierbei zu beachten, dass die 2-D-BEM eine in einer Richtung unendlich ausgedehnte Lärmschutzwand behandelt, so dass parasitäre Effekte aufgrund der Endlichkeit der Wand nicht auftreten können. Der Nachteil der 2-D-BEM liegt darin begründet, dass keine Punktquellen, sondern nur Linienquellen berücksichtigt werden können, die entlang der LSW keine örtliche Variation aufweisen. Als Modell für eine derartige Linienquelle wird die nullte Hankelfunktion verwendet.

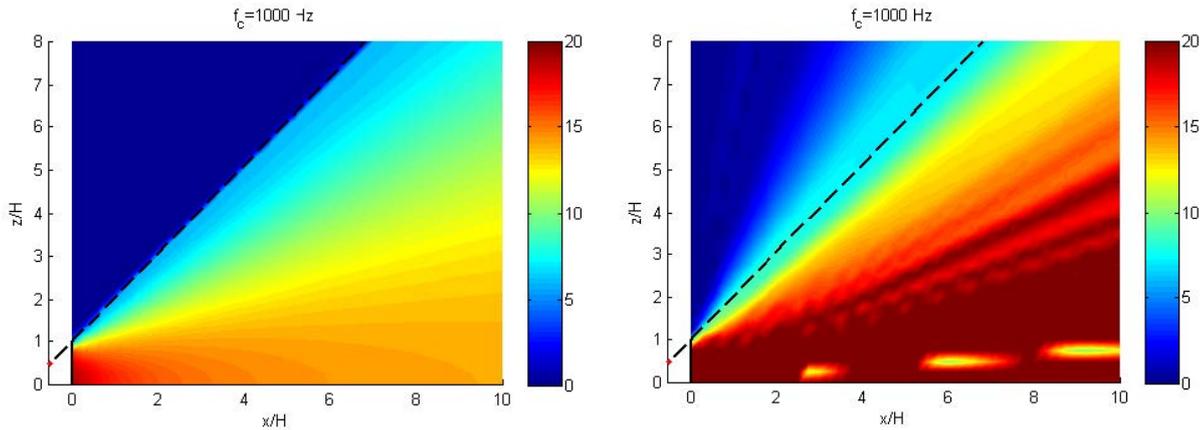
Bei tiefen Frequenz ergeben sich im Schatten der LSW große Unterschiede zwischen den beiden Verfahren, da die Beugungseffekte nicht vernachlässigt werden dürfen. Das Umweggesetz ist hier nicht voll anwendbar.

Die beiden Berechnungsmethoden stimmen desto besser überein, je höher die Frequenz ist, da dann die Methoden der geometrischen Akustik, auf denen auch das Umweggesetz beruht, sich den exakten Verfahren annähern. Eine Annäherung der beiden Verfahren kann auch dadurch erreicht werden, dass man pro Oktave eine größere Anzahl von Frequenzberechnungen vornimmt und die Resultate dann anschließend mittelt. Mittelt man z. B. über 24 Frequenzen innerhalb der 1000 Hz Oktave, so zeigt die BEM in Bild 1 (rechte Seite) auch einen glatten Verlauf des Abschirmmaßes.

Da in die Berechnungsformel der RLS-90 die Frequenz nicht explizit eingeht, muss für die BEM-Berechnung für Vergleichszwecke ein Einzahlwert  $\bar{L}$  des Einfügungsdämpfungsmaßes durch geeignete Mittelung über alle betrachteten Frequenzbänder ermittelt werden. Im Falle der zum Experiment analogen Konfiguration ergeben sich im 2-D-Fall Unterschiede bis zu 8,3 dB(A) für die schallharte LSW in 20 ausgewählten Messorten:

**Tabelle 1:**  $\Delta IL = IL_{RLS}$  an den 20 Mikrofonpositionen

	10 m	15 m	20 m	25 m
10 m	-0.6	-4.5	-5.9	-6.5
8 m	-4.0	-6.0	-6.6	-6.2
6 m	-6.2	-6.6	-5.8	-5.4
4 m	-6.6	-5.6	-6.0	-6.8
2 m	-7.6	-8.3	-7.4	-7.5



**Bild 1:** Explizite (links) und 2-D-BEM (rechts) Berechnung des Abschirmmaßes für die 1000 Hz Oktave mit Mittelung über 24 Frequenzen. Hierbei stellt die Ordinate die Höhe dar und ist mittels  $z/H$  auf die Höhe der LSW normiert. Analog ist die Entfernung  $x$  von der LSW normiert.

Weiterhin wurde der Effekt der absorbierenden Seitenverkleidung der LSW für vier verschiedene Absorptionsklassen untersucht. Es zeigte sich, dass das "Absorber-Einfügungsdämpfungsmaß"

$$\Delta L_a = L_{P,oB} - L_{P,mB} \quad [dB]$$

immer positive Werte annimmt. Dieses Einfügungsdämpfungsmaß ist definiert als die Differenz zwischen dem Schalldruckpegel  $L_{P,oB}$  (oB = ohne Bekleidung), der hinter einer schallharten LSW über schallhartem Boden und dem Schalldruckpegel  $L_{P,mB}$  (mB = mit Bekleidung), der hinter einer absorbierend bekleideten LSW über schallhartem Boden auftritt. Auf diese Weise wird der Schalldruck mindernde Effekt der absorbierenden Bekleidung für die betrachtete Absorberklasse allein berücksichtigt.  $\Delta L_a$  ist für alle Absorptionsklassen sehr klein für die Konfiguration  $S_{ohne}E_{mit}$  (Absorber hinter der LSW), während  $\Delta L_a$  in den Fällen  $S_{mit}E_{ohne}$  und  $S_{mit}E_{mit}$  praktisch gleich groß ausfällt. Der maximale Wert von  $\Delta L_a$  liegt bei etwa 1.5 dB(A). Hierbei wurden die folgenden Fälle betrachtet:

- $S_{ohne}E_{ohne}$  steht für den schallharten Fall ohne Absorber,
- $S_{mit}E_{ohne}$  steht für quellseitige absorbierende Beschichtung,
- $S_{ohne}E_{mit}$  steht für empfängerseitige absorbierende Beschichtung,
- $S_{mit}E_{mit}$  steht für beidseitige absorbierende Beschichtung.

#### 4 Simulationsrechnungen für dreidimensionale Lärmschutzwände

Um realitätsnähere Konfigurationen zu untersuchen, wurde eine dreidimensionale (3-D-)BEM zur Berechnung des Schallfelds einer Punktquelle vor reflektierenden und schall absorbierenden LSW durchgeführt. Hierbei wurde ebenfalls eine Halbraum-BEM angewendet, bei der der Boden als schallhart angenommen wird. Zur messtechnischen Validierung dieser Simulationsrechnungen wurden Messungen an einer LSW unter Laborbedingungen im reflexionsarmen Raum durchgeführt und mit den Berechnungen der 3-D-BEM verglichen. Im Fall der schallhar

ten LSW lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Die Übereinstimmung von Messung und Rechnung ist in einzelnen der betrachteten zwanzig Mikrofonpositionen für die schallharte LSW hervorragend. In allen Messpunkten weisen Rechnung und Messung einen sehr ähnlichen Kurvenverlauf auf. Für absorbierend bekleidete LSW gewinnt man die folgenden Aussagen: In den höher gelegenen und der LSW nächstgelegenen Messpunkten zeigen sowohl Messung als auch Rechnung in sehr guter Übereinstimmung, dass der Effekt der Absorption nahezu vernachlässigbar ist. In den anderen Messpunkten prognostiziert die Simulation allerdings einen stärkeren Effekt, während die Messergebnisse im Mittel kaum Auswirkungen der absorbierenden Belege zeigen. Die Kurvenverläufe von Messung und Rechnung sind sehr ähnlich, sie unterscheiden sich jedoch im Mittel um 0 bis maximal 3 dB(A). Dies zeigen auch die zugehörigen Einzahlwerte.

Sowohl die Mess- als auch die Rechenergebnisse ergeben, dass nur die quellseitige und die beidseitige Bekleidung mit Absorptionsmaterial nennenswerte Auswirkungen auf das Abschirmmaß haben. Die BEM-Rechnungen liefern dann eine Erhöhung des Abschirmmaßes um im Mittel 1-3 dB(A) unter der Bedingung, dass sich der Messpunkt nicht zu weit oberhalb der Schirmkante befindet. Eine rein empfängerseitige Bekleidung zeigt nahezu keine Verbesserung des Abschirmmaßes.

Beispielhaft sind hier in Tabelle 2 die Differenzen der Einzahlwerte zwischen RLS-90 und 3-D-BEM-Rechnung für eine schallharte LSW aufgeführt. Es ist interessant zu sehen, dass die  $\Delta IL$  nur Werte um maximal  $\pm 3$  dB annehmen und somit kleiner sind als im zuvor betrachteten 2-D-Fall (vgl. Tabelle 1 und 2).

Tabelle 2: Differenz der Einzahlwerte  $\Delta IL = IL_{RLS} - \bar{IL}$ 

	10 m	15 m	20 m	25 m
10 m	-1.9	-3.2	-2.5	-1.8
8 m	-3.2	-2.4	-1.6	-0.2
6 m	-2.2	-0.8	1.1	2.2
4 m	0.4	2.7	3.1	2.9
2 m	3.2	2.5	3.0	2.7

Bemerkenswert ist, dass das gemessene  $\Delta L_a$  im Bereich zwischen 450 und 850 Hz in einigen Mikrofonpositionen negative Werte annimmt, während die BEM-Simulation immer positive Ergebnisse liefert. Das bedeutet, dass der absorbierende Belag offenbar auch zu einer leichten Erhöhung des Schalldruckpegels in manchen Messpunkten geführt hat, was eventuell auf die Genauigkeitsgrenzen der Messungen zurückzuführen ist. Diese negativen gemessenen Werte führen auf kleinere – aber immer positive – Einzahlwerte  $\Delta \bar{L}_a$  (frequenzgemittelte Gleichung 1), als sie in der Simulation beobachtet werden.

## 5 Zusammenfassung und Folgerungen

Die Messergebnisse und die Berechnungen liefern die folgenden Resultate:

- a) Nur die quellseitige und die beidseitige Bekleidung mit Absorptionsmaterial haben nennenswerte Auswirkungen auf das Abschirmmaß.
- b) Eine rein empfängerseitige Auskleidung zeigt nahezu keine Verbesserung des Abschirmmaßes.
- c) Die BEM-Rechnungen liefern eine Erhöhung des Abschirmmaßes um im Mittel 1-3 dB(A) im Falle der Auskleidung a), unter der Bedingung, dass sich der Messpunkt nicht zu weit oberhalb der Schirmkante befindet.
- d) Die Messungen prognostizieren eine noch kleinere Auswirkung der absorbierenden Verkleidung. Sie liefern gleichfalls eine Erhöhung des Abschirmmaßes um im Mittel 1-3 dB(A) im Falle der Auskleidung wie in Punkt a), jedoch nur unter folgenden zwei Bedingungen:
  - a. Der Messpunkt befindet sich nicht zu weit oberhalb der Schirmkante.
  - b. Es werden Frequenzen außerhalb des Frequenzbereichs zwischen 450 und 850 Hz betrachtet, da in diesem Bereich eine Erhöhung des Schalldruckpegels aufgrund des absorbierenden Materials und damit eine negative Einfügungsdämpfung gemessen wurde.

Daher erscheint eine Modifikation der in den RLS-90 angegebenen Formel für das Abschirmmaß aufgrund der Einfachbeugung im Teilstückverfahren nicht gerechtfertigt zu sein. Die Auswirkungen sind zu gering bzw. schwanken zu stark in Abhängigkeit von der Lage des Messpunkts und dem betrachteten Terzband, um eine quantifizierbare Erhöhung des Abschirmmaßes rechtfertigen zu können. Hierfür sind weitere vertiefende Untersuchungen notwendig.