

# In situ - Qualitätskontrolle einer Lärmschutzwand unter Verwendung einer Schallintensitätssonde

Gustav Luckinger<sup>1</sup>, Blasius Buchegger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akustik Engineering Luckinger e.U., A-7033 Pötsching, gustav.luckinger@ae-luckinger.at

<sup>2</sup> Technische Universität Graz, Labor für Bauphysik, A-8010 Graz, buchegger@tugraz.at

## Einleitung

Die akustischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden werden vorwiegend durch die Absorption und die Schalldämmung beschrieben. Diese Eigenschaften können beispielsweise durch messtechnische Untersuchungen im Labor bestimmt werden. In der Praxis gilt es dann, die akustische Wirksamkeit der baulichen Ausführung und der verwendeten Materialien sicherzustellen. Aktuelle Messverfahren zur Überprüfung der Eigenschaften von Lärmschutzwänden im Feld erfordern teils jedoch einen hohen Messaufwand, beispielsweise aufgrund der zu verwendenden hohen Kanalanzahl und der hierzu notwendigen Verkabelung. In diesem Beitrag wird die Verwendung einer Schallintensitätssonde als Messmittel aufgezeigt, mit der sich nicht nur die Schallintensität, sondern auf Grund der hohen Phasengenauigkeit die Absorption und die Schalldämmung einer Lärmschutzwand bestimmen lässt.

## Motivation

Die Schallintensitätssonde stellt ein Messmittel dar, welches eine Vielzahl an Anwendungen ermöglicht. Zunächst kann damit die Schallintensität gemessen werden. Im Zuge eines Scanning einer Konstruktion kann die Schallintensität verortet werden, was eine Unterscheidung der schalltechnischen Eigenschaften der unterschiedlichen Komponenten ermöglicht. Dadurch können beispielsweise Fehlstellen detektiert werden.

Die Schallintensitätssonde kann aber auch zur Ermittlung der Schallabsorption von Konstruktionen verwendet werden. Dies wurde beispielsweise in [1] umfassend diskutiert. Das zugrundeliegende Messverfahren wurde mit gängigen Verfahren wie z.B. Hallraummessungen nach EN ISO 354 [2] oder dem Impedanzrohrverfahren nach nach ISO 10534-2 [3] verglichen. Eine Gegenüberstellung von Messergebnissen im Hallraum und auf Basis der Schallintensitätssonde zeigte, dass die unterschiedlichen Verfahren zwar unterschiedliche Wertebereiche aufweisen, ein relativer Vergleich ermöglicht jedoch eine Bewertung der Auswirkungen von Modifikationen an einem Prüfkörper, welche sich in den Absorptionswerten beider Verfahren vergleichbar zeigten. Das Verfahren auf Basis der Schallintensitätssonde hat hierbei jedoch den wesentlichen Vorteil, dass bereits Probengrößen von 1 m<sup>2</sup> für die Untersuchungen ausreichend sind.

Des Weiteren konnte in [1] bereits erste Ergebnisse der Anwendung des Verfahrens für in-situ Messungen an Lärmschutzwänden gezeigt werden. Hierbei wurden Messungen direkt an der Autobahn durchgeführt. Die in-situ Werte wurden auch hier mit Hallraummessungen verglichen.

Wie erwartet, ergab sich ein unterschiedlicher Wertebereich der beiden Messverfahren. Erhöhte Werte der Hallraummessung sind auf typische Effekte des Hallraumverfahrens zurückzuführen, beispielsweise auf Kanteneffekte oder ein – im Vergleich zur in-situ Messung – dominierender Diffusschall. Jedoch zeigte das Intensitätsverfahren, ähnliche Charakteristiken der gemessenen Kurven. Starke Abweichungen von dieser Charakteristik kann somit einen Indikator darstellen, welcher auf eine abweichende Absorption in diesem örtlichen Bereich schließen lässt.

Das Intensitätsverfahren für die Schallabsorption zeigte somit zwei wesentliche Vorteile, und zwar dass

- in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand viele örtliche Bereiche überprüft werden können,
- hierzu keine Demontage von bestehenden Lärmschutzwänden erforderlich ist, wie es ansonsten für Hallraummessungen notwendig wäre.

In diesem Beitrag werden die zuvor beschriebenen Untersuchungen ausgedehnt und die neu gewonnenen Erkenntnisse beschrieben. Zusätzlich zur Schallabsorption wurde auch die Schalldämmung untersucht.

Bei der normativen Bestimmung der Eigenschaften von Lärmschutzwänden z.B. nach [4] zeigen sich generell folgende Probleme, und zwar dass

- wenig Platz neben der Lärmschutzwand vorhanden ist, und eine
- hohe Anforderungen an die Qualität und die Anzahl der verwendeten Messmittel gestellt wird.

Ziel der Untersuchungen in diesem Beitrag ist es somit, die Aufwände in Bezug auf Messmittel und Zeit zu minimieren, um eine größere Anzahl an Messungen und eine höhere Ortsauflösung der Qualitätskontrolle zu ermöglichen. Bei der Absorption zeigt sich auch, dass der Verkehrslärm ausreichend für die Anregung ist, daher ist keine zusätzliche Quelle notwendig.

## Theoretische Annahmen

### Absorption mittels Schallintensität

Wird ein Absorber an der schallharten Wand angebracht, wird ein Teil der Schalleistung absorbiert. Der Absorptionsgrad  $\alpha$  beschreibt hierbei den Anteil der absorbierten Schalleistung.

$$\alpha = \frac{|Pa|}{|Pi|} \quad (1)$$

Nachfolgende Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau einer derartigen Situation.

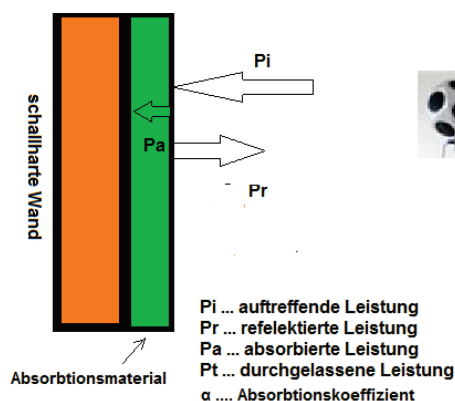


Abbildung 1: Reflexion an Wand mit Absorber

Eine Schallintensitätssonde kann zur Absorptionsmessung herangezogen werden, indem diese senkrecht auf die Absorberfläche ausgerichtet wird. Nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Situation bei senkrechtem Schalleinfall.



Abbildung 2: Schallintensitätssonde vor Absorber mit senkrechtem Schalleinfall

In Anlehnung an die 2-Mikrofon-Methode im Impedanzrohr [3] können die dort verwendeten Formeln herangezogen werden. Ausgangspunkt ist eine hinlaufende Schallwelle, die mit dem Reflexionsfaktor R reflektiert wird. Der Schalldruck  $p(x)$  ergibt sich an der Stelle x durch

$$p(x) = p_0(e^{-jkx} + Re^{jkx}) \quad (2)$$

$k$ ...Wellenzahl

Zwischen den beiden Mikrofonen wird mit einem Analysator die Übertragungsfunktion  $H_{12}$  gemessen.

$$H_{12} = \frac{p_1}{p_2} \quad (3)$$

Durch Umformung kann der Reflexionsfaktor R ermittelt werden:

$$R = e^{j2kl} \frac{H_{12}e^{jks} - 1}{1 - H_{12}e^{-jks}} \quad (4)$$

Der Absorptionsgrad  $\alpha$  ist dann gegeben durch:

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (5)$$

und ist bei einer angenommenen, ebenen Schallausbreitung unabhängig vom Abstand l, also dem Abstand der Mikrofone zur Absorberoberfläche. Die Impedanz Z wird des Weiteren auf die Impedanz der Luft  $Z_0$  normiert.

$$Z/Z_0 = \frac{1 + R}{1 - R} \quad (6)$$

$$Z_0 = \rho c \quad \text{Impedanz der Luft}$$

Wird nun schräger Schalleinfall angenommen, kann ein Messfehler entstehen. Dieser Umstand ist in folgender Abbildung 3 dargestellt, wobei ein schräger Schalleinfall mit dem Winkel  $\delta$  angenommen wird.

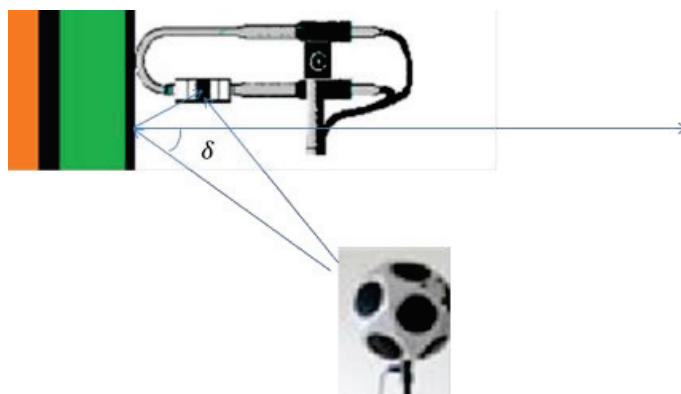


Abbildung 3: Schallintensitätssonde vor Absorber mit schrägem Schalleinfall

Bei ausreichend großem Abstand des Lautsprechers von der Sonde kann dieser Fehler auf Grund des Abstandes der Mikrofone von der Wand von  $\sim 4$  cm vernachlässigt werden. Die Formel für Z kann angepasst werden.

$$Z/Z_0 = \frac{1 + R}{\cos \delta \cdot 1 - R} \quad (7)$$

Der Reflexionsfaktor R ergibt sich daraus zu.

$$R = \frac{\frac{Z}{Z_0} \cos \delta - 1}{\frac{Z}{Z_0} \cos \delta + 1} \quad (8)$$

Der Absorptionsgrad  $\alpha$  kann dann wieder nach Gleichung (5) berechnet werden.

### Schalldämmung mittels Schallintensität

Die Schalldämmung einer Lärmschutzwand kann über

$$D = 10 * \lg\left(\frac{P_i}{P_t}\right) \quad (9)$$

beschrieben werden, wobei  $P_i$  die auftreffende Schallleistung und  $P_t$  die transmittierte Schallleistung darstellt. Nachfolgende Abbildung 4 zeigt diese Zusammenhänge anhand einer Prinzipdarstellung.

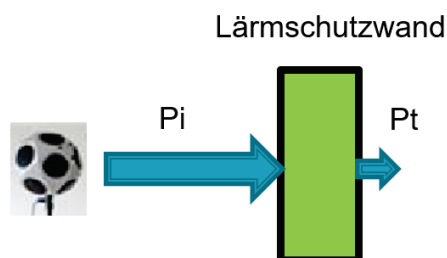


Abbildung 4: Prinzipdarstellung der Schalldämmung an einer Lärmschutzwand

### In-situ Qualitätskontrolle einer Lärmschutzwand

Die Schallintensitätssonde bzw. das Verfahren der Ermittlung der Schallabsorption über die Schallintensität kann für eine effektive Qualitätskontrolle herangezogen werden. Aufgrund des optimierten Messaufbaus kann in kurzer Zeit eine hohe Anzahl an Messungen durchgeführt und verortet werden. Nachfolgende Abbildung 5 zeigt eine derartige Messvorgehensweise.

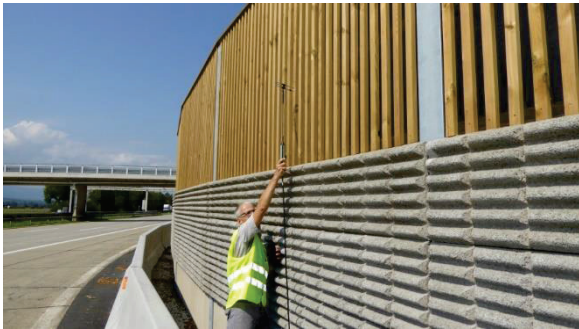


Abbildung 5: Messung der Schallabsorption an Schallschutzwand - System vertikale Holzlaten

Auf Basis der eingangs dargestellten Theorie kann ein praxisnaher Absorptionsgrad ermittelt werden. Hierzu sind die entsprechenden Messergebnisse in Abbildung 7 und Abbildung 6 dargestellt, jeweils für den oberen Teil der Lärmschutzwand (vertikale Holzleisten) und für den unteren Teil der Lärmschutzwand (gebundene Holzfaservand).

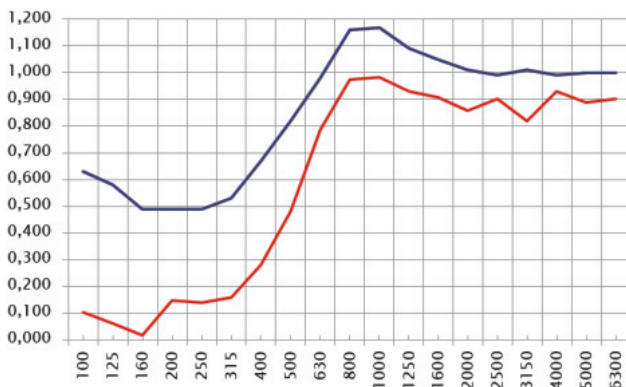


Abbildung 6: Ergebnisse der Messung des Absorptionsgrads (-) an Schallschutzwand - System gebundene Holzfaservand – rot: Sonde; blau: Gutachten

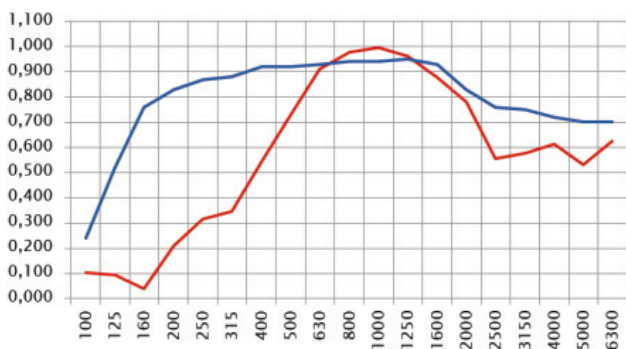


Abbildung 7: Ergebnis Messung des Absorptionsgrads (-) an Schallschutzwand - System vertikale Holzlaten – rot: Sonde; blau: Gutachten

Wie bereits erwähnt, ergeben die unterschiedlichen Verfahren verschiedene Wertebereiche. Es ergeben sich jedoch ähnliche Kurvenverläufe, was besonders in Abbildung 6 ersichtlich ist. Die Ergebnisse der vertikalen Holzleisten scheinen jedoch an der gemessenen Stelle hohe Abweichungen im tieffrequenten Bereich zu zeigen (100 Hz bis 500 Hz), an dieser Stelle bieten sich somit weiterführende Untersuchungen zur wirksamen Schallabsorption der Lärmschutzwand an (Abbildung 7).

Allgemein ergeben sich folgende Vorteile zur Messung:

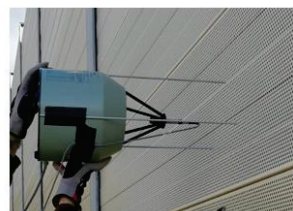
- Der Betrag von  $R$  bzw.  $\alpha$  ist unabhängig vom Abstand zur Lärmschutzwand.
- Der Verkehr kann als Schallquelle dienen, was auch eine räumliche Mittelung ermöglicht (Linienquelle).
- Keine Verkehrsbeeinträchtigung
- keine Überschätzung der Absorption wie im Hallraum
- reduzierter Aufwand an notwendiger Messgeräte (Schallintensitätssonde, Frontend, WLAN, Tablett)

### In-situ Messung der Schalldämmung

Im Gegensatz zur Messung der Absorption in-situ konnte bei der Messung der Schalldämmung nicht der Verkehrslärm verwendet werden, da hinter der Lärmschutzwand ein zu geringer SNR zur Verfügung stand. Daher wurde autobahnseitig eine Referenzschallquelle verwendet, die eine zeitlich konstante Schalleistung abstrahlt. Die Schalleistung wird entsprechend EN ISO 9614-2 [5] ermittelt. Die Verwendung dieser Schalleistungsquelle ermöglicht den Einsatz von nur einer Schallintensitätssonde. Zunächst wurde eine Referenzmessung der abgestrahlten Schallintensität der Quelle ohne Lärmschutzwand durchgeführt (Abbildung 8), um die auf die Lärmschutzwand wirkende Schalleistung zu ermitteln. Danach wurde die Quelle beim gleichen Betriebspunkt autobahnseitig an der Lärmschutzwand positioniert und die resultierende Schallintensität auf der Rückseite gemessen (siehe Abbildung 9).



Abbildung 8: Prinzipdarstellung der Referenzmessung ohne Lärmschutzwand



Messung mit Lärmschutzwand

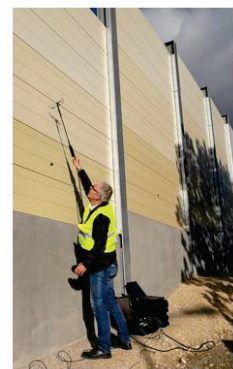


Abbildung 9: Prinzipdarstellung der Messung mit und ohne (Referenzmessung) Lärmschutzwand



Die Ergebnisse des Intensitäts-Messverfahrens werden in Abbildung 10 und Abbildung 11 jenen Ergebnissen von normierten Messungen nach EN 1793-6 [4] (sogenanntes „Adrienneverfahren“) von mehreren Lärmschutzelementen gleicher Bauart bzw. Konstruktion gegenübergestellt. Im Allgemeinen ergibt sich eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse beider Verfahren. Lediglich im hochfrequenten Bereich, also ab ca. 3150 Hz scheint sich eine höhere Streuung zu ergeben, was wohl auf örtliche Abweichungen der konstruktiven Ausführung oder mögliche Undichtigkeiten zurückzuführen sein dürfte. Bei der Messung des Pfostens dürfte die Streuung auf die akustische Wirksamkeit der Abdichtung zurückzuführen sein.

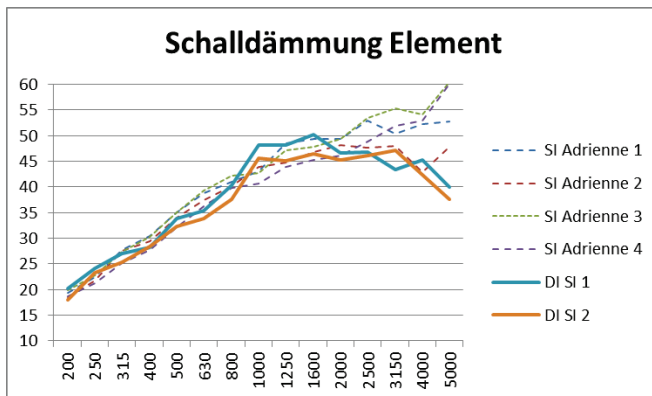


Abbildung 10: Ergebnis Schalldämmung - Element

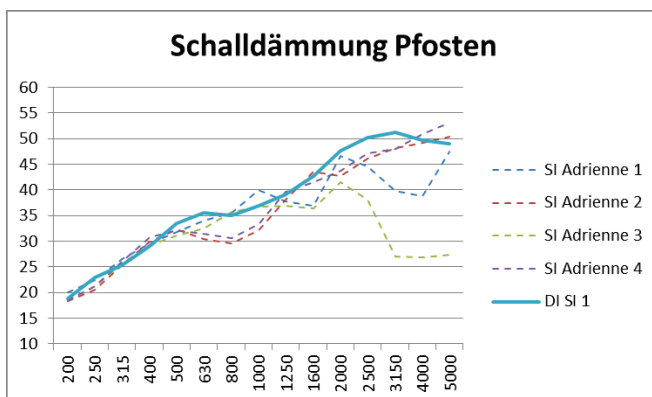


Abbildung 11: Ergebnis Schalldämmung - Pfosten

Somit zeigt sich, dass das vorgestellte Verfahren auf Basis der Schallintensitätssonde eine mögliche Ergänzung zum normierten Verfahren nach EN 1793 darstellt, wobei das Intensitätsverfahren wesentliche Vorteile bei der Messung mit sich bringt:

- Eine Referenzschallquelle ist das Bezugsnormal
- Keine Kabelverbindung sind zwischen Send- und Empfangsseite nötig
- Die Messung erfolgt durch Abstreichen der Fläche (örtliche Mittelung möglich)
- Optional kann Pseudorauschen und selektive Schallintensität verwendet werden
- reduzierter Aufwand an notwendiger Messgeräte (Referenzschallquelle, optional Funkübertragung eines Generatorsignals, Schallintensitätssonde, Frontend, WLAN, Tablett)

## Zusammenfassung

Bei der praktischen Verwendung von Lärmschutzwänden gilt es, die akustische Wirksamkeit der baulichen Ausführung und der verwendeten Materialien sicherzustellen. In diesem Beitrag wurde ein Messverfahren auf Basis der Schallintensitätssonde als Ergänzung zu aktuellen, normativen Verfahren vorgestellt. Aktuelle normative Messverfahren zur Überprüfung der Eigenschaften von Lärmschutzwänden im Feld erfordern teils einen hohen Messaufwand, beispielsweise aufgrund der zu verwendenden hohen Kanalanzahl und der hierzu notwendigen Verkabelung. Die Verwendung einer Schallintensitätssonde als Messmittel ermöglicht die Ermittlung von praxisnahen und plausiblen Werten für die Schallabsorption und Schalldämmung, wobei sich gleichzeitig eine Reihe an Vorteilen im Vergleich zum normativen Verfahren ergeben. Neben einer deutlichen Reduktion des Messaufwandes können z.B. auch unterschiedlich flächengemittelte Werte ermittelt werden.

## Literatur

- [1] Luckinger, G., Buchegger, B. (2018). Messung der Schallabsorption mittels p-p Schallintensitätssonde. In Tagungsband - DAGA 2018 - 44. Jahrestagung für Akustik (pp. 1761-1764)
- [2] ÖNORM EN ISO 354: 2003 - Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen
- [3] ÖNORM EN ISO 10534-2: 2002 - Akustik - Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren - Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion
- [4] ÖNORM EN 1793-6: 2018 - Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 6: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern
- [5] ÖNORM EN ISO 9614-2: Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 2: Messung mit kontinuierlicher Abtastung