# SOPRANOISE – Inspektionsverfahren zur Bewertung der Luftschalldämmung bestehender Lärmschutzwände in situ

Fabio Strigari[1], Michael Chudalla[1], Wolfram Bartolomaeus[1], Marco Conter[2], Andreas Fuchs[2], Massimo Garai[3], Christophe Nicodeme[4], Jean-Pierre Clairbois[5]

[1] *Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 51427 Bergisch Gladbach, E-Mail: strigari@bast.de*
[2] *AIT - Austrian Institute of Technology, 1210 Wien, E-Mail: marco.conter@ait.ac.at*
[3] *Universität Bologna, DIN, 40126 Bologna, E-Mail: massimo.garai@unibo.it*
[4] *European Union Road Federation, 1040 Brüssel, E-Mail: c.nicodeme@erf.be*
[5] *A-Tech Acoustic Technologies SA, 1060 Brüssel, E-Mail: jpc@atech-acoustictechnologies.com*

## Einleitung

DIN EN 1793-5 [1] und -6 [2] sind die einschlägigen europäischen Normen zur Charakterisierung der Schallabsorption und Luftschalldämmung von Lärmschutzwänden bei direktem Schalleinfall. Sie erfordern jedoch fachkundige Anwender und recht langwierige Prüfungen. Zur Erleichterung der akustischen Untersuchung von Lärmschutzwänden können sowohl "Schnellmessverfahren" als auch qualitative In-situ-Prüfverfahren wichtige Ergänzungen darstellen.

Um die systematische Charakterisierung der akustischen Leistungsfähigkeit einer Lärmschutzwand zu verbessern, verfolgt das CEDR-Projekt SOPRANOISE daher einen stufenbasierten Ansatz aus drei Schritten: (1) In-situ-Inspektionen, (2) Schnellmessverfahren und (3) vollständige Messverfahren nach EN 1793-5 und -6. Das vorliegende Manuskript fasst die Ergebnisse von Arbeitspaket 3 (WP 3) zusammen. Das Hauptziel des WP 3 war es, zu demonstrieren, inwieweit In-situ-Inspektionen verlässliche Aussagen über die akustische Leistungsfähigkeit installierter Lärmschutzwände liefern können, und eine Inspektionsmethode für die qualitative Bewertung der möglichen Auswirkungen von Schäden in Lärmschutzwänden zu entwickeln.

## Review existierender Inspektionsverfahren

Um die in verschiedenen Ländern bestehenden Bewertungs- und Inspektionsverfahren zu erheben, wurde ein Fragebogen an die europäischen Straßenverkehrsbehörden und Forschungsinstitute versandt. Die Fragen sollten den Kenntnisstand zu verschiedenen Aspekten der akustischen Leistungsfähigkeit bestehender Lärmschutzwände abfragen und feststellen, wie und in welchem Umfang Lärmschutzwandinspektionen bereits durchgeführt werden – insbesondere unter Berücksichtigung akustischer Aspekte.

Im Allgemeinen bestand großes Interesse an einer Bewertungsmethode für Lärmschutzwände, die eine lange Lebensdauer und die Erhaltung der akustischen Performance gewährleisten kann. In einigen Ländern gibt es Datenbanken über Straßenbauwerke einschließlich Lärmschutzwänden, die rudimentäre Informationen über die akustischen Eigenschaften enthalten. Details über den aktuellen akustischen Zustand fehlen jedoch. In den meisten Ländern werden regelmäßige Inspektionen von Lärmschutzwänden durchgeführt und verschiedene Verfahren zur Bewertung ihres Zustands angewandt. Diese Inspektionen beziehen sich jedoch hauptsächlich auf Stabilitäts- und Sicherheitsaspekte und sind nicht auf akustische Belange ausgerichtet.

## Umsetzung und Erprobung des In-situ-Inspektionsverfahrens

Das akustische Inspektionsprotokoll ist in EXCEL implementiert und besteht aus fünf Arbeitsblättern. Bei der Inspektion einer Lärmschutzwand kann das EXCEL-Dokument vor Ort verwendet werden, um den akustischen Zustand der Lärmschutzwand zu beurteilen. Sind alle festgestellten Schäden/Lecks eingetragen, liefert es unmittelbar eine akustische Ersteinschätzung: Je nach Beschaffenheit und Lage des Lecks wird der sogenannte "kritische Radius" berechnet. Dieser definiert den kritischen Bereich, in dem der Schaden eine nicht zu vernachlässigende Wirkung hat. Dementsprechend wird jedem untersuchten Lärmschutzwandfeld eine Bewertung nach dem Ampel-Prinzip zugeordnet, wobei grün für einen "akzeptablen akustischen Zustand" steht, gelb für einen "fragwürdigen akustischen Zustand" und rot für "akustisch defekt". (Hinweis: Die Begriffe „Schaden“ und „Leck“ werden hier und im Folgenden synonym verwendet.)

### Theoretischer Hintergrund der akustischen Bewertung

Die Berechnung des kritischen Radius hinter einem Leck in einer Lärmschutzwand und die entsprechende akustische (Ampel-)Bewertung beruhen auf einem erweiterten Schallausbreitungsmodell. Dieses nutzt einen Ansatz aus einem abgeschlossenen Forschungsvorhaben der BASt [3] und ist im SOPRANOISE-Bericht D2.2 [4] ausführlich dargestellt.

Bei Vorhandensein eines Lecks bildet sich hinter der Lärmschutzwand ein akustisch kritischer Bereich, in dem der Einfluss der Transmission durch das Leck (beschrieben durch den Schallpegel $L_{m,t}$) gegenüber der Beugung über die Oberkante der Wand ($L_{m,b}$) dominant ist. In diesem Bereich ist die Schalldämmung der Wand deutlich reduziert. Jenseits dieses Bereiches sind die Auswirkungen des Lecks vernachlässigbar und die Minderung der Schalldämmung ist nicht mehr kritisch. Die Kritikalitätsbedingung lautet

$$\xi = L_{m,t} - L_{m,b} + 10\ \text{dB}. \qquad (1)$$

$\xi = 0$ definiert die Grenze bzw. den Radius des kritischen Bereiches, siehe Abbildung 1.

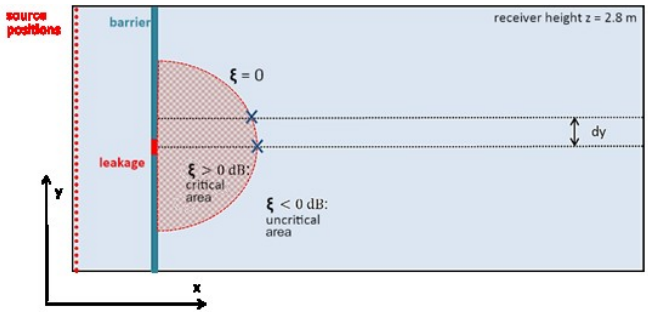


**Abbildung 1:** Darstellung des akustisch kritischen Bereiches hinter einer Lärmschutzwand mit Leck

Zur Modellierung der Transmission durch einen Schaden wurden die Formeln aus den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) verwendet und erweitert. Das Leck wird als Punktquelle betrachtet, die von einer Linienquelle (Straße) „gespeist" wird. Diese Punktquelle sendet eine halbkugelförmige Schallwelle in den Bereich hinter der Wand aus. Die Schallleistung wird entsprechend dem Transmissionsverlust beim Durchgang durch die Wand reduziert. Die detaillierten Beiträge zu $L_{m,b}$ und $L_{m,t}$ sind im SOPRANOISE-Bericht D2.2 [4] aufgeführt.

Für eine bessere Praktikabilität unterliegt die der Berechnung des kritischen Radius zugrunde liegende Geometrie weiteren Vereinfachungen, u. a.:

- Als Emissionsschallquelle (in 0,5 m Höhe über dem Boden) wird nur die der Lärmschutzwand nächstgelegene Fahrspur berücksichtigt.
- Die Lärmschutzwand befindet sich in einem Abstand von 7,6 m von der Mitte dieses Fahrstreifens. In Fällen ohne Standstreifen verringert sich dieser Abstand auf 5,1 m.
- Es wird eine zweidimensionale Beschreibung gewählt, d. h. Quelle, Leck und Immissionsort stehen senkrecht zueinander.
- Der Immissionsort befindet sich in einer Höhe von 2,8 m.

Mit Hilfe dieser geometrischen Vereinfachungen kann die Kritikalitätsbedingung auf eine unbekannte Variable reduziert und numerisch gelöst werden. Als Maß für die akustische Schwere eines Schadens erhält man den sogenannten kritischen Radius. Für die vollständige Herleitung der Berechnung des kritischen Radius wird der interessierte Leser auf den SOPRANOISE-Bericht D3.1 [5] verwiesen.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass das Ergebnis der akustischen Inspektion nicht exakt sein soll und keine Messungen ersetzen kann, da es auf mehreren vereinfachenden Annahmen beruht und mit einer großen Unsicherheit behaftet ist. Stattdessen liefert das Verfahren eine erste Abschätzung der akustischen Folgen eines Lecks und gibt Hinweise darauf, wo es ratsam ist, Messungen durchzuführen.

### Superposition mehrerer Schäden

Das Berechnungsmodell ist für den Fall eines einzelnen Lecks in einer Lärmschutzwand formuliert. In der Regel kann natürlich mehr als ein Schaden auftreten. In diesen Fällen können der kritische Radius und die akustische Bewertung, die für ein einzelnes Leck berechnet werden, von limitierter Aussagekraft sein. Man erhält zwar ein Maß für die akustische Beeinträchtigung durch ein spezifisches Leck, aber keine korrekte akustische Gesamtbeurteilung des jeweiligen Lärmschutzwandfeldes, wenn naheliegende weitere Schäden nicht berücksichtigt werden. Um diese Lücke zu schließen, wird eine Überlagerung der Wirkung von mehreren benachbarten Schäden einbezogen. Diese Überlagerung basiert auf einer Gewichtungsfunktion für die Summierung der kritischen Radien verschiedener Lecks in Abhängigkeit von ihrem Abstand zueinander.

### Beschreibung des Inspektionsprotokolls

Die allgemeinen Informationen über den Standort der Lärmschutzwand (Straßenname, Richtung, Koordinaten usw.) werden auf dem ersten Arbeitsblatt „Location" erfasst. Auf dem zweiten Blatt ‚Construction' werden die Materialien protokolliert, die für die Konstruktion der Lärmschutzwand verwendet wurden. Die Berechnung selbst ist unabhängig von den Eingaben in diesem Blatt. Aufzeichnungen über die Konstruktion der Lärmschutzwand können jedoch für weitere Untersuchungen oder Ursachenstudien hilfreich sein.

Das dritte Arbeitsblatt ‚Defects' (siehe Abbildung 2) ist das zentrale Eingabeblatt des akustischen Inspektionsprotokolls. Hier werden die detektierten Schäden erfasst und alle relevanten Informationen eingetragen (Höhe des betroffenen Lärmschutzwandfeldes, Position und Größe des Lecks, Transparenz usw.). Die Tabelle erlaubt die Erfassung von bis zu 50 verschiedenen Schäden. Die meisten Eingaben müssen aus einer Dropdown-Liste oder über Kontrollkästchen ausgewählt werden. Dadurch wird der eigentliche Prüfvorgang vor Ort schneller und einfacher in der Handhabung.

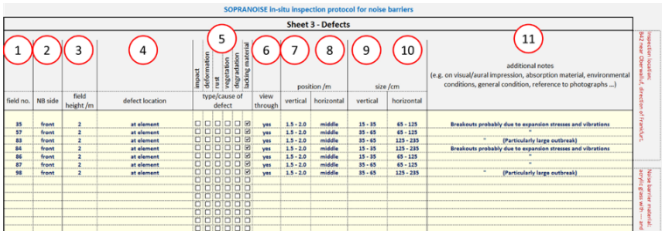


**Abbildung 2**: Eingabeblatt ‚Defects' mit Beispieleinträgen

Das vierte Arbeitsblatt ‚Acoustic assessment' (siehe Abbildung 3) stellt das Ergebnis der akustischen Untersuchung dar und ist ein reines Ausgabeblatt, auf dem die akustische Zustandsbewertung und der kritische Radius für jedes betrachtete Lärmschutzwandfeld aufgeführt ist. Auf der linken Seite ist das Ergebnis der Berechnung für jedes Lärmschutzwandfeld einzeln abzulesen. Daraus wird ersichtlich, wie schwerwiegend (im akustischen Sinne) ein einzelnes Leck ist. Wie oben beschrieben, muss für eine umfassende akustische Gesamtbeurteilung die Überlagerung von nah beieinander liegenden Schäden berücksichtigt werden. Eine Abschätzung für eine solche Gesamtbewertung ist auf der rechten Seite angegeben.

Die Ampelbewertung folgt unmittelbar aus den Eingaben der ersten drei Blätter. Die Bedeutung der Farben ist wie folgt:

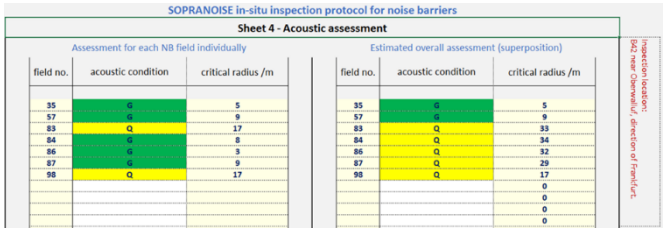


**Abbildung 3**: Ausgabeblatt ‚Acoustic assessment' mit Beispielergebnissen

Grün = akzeptabler akustischer Zustand, keine prioritären Maßnahmen bzgl. Luftschalldämmung erforderlich. Keine Aussage zur Schallabsorption möglich.

Gelb = fragwürdiger akustischer Zustand, es sind weitere Messungen zur Beurteilung der Luftschalldämmung erforderlich (z. B. Schnellmessverfahren aus Stufe (2) des SOPRANOISE-Ansatzes).

Rot = mangelhafter akustischer Zustand hinsichtlich der Luftschalldämmung, Reparatur erforderlich.

Im fünften und letzten Blatt ‚Settings' hat die prüfende Person die Möglichkeit, einige globale Parameter zu ändern. Im Allgemeinen sind hier keine Änderungen erforderlich, da die Standardwerte eine gute Näherung im Rahmen der Methodik darstellen. Dennoch kann es in Ausnahmefällen sinnvoll sein, Änderungen vorzunehmen, wenn die Situation vor Ort sich deutlich von den Standardwerten unterscheidet. Die anpassbaren Parameter sind: Breite des Lärmschutzwandfeldes, Schwellenwerte des kritischen Radius für die akustische Ampelbewertung, Abstand der Lärmschutzwand zur ersten Fahrspur.

### Praktische Erprobung des Inspektionsverfahrens

Von Juni bis Oktober 2020 wurde das Inspektionsverfahren zahlreichen praktischen Tests unterzogen. Diese Erprobung hat gezeigt und bestätigt, dass Lecks in Lärmschutzwänden mit einer Größe im einstelligen Zentimeterbereich nur geringe akustische Auswirkungen haben, auch wenn sie optisch auffällig sind. Die Ergebnisse der akustischen In-situ-Prüfung bestätigten dabei die Eindrücke der visuellen Inspektionen. Selbst bei Abständen von weniger als einem Meter, bei denen die auf der Autobahn fahrenden Fahrzeuge durch die Löcher hindurch zu sehen waren, wurde akustisch keine Pegelerhöhung gegenüber dem Grundgeräuschpegel wahrgenommen. Lediglich bei Schäden mit einer Länge von 20 bis 30 cm war direkt hinter der Lärmschutzwand eine Pegelzunahme hörbar. Aber auch Lecks dieser Größenordnung haben, wenn sie einzeln und isoliert auftreten, nur geringfügige Auswirkungen in mehreren Metern Entfernung hinter der Wand. Treten solche Schäden oder Defekte jedoch regelmäßig auf, z. B. durch Absenkungen des Bodens über mehrere Lärmschutzwandfelder hinweg, können sie auch in größeren Entfernungen akustisch wahrgenommen und/oder analytisch ausgewertet werden.

## Anwendungsbereich und Dokumentation

Neben dem Inspektionsprotokoll wurden zwei beschreibende Dokumente erstellt, die alle für die Durchführung und das Verständnis des Prüfverfahrens erforderlichen Informationen enthalten. Das Handbuch ist eine Schritt-für-Schritt-Anleitung (einschließlich eines Beispiels und Screenshots), wie das Inspektionsprotokoll auszufüllen ist. Die Kurzbeschreibung erklärt den theoretischen Hintergrund der Berechnung und die Funktionsweise der verschiedenen Arbeitsblätter der EXCEL-Anwendung. Potenziellen Nutzerinnen und Nutzern sollten diese Dokumente bereitgestellt werden, um eine reguläre Durchführung der Methode und ein korrektes Verständnis der Ergebnisse zu gewährleisten. Sowohl das Handbuch als auch die Kurzbeschreibung sind im SOPRANOISE-Bericht D3.1 [6] enthalten.

Der Anwendungsbereich des dreistufigen SORPANOISE-Ansatzes ist in Abbildung 4 zusammengefasst. Zunächst muss der Anlass für die geplante Untersuchung der Lärmschutzwand definiert werden. Sollen innerhalb eines rechtlichen Rahmens die quantitativen intrinsischen Einzahlangaben zur Schallreflexion bzw. Schalldämmung $DL_{RI}$ und $DL_{SI}$ bestimmt werden, besteht die einzige Möglichkeit in der Durchführung von Messungen nach den Normen DIN EN 1793-5 und -6.

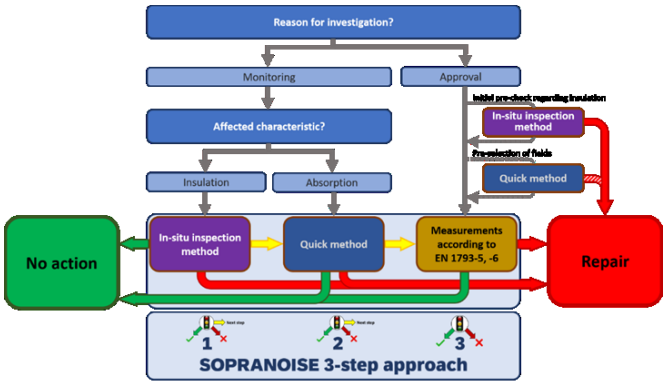


**Abbildung 4**: Flussdiagramm zum Anwendungsbereich des stufenbasierten SOPRANOISE-Ansatzes

Da Prüfungen nach EN 1793 – insbesondere bei langen Lärmschutzwandabschnitten – teuer und zeitaufwendig sein können, ist es ratsam, zunächst In-situ-Prüfungen und/oder Messungen im Schnellverfahren („quick method") durchzuführen. Mit der entwickelten In-situ-Inspektion können offensichtliche Mängel gefunden und direkt beanstandet werden. Das Schnellmessverfahren ermöglicht zudem eine Vorauswahl relevanter Stellen für die eigentliche Prüfung.

Der eigentliche dreistufige Ansatz kommt zum Einsatz, wenn eine bestehende Lärmschutzwand im Rahmen eines Monitorings untersucht werden soll. Für eine Bewertung der Schallabsorptionseigenschaften ist es unumgänglich, akustische Messungen mit der Schnellmessmethode (Schritt 2) durchzuführen. Aus In-situ-Inspektionen allein können keine Rückschlüsse auf den Zustand der Schallabsorption gezogen werden. Der Zweck von In-situ-Inspektionen (Schritt 1) besteht darin, erste qualitative Zustandsinformationen zu erhalten und größere Defekte zu erkennen, um eine sehr schnelle und relevante Abschätzung einer möglichen Minderung der Einfügungsdämpfung der Lärmschutzwand (aufgrund einer reduzierten Schalldämmung) zu erhalten. Dies erleichtert die

nachträgliche Wartung von installierten Lärmschutzwänden.

In-situ-Inspektionen liefern keinen quantitativen Wert für die Luftschalldämmung. Die mit der In-situ-Inspektionsmethode ermittelte akustische Bewertung identifiziert Schäden mit vernachlässigbaren Auswirkungen auf die Einfügungsdämpfung (grüne Bewertung), Schäden, die mit Sicherheit repariert werden müssen (rote Bewertung) und Schäden, die eine genauere Bewertung durch akustische Messungen erfordern (gelbe Bewertung). Letzterer Fall stellt den Übergang zu Schritt 2 des dreistufigen Ansatzes dar, d. h. zur Schnellmessmethode („quick method“), welche im WP 4 des SOPRANOISE-Vorhabens entwickelt wird.

## Schlussfolgerungen

Das SOPRANOISE-Verfahren optimiert die Bewertung des akustischen Zustands von Lärmschutzwänden durch die Nutzung einer dreistufigen Untersuchungs- und Bewertungsstrategie. Die verschiedenen Stufen der Methode kommen unter genau definierten Bedingungen zum Einsatz und tragen so dazu bei, systematische Tests durchzuführen und das Verständnis für akustische Leistungsverluste und folglich die Nachhaltigkeit von Lärmschutzwänden zu verbessern. Es ist jedoch zu beachten, dass weder das In-situ-Inspektionsverfahren noch die Schnellmessmethode die Konformitätsprüfung gemäß den EN 1793-Normen ersetzen können.

Mit dem Abschluss von WP 3 des SOPRANOISE-Projekts ist die erste Stufe vollständig entwickelt. Das Ergebnis ist ein praxisorientiertes In-situ-Prüfverfahren zur Abschätzung der akustischen Verluste in der Einfügungsdämpfung einer Lärmschutzwand aufgrund von Schäden/Lecks. Die Möglichkeiten und Merkmale der Methode sind: (1) eine einfache und schnelle Anwendung, (2) eine leichte Integration in bestehende Inspektionsverfahren, (3) ein physikalisch basierter Ansatz, (4) ein klar definierter Anwendungsbereich und (5) eine klare und transparente Dokumentation für den Anwender.

In den verbleibenden Arbeitspaketen des SOPRANOISE-Projekts werden parallel zur Anwendung der Schnellmessmethode in WP 4 weitere praktische Tests mit dem Inspektionsverfahren durchgeführt. Dies wird den Zusammenhang zwischen beiden Schritten beleuchten und zeigen, wie die Inspektionsergebnisse zur Vorauswahl von Messorten für die Anwendung der Schnellmethode verwendet werden kann.

## Danksagung

Wir danken der CEDR (Conference of European Directors of Roads) für die Unterstützung und Finanzierung dieser Forschung im Rahmen ihres transnationalen Straßenforschungsprogramms.

## Literatur

[1] DIN EN 1793-5:2018-12: Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern, 2018.

[2] DIN EN 1793-6:2021-05: Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 6: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern, 2021.

[3] Lindner, P.; Hartmann, B.; Schulze, C. und Hübelt, J. Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen – Heft V 316, Bergisch Gladbach, 2019.

[4] Strigari, F.; Bartolomaeus, W. SOPRANOISE report D2.2, Chapter T2.3 – Influence of acoustic degradation of noise barriers on the total noise reduction, URL: `https://www.enbf.org/sopranoise/`, 2021.

[5] Chudalla, M.; Strigari, F. SOPRANOISE report D3.1, Chapter T3.2 – Development and testing of methods based on in-situ inspection, URL: `https://www.enbf.org/sopranoise/`, 2021.

[6] Chudalla, M.; Strigari, F. SOPRANOISE report D3.1, Chapter T3.3 – Description of the in-situ inspection tools and reporting, URL: `https://www.enbf.org/sopranoise/`, 2021.