

Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände

J. Hübelt, C. Schulze, P. Lindner, B. Hartmann

Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, 01307 Dresden, joern.huebelt@akustikforschung.de

Einleitung

Lärmschutzwände (Lsw) dienen der Abschirmung von Immissionsorten wie beispielsweise Industrie- oder Wohnbebauungen vor unerwünschtem Schall. Daher ist es von äußerster Wichtigkeit, bei auftretenden Schäden an Lsw unkompliziert eine schnelle Aussage über deren Einfluss auf die akustische Wirksamkeit des Schallschirms an den maßgeblichen Immissionsorten treffen zu können. Innerhalb des vorliegenden Vorhabens wurde daher eine Methode entwickelt, die diesem Zweck dient.

Literaturstudie

Aufgrund bisher fehlender detaillierter gesamtheitlicher Untersuchungen zu diesem Thema wurden bereits existierende Publikationen zur Bestimmung der Auswirkung von Bau- bzw. Alterungsschäden auf die akustische Wirksamkeit von Lsw gegenübergestellt und diskutiert. Es zeigte sich, dass eine Vielzahl von Quellen existiert, die sich mit Teilaufgaben des angestrebten Ziels des vorliegenden Vorhabens auseinandersetzen. Die recherchierten Informationen reichen von der möglichen Erstellung von Schadenskatalogen über die akustische Beschreibung von Schadensbildern bis hin zu Methoden zur messtechnischen Bewertung der Schalldämmung sowie der Einfügungsdämmung von Lsw ohne und mit Leckagen in situ und im Labor. Es zeigte sich, dass der Großteil bisheriger Untersuchungen an geometrisch einfach zu beschreibenden Leckageformen, insbesondere runden Löchern sowie horizontalen und vertikalen Schlitzfenstern mit zufriedenstellender Genauigkeit erfolgt ist.

Schallfeldsimulationen

Die Schallfeldsimulation an Lsw mit impedanzbelegten Flächen über Boden mit Impedanzdiskontinuität kann durch Anwendung eines komplexen Schallausbreitungsmodells sehr detailliert erfolgen. Im Hinblick auf eine Integration der Transmissionsbeschreibung innerhalb der zukünftigen RLS wurde jedoch das bestehende nationale Schallausbreitungsmodell der RLS 90 implementiert und um die zusätzliche Berücksichtigung eines Transmissionspfades durch die Lsw hindurch erweitert.

Dabei wird die auf die Lsw einfallende Zylinderwelle des Verkehrsstroms (Linienquelle, vgl. Abbildung 1) hinter der Leckage innerhalb der Lsw in eine Kugelwelle transformiert (Punktschallquelle), deren Schallleistung infolge der Transmission durch die Lsw hindurch eine Minderung erfährt.

Das dadurch entwickelte Berechnungsmodell ermöglicht es, auf Basis von Ausdehnung und Transmissionsgrad der Leckage die Leistung der durch die Lsw transmittierten Schallwelle im Verhältnis zur Leistung der über die Oberkante der Lsw gebeugten Schallwelle zu beschreiben. Infolgedessen kann der Einfluss der Leckage auf die immissionsortabhängige Einfügungsdämmung der Lsw ermittelt werden. Durch direkten Vergleich der Leistung von gebeugtem und transmittiertem Schallanteil wurde des Weiteren ein einfaches Kriterium definiert, anhand dessen einfach und schnell eine Aussage zum Einfluss der betrachteten Leckage hinter der Lsw getroffen werden kann.

Es zeigte sich, dass sich hinter der betrachteten Leckage ein kritischer Bereich ausbildet, in dem die Beschädigung einen relevanten Einfluss auf die akustische Wirksamkeit der Lsw nimmt. Innerhalb dieses Bereichs erhöht sich der Immissionsschalldruckpegel durch das Vorhandensein der Schadstelle in der Lsw gegenüber dem Schalldruckpegel hinter der intakten Wand. Zu diesem Zweck wurde eine analytisch beschreibbare Gesamtbedingung GB auf Grundlage der Differenz zwischen gebeugtem und durch die Leckage transmittiertem Schallanteil definiert. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die in 2,8 m Höhe über dem Boden berechnete Grenzbedingung in der Draufsicht der Lsw der Höhe 9 m mit einer $0,5 \text{ m}^2$ großen Leckage mit einem Transmissionsgrad τ von 0,4. Zusätzlich ist zur Veranschaulichung blau der Einflussradius eingezeichnet ($GB = 0$), bis zu dem eine Schadstelle Einfluss auf die Wirksamkeit der Lsw nimmt. Dabei gilt, dass der Einflussradius der Leckage umso größer ist, je höher die Lsw ist, je näher sich die Leckage am Boden befindet und je größer die Wirkfläche (Produkt aus Querschnittsfläche und Transmissionsgrad) der Leckage ist. Durch Vergleich des ermittelten Einflussradius mit einem Bebauungsplan ist es nunmehr möglich, eine Priorisierung der Reparatur von Schadstellen an Lsw auf der Grundlage akustischer Eigenschaften der Lsw vorzunehmen.

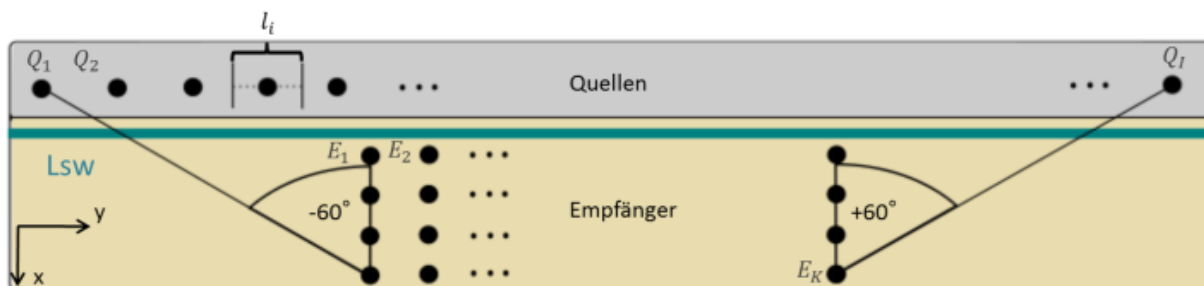


Abbildung 1: Prinzipskizze der innerhalb der Schallfeldsimulationen berücksichtigten Quell- und Empfängerpositionen entlang der Lsw in Draufsicht; grau: Straße mit Quellpositionen Q_i ; grün: Lsw; beige: Fläche mit Empfängerpositionen E_k

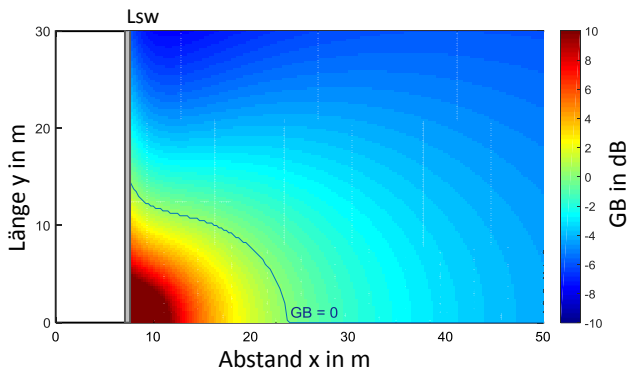


Abbildung 2: in 2,8 m Höhe über dem Boden berechnete Gesamtbedingung GB in der Draufsicht von 9 m hoher Lsw mit $0,5 \text{ m}^2$ großer Leckage mit $\tau = 0,4$; blau: Grenze des kritischen Bereichs mit $GB = 0$ symmetrisch um Leckage hinter Lsw

Schadensbildanalyse

Es fand eine umfangreiche Analyse der an realen Lsw auftretenden Schäden statt. Anschließend wurden die Schadenstypen hinsichtlich akustischer Relevanz klassifiziert und einer der beiden geometrisch einfach zu beschreibenden Formen rundes Loch und rechteckiger Schlitz zugeordnet. In **Abbildung 3** sind exemplarisch typische Schäden an Lsw dargestellt.



Abbildung 3: diverse Beschädigungen an Lsw; von links oben nach rechts unten: fehlende Aluminium-Lsw-Kassetten, schlitzförmige Leckage durch fehlende Bodenabschlussleiste, Schlitz durch fehlende Dichtung zwischen Beton-Lsw-Elementen, Löcher in Dämmmaterial an Holz-Lsw infolge von mechanischer Krafteinwirkung (Quellen: BMVI; Walloon Road Administration, Belgien)

Um den Einfluss dieser Leckagen auf die akustischen Eigenschaften von Lsw analytisch zu beschreiben, wurde das Berechnungsmodell nach [1] implementiert und dessen Umsetzung validiert. Mithilfe dieses Modells kann der spektrale Transmissionsgrad runder und schlitzförmiger Leckagen zuverlässig prognostiziert und anschließend in das zuvor entwickelte Ausbreitungsmodell integriert werden.

Die Geometrie für die Transmissionsgradbestimmung von runden Leckagen nach [1] ist in **Abbildung 4** im seitlichen Querschnitt skizziert. Es handelt sich um eine Leckage mit dem Durchmesser $2a$ und der Länge d . Die Vorder- bzw. Rückseiten der Leckage sind mit Abdeckkappen der flächenbezogenen Massen m_1 bzw. m_2 versiegelt. Innerhalb der Leckage befindet sich ein homogener, isotroper poröser

Absorber mit der normierten Fortpflanzungskonstante Γ_{an} und der normierten Schallkennimpedanz Z_{an} .

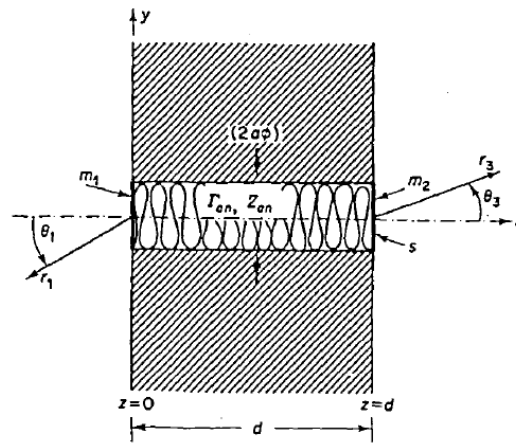


Abbildung 4: skizzierter Querschnitt von Wand mit runder Leckage aus [1]

Messung von Schalldämmung und Schallabsorption in situ

Innerhalb des Vorhabens erfolgten In-situ-Messungen zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Lsw auf Basis des in DIN EN ISO 1793-5 und DIN EN ISO 1793-6 beschriebenen „Adrienne-Verfahrens“. Im ersten Schritt wurde eine Test-Lsw installiert, in die geometrisch exakte runde und schlitzförmige Leckagen eingebracht wurden. Der Messaufbau ist in **Abbildung 5** exemplarisch für eine horizontal verlaufende schlitzförmige Leckage in der Test-Lsw dargestellt.



Abbildung 5: Aufbau für Messung an Test-Lsw mit geometrisch exakten Leckagen

Die akustischen In-situ-Messungen der Schalldämmung dienten primär der Validierung des Berechnungsmodells nach [1]. In **Abbildung 6** ist exemplarisch der gemessene Schalldämmindex SI für eine horizontale schlitzförmige Leckage der nach [1] simulierten Schalldämmung gegenübergestellt. Wie zu erkennen ist, stimmen die Berechnungsergebnisse für die untersuchten Leckageformen gut mit den Ergebnissen der In-situ-Messungen überein.

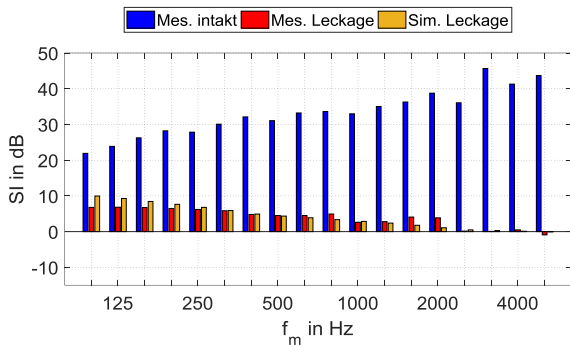


Abbildung 6: Schalldämmung der untersuchten Lsw; blau: Messergebnis an intakter Wand; rot: Messergebnis an Wand mit horizontalem Schlitz; orange: Berechnungsergebnis an Wand mit horizontalem Schlitz

Voraussetzung dafür ist die Anwendung einer definierten Korrektur. Diese berücksichtigt die bei der In-situ-Messung wirkende frequenzabhängige „Beleuchtungsfläche“ der Quell-Empfänger-Geometrie (vgl. Abbildung 7) und definiert das Flächenverhältnis zwischen Leakage und intakter Lsw innerhalb der während der Messung beschallten Gesamtfläche (Fresnelzone, vgl. Abbildung 8).

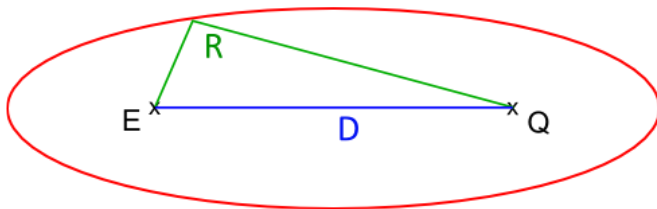


Abbildung 7: Rotationsellipsoid mit Empfänger (E) und Quelle (Q) in den Brennpunkten; D: Distanz zwischen Quelle und Empfänger; R: Entfernung zwischen Quelle und Empfänger über Umfang der Ellipse

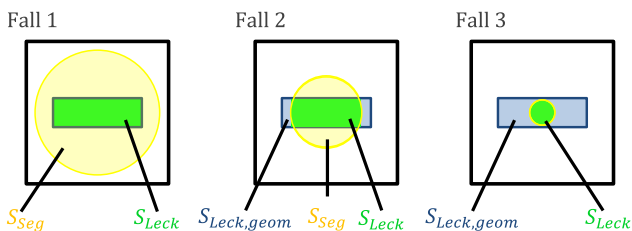


Abbildung 8: Beleuchtungsfläche S_{Seg} , geometrische Leakagefläche $S_{Leck,geom}$ und zu betrachtende Leakagefläche S_{Leck} für drei Fälle bei schlitzförmiger Leakage

Auf Grundlage dieser Korrekturfunktion ist es möglich, in situ gemessene Schalldämmwerte defekter Lsw in das erweiterte Schallausbreitungsmodell zu importieren und die Beeinflussung der Immissionsorte hinter der Lsw durch die Beschädigung zu berechnen. Es wurde aufgezeigt, dass für Leckagen, die im Vergleich zur Beleuchtungsfläche sehr groß sind, keine Korrektur des in situ gemessenen Transmissionsgrads notwendig ist. Anhand von In-situ-Messungen in größerer Entfernung zur Test-Lsw konnte auch das Ausbreitungsmodell selbst validiert werden. Im Rahmen der Mess- und Modellgenauigkeit zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen aus In-situ-Messung und Schallfeldsimulation.

In einem zweiten Schritt fanden In-situ-Messungen an ausgewählten realen Lsw mit realen Schäden an Autobahnen

im Freistaat Sachsen statt. In Abbildung 9 ist exemplarisch der Versuchsaufbau für eine Messung an einer Lsw mit einem annähernd runden Schaden infolge mechanischer Krafteinwirkung abgebildet. Auch hier konnte das Berechnungsmodell nach [1] erfolgreich angewendet werden, um die Ergebnisse der In-situ-Messungen durch Simulation nachzubilden. Abbildung 10 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der durch Messung und Simulation ermittelten Schalldämmung der untersuchten Glas-Lsw.



Abbildung 9: Versuchsaufbau zur messtechnischen Bestimmung der Schalldämmung einer beschädigten Lsw in situ

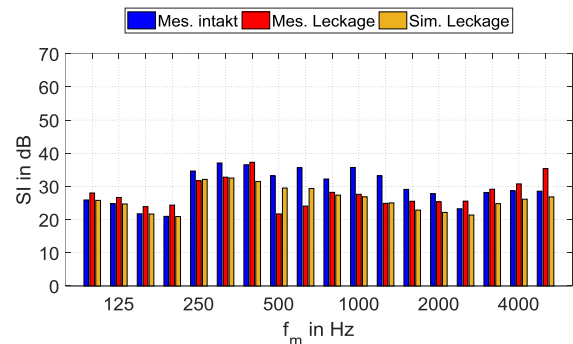


Abbildung 10: Schalldämmung der untersuchten Glas-Lsw; blau: Messergebnis an intakter Wand; rot: Messergebnis an Wand mit Leakage; orange: Berechnungsergebnis an Wand mit Leakage; Simulationsparameter: $r_{Leck} = 45 \text{ mm}$, $\rho_{AK} = 1,0 \text{ g/cm}^3$, $d_{AK} = 0,5 \text{ mm}$

Es wurde jedoch festgestellt, dass die korrekte Erfassung der materialspezifischen und geometrischen Parameter von Leckagen zur Modellierung des akustischen Verhaltens (z. B. Strömungswiderstand des Absorbermaterials, flächenbezogene Masse von Rückwänden, Folienrückstände, Abmaße unförmiger Beschädigungen) nicht immer problemlos möglich ist.

Schadenskatalog

Auf Grundlage des erweiterten Schallausbreitungsmodells wurde ein Schadenskatalog für Beschädigungen an Lsw erstellt. Hierbei wurde auf runde und schlitzförmige Leckagen zurückgegriffen, die als grundlegende geometrische Formen zur Beschreibung üblicher Beschädigungen an Lsw herangezogen werden können. Wie bereits in den vorherigen Kapiteln erfolgte die Unterscheidung zwischen horizontalen und vertikalen Schlitzfenstern. Um eine akustische Bewertung möglichst vieler

Schadensarten vornehmen zu können, wurde für runde Leckagen eine akustische Wirkfläche (Produkt aus Querschnittsfläche und Transmissionsgrad), für Schlitze eine akustische Wirkbreite (Produkt aus Schlitzbreite und Transmissionsgrad) als Katalogparameter eingeführt. Zudem ist die Grenze des akustisch kritischen Bereichs für eine Lsw der Höhe von 3 m bis 9 m sowie variierter Höhe der Leckage visualisiert. Abbildung 11 zeigt exemplarisch den Einflussradius einer horizontal verlaufenden schlitzförmigen Leckage der Länge 4 m mit verschiedener Wirkbreite $\tau_L \cdot b_L$ in einer 5 m hohen Lsw (in Draufsicht).

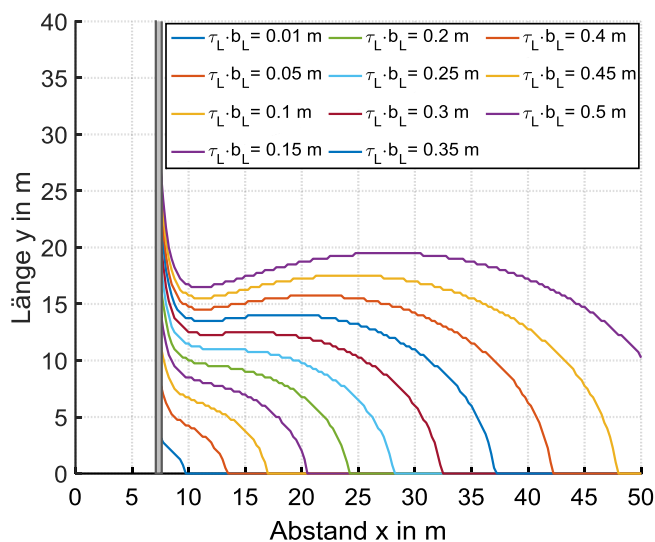


Abbildung 11: berechneter Einflussradius horizontal verlaufender schlitzförmiger Leckage der Länge von 4 m mit verschiedener Wirkbreite $\tau_L \cdot b_L$ in 5 m hoher Lsw (in Draufsicht) für mittlere Höhe der Leckage von 2,5 m

Unter Zuhilfenahme dieses Katalogs ist es nunmehr möglich, bestehende Schäden an Lsw auf Grundlage ihrer geometrischen Form und Position an der Lsw bezüglich ihres Einflusses auf den Immissionsschalldruckpegel hinter dem Schallschirm zu beurteilen. Dies ermöglicht es, eine Priorisierung von Reparaturen an Lsw durchzuführen, der eine ausschließlich akustische Bewertung zugrunde liegt. Des Weiteren kann mittels einer Berechnung mit dem vorgestellten Modell nach [1] der Transmissionsgrad von runden und schlitzförmigen Leckagen berechnet werden. Für komplexe, geometrisch schwer zu abstrahierende Leckagen und Beschädigungen ist alternativ eine In-situ-Messung des Transmissionsgrads im Bereich der Leckage an der Lsw möglich. Mithilfe der entwickelten Korrektur der „Beleuchtungsfläche“ lassen sich die Ergebnisse der In-situ-Messungen in einen Transmissionsgrad umwandeln, der ausschließlich der Leckage zugeordnet werden kann. Ist die Ausdehnung der untersuchten Leckage größer als der Durchmesser der „Beleuchtungsfläche“, ist eine Korrektur des in situ gemessenen Transmissionsgrads nicht erforderlich. Der auf diesem Weg gewonnene Transmissionsgrad kann in Verbindung mit der Leckagefläche bzw. Leckagebreite unmittelbar herangezogen werden, um die akustische Relevanz der betrachteten Leckage aus dem erstellten Schadenskatalog abzulesen.

Diesem Bericht liegen Teile des im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE 02.0385/2015/IRB laufenden Forschungsvorhabens zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.

This report is based on parts of the research project carried out at the request of the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, represented by the Federal Highway Research Institute, under research project No. 02.0385/2015/IRB.

The author is solely responsible for the content.

Literatur

- [1] MECHEL, F., P.: The acoustic sealing of holes and slits in walls. Journal of Sound and Vibration, 1986