



Planungshandbuch Straße-Bau

Anlagen

Prüfhandbuch zur akustischen Abnahmeprüfung von Lärmschutzwänden an Straßen und Autobahnen

<i>Dokument- nummer</i>	<i>Version</i>	<i>Gültig ab</i>	<i>Dokument- status</i>	<i>Verteiler- status</i>	<i>Arbeits- gruppe</i>	<i>Anzahl Seiten</i>
800.100.1601	2.00		freigegeben	öffentlich	xxx	44

PLaPB

Technisches Planungshandbuch der ASFINAG



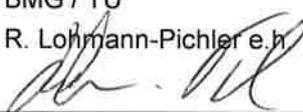
AUTOBAHNEN- UND SCHNELLSTRASSEN-FINANZIERUNGS-AKTIENGESELLSCHAFT
Rotenturmstraße 5 – 9, 1010 WIEN, Telefon +43 (0) 50108 – 10000, Telefax + 43 (0) 50108 – 10020

Dokument-Nr. 800.100.1601	Dokumentvorlage Anlagen Name des Dokuments	Version: 1.00 Entwurf
------------------------------	---	--------------------------

Änderungsberechtigung/Dokumenterstellung/Ansprechperson

Name	Firma/Abteilung	Telefon - Nummer	Fax - Nummer	E - Mail
R. Lohmann-Pichler	ASFINAG / BMG / TU	+43 (0) 50108 - 14965	+43 (0) 50108 - 14020	reinhard.lohmann-pichler@asfinag.at

Dokumentfreigabe

Erstellt von:	Geprüft von:	Prüfung gem. RL_012_ASF:	Freigegeben von:
BMG / TU R. Lohmann-Pichler e.h. 	BMG / TU J. Steigenberger e.h.	BMG / TU M. Grasmuck e.h.	BMG / TU J. Steigenberger e.h.
Datum: 14.08.2019	Datum: auswählen	Datum: auswählen	Datum: auswählen

Dokumenthistorie

Version	gültig ab	Dokument-status	Verteiler-status	Verantwortung	Änderungsgrund
1.00	01.01.2019	freigegeben	öffentlich	Technisches Gremium	Erstausgabe
2.00		freigegeben	öffentlich	Technisches Gremium	Überarbeitung



Prüfhandbuch zur akustischen Abnahmeprüfung von Lärmschutzwänden an Straßen und Autobahnen

Projektteam:

DI Reinhard Wehr¹

DI Andreas Fuchs Bsc.¹

Dott.Ing. Marco Conter¹

DI Heinz Hoislbauer²

Ing. Gerhard Strohmayer²

¹ AIT Austrian Institute of Technology GmbH

² TAS SV-GmbH

17. Oktober 2017

2. überarbeitete Version vom 16.07.2019

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Allgemeines	5
2.1. Anwendungsbereich	5
2.2. Bereitzustellende Unterlagen	6
2.3. Entscheidungsgrundlagen für den Austausch alter Lärmschutzwände	7
3. Normative Verweisungen	8
4. Begriffe	9
5. Überprüfung der Schallreflexionseigenschaften von Lärmschutzwandabschnitten	11
5.1. Auswahl und Nummerierung zu prüfender Felder	11
5.2. Schnellmessverfahren zur Bewertung der Lärmschutzwand	11
5.3. Statistische Analyse der Ergebnisse des Schnellmessverfahrens	15
5.4. Detailmessverfahren zur Bewertung ausgewählter Lärmschutzwand-Felder	15
5.5. Erstellung und Auswertung des Regressionsmodells	16
5.6. Gesamtbewertung der Schallreflexionseigenschaften des Lärmschutzwandabschnittes	17
6. Überprüfung der Schalldämmungseigenschaften von Lärmschutzwandabschnitten	18
A. Messunsicherheiten	21
A.1. Schallreflexion	22
A.2. Luftschalldämmung	23
B. Wahl der Messpositionen	24
B.1. Schallreflexion	24
B.2. Luftschalldämmung	25
C. Flowcharts	26
D. Beispiele der Auswertungsschritte einer Abnahmeprüfung	28
D.1. Überprüfung der Mindestanforderungen der Schallreflexion	28
D.2. Überprüfung der Schallreflexion	32
D.3. Überprüfung der Luftschalldämmung	38

Tabellenverzeichnis

1. Vergleichsstandardabweichung s_R und Messunsicherheit U für den DL_{RI}	22
2. Vergleichsstandardabweichung s_R und Messunsicherheit U für den DL_{SI}	23
3. Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand	28
4. Quantile und Lärmschutzwandfeld-Nummern der Beispielbewertung	29
5. Beispiel-Anpassung der gemessenen RI-Werte bei eingeschränktem Frequenzbereich	30

6.	Quantile, Lärmschutzwandfeld-Nummern und Detailmessergebnisse der Beispielbewertung	30
7.	Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels	31
8.	Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels	32
9.	Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand	32
10.	Quantile und Lärmschutzwandfeld-Nummern der Beispielbewertung	33
11.	Beispiel-Anpassung der gemessenen RI-Werte bei eingeschränktem Frequenzbereich . .	34
12.	Quantile, Lärmschutzwandfeld-Nummern und Detailmessergebnisse der Beispielbewertung	35
13.	Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels	36
14.	$DL_{RI,prog}^n$ der Wände, die die Bemessungsfestlegung voraussichtlich nicht erfüllen	37
15.	Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand	38
16.	Beispielergebnisse der visuellen Inspektion	38
17.	Beispielergebnisse von Messungen an Elementen	39
18.	Beispielergebnisse von Messungen an Pfosten	39
19.	Beispielendergebnisse an Elementen mit einer Bemessungsfestlegung von 25 dB	40
20.	Beispielendergebnisse an Pfosten mit einer Bemessungsfestlegung von 25 dB	40

Abbildungsverzeichnis

1.	Skizze des Schnellmessverfahrens	12
2.	Mindestprozentanteil Schnellverfahren	13
3.	Flowchart der Abnahmeprozedur zur Schallreflexion ohne Regressionsmodell	26
4.	Flowchart der Abnahmeprozedur zur Schallreflexion mit Regressionsmodell	27
5.	Flowchart der Abnahmeprozedur zur Schalldämmung	27
6.	Beispieldaten mit Kerndichteschätzer und Boxplot der $DL_{RI,schnell}^n$ des Schnellverfahrens	29
7.	Beispieldaten mit Kerndichteschätzer und Boxplot der $DL_{RI,schnell}^n$ des Schnellverfahrens	33
8.	Beispiel der Umrechnung von Schnellverfahrenswerten mittels linearem Regressionsmodell	35

1. Einleitung

Dieses Dokument beschreibt ein Verfahren zur Abnahme und Überprüfung der akustischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden am Einsatzort im installierten Zustand (in-situ). Dies betrifft die produktspezifischen Eigenschaften der Schallreflexion und der Luftschalldämmung. Ziel ist es, sowohl neu errichtete Lärmschutzwände auf ihre Leistungsdaten zu überprüfen, als auch bereits errichtete Lärmschutzwände auf ihre weitere Wirksamkeit (Alterungsverhalten) zu testen. Ebenfalls kann damit die Lärmschutzwand auf ihre Übereinstimmung mit in Bemessungsverfahren zur Schallausbreitung verwendeten akustischen Eigenschaften überprüft werden, sofern diese auf mit den jeweiligen Normen erhobenen Leistungsdaten basieren.

Die zum Einsatz kommenden Messverfahren basieren auf den Normen ÖNORM EN 1793-5 und ÖNORM EN 1793-6. Diese beruhen auf der direkten Messung der Schallreflexion bzw. Transmission im gerichteten Schallfeld.

Die mit diesen Messverfahren gewonnenen Messergebnisse zur Schallreflexion sind daher nicht direkt mit den im in ÖNORM EN 1793-1 beschriebenen Hallraumverfahren, das auf einem diffusen Schallfeld beruht, vergleichbar. In Bezug auf die terzbandaufgelösten Ergebnisse wird in situ der Schallreflexionsindex, im Hallraum der Schallabsorptionsgrad erhoben. Diese Werte sollten - unter Berücksichtigung der abweichenden Schallfelder - als Komplement zu Eins ineinander umrechenbar sein, durch das gerichtete bzw. diffuse Schallfeld kommt es hier allerdings zu Abweichungen, wobei im gerichteten Schallfeld tendenziell von geringerer Schallabsorption ausgegangen wird. Es muss beachtet werden, dass die mit den verschiedenen Messverfahren erhobenen Einzahlangaben nicht übereinstimmen.

Die nach ÖNORM EN 1793-6 erhobenen Werte zur Luftschalldämmung sind vergleichbar mit den im Hallraum nach ÖNORM EN 1793-2 gemessenen Werten. Abweichungen treten hier hauptsächlich deshalb auf, weil das Verfahren nach ÖNORM EN 1793-6 ein gerichtetes Schallfeld verwendet, während das Verfahren nach ÖNORM EN 1793-2 ein diffuses Schallfeld (wo sämtliche Einfallswinkel gleich wahrscheinlich sind) voraussetzt. Untersuchungen zeigen hier tendenziell höhere Werte für die Vorortmessungen nach ÖNORM EN 1793-6, wobei allerdings eine gute Einbauqualität gewährleistet sein muss. [1]

Die Ergebnisse werden zum aktuellen Zeitpunkt nicht für die Berechnung der Einfügedämmung einer Lärmschutzwand oder ihrer Wirkung im Fernfeld verwendet. Die Berechnung von Schallimmissionspegeln auf Basis dieser Werte ist daher derzeit nicht in den nationalen Regelwerken vorgesehen. Eine Klassifizierung von Lärmschutzwänden aufgrund der Ergebnisse ist zwar möglich, liefert aber im Allgemeinen abweichende Resultate zur Standardklassifizierung mittels Hallraumverfahren.

2. Allgemeines

Mit dem vorliegenden Prüfverfahren ist es möglich, die akustischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden vor Ort zu überprüfen. Dabei werden Schallreflexion und Luftschalldämmung getrennt betrachtet. Grundlage für die Bestimmung der jeweiligen Eigenschaften bilden die beiden Normen ÖNORM EN 1793-5 für die Schallreflexion und ÖNORM EN 1793-6 für die Luftschalldämmung.

Ziel ist dabei, nicht nur auf Basis einer statistischen Stichprobe einzelne Lärmschutzwandfelder zu vermessen, sondern das gesamte Baulos zu überprüfen. Da es aufgrund der typischerweise langen Bauweise nicht möglich ist, mit vertretbarem Aufwand alle Lärmschutzwandfelder mittels der in-situ-Verfahren vollständig zu bewerten, zielt das beschriebene Verfahren auf ein reduziertes Schnellprüfverfahren ab, das es erlaubt, mittels anschließender einzelner punktueller Messungen nach ÖNORM EN 1793-5 und -6 und statistischer Datenverarbeitung das Baulos als Gesamtes zu bewerten. Die jeweiligen Verfahren für die Schallreflexion und Luftschalldämmung sind in den Abschnitten 5 und 6 beschrieben.

2.1. Anwendungsbereich

Das Prüfverfahren ist für die folgenden Anwendungen vorgesehen:

- Bestimmung der produktspezifischen Eigenschaften zur Schallreflexion und Luftschalldämmung vor Ort in gerichteten Schallfeldern
- Überprüfung der angegebenen Leistungsdaten der Lärmschutzwand
- Vergleich der Bemessungsfestlegungen mit den tatsächlichen Leistungsdaten nach Abschluss der Bauarbeiten
- Überprüfung der Langzeitwirksamkeit bzw. des Alterungsverhaltens von Lärmschutzwänden

Von der Anwendung ausgenommen sind Lärmschutzeinrichtungen, die aufgrund ihrer baulichen Gegebenheiten eine Messung nach den in-situ-Verfahren nicht erlauben, wie Erd- bzw. Lärmschutzwälle. Ebenso muss das vorliegende Schallfeld die Anforderungen an die Halligkeit nach ÖNORM EN 1793-5 bzw. -6 (siehe Bild 1 in den jeweiligen Normen) erfüllen, damit diese Normen zur Bestimmung der jeweiligen Eigenschaften der Schallreflexion bzw. Schalldämmung im Rahmen des Prüfverfahrens herangezogen werden dürfen. In halligen Umgebungen (wie zum Beispiel Tunnel und Portale) ist das hier beschriebene Prüfverfahren daher nicht anwendbar. Ebenfalls von der Messung ausgenommen sind Teile von Lärmschutzeinrichtungen, die nicht mit vertretbaren Mitteln zugänglich sind. Dies betrifft beispielsweise sicherheitsrelevante Überlegungen wie die Messung der Schalldämmung von Lärmschutzwänden auf Brücken, insofern auf der straßenabgewandten Seite eine ausreichende Absicherung nicht mit vertretbaren Mitteln durchgeführt werden kann. Weitere Beispiele umfassen Lärmschutzwände an steilen Hanglagen bzw. auf unzugänglichen Lärmschutzwällen oder Teile des Bauloses, bei dem z.B. aufgrund der geringen Breite des Pannestreifens der Aufwand der durchzuführenden Absicherungsmaßnahmen nicht in vertretbarem Verhältnis zum erzielten Nutzen der Abnahmeprüfung steht.

Ebenfalls von der Messung ausgenommen werden können Teile von Lärmschutzeinrichtungen, die aufgrund von speziellen weiteren technischen Anforderungen von einer Überprüfung ausgenommen wer-

den. Beispiele dafür sind transparente Lärmschutzwandelemente in Bezug auf ihre Schallreflexionseigenschaften, temporäre Lärmschutzeinrichtungen z.B. in Baustellenbereichen oder Lärmschutzeinrichtungen, die hauptsächlich den Zweck von Fahrzeugrückhaltesystemen erfüllen, sofern sie nicht anders beworben wurden.

Lärmschutzwandabschnitte bzw. -felder, die durch ihre geringe Höhe nur eine Messung in einem eingeschränkten Frequenzbereich erlauben, können ebenfalls von der Abnahmeprüfung ausgenommen werden. Hierbei unterscheiden sich die Verhältnisse von unterer Grenzfrequenz und Lärmschutzwandhöhe für Messungen nach ÖNORM EN 1793-5 und -6. Bezogen auf die Reflexion wird eine minimale Wandhöhe von 2,0 m (ohne Berücksichtigung eines möglichen Betonsockels), für die Dämmung von 2,0 m (mit Berücksichtigung eines möglichen Betonsockels) angesetzt.

ANMERKUNG Die Prüfverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 und -6 beruhen auf Laufzeitverfahren und gefens-
terten Impulsantworten. Störende Reflexionen, beispielsweise vom Boden vor der Lärmschutz-
wand, führen bei niedrigen Lärmschutzwänden zu kurzen Zeitfenstern und damit zu einer hohen
unteren Grenzfrequenz des Reflexions- bzw. Schalldämmindex. Dies hat einen Einfluss auf
die Berechnung der Einzahlangabe.

ANMERKUNG Die minimale Wandhöhe für die Reflexionsmessung bezieht sich auf den absorbierend ausge-
führten Bereich der Lärmschutzwand exklusive eines möglichen Betonsockels. Die minimale
Wandhöhe für die Luftschalldämmung bezieht sich auf die Gesamthöhe der Lärmschutzwand
inklusive eines möglichen Betonsockels.

ANMERKUNG Die minimalen Wandhöhen sind so angesetzt, dass das Terzband um 1000 Hz (das Maximum
des standardisierten Verkehrslärmspektrums nach ÖNORM EN 1793-3) in jedem Fall in die Be-
rechnung der Einzahlangabe eingeht.

Das beschriebene Abnahmeverfahren ist für die Gesamtheit der im Baulos errichteten Lärmschutzwände, die einer im Ausschreibungstext einheitlichen Anforderung in Bezug auf ihre Reflexions- bzw. Schalldämmeigenschaften nach ÖNORM EN 1793-5 bzw. -6 unterliegen, durchzuführen. Sollten im Ausschreibungstext für verschiedene Teile bzw. Abschnitte der Lärmschutzwand unterschiedliche Forderungen in Bezug auf ihre Reflexions- bzw. Schalldämmeigenschaften gestellt werden, so ist die Prüfung für jeden dieser Teilabschnitte getrennt durchzuführen.

2.2. Bereitzustellende Unterlagen

Ziel des Prüfverfahrens ist der Vergleich der in-situ erhobenen Messergebnisse zur Schallreflexion und Luftschalldämmung (der tatsächlichen Leistungsdaten) mit den Bemessungsgrundlagen. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen dem durch die in-situ-Messung abgedeckten Frequenzbereich und der Einzahlangabe sind der Prüforganisation die produktspezifischen Leistungsdaten in Terzbändern vor Prüfbeginn zur Verfügung zu stellen, um einen an den durch die Messungen vor Ort abgedeckten Frequenzbereich angepassten Vergleich zwischen der zu prüfenden Lärmschutzwand und den Leistungsdaten zu ermöglichen.

ANMERKUNG

Die Einzahlangaben zur Schallreflexion bzw. zur Luftschalldämmung beruhen auf einer gewichteten Summierung von Terzbandwerten. Variierende Frequenzbereiche führen somit zu abweichenden Einzahlangaben.

2.3. Entscheidungsgrundlagen für den Austausch alter Lärmschutzwände

Die akustischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden können sich über die Zeit verändern. Dabei kommt es zu einer Verminderung der Leistungsdaten durch beispielweise

- mechanische Beschädigung der Lärmschutzwandelemente,
- Setzungen des Betonsockels und damit einhergehender Verkippung der Lärmschutzwandelemente,
- Exposition des Absorptionsmaterials in Bezug auf Umwelteinflüsse (z.B. Regen, ultraviolettes Licht, ...),
- Exposition des Absorptionsmaterials in Bezug auf Schadstoffe durch den Verkehr (z.B. Reifen- und Bremsabrieb, Abgas- bzw. Schadstoffablagerungen, ...),
- Ablagerungen bzw. Degradation des Absorptionsmaterials durch Streusalz, z.B. durch Sprühwasser oder Schneewurf im Zuge des Winterdienstes.

Aus diesem Grund kann es sich als sinnvoll erweisen, das im folgenden beschriebene Prüfverfahren nicht nur für neu errichtete Lärmschutzwände anzuwenden.

Das hier beschriebene Verfahren kann sowohl zur Überprüfung neu gebauter Lärmschutzwände mit den ausgeschriebenen Leistungsdaten bzw. Bemessungsgrundlagen als auch zur Überprüfung der Leistungsdaten bzw. Bemessungsgrundlagen nach einem längeren Zeitraum angewendet werden. Dazu kann ein regelmäßiges Prüfindervall definiert werden, das beispielsweise alle 5 Jahre eine Überprüfung der aktuellen tatsächlichen Leistungsdaten der Lärmschutzwand fordert. In diesem Zusammenhang wird hier auf die ÖNORM EN 14388 bzw. ÖNORM EN 14389-1 verwiesen.

3. Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ÖNORM EN 1793-3:1998, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum*

ÖNORM EN 1793-5:2019, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern*

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*

ÖVE/ÖNORM EN 61672-1:2015, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013) (deutsche Fassung)*

4. Begriffe

In diesem Abschnitt sind die Begriffsdefinitionen und -konventionen für die Anwendung des vorliegenden Dokumentes angegeben. Weitere Begriffe finden sich in den in diesem Dokument verwiesenen Normen.

4.1

produktspezifische Leistungsdaten

die bei Angebotslegung übermittelten, in den beizulegenden Prüfberichten angegebenen akustischen Eigenschaften der Lärmschutzwand, d.h. die RI_j bzw. DL_{RI} Werte nach ÖNORM EN 1793-5 und die $SI_{P,j}$ und $SI_{E,j}$ bzw. $DL_{SI,P}$ und $DL_{SI,E}$ Werte nach ÖNORM EN 1793-6.

4.2

tatsächliche Leistungsdaten

die nach diesem Dokument erhobenen, tatsächlichen akustischen Eigenschaften der hergestellten Lärmschutzwand, gemessen nach ÖNORM EN 1793-5 bzw. -6.

4.3

Bemessungsfestlegungen

die in der Ausschreibung geforderten Mindestanforderungen an die Schallreflexion und Luftschalldämmung nach ÖNORM EN 1793-5 bzw. -6.

4.4

Baulos

die gesamte im Zusammenhang mit einer Ausschreibung hergestellte Lärmschutzwand, typischerweise mehrere hundert Meter lang.

4.5

Lärmschutzwandabschnitt

Teil der Lärmschutzwand im Baulos, der in Bezug auf die in den Ausschreibungsunterlagen angegebenen Forderungen an Reflexions- und Schalldämmeigenschaften eine einheitliche Bemessungsfestlegung aufweist.

ANMERKUNG

Ein Lärmschutzwandabschnitt muss nicht aus direkt zusammenhängenden Lärmschutzwandfeldern bestehen, sondern kann aufgrund von baulichen, geländebedingten oder anderen Situationen unterbrochen sein, sich über beide Fahrrichtungen erstrecken und aus verschiedenen Materialien bestehen. Ein Lärmschutzwandabschnitt muss aber im selben zeitlichen Zusammenhang hergestellt worden sein.

4.6

Lärmschutzwandfeld

Teil der Lärmschutzwandeinrichtung zwischen zwei Pfosten. Typische Längen sind 4 m bis 5 m.

4.7

Lärmschutzwandelement

die einzelnen (meist gestapelten) akustische wirksamen Elemente, die sich zu einem Lärmschutzwandfeld zusammensetzen.

ANMERKUNG Die Element-Position nach ÖNORM EN 1793-6 ($DL_{SI,E}$) bezieht sich auf die Messung vor den akustisch wirksamen Elementen und wird gewöhnlich in der Mitte des Lärmschutzwandfeldes durchgeführt.

4.8

Lärmschutzwandpfosten

strukturelle Elemente (siehe ÖNORM EN 1793-6), deren Hauptfunktion es ist, akustische Elemente zu halten.

ANMERKUNG Im Einklang mit ÖNORM EN 1793-6 wird der Begriff Pfosten verwendet. Im österreichischen Sprachgebrauch ist der synonyme Begriff Lärmschutzwandsteher ebenso gebräuchlich.

4.9

Lärmschutzwandsockel

Unterster Bereich des Lärmschutzwandfeldes über dem Boden, auf dem die Lärmschutzwandelemente gestapelt liegen, üblicherweise aus Beton (Betonsockelbrett).

ANMERKUNG Für die Bestimmung der Eigenschaften der Schallreflexion wird der Sockel zur Berechnung der Höhe des Lärmschutzwandfeldes nicht berücksichtigt. Für die Bestimmung der Eigenschaften der Schalldämmung wird die Höhe der Wand inklusive Sockel (d.h. vom Boden) aus berechnet.

4.10

Schnellmessverfahren

zur Überblicksmessung der Schallreflexionseigenschaften eines Lärmschutzwandfeldes geeignetes Messverfahren, beschrieben in [5.2](#).

4.11

Detailmessverfahren

Messverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 bzw. ÖNORM EN 1793-6.

5. Überprüfung der Schallreflexionseigenschaften von Lärmschutzwandabschnitten

Das Verfahren zur Bestimmung der Schallreflexionseigenschaften von Lärmschutzwänden an Straßen beruht auf Messungen nach ÖNORM EN 1793-5. Ziel der Abnahmeprüfung ist es, jedes Lärmschutzwandfeld auf seine Leistungsdaten hin zu testen. Aufgrund des Zeitbedarfs für Messungen nach ÖNORM EN 1793-5 ist es nicht zweckdienlich, jedes Feld einer vollständigen Überprüfung zu unterziehen. Daher wird in dem im Folgenden beschriebenen Prüfverfahren darauf abgezielt, innerhalb kurzer Zeit einen allgemeinen Überblick über die Verteilung der Schallreflexionseigenschaften der einzelnen Lärmschutzwandfelder zu erhalten. Dies erfolgt mit einem akustischen Schnellmessverfahren, das es erlaubt, einen Überblick über die Verteilung der akustischen Eigenschaften der einzelnen Lärmschutzwandfelder im Baulos zu erhalten.

ANMERKUNG Die Absorptionseigenschaften des Lärmschutzwandfeldes sind durch eine einfache Sichtprüfung nicht erhebbar und müssen daher akustisch gemessen werden.

Anschließend werden die im Schnellverfahren erhobenen Daten ausgewertet und eine statistische Analyse der Verteilung der Absorptionseigenschaften der Lärmschutzwandfelder im gesamten Baulos durchgeführt. An einzelnen dadurch ausgewählten Lärmschutzwandfeldern wird anschließend eine vollständige Messung nach ÖNORM EN 1793-5 durchgeführt. Auf Basis der so erhobenen Werte kann durch eine einfache lineare Regressionsanalyse auf die Reflexionseigenschaften aller im Baulos betrachteten Lärmschutzwandfelder rückgeschlossen werden. [2] Der Arbeitsablauf ist dazu als Flussdiagramm in Anhang C dargestellt.

5.1. Auswahl und Nummerierung zu prüfender Felder

Alle nach Abschnitt 2.1 messbaren Felder des Lärmschutzwandabschnittes werden identifiziert. Dabei werden die Lärmschutzwandfelder auf ihre Zugänglichkeit und Messbarkeit überprüft und zur weiteren Identifikation fortlaufend nummeriert.

ANMERKUNG Im Falle von nicht zugänglichen Lärmschutzwandfeldern würde sich die Gesamtanzahl an messbaren Lärmschutzwandfeldern reduzieren. Die verbliebenen messbaren Lärmschutzwandfelder werden in diesem Fall stellvertretend für den gesamten Lärmschutzwandabschnitt herangezogen, sofern die überwiegende Mehrheit der Lärmschutzwandfläche messbar ist.

5.2. Schnellmessverfahren zur Bewertung der Lärmschutzwand

Basis des Schnellmessverfahrens ist die Erhebung der Reflexionsindices in Anlehnung an ÖNORM EN 1793-5. Dabei wird jedoch eine Reduktion der Datenerhebung auf die zentrale Mikrofonposition durchgeführt. Ebenfalls wird auf die Vorgängerversion der aktuellen ÖNORM EN 1793-5:2016 Bezug genommen. Dies betrifft die in der ÖNORM CEN/TS 1793-5:2003 eingesetzte starre Verbindung zwischen Lautsprecher und Mikrofon zur Erleichterung des Subtraktionsverfahren der einfallenden Komponente. Darüber hinaus wird gefordert, einen weiteren Abstandhalter zwischen Messmikrofon und

Lärmschutzwand einzusetzen, um die erforderlichen geometrischen Abmessungen zwischen Lautsprecher, Mikrophon und Lärmschutzwand konstant halten zu können.

ANMERKUNG Größere reflektierende Teile des Messsystems wie das Gestänge zwischen Lautsprecher und Mikrophon bzw. Mikrophon und Lärmschutzwand beeinflussen das Schallfeld und somit die gemessene reflektierte Komponente der Lärmschutzwand. Im vorliegenden Schnellmessverfahren wird in erster Linie darauf Wert gelegt, einen Überblick über Verteilung die Absorbereigenschaften der Lärmschutzwandfelder zu erlangen. Der Einfluss solcher reflektierender Teile ist über alle gemessenen Lärmschutzwandfelder konstant und beeinflusst somit in geringem Ausmaß die gemessenen Absorbereigenschaften, nicht aber die gesuchte Verteilung dieser.

Die Geometrie von Lautsprecher, Mikrophon und Lärmschutzwand ist in Abbildung 1 skizziert. Der Lautsprecher wird mit dem Mikrophon durch ein Gestänge starr verbunden, ebenfalls ist zwischen Mikrophon und Lärmschutzwand ein Abstandshalter angebracht. Die Vorrichtung wird normal ausgerichtet vor einem zentralen Punkt der Lärmschutzwand positioniert. In dieser Konfiguration wird die Impulsantwort des Systems erhoben.

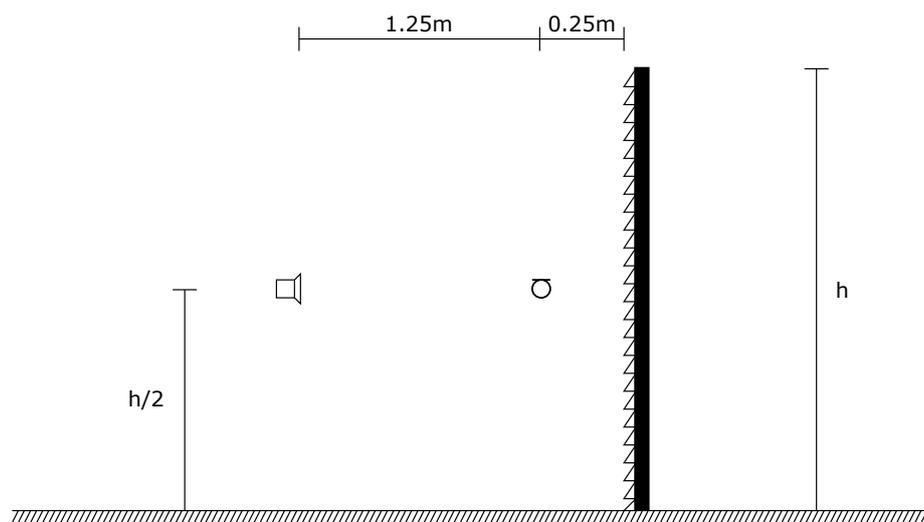


Abbildung 1: Skizze zur Lautsprecher - Mikrophongeometrie des Schnellmessverfahrens

ANMERKUNG Aufgrund der Relativ-Messung der Absorbereigenschaften kann zum Zeitgewinn ein handgehaltenes Lautsprecher-Mikrophon-System eingesetzt werden. In diesem Fall ist es wichtig, die Messdauer bei gleichzeitiger Einhaltung eines hohen Signal-Rauschabstandes kurz zu halten, um Veränderungen in der Ausrichtung des Lautsprecher-Mikrophon-Systems zu verhindern. Dies kann beispielsweise durch MLS-Signale niedriger Ordnung erreicht werden, da diese auch bei ausreichender Mittelungsanzahl und kurzer Messdauer einen guten Signal-Rauschabstand aufweisen.

ANMERKUNG Bei der Positionierung des Messsystems vor der Lärmschutzwand soll darauf geachtet werden, dass bei jedem betrachteten Feld die gleiche Bezugsposition gewählt wird. Diese soll mit Bedacht auf die zu erhebenden Absorbereigenschaften des Lärmschutzwandfeldes gewählt werden. Dadurch ist ein konsistenter Relativvergleich gegeben, womit das Verfahren auch für Lärmschutzwände mit großer Strukturtiefe anwendbar ist.

ANMERKUNG Die Ausrichtung des Messsystems normal zur Lärmschutzwandoberfläche kann nach Augenmaß erfolgen. Dabei soll eine maximale Abweichung von 5° von der Bezugsnormalen nicht überschritten werden.

Das Schnellmessverfahren soll auf einen möglichst großen Teil des Lärmschutzwandabschnittes angewendet werden, wobei folgende Mindestlänge der Anwendung des Schnellverfahrens l_s in Kilometer einzuhalten ist:

$$l_s \geq \begin{cases} 0,75 \cdot l_g & l_g \leq 1 \text{ km} \\ 0,75 \cdot (1 + \ln l_g) & l_g > 1 \text{ km}. \end{cases} \quad (1)$$

l_g bezeichnet hierbei die Gesamtlänge des Lärmschutzwandabschnittes in Kilometern, also die Länge aller Lärmschutzwandfelder mit einer einheitlichen Bemessungsfestlegung innerhalb des Bauloses. Der daraus resultierende Prozentanteil der mindestens mit dem Schnellverfahren zu messenden Länge ist in **Abbildung 2** dargestellt. Sollten aufgrund von Zugänglichkeits- bzw. Sicherheitseinschränkungen weniger Lärmschutzwandfelder als die geforderte Mindestlänge l_s messbar sein, sind zumindest 95 % der messbaren Felder mit dem Schnellverfahren zu messen.

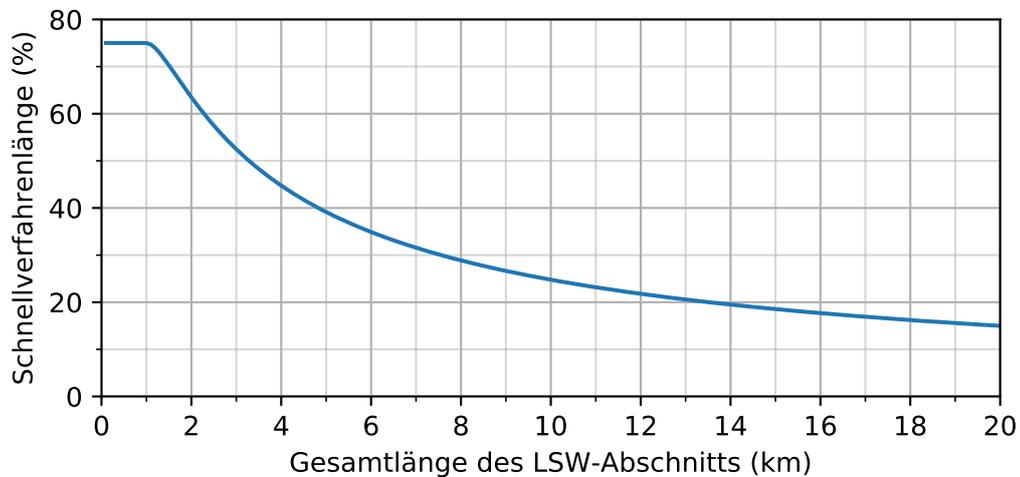


Abbildung 2: Mindestprozentanteil der mit dem Schnellverfahren zu messenden Länge von der Gesamtlänge des Lärmschutzwandabschnittes.

ANMERKUNG Nach Gleichung (1) ergibt sich für einen Lärmschutzwandabschnitt mit einer Länge von 3 km eine Mindestlänge der Anwendung des Schnellverfahrens von 1,57 km, was ca. 52 % entspricht. Für Lärmschutzwandabschnitte unter 1 km sind generell zumindest 75 % mit dem Schnellverfahren zu messen.

In regelmäßigen Abständen, mindestens aber alle 30 Minuten, wird eine Freifeld-Impulsantwort gemessen. Dazu wird die Lautsprecher-Mikrophon-Konfiguration von der Lärmschutzwand weg ins akustische Freifeld gerichtet und so die Freifeld-Impulsantwort erhoben. Anhand dieser Daten werden die Reflexionsindizes für jedes Feld nach folgender Formel berechnet:

$$RI_j^n = \frac{\int_{\Delta f_j} |F [(h_r^n(t) - h_i^n(t)) \cdot w_r^n(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F [h_i^n(t) \cdot w_i^n(t)]|^2 df} \cdot C_{geo} \cdot C_{gain}(\Delta f_g) \quad (2)$$

Dabei ist

h_r^n	die gemessene Impulsantwort am n-ten Lärmschutzwandfeld, bestehend aus der einfallenden und der von der Wand reflektierten Komponente sowie möglichen Störreflexionen von Boden etc.
h_i^n	die einfallende Komponente der Freifeld-Impulsantwort, erhoben für das n-te Lärmschutzwandfeld
w_r^n	das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die reflektierte Komponente der Impulsantwort am n-ten Lärmschutzwandfeld
w_i^n	das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die einfallende Komponente der Freifeld-Impulsantwort für das n-te Lärmschutzwandfeld
F	das Symbol für die Fourier-Transformation
j	der Index der Terzbänder (von 630 bis 2000 Hz)
Δf_j	die Breite des j-ten Terzbandes
n	der Index des vermessenen Lärmschutzwandfeldes ($n = 1 \dots N$)
C_{geo}	der Faktor zur geometrischen Ausbreitungskorrektur, im vorliegenden Fall ist $C_{geo} = \frac{(1,75)^2}{(1,25)^2}$
$C_{gain}(\Delta f_g)$	der Faktor zur Korrektur möglicher Änderungen in der Verstärkerkette, wobei im vorliegenden Fall Δf_g den Frequenzbereich von 630 bis 2000 Hz umfasst. Alle weiteren Berechnungsschritte des Korrekturfaktors sind in Übereinstimmung mit ÖNORM EN 1793-5 durchzuführen.

ANMERKUNG In Abweichung zur Notation in ÖNORM EN 1793-5 wird in (2) die Subtraktion der Freifeld-Impulsantwort von der vor dem zu prüfenden Lärmschutzwandfeld gemessenen Impulsantwort explizit hervorgehoben.

ANMERKUNG Der Korrekturfaktor zur Lautsprecher-Richtcharakteristik in ÖNORM EN 1793-5 $C_{dir}(\Delta f_f)$ entfällt, da nur das Mikrofon der Normalkomponente berücksichtigt wird.

Die somit erhobenen N terzbandaufgelösten RI_j werden nun mittels Gewichtung mit dem standardisierten Verkehrslärmspektrum nach ÖNORM EN 1793-3 zu N Einzahlangaben des Schnellmessverfahrens $DL_{RI,schnell}^n$ zusammengefasst:

$$DL_{RI,schnell}^n = -10 \cdot \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=630}^{2000} RI_j^n \cdot 10^{0,1 \cdot L_j}}{\sum_{j=630}^{2000} 10^{0,1 \cdot L_j}} \right] \quad (3)$$

Diese $DL_{RI,schnell}^n$ bilden die Datenbasis, die die Verteilung der Schallreflexionseigenschaften der Lärmschutzwandfelder im Baulos beschreibt.

5.3. Statistische Analyse der Ergebnisse des Schnellmessverfahrens

Die $DL_{RI, \text{schnell}}^n$ beschreiben die Verteilung der Schallreflexionseigenschaften der Lärmschutzwandfelder im untersuchten Baulos. Mittels Histogramm kann nun ein Überblick über die Homogenität der Lärmschutzwandfelder dargestellt werden (siehe Beispiel in Abbildung 7. Der Grundgedanke zur Bewertung des Bauloses mittels ÖNORM EN 1793-5 ist im weiteren, an 5 ausgewählten Lärmschutzwandfeldern vollständige Messungen nach ÖNORM EN 1793-5 durchzuführen und mittels linearer Regression eine Umrechnung der $DL_{RI, \text{schnell}}^n$ auf die in ÖNORM EN 1793-5 erhobenen DL_{RI} zu erlauben. Dazu werden die n_p Lärmschutzwandfelder, die den $P = 5$ Quantilen mit den p-Werten $p = \{0, 10; 0, 30; 0, 50; 0, 70; 0, 90\}$ entsprechen, ausgewählt (diese entsprechen den $DL_{RI, \text{schnell}}^{n_p}$) und nach ÖNORM EN 1793-5 vermessen.

Soll nur eine Überprüfung der Mindestanforderungen der Lärmschutzwand durchgeführt werden, werden drei detailliert nach ÖNORM EN 1793-5 vermessene Felder als notwendig erachtet. Dazu werden die Felder mit den p-Werten $p = \{0, 10; 0, 20; 0, 50\}$ ausgewählt und vermessen. Die in Abschnitt 5.5 behandelte Erstellung und Auswertung eines linearen Regressionsmodells entfällt in diesem Fall. Somit können auch keine weiteren Schwachstellen in der Gesamtbewertung in Abschnitt 5.6 anhand von prognostizierten Werten gefunden werden.

Aus Gründen der Sicherheit und Zugänglichkeit kann es möglich sein, dass ein Lärmschutzwandfeld zwar nach dem Schnellmessverfahren, nicht jedoch nach dem Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 zugänglich ist. Daher ist es möglich bei der Auswahl der Lärmschutzwandfelder für die Detailmessung auf eines der in der sortierten Liste der $DL_{RI, \text{schnell}}^n$ benachbarten Lärmschutzwandfelder auszuweichen. Hierbei soll die absolute Abweichung nicht mehr als 0,03 des ursprünglichen p-Wertes des Quantils betragen. Das bedeutet, dass für die Auswahl des Feldes für $p = 0, 50$ ein Feld innerhalb des Bereichs 0,47 bis 0,53 gewählt wird. Weiters soll im Falle von Baulosen, die Wände mit unterschiedlichen Höhen aufweisen, bei der Auswahl der Lärmschutzwandfelder die Höhe des jeweils ausgewählten Feldes berücksichtigt werden. Dabei sollen höhere Wände, die nahe bei den geforderten Quantilen liegen und eine Messung über den gesamten geforderten Frequenzbereich ermöglichen (d.h. Wände mit mind. 4 m Höhe), gegenüber niedrigeren Wänden den Vorzug bei der Auswahl der Detailmessungen erhalten. Weiters soll bei der Auswahl der Lärmschutzwandfelder für die Detailmessungen eine Häufung auf einem lokalen Bereich vermieden werden.

5.4. Detailmessverfahren zur Bewertung ausgewählter Lärmschutzwand-Felder

An den in Abschnitt 5.3 ausgewählten Lärmschutzwandfeldern werden Messungen nach ÖNORM EN 1793-5 durchgeführt und damit die $DL_{RI}^{n_p}$ erhoben. Die genaue Messprozedur ist dazu in der Norm dargestellt. Auf diese Weise werden die Reflexionseigenschaften im gerichteten Schallfeld für eine die Bandbreite der Leistungsdaten des gesamten Bauloses abdeckenden Menge an Lärmschutzwandfeldern erhoben.

Darüber hinausgehend kann die Messung von mehreren ausgewählten Lärmschutzwandfeldern nach ÖNORM EN 1793-5 gefordert werden. Die so erhobenen $DL_{RI}^{n_g}$ werden im Weiteren nicht für die Erstellung des in Abschnitt 5.5 generierten Regressionsmodells genutzt.

Soll eine Überprüfung der Mindestanforderungen der Lärmschutzwand durchgeführt werden, werden nach Abschnitt 5.3 drei Detailmessungen durchgeführt. Sofern in diesem Fall die gerundete Einzulangabe des DL_{RI} (ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit) zumindest einer Detailmessung kleiner als die Bemessungsfestlegung ist, wird eine weitere Detailmessung an dem Lärmschutzwandfeld durchgeführt, das in der Statistik des Schnellverfahrens dem Quantil mit $p = 0,05$ entspricht. Hierbei kann alternativ ein Feld in dem Bereich von $0,02 \geq p \geq 0,08$ ausgewählt werden, das örtlich entfernt zu den ursprünglich bereits erfolgten Detailmessungen liegen soll. Dieser zusätzlich ermittelte Wert der Schallreflexion ($DL_{RI}^{n_p}$) ist ebenso Teil des Abnahmekriteriums nach Abschnitt 5.6.

Für die Mindestabmessungen der Lärmschutzwandfelder bzw. der unteren gültigen Grenzfrequenz gelten hierbei die Überlegungen in ÖNORM EN 1793-5. Es ist zu beachten, dass die Grenzfrequenzen nicht notwendigerweise mit den im Schnellverfahren beschriebenen Grenzfrequenzen übereinstimmen, da bei der vollständigen Messung über neun Mikrophonpositionen gemittelt wird. Dabei kommt es je Mikrophon zu unterschiedlichen Signallaufzeiten, die einen Einfluss auf die Positionierung und maximale Länge des verwendeten Adrienne-Zeitfensters haben.

Die Gesamtbewertung des Lärmschutzwandabschnittes beruht in ihren Leistungsdaten auf einer Berechnung der DL_{RI} über einen Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz. Aufgrund der Abweichungen im DL_{RI} bei der Berechnung über andere Frequenzgrenzen muss hier für einen korrekten Vergleich auf die nach Abschnitt 2.2 bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten zurückgegriffen werden, um eventuell nicht messtechnisch erhebbare Terzbänder im Falle von niedrigen Lärmschutzwandfeldern abzudecken. Die DL_{RI} sind auf diese Weise in jedem Fall über den gesamten Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz zu berechnen.

Im Falle von Lärmschutzwandabschnitten bzw. Lärmschutzwandfeldern, die sich aus unterschiedlichen Produkttypen zusammensetzen (Mischwände), werden hierbei die aus den Prüfberichtsdaten zu übernehmenden RI_j als flächengewichteter arithmetischer Mittelwert der in den produktspezifischen Leistungsdaten angegebenen RI_j berechnet.

5.5. Erstellung und Auswertung des Regressionsmodells

Die in Abschnitt 5.2 erhobenen $DL_{RI, \text{schnell}}^{n_p}$ und die in Abschnitt 5.4 erhobenen $DL_{RI}^{n_p}$ werden nun einer linearen Regressionsanalyse zugeführt. Die dadurch generierte lineare Abbildung hat somit die Form

$$DL_{RI, \text{prog}}^n = k \cdot DL_{RI, \text{schnell}}^n + d \quad (4)$$

mit

$$k = \frac{\sum_p (x_p - \bar{x})(y_p - \bar{y})}{\sum_p (x_p - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$d = \bar{y} - k\bar{x} \quad (6)$$

wobei für die x und y gilt:

$$\begin{aligned} x_p &= DL_{\text{RI,schnell}}^{n_p} & \bar{x} &= \frac{1}{P} \sum_p x_p \\ y_p &= DL_{\text{RI}}^{n_p} & \bar{y} &= \frac{1}{P} \sum_p y_p \end{aligned}$$

Damit können alle zuvor erhobenen $DL_{\text{RI,schnell}}^n$ in die auf Basis des Modells prognostizierten $DL_{\text{RI,prog}}^n$ transformiert werden. Hierbei sollen auch die für die Modellerstellung herangezogenen Lärmschutzwandfelder n_p auf die prognostizierten Einzulangaben zur Schallreflexion $DL_{\text{RI,prog}}^{n_p}$ umgerechnet werden.

ANMERKUNG Im Fall einer geringen Variation der $DL_{\text{RI,schnell}}^n$ kann es durch Messunsicherheiten vorkommen, dass die Steigung der Regressionsgeraden k einen negativen Wert aufweist. Dadurch können auf die tatsächliche Reihung der Lärmschutzwandfelder in Bezug auf ihre Reflexionseigenschaften keine gesicherten Rückschlüsse gezogen werden. Die (somit ebenfalls eine geringe Breite aufweisende) absolute Verteilungsfunktion der $DL_{\text{RI,prog}}^n$ behält nichtsdestotrotz ihre Gültigkeit.

5.6. Gesamtbewertung der Schallreflexionseigenschaften des Lärmschutzwandabschnittes

Auf Basis der so erhobenen Daten kann nun eine Bewertung der Reflexionseigenschaften des Bauloses bzw. Lärmschutzwandabschnittes erfolgen. Dabei muss strikt zwischen den nach ÖNORM EN 1793-5 erhobenen $DL_{\text{RI}}^{n_p}$ bzw. $DL_{\text{RI}}^{n_g}$ einerseits sowie den durch das lineare Regressionsmodell erstellten $DL_{\text{RI,prog}}^n$ andererseits unterschieden werden.

Mit den mittels Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 erhobenen $DL_{\text{RI}}^{n_p}$ bzw. $DL_{\text{RI}}^{n_g}$ wird die jeweilige obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K gebildet (siehe Anhang A). Für eine erfolgreiche Abnahmeprüfung müssen alle mittels Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 gemessenen Felder das Abnahme-Kriterium (10) erfüllen.

Die mittels linearem Regressionsmodell erstellten $DL_{\text{RI,prog}}^n$ können für weitere statistische Auswertungen der prognostizierten akustischen Eigenschaften zur Schallreflexion herangezogen werden. Sie geben einen Aufschluss über mögliche Schwachstellen in der Schallreflexion des mittels Schnellmessverfahren gemessenen Lärmschutzwandabschnittes und können bei Bedarf als Ausgangsbasis für weitere zu messende $DL_{\text{RI}}^{n_g}$ genutzt werden.

6. Überprüfung der Schalldämmungseigenschaften von Lärmschutzwandabschnitten

Das Verfahren zur Bestimmung der Schalldämmeigenschaften von Lärmschutzwänden an Straßen beruht auf Messungen nach ÖNORM EN 1793-6. Ziel der Abnahmeprüfung ist es, Lärmschutzwandabschnitte als Gesamtes zu überprüfen. Der in der Bauausschreibung festgelegte Mindestwert der Schalldämmung ist an allen Stellen des Lärmschutzwandabschnittes inkl. Türen einzuhalten. Aufgrund des Aufwandes lassen sich jedoch nur an einer begrenzten Anzahl an Stellen Messungen durchführen. Schwachstellen hinsichtlich Schalldämmung wie z. B. Fugen oder Schlitze können meist visuell erkannt werden. Das nachfolgend beschriebene Verfahren beinhaltet aus diesem Grunde eine visuelle Überprüfung eines Lärmschutzwandabschnittes, bevor Messungen der Schalldämmung an einzelnen Stellen vorgenommen werden und ist daher zweistufig wie folgt konzipiert:

In der ersten Stufe ist eine visuelle Überprüfung und Dokumentation des Lärmschutzwandabschnittes als Ganzes vorzunehmen. Dabei ist auf Basis der Planunterlagen der Bauplanung eine Klassifizierung der besichtigten Felder des Lärmschutzwandabschnittes durchzuführen.

Für eine Vereinheitlichung der Klassifizierung sind drei Kategorien vorgesehen.

Kategorie 1: Felder ohne auffällige Stellen (vermutlich schalltechnisch in Ordnung)

Kategorie 2: Felder mit auffälligen Stellen z. B. breite Fugen oder Schlitze jedoch ohne unmittelbar wahrnehmbare Durchsichtigkeit

Kategorie 3: Felder mit augenscheinlichen Mängeln z. B. deutlich durchsichtige Fugen und Schlitze, schadhafte Elemente, deutlich wahrnehmbare Einbaufehler

ANMERKUNG Unter „Feld“ versteht man in diesem Zusammenhang jeweils das Lärmschutzwandelement mit Betonsockelbrett inkl. der Einbausituation im Pfosten.

ANMERKUNG Untersuchungen zeigen für 0,5 cm breite Schlitze bereits deutliche Reduktionen des Schalldämmwertes von mehreren Dezibel. [3]

Die Klassifizierung erfolgt hierbei dadurch, dass den Feldern obige Kategorien zugeordnet werden und dies in den Prüfunterlagen (planlich, tabellarisch bzw. durch Fotos) vermerkt und dokumentiert wird.

Die visuelle Prüfung erfolgt in der Regel durch Abgehen des Lärmschutzwandabschnittes. Im Allgemeinen wird von einer autobahnseitigen Begehung ausgegangen, in speziellen Fällen kann es durchaus auch sinnvoll sein, den Wandabschnitt auch von der Rückseite zu besichtigen. Die Begutachtung einer Lärmschutzwand von der Rückseite (Zugänglichkeit vorausgesetzt) empfiehlt sich speziell in Fällen, in denen für die Schalldämmung maßgebende Konstruktionsdetails (beispielsweise straßenseitig von Absorber verdeckt) lediglich von dieser Seite aus ersichtlich sind (wie beispielsweise eine verschobene Dämmplatte etc.). Die Klassifizierung kann auf Lärmschutzwandfelder ausgeweitet werden, die aufgrund der speziellen Gegebenheiten (Zugänglichkeit, Sicherheit) nicht nach ÖNORM EN 1793-6

gemessen werden können, aber eine Begehung und visuelle Inspektion erlauben. Dies schließt insbesondere Lärmschutzwände geringer Höhe mit ein. Details der Begehung als auch die Klassifizierung der Felder werden in der Dokumentation nachvollziehbar festgehalten.

In der zweiten Stufe werden - aufbauend auf der ersten Stufe - konkrete Messungen gemäß ÖNORM EN 1793-6 an ausgewählten Stellen (akustisch wirksame Elemente bzw. Pfosten) der Lärmschutzwand durchgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Messungen an den Pfosten-Positionen (abweichend zur ÖNORM EN 1793-6) nicht zwangsläufig an die Messungen an den Element-Positionen angrenzen, wenn sich dies situationsbedingt als sinnvoll erweist. Die Auswahl der Messstellen erfolgt derart, dass Bereiche der Kategorie 3 ausscheiden, da diese ohnedies (z. B. bereits aus optischen Gründen) als mangelhaft eingestuft werden und für diese in der Regel eine Sanierung zu empfehlen ist (siehe hierzu auch die Ausführungen der ZTV-Lsw 06, wo es in den Konstruktionsgrundsätzen heißt: *Lärmschutzwände dürfen keine durchgehenden Risse, Löcher, Schlitze oder offene Fugen aufweisen* [4]). Zudem ist davon auszugehen, dass an derartigen Stellen die Schalldämmung aufgrund der Schalldurchlässigkeit deutlich reduziert ist. [3]

Aufgrund statistischer Überlegungen und im Hinblick auf die praktische Umsetzbarkeit (Aufwand) ergibt sich folgende Vorgehensweise für die Messungen: Für einen Lärmschutzwandabschnitt von bis zu 500 m sind Messungen an 2 Stellen durchzuführen. Jede Stelle beinhaltet eine Element-Position sowie eine Pfosten-Position. Zwischen 500 m und 1 Kilometer des Lärmschutzwandabschnitts sind Messungen an 3 Stellen durchzuführen. Für jeden weiteren angefangenen Kilometer kommt eine weitere Stelle hinzu. Die Gesamtzahl der Stellen ist auf den gesamten Lärmschutzwandabschnitt zu verteilen, wobei im Sinne des Anrainerschutzes kritischen Stellen der Vorrang gegeben werden soll. Weiters sollen die Detailmessungen flächenanteilmäßig vorrangig auf die im Baulos vorhandenen Bauformen aufgeteilt werden. Eine Häufung der Messstellen auf einen lokalen Bereich sollte vermieden werden. Für die Messungen sind Prüfberichte lt. ÖNORM EN 1793-6 zu erstellen.

Vorzugsweise sind Stellen der Kategorie 2 zu wählen, da für diese möglicherweise reduzierte Dämmwerte erwartet werden könnten. Für Kategorie 1 soll zumindest eine Stelle gewählt werden, um den augenscheinlich korrekten Einbau messtechnisch zu dokumentieren. Die Gesamtanzahl der durchzuführenden Messungen wird durch die Aufteilung der Lärmschutzwände in Kategorien nicht beeinflusst. Das heißt, wurden keine Lärmschutzwände in Kategorie 2 eingeteilt, sind alle Messungen bei Wänden der Kategorie 1 durchzuführen und umgekehrt. Sofern im Rahmen der visuellen Überprüfung mindestens 85 % der Lärmschutzwände Kategorie 1 zugeordnet werden konnten, genügt eine Messung innerhalb der Kategorie 2. Die restlichen Messungen werden in diesem Fall auf die Kategorie 1 aufgeteilt.

Für die Messungen nach ÖNORM EN 1793-6 sind Wände mit einer Höhe von mindestens 4 m bevorzugt auszuwählen, da diese eine Messung über den gesamten interessierenden Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz ermöglichen. Sofern dies nicht möglich ist, sind die entsprechenden Anpassungen des Adrienne-Zeitfensters bzw. gültigen Frequenzbereichs nach ÖNORM EN 1793-6 vorzunehmen. Aufgrund der Abweichungen im DL_{SI} bei der Berechnung über andere Frequenzgrenzen muss hier für einen korrekten Vergleich auf die nach Abschnitt 2.2 bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten zurückgegriffen werden, um eventuell nicht messtechnisch erhebbare Terzbänder im Falle von niedrigen Lärmschutzwandfeldern abzudecken. Die DL_{SI} sind auf diese Weise in jedem Fall über den gesamten Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz zu berechnen.

Im Falle von Lärmschutzwandabschnitten bzw. Lärmschutzwandfeldern, die sich aus K unterschiedli-

chen Produkttypen mit den jeweiligen Oberflächen A_k zusammensetzen (Mischwände mit der Gesamtoberfläche $A = \sum A_k$), werden hierbei die aus den Prüfberichtsdaten zu übernehmenden SI_j als flächengewichteter energetischer Mittelwert der in den produktspezifischen Leistungsdaten angegebenen $SI_{j,k}$ nach (7) berechnet.

$$SI_j = -10 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{1}{A} \sum_{k=1}^K A_k \cdot 10^{-0.1 \cdot SI_{j,k}} \right\} \quad (7)$$

Um den Einfluss auffälliger Stellen der Kategorie 2, die sich nicht in der vertikalen Mitte des Lärmschutzwandfeldes bzw. des Pfostens befinden, auf die Luftschalldämmungseigenschaften zu erfassen, kann die Bezugsposition für die Detailmessungen vertikal verschoben werden. Dabei soll die Höhe der Bezugsposition in die Nähe der auffälligen Stelle gesetzt werden, wobei ein minimaler Abstand von einem Meter zur Oberkante bzw. Unterkante (inkl. Sockel) einzuhalten ist. Je nach Abstand ist die Fensterlänge des Adrienne-Zeitfensters anzupassen, um Störeinflüsse durch Beugung an der Oberkante bzw. Bodeneinflüsse zu unterdrücken. Weiters ist der gültige Frequenzbereich an die Länge des Adrienne-Zeitfensters anzupassen. Bei einer Verschiebung der Bezugsposition nach unten ist ein Einfluss von Störreflexionen (z.B. an der Leitschiene) zu vermeiden. Auffällige Stellen sind mit einem möglichst großen gültigen Frequenzbereich zu messen. Daher sind Felder mit auffälligen Stellen in der vertikalen Mitte des Elements bevorzugt auszuwählen. Sofern dies nicht möglich ist, kann die vertikale Verschiebung der Bezugspositionen angewendet werden, wobei gegebenenfalls für nicht gültige Frequenzbänder die Werte aus den bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten zu verwenden sind.

Die visuelle Überprüfung soll über den gesamten Anwendungsbereich des Prüfhandbuches (siehe Abschnitt 2.1) durchgeführt werden. Aus organisatorischen Gründen können Detailmessungen vor Abschluss der gesamten Begehungen durchgeführt werden, wobei in der Durchführung darauf zu achten ist, die Anzahl der Messungen pro Kategorien beizubehalten.

Aufgrund der Forderung, dass der Lärmschutzwandabschnitt sowohl beim Element, als auch beim Pfosten die geforderten Anforderungen erfüllen soll, werden die Prüfberichte und Auswertungen getrennt nach $DL_{SI,E}$ für das Element und $DL_{SI,P}$ für den Pfosten durchgeführt. Die Betrachtung des $DL_{SI,G}$ (energetische Mittelung von $DL_{SI,E}$ und $DL_{SI,P}$) ist daher nicht erforderlich. Dies ist eine kleine Abweichung zur Norm ÖNORM EN 1793-6, die die Angabe des $DL_{SI,G}$ für ein Lärmschutzwandfeld (inkl. angrenzendem Pfosten) vorsieht. Wenn aber sowohl $DL_{SI,E}$ als auch $DL_{SI,P}$ den geforderten Mindestwert erfüllen müssen, so wird dieser für $DL_{SI,G}$ ohnedies erfüllt.

Mit den erhobenen $DL_{SI,P}$ bzw. $DL_{SI,E}$ wird die jeweilige obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K gebildet (siehe Anhang A). Für eine erfolgreiche Abnahmeprüfung müssen alle gemessenen Pfosten- und Element-Messpositionen das Abnahme-Kriterium (Gleichung (10)) erfüllen. Treten Schalldämmwerte auf, die mit der erweiterten Messunsicherheit die Bemessungsfestlegung nicht erfüllen, so ist die weitere Vorgehensweise im Einzelfall abzuklären.

A. Messunsicherheiten

Aufgrund derzeit vorliegender Daten sind für die Messunsicherheiten der Einzulangaben nur Schätzwerte für die kombinierte Standardunsicherheit vorhanden. Für die hier anzuwendende Vergleichsstandardabweichung sind derzeit drei Schätzwerte vorhanden (gering, mittel, hoch), die dem Glaubwürdigkeitsintervall (gering und hoch) der geschätzten Vergleichsstandardabweichung und dem Median-Wert des Intervalls (mittel) entsprechen. Bei der Verwendung einer konservativen Abschätzung durch den hohen Schätzwert kann es zu einer Überschätzung der Messunsicherheit und somit zu einer ungerechtfertigten positiven Abnahme kommen. Bei einer optimistischen Abschätzung mit dem geringen Schätzwert kann es zu einer Unterschätzung der Messunsicherheit und somit zu einer ungerechtfertigten Nichtabnahme kommen. Nach derzeitigem Wissensstand ist daher als beste Abschätzung für den Vergleich mit der Bemessungsfestlegung nach aktuellem Stand der Normen die mittlere Kategorie zu verwenden. Dies deckt sich auch mit dem ISO/BIPM-Leitfaden „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM), worin gefordert wird, eine realistische Abschätzung der Messunsicherheit durchzuführen. [5]

Die Berechnung der erweiterten Messunsicherheit U zur Abdeckung eines 95%-Vertrauensniveaus aus der Standardabweichung s_R erfolgt unter Annahme einer Normalverteilung mittels:

$$U = 1,96 \cdot s_R. \quad (8)$$

Damit ergibt sich das 95%-Vertrauensniveau einer gemessenen Einzulangabe DL_{XI} als das geschlossene Intervall $[DL_{XI} - U; DL_{XI} + U]$.

ANMERKUNG DL_{XI} ist hier als Platzhalter für DL_{RI} , $DL_{SI,E}$ bzw. $DL_{SI,P}$ zu verstehen.

Für die Überprüfung der Mindestanforderungen ist nur die obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus relevant:

$$K = DL_{XI} + U \quad (9)$$

Dieses Vertrauensniveau K ist mit den in Tabelle 1 bzw. 2 angegebenen Werten für s_R bzw. U und der nicht gerundeten Einzulangabe DL_{XI} zu berechnen und anschließend auf eine Nachkommastelle kaufmännisch zu runden.

Abnahme-Kriterium

Eine Messung erfüllt eine Bemessungsfestlegung DL'_{XI} , wenn die obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K mindestens den Wert der Bemessungsfestlegung aufweist:

$$K \geq DL'_{XI} \quad (10)$$

ANMERKUNG Da die auf ganze Zahlen gerundeten Einzulangaben nicht die Messunsicherheit berücksichtigen, sind diese als Vergleichskriterium für eine Abnahmeprüfung nicht geeignet. Die angegebenen Vergleichsstandardabweichungen wurden anhand der nicht gerundeten Werte berechnet und sind daher auch auf diese anzuwenden. [6]

ANMERKUNG Als obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus hat der Wert \bar{K} eine andere Aussagekraft als die auf ganze Zahlen zu rundenden Einzulangaben nach ÖNORM EN 1793-5 und -6. Für die Angabe der Messunsicherheit und des Vertrauensniveaus ist laut aktuellem Stand der Normen ÖNORM EN 1793-5 und -6 keine Rundung vorgesehen.

A.1. Schallreflexion

Die Messunsicherheiten in Bezug auf die Messung der Schallreflexion nach ÖNORM EN 1793-5 sind in Anhang A der Norm angegeben. Für die Messungen nach dem Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 soll die mittlere Vergleichsstandardabweichung s_R zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit U verwendet werden. Diese sind in der Spalte DL_{RI} in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Vergleichsstandardabweichung s_R und auf zwei Nachkommastellen gerundete erweiterte Messunsicherheit U für den DL_{RI} in dB

	DL_{RI}	$DL_{RI,prog}$
s_R	0,68	0,81
U	1,33	1,59

In Bezug auf die Bewertung des Bauloses durch die mittels Regressionsmodell prognostizierten $DL_{RI,prog}^n$ können zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokumentes noch keine gesicherten Angaben gemacht werden. Die dafür benötigten Daten in Bezug auf die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit müssen durch einen Ringversuch erhoben werden. Bis diese Daten vorliegen kann die hohe Abschätzung der Vergleichsstandardabweichung der ÖNORM EN 1793-5 verwendet werden, um einen analogen Vergleich zur Bemessungsfestlegung nach Gleichung (10) zu ermöglichen. Diese ist in der Spalte $DL_{RI,prog}$ in Tabelle 1 angegeben.

ANMERKUNG Es ist anzunehmen, dass durch das Regressionsmodell die Unsicherheit für die durch das Regressionsmodell prognostizierten Werte erhöht wird. Bis Daten durch einen Ringversuch vorliegen soll diesem Umstand durch die Verwendung der hohen Vergleichsstandardabweichung Rechnung getragen werden.

A.2. Luftschalldämmung

Die Messunsicherheiten in Bezug auf die Messung der Schalldämmung nach ÖNORM EN 1793-6 sind in Anhang C der Norm, getrennt nach Messungen am Feld und am Pfosten, angegeben. Als beste Abschätzung ist hier die durchschnittliche Vergleichsstandardabweichung s_R bzw. die durchschnittliche erweiterte Messunsicherheit U zu verwenden. Diese sind in Tabelle 2 angegeben.

ANMERKUNG Der in der (englischsprachigen) EN 1793-5 bzw. EN 1793-6 verwendete Begriff „median“ wurde in der ÖNORM EN 1793-5 mit „mittel“, in der ÖNORM EN 1793-6 mit „durchschnittlich“ ins Deutsche übersetzt.

Tabelle 2: Vergleichsstandardabweichung s_R und auf zwei Nachkommastellen gerundete erweiterte Messunsicherheit U für $DL_{SI,E}$ und $DL_{SI,P}$ in dB

	$DL_{SI,E}$	$DL_{SI,P}$
s_R	1,06	0,72
U	2,08	1,41

B. Wahl der Messpositionen

B.1. Schallreflexion

In diesem Abschnitt sollen Orientierungshilfen für die Positionierung der Messeinrichtung vor dem zu prüfenden Lärmschutzwandfeld gegeben werden. In Bezug auf das Schnellmessverfahren wird als Bezugsposition die horizontale Mitte des Lärmschutzwandfeldes und die halbe Höhe der Absorberfläche ausgewählt. Im Falle einer Strukturierung der Lärmschutzwand soll die Messeinrichtung vor der akustisch relevantesten Fläche, d.h. vor dem Bereich mit der höchsten zu erwartenden Absorption, positioniert werden. Grundsätzliche Regeln für die Positionierung der Messeinrichtung des Detailmessverfahrens nach ÖNORM EN 1793-5 sind der Norm selbst zu entnehmen.

Bei großen Wandhöhen kann es sein, dass hohe Messpositionen gefordert sind. In solchen Fällen können die Bezugspositionshöhen aufgrund von Sicherheitsbedenken dahingehend adaptiert werden, dass anstelle der typischerweise als Bezugsposition gewählten Wandmitte eine niedrigere Bezugsposition gewählt wird, wenn diese die Messung über den gesamten in ÖNORM EN 1793-5 geforderten Frequenzbereich erlaubt.

Die nachfolgenden Leitlinien beziehen sich auf die Messung von Lärmschutzwand-Feldern, die sich aus Elementen mit unterschiedlichen produktspezifischen Leistungsdaten bzw. unterschiedlichen Typen, aber gleichem Bemessungsfestlegungen zusammensetzen (d.h. Mischwände in einem gemeinsamen Lärmschutzwandfeld):

- Übergänge zwischen Wandtypen in unterschiedlichen Lärmschutzwand-Abschnitten werden nicht vermessen (beispielsweise schrittweise Wechsel zwischen Wandtypen mit unterschiedlichen Bemessungsfestlegungen).
- Übergänge zwischen Wandtypen im selben Lärmschutzwandabschnitt werden nicht vermessen, es sei denn, sie haben einen relevanten Anteil (mehr als 10 Flächen-%) am Lärmschutzwandabschnitt.
- Bei Wänden mit einer Gesamthöhe der Absorberfläche kleiner gleich 2,5 m werden in der Wahl der Bezugspositionen die unterschiedlichen Elementtypen nicht berücksichtigt.
- Wandhöhenanteile kleiner als 2,0 m eines Elementtyps werden bei der Wahl der Bezugspositionen nicht berücksichtigt.
- Im Falle von niedrigen Wänden, bei denen auf produktspezifische Leistungsdaten für die Berechnung der DL_{RI} zurückgegriffen werden muss, wird für die Messung an den unterschiedlichen Bezugspositionen der Frequenzumfang der Bezugsposition mit der höchsten unteren Grenzfrequenz herangezogen. Die tieferfrequenten Leistungsdaten werden durch den flächenanteilsgemittelten RI der produktspezifischen Leistungsdaten berechnet (siehe Abschnitt 5.4).
- Bei einer Mischwand mit einer Höhe des geringeranteiligen Elementtyps von mindestens 2,0 m werden zusätzliche Bezugspositionen vor dem geringerflächigen Anteil gewählt:
 - Es wird mindestens eine Bezugsposition im geringerflächigen Anteil gewählt.

- Wird eine Bezugsposition an der Stoßstelle zweier Elementtypen gewählt, kann diese beiden Elementtypen zugerechnet werden.
- Abgebildet werden soll in der Wahl der Bezugspositionen sowohl die Mikrostruktur (Variationen innerhalb des Elementtyps, zB. gefräste Wellen bei Holzbetonwänden, Holzlattung bei Holzwänden) als auch die Makrostruktur (Stoßstellen zwischen Elementtypen).
- Die Abbildung der Mikrostruktur wird nach ÖNORM EN 1793-5 vorgegeben bzw. orientiert sich an den Prüfberichten der produktspezifischen Leistungsdaten.
- Bei der Abbildung der Makrostruktur sollen Bezugspositionen vor beiden Element-Typen gewählt werden. Die Anzahl der Bezugspositionen soll sich an den Flächenanteilen der Elementtypen orientieren; dabei muss die Abbildung der Mikrostruktur berücksichtigt werden.
- Der gemeinsame *RI* für alle Bezugspositionen wird durch Mittelwertbildung nach ÖNORM EN 1793-5 berechnet.

B.2. Luftschalldämmung

Hinsichtlich Auswahl der Messpositionen wird auf die ÖNORM EN 1793-6 verwiesen. Die Wahl der Messposition (Mittenposition des Messgitters nach Norm) an einem Lärmschutzwand-Feld hat vorzugsweise nach ÖNORM EN 1793-6 mittig zu erfolgen. Zu beachten ist hierbei, dass für die Messung der Schalldämmung das Betonsockelbrett grundsätzlich mitzuberücksichtigen ist, da auch dieses bzw. der Übergang zum Lärmschutzwandelement für die Schalldämmung von Bedeutung ist. Abweichend zur Norm können auch Messungen außerhalb der vertikalen Mitte bzw. des Pfostens gewählt werden, wenn dies sinnvoll erscheint (beispielsweise bei auffälligen Fugen zwischen Lärmschutzwandelementen ober/unter der mittleren Höhe). Etwaige Einschränkungen in den Terzbändern sind hierbei zu berücksichtigen.

Die geforderten Mindestanforderungen hinsichtlich Schalldämmung sind grundsätzlich an jeder beliebigen Position einzuhalten. Dies gilt auch für Mischungen unterschiedlicher Lärmschutzwand-Typen.

Darüber hinaus gelten die Mindestanforderungen bezüglich Schalldämmung auch für Einbauten in die Lärmschutzwand, wie z. B. Türen etc. Derartige Einbauten sind daher ebenso zu betrachten wie die übrigen Lärmschutzwand-Felder und werden daher genauso mitberücksichtigt.

C. Flowcharts

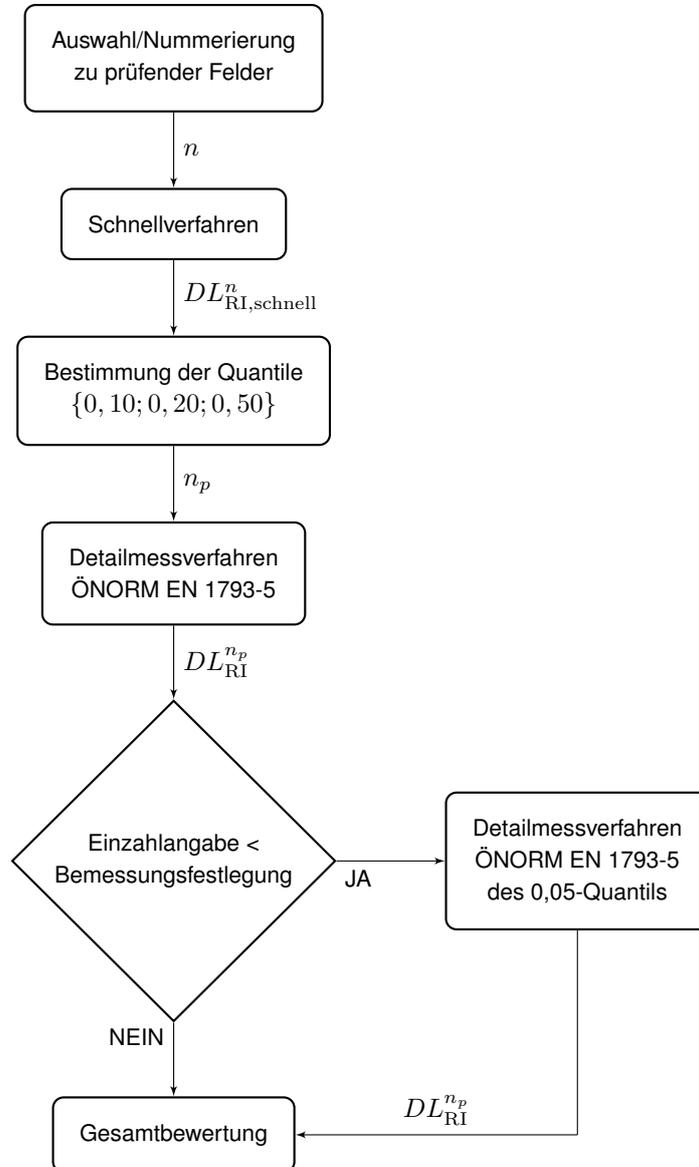


Abbildung 3: Flowchart der Abnahmepezedur zur Schallreflexion zur Überprüfung der Mindestanforderungen ohne Regressionsmodell

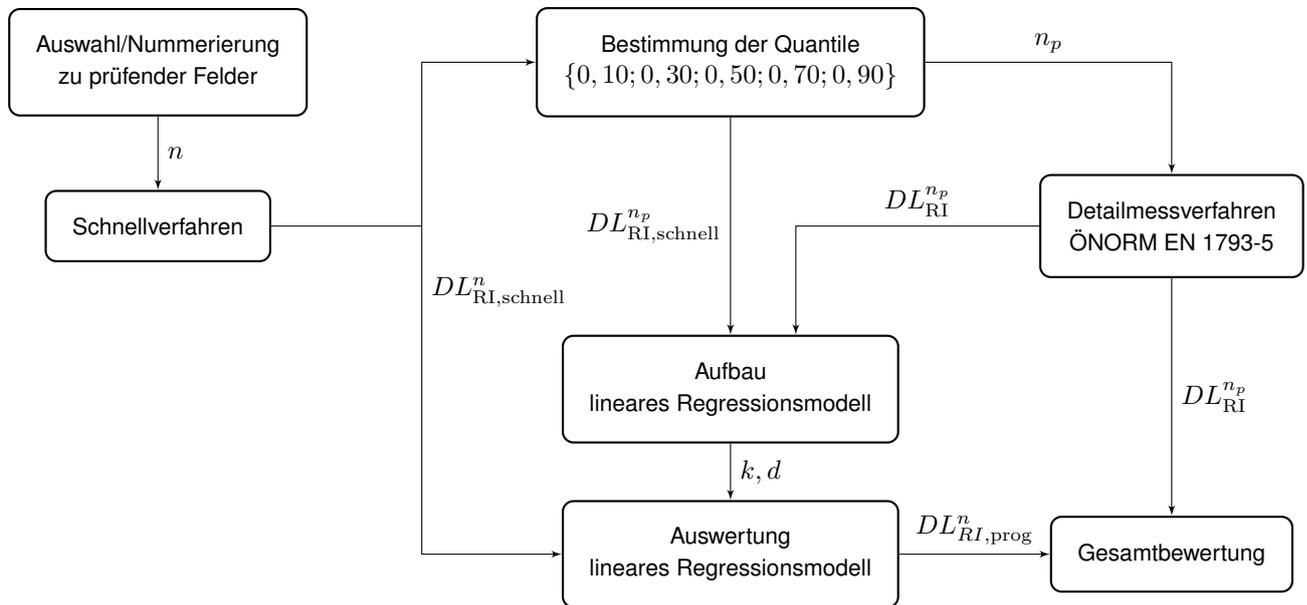


Abbildung 4: Flowchart der Abnahmeprozedur zur Schallreflexion mit Regressionsmodell

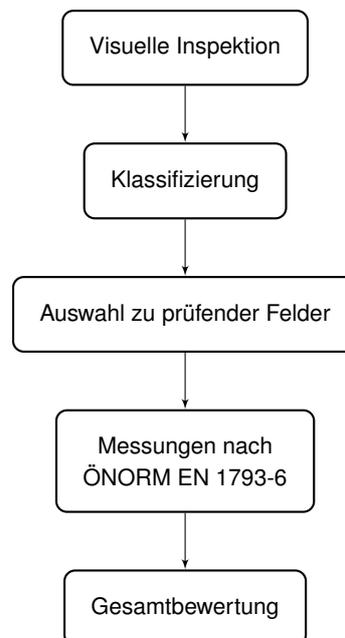


Abbildung 5: Flowchart der Abnahmeprozedur zur Schalldämmung

D. Beispiele der Auswertungsschritte einer Abnahmeprüfung

D.1. Überprüfung der Mindestanforderungen der Schallreflexion

In diesem Abschnitt soll der Messablauf anhand eines Beispiels durchgeführt werden, wobei nur die Mindestanforderungen nach Abschnitt 5.3 überprüft werden sollen. Das fiktive Baulos besteht aus 100 Lärmschutzwandfeldern zu jeweils 4 m Breite und 3 m Höhe. Die Bemessungsfestlegung im Ausschreibungstext fordert in Bezug auf die Reflexionseigenschaften der Lärmschutzwand einen DL_{RI} von mindestens 5 dB. Die im Vorfeld mittels vorgelegter Prüfberichte durch den Hersteller bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand

Terz [Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
RI	0,60	0,55	0,50	0,50	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05

Terz [Hz]	1600	2000	2500	3150	4000	5000	DL_{RI}
RI	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,20	6 dB

Schritt 1: Begehung

In dem vorliegenden Beispiel sind alle Lärmschutzwandfelder messbar und fortlaufend zur eindeutigen Identifikation nummeriert (1-100).

Schritt 2: Schnellmessverfahren

Das Baulos besteht aus 100 Lärmschutzwänden mit einer jeweiligen Breite von 4 m und somit aus einer Gesamtlänge von 400 m. Damit sollen mindestens 300 m der Lärmschutzwand und somit 75 Felder einer Schnellverfahrensmessung unterzogen werden. In diesem Beispiel werden die Felder mit den Nummern 15 bis 25 aufgrund schlechter Zugänglichkeit vom Schnellmessverfahren ausgeschlossen.

Basierend auf der Höhe der Lärmschutzwand von 3 m ergibt sich eine untere Frequenzgrenze für die Schallreflexionsmessung von 250 Hz. Dies liegt unter der in Abschnitt 5.2 angegebenen unteren Frequenzgrenze von 630 Hz. Damit kann für die Auswertung der Schnellverfahrensmessungen ein Frequenzbereich von 630 Hz bis 2000 Hz angewendet werden.

Nun werden die 89 Lärmschutzwandfelder mit Hilfe des Schnellverfahrens akustisch vermessen, dies entspricht 89% der Gesamt-Bauloslänge. Die daraus hervorgehenden $DL_{RI, \text{schnell}}^n$ sind in Abbildung 6 dargestellt.

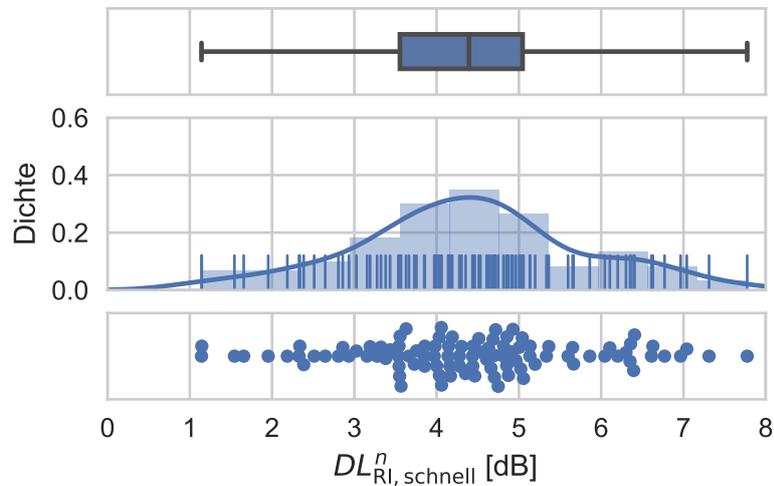


Abbildung 6: fiktive Beispieldaten mit Kerndichteschätzer und Boxplot der $DL_{RI,schnell}^n$ des Schnellverfahrens

Schritt 3: Bestimmung der Quantile

Als nächstes werden aus den $DL_{RI,schnell}^n$ die Quantile mit den p-Werten $p = \{0,10; 0,20; 0,50\}$ bestimmt. Die zugehörigen Lärmschutzwand-Felder sind für das vorliegende Beispiel in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Quantile und Lärmschutzwandfeld-Nummern der Beispielbewertung

p-Wert	$DL_{RI,schnell}^{n_p}$ [dB]	Feld-Nr.
0,10	3,30	79
0,20	3,78	32
0,50	4,42	5

Schritt 4: Messungen nach ÖNORM EN 1793-5

Anschließend an die Auswahl der für das Baulos repräsentativen Lärmschutzwandfelder zur Überprüfung der Mindestanforderungen werden an diesen Feldern mittels Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 die tatsächlichen $DL_{RI}^{n_p}$ bestimmt.

Aufgrund der Lärmschutzwand-Höhe von 3 m können in diesem Beispiel die Ergebnisse der Detailmessung erst ab dem Terzband mit der Mittenfrequenz von 315 Hz verwendet werden. Daher werden für die tieferfrequenten Terzbandergebnisse der RI die Werte aus den produktspezifischen Leistungsdaten aus Tabelle 3 eingesetzt (siehe Tabelle 5). Die sich daraus ergebenden Ergebnisse werden in Tabelle 6 gezeigt.

Tabelle 5: Anpassung der gemessenen RI -Werte an den Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz für das gemessene Feld Nr. 79

Terzband	RI spez. Leistungsdaten	RI tats. Leistungsdaten	RI Berechnung
200	0,60	-	0,60
250	0,55	-	0,55
315	0,50	0,70	0,70
400	0,50	0,70	0,70
500	0,30	0,50	0,50
630	0,20	0,50	0,50
800	0,15	0,45	0,45
1000	0,10	0,35	0,35
1250	0,05	0,35	0,35
1600	0,05	0,25	0,25
2000	0,05	0,25	0,25
2500	0,05	0,25	0,25
3150	0,05	0,30	0,30
4000	0,15	0,30	0,30
5000	0,20	0,35	0,35
DL_{RI}	5,56 dB	-	3,61 dB

ANMERKUNG Im Falle eines aus verschiedenen Lärmschutzwandelementen zusammengesetzten Lärmschutzwandfeldes würde für die für die Berechnung der $DL_{RI,prog}^n$ heranzuziehenden RI der flächengewichtete arithmetische Mittelwert der jeweiligen produktspezifischen Leistungsdaten herangezogen werden. Bei einem Lärmschutzwandfeld, dessen Elemente zu 25 % aus einem Produkt mit einem $RI_{200\text{ Hz}} = 0,90$ und zu 75 % aus einem Produkt mit einem $RI_{200\text{ Hz}} = 0,70$ bestehen ergibt sich für den $RI_{200\text{ Hz}}$ somit ein Wert von 0,75.

Tabelle 6: Quantile, Lärmschutzwandfeld-Nummern und Detailmessergebnisse der Beispielbewertung

p-Wert	$DL_{RI,schnell}^{np}$ [dB]	Feld-Nr.	DL_{RI}^{np} [dB]
0,10	3,30	79	3,61
0,20	3,78	32	3,62
0,50	4,63	5	4,90

Schritt 5: Aufbau und Auswertung des linearen Regressionsmodells

Da nur drei Detailmessverfahrenswerte zur Verfügung stehen, entfällt der Aufbau und die Auswertung des linearen Regressionsmodells.

Schritt 6: Gesamtbewertung des Lärmschutzwand-Bauloses

Aus den erhobenen Messergebnissen zur Schallreflexion kann folgende Bewertung des Bauloses angegeben werden:

- Anhand der erhobenen tatsächlichen Leistungsdaten der mittels Detailmessverfahren gemessenen Lärmschutzwandfelder nach ÖNORM EN 1793-5 erfüllt eines von drei vermessenen Feldern die geforderten Bemessungsfestlegungen nicht (Feld-Nr. 79, siehe Tabelle 7). Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt nach Tabelle 1 1,33 dB.

Tabelle 7: Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels mit einer Bemessungsfestlegung von 5 dB

Feld-Nr.	DL_{RI} [dB] (Prüfbericht)*	DL_{RI} [dB] (ungerundet)	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)	Abnahme erfolgreich
79	4	3,61	4,94	4,9	NEIN
32	4	3,62	4,95	5,0	JA
5	5	4,90	6,23	6,2	JA

* Die auf eine ganze Zahl gerundete Einzahlangabe DL_{RI} aus dem Prüfbericht ist rein informativ und dient zur Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen gerundeter Einzahlangabe laut Norm und der zum Vergleich mit der Bemessungsfestlegung herangezogenen oberen Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K .

ANMERKUNG

Die Zahlenwerte in diesem Beispiel wurden bewusst so gewählt, dass es zu einer knappen Entscheidung kommt. Es wird allerdings ein gemessener Wert von 3,62 dB für eine Bemessungsfestlegung von 5 dB aufgrund der anzurechnenden Messunsicherheit akzeptiert. Es ist das Wesen einer Schwellwertentscheidung, dass auch eine geringfügige Änderung über das Erreichen des Schwellwertes entscheiden kann. Eine Rundung in den Zwischenschritten würde nur den Schwellwert verschieben und zusätzliche Rundungsfehler einführen, diese Eigenschaft aber nicht ändern.

- Da die gerundete Einzahlangabe der Felder Nr. 79 und Nr. 32 unter der geforderten Bemessungsfestlegung liegt, soll zusätzlich eine Detailmessung am Lärmschutzwandfeld mit dem $DL_{RI, \text{schnell}}^n$ mit dem p-Wert $p = 0,05$ durchgeführt werden (Feld 77). Da dieses sich jedoch im Nahbereich des das Abnahmekriterium nicht erfüllenden Feldes 79 befindet, wird im Bereich der p-Werte $p = (0,02; 0,08)$ ein örtlich entferntes Feld ausgewählt (Feld Nr. 44, p-Wert $p = 0,03$) und mittels Detailmessverfahren gemessen. Das Ergebnis wird der Gesamtbewertung der Detailmessergebnissen hinzugefügt (siehe Tabelle 8).
- Die Prognose über ein Erreichen der Bemessungsfestlegung für die restlichen Felder entfällt.

Tabelle 8: Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels mit einer Bemessungsfestlegung von 5 dB

Feld-Nr.	DL_{RI} [dB] (Prüfbericht)	DL_{RI} [dB] (ungerundet)	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)	Abnahme erfolgreich
44	4	3,54	4,87	4,9	NEIN
79	4	3,61	4,94	4,9	NEIN
32	4	3,62	4,95	5,0	JA
5	5	4,90	6,23	6,2	JA

D.2. Überprüfung der Schallreflexion

In diesem Abschnitt soll der Messablauf anhand eines Beispiels mit Anwendung des Regressionsmodells durchgeführt werden. Das fiktive Baulos besteht aus 120 Lärmschutzwandfeldern zu jeweils 4 m Breite und 3 m Höhe. Die Bemessungsfestlegung im Ausschreibungstext fordert in Bezug auf die Reflexionseigenschaften der Lärmschutzwand einen DL_{RI} von mindestens 5 dB. Die im Vorfeld mittels vorgelegter Prüfberichte durch den Hersteller bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten sind in Tabelle 9 angegeben.

Im Zuge der Abnahmeprüfung wurde in Übereinstimmung mit Abschnitt 5.4 die Detailmessung an zwei weiteren Lärmschutzwandfeldern vereinbart. Dazu wurden die Felder mit der Feld-Nr. 3 und 64 ausgewählt.

Tabelle 9: Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand

Terz [Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
RI	0,60	0,60	0,55	0,50	0,35	0,25	0,20	0,15	0,10

Terz [Hz]	1600	2000	2500	3150	4000	5000	DL_{RI}
RI	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	5 dB

Schritt 1: Begehung

In dem vorliegenden Beispiel sind alle Lärmschutzwandfelder messbar und fortlaufend zur eindeutigen Identifikation nummeriert (1-120).

Schritt 2: Schnellmessverfahren

Das Baulos besteht aus 120 Lärmschutzwänden mit einer jeweiligen Breite von 4 m und somit aus einer Gesamtlänge von 480 m. Damit sollen mindestens 360 m der Lärmschutzwand und somit 90 Felder einer Schnellverfahrensmessung unterzogen werden. Aufgrund von erschwelter Zugänglichkeit werden

die Felder mit den Nummern 1 - 100 durch Schnellverfahrensmessungen erfasst, dies entspricht 83 % der Gesamt-Bauloslänge.

Basierend auf der Höhe der Lärmschutzwand von 3 m ergibt sich eine untere Frequenzgrenze für die Schallreflexionsmessung von 250 Hz. Dies liegt unter der in Abschnitt 5.2 angegebenen unteren Frequenzgrenze von 630 Hz. Damit kann für die Auswertung der Schnellverfahrensmessungen ein Frequenzbereich von 630 Hz bis 2000 Hz angewendet werden.

Nun werden die 100 Lärmschutzwandfelder mit Hilfe des Schnellverfahrens akustisch vermessen. Die daraus hervorgehenden $DL_{RI,schnell}^n$ sind in Abbildung 7 dargestellt.

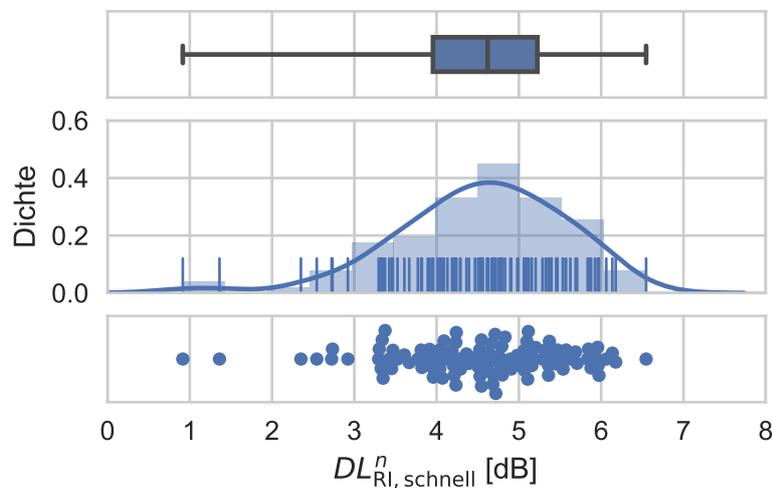


Abbildung 7: fiktive Beispieldaten mit Kerndichteschätzer und Boxplot der $DL_{RI,schnell}^n$ des Schnellverfahrens

Schritt 3: Bestimmung der Quantile

Als nächstes werden aus den $DL_{RI,schnell}^n$ die Quantile mit den p-Werten $p = \{0,10; 0,30; 0,50; 0,70; 0,90\}$ bestimmt. Die zugehörigen Lärmschutzwand-Felder sind für das vorliegende Beispiel in Tabelle 10 angegeben.

Tabelle 10: Quantile und Lärmschutzwandfeld-Nummern der Beispielbewertung

p-Wert	$DL_{RI,schnell}^{n_p}$ [dB]	Feld-Nr.
0,10	3,34	20
0,30	4,09	58
0,50	4,63	31
0,70	5,10	98
0,90	5,84	1

Schritt 4: Messungen nach ÖNORM EN 1793-5

Anschließend an die Auswahl der für das Baulos repräsentativen Lärmschutzwandfelder werden an diesen Feldern mittels Detailmessverfahren nach ÖNORM EN 1793-5 die tatsächlichen DL_{RI}^{np} bestimmt. Zusätzlich werden nach den getroffenen Vereinbarungen die Felder mit den Nummern 3 und 64 nach ÖNORM EN 1793-5 vermessen.

Aufgrund der Lärmschutzwandhöhe von 3 m können in diesem Beispiel die Ergebnisse der Detailmessung erst ab dem Terzband mit der Mittenfrequenz von 315 Hz verwendet werden. Daher werden für die tieferfrequenten Terzbandergebnisse der RI die Werte aus den produktspezifischen Leistungsdaten aus Tabelle 9 eingesetzt (siehe Tabelle 11). Die sich daraus ergebenden Ergebnisse werden in Tabelle 12 gezeigt.

Tabelle 11: Anpassung der gemessenen RI -Werte an den Frequenzbereich von 200 Hz bis 5000 Hz für das gemessene Feld Nr. 20

Terzband	RI spez. Leistungsdaten	RI tats. Leistungsdaten	RI Berechnung
200	0,60	-	0,60
250	0,60	-	0,60
315	0,55	0,65	0,65
400	0,50	0,60	0,60
500	0,35	0,50	0,50
630	0,25	0,35	0,35
800	0,20	0,35	0,35
1000	0,15	0,30	0,30
1250	0,10	0,30	0,30
1600	0,10	0,30	0,30
2000	0,10	0,30	0,30
2500	0,10	0,35	0,35
3150	0,10	0,35	0,35
4000	0,15	0,35	0,35
5000	0,20	0,40	0,40
DL_{RI}	5,17 dB	-	3,48 dB

Tabelle 12: Quantile, Lärmschutzwandfeld-Nummern und Detailmessergebnisse der Beispielbewertung

p-Wert	$DL_{RI, \text{schnell}}^{np}$ [dB]	Feld-Nr.	DL_{RI}^{np} [dB]
0,10	3,34	20	3,48
0,30	4,09	58	3,65
0,50	4,63	31	3,82
0,70	5,10	98	4,56
0,90	5,84	1	5,27
		Feld-Nr.	DL_{RI}^{ng} [dB]
-	-	3	1,12
-	-	64	6,01

Schritt 5: Aufbau und Auswertung des linearen Regressionsmodells

Anhand der in Tabelle 12 angegebenen Werte für die $DL_{RI, \text{schnell}}^{np}$ und DL_{RI}^{np} wird nun ein lineares Regressionsmodell erstellt. Damit werden alle Werte $DL_{RI, \text{schnell}}^{np}$ nach Gleichung 4 in die prognostizierten $DL_{RI, \text{prog}}^n$ umgerechnet. Aus diesen kann wiederum eine für das Baulos repräsentative Verteilungsfunktion bzw. Kerndichteschätzung berechnet werden. Die Umrechnung ist in Abbildung 8 graphisch dargestellt.

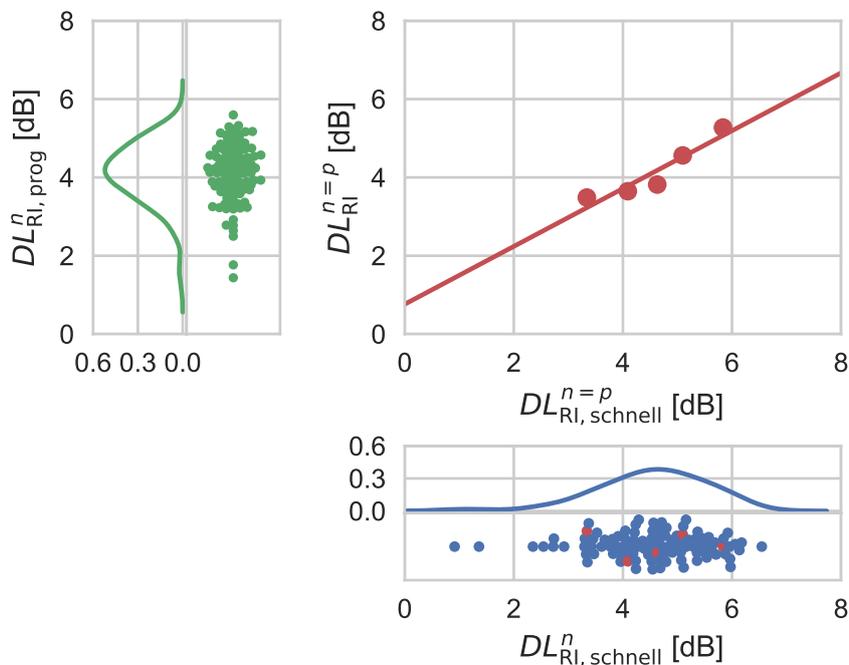


Abbildung 8: Beispiel der Umrechnung von Schnellverfahrenswerten mittels Regressionsmodell

Schritt 6: Gesamtbewertung des Lärmschutzwand-Bauloses

Aus den erhobenen Messergebnissen zur Schallreflexion kann folgende Bewertung des Bauloses angegeben werden:

- Anhand der erhobenen tatsächlichen Leistungsdaten der mittels Detailmessverfahren gemessenen Lärmschutzwandfelder nach ÖNORM EN 1793-5 erfüllen zwei von sieben vermessenen Feldern die geforderten Bemessungsfestlegungen nicht (Feld-Nr. 3 und 20), siehe Tabelle 13. Die erweiterte Messunsicherheit U beträgt nach Tabelle 1: 1,33 dB.
- Anhand der erhobenen $DL_{RI,prog}^n$ erfüllen 16 von 100 prognostizierten Felder die geforderten Bemessungsfestlegungen nicht (siehe Tabelle 14). Hierbei wurde die hohe Vergleichsstandardabweichung zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheit verwendet ($U = 1,59$ dB). Es ist zu erwarten, dass diese Felder bei einer Detailmessung nach 1793-5 die Bemessungsfestlegung nicht erfüllen werden.

Tabelle 13: Gesamtbewertung der Detailmessergebnisse des Beispiels mit einer Bemessungsfestlegung von 5 dB

Feld-Nr.	DL_{RI} [dB] (Prüfbericht)*	DL_{RI} [dB] (ungerundet)	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)	Abnahme erfolgreich
20	4	3,48	4,81	4,8	NEIN
58	4	3,65	4,98	5,0	JA
31	4	3,82	5,15	5,2	JA
98	5	4,56	5,89	5,9	JA
1	5	5,27	6,60	6,6	JA
3	1	1,12	2,45	2,5	NEIN
64	6	6,01	7,34	7,3	JA

* Die auf eine ganze Zahl gerundete Einzahlangabe DL_{RI} aus dem Prüfbericht ist rein informativ und dient zur Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen gerundeter Einzahlangabe laut Norm und der zum Vergleich mit der Bemessungsfestlegung herangezogenen oberen Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K .

Tabelle 14: Feldnummern, prognostizierte $DL_{RI,prog}^n$ Werte und obere Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K der Wände, die die Bemessungsfestlegung voraussichtlich nicht erfüllen

Feld-Nr.	$DL_{RI,prog}^n$ [dB]	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)
3	1,44	3,03	3,0
8	2,78	4,37	4,4
10	1,77	3,36	3,4
14	2,50	4,09	4,1
16	3,22	4,81	4,8
20	3,23	4,82	4,8
22	3,31	4,90	4,9
23	3,19	4,78	4,8
24	3,20	4,79	4,8
25	3,23	4,82	4,8
26	2,64	4,23	4,2
30	3,29	4,88	4,9
35	3,25	4,84	4,8
50	2,77	4,36	4,4
90	3,32	4,91	4,9
96	2,92	4,51	4,5

D.3. Überprüfung der Luftschalldämmung

In diesem Abschnitt soll der Messablauf anhand eines Beispiels durchgeführt werden. Das fiktive Baulos besteht aus 200 Lärmschutzwandfeldern zu jeweils 4 m Breite und 3 m Höhe. Die Bemessungsfestlegung im Ausschreibungstext fordert in Bezug auf die Schalldämmung der Lärmschutzwand einen DL_{SI} von mindestens 25 dB. Die im Vorfeld mittels vorgelegter Prüfberichte durch den Hersteller bereitgestellten produktspezifischen Leistungsdaten sind in Tabelle 15 angegeben.

Tabelle 15: Produktspezifische Leistungsdaten der fiktiven Lärmschutzwand

Terz [Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
SI [dB]	21,9	22,8	23,7	24,6	25,5	26,4	27,3	28,2	29,1

Terz [Hz]	1600	2000	2500	3150	4000	5000	DL_{SI}
SI [dB]	30,0	31,1	32,2	33,3	34,5	35,5	27 dB

Schritt 1: Visuelle Inspektion

Im ersten Schritt wird das Baulos durch die Prüforganisation abgegangen. Dabei werden Lärmschutzwandfelder visuell überprüft und dokumentiert. Die Lärmschutzwandfelder werden nummeriert und die Einbausituation den entsprechenden Kategorien 1 bis 3 zugeordnet. Felder der Kategorie 3 werden als mangelhaft eingestuft.

Tabelle 16: Beispielergebnisse der visuellen Inspektion

Feld 1	Feld 2	Feld 3	...	Feld 200
Kategorie 1	Kategorie 1	Kategorie 2	...	Kategorie 1

Für das vorliegende Beispiel wurden die Lärmschutzwand-Felder fortlaufend nummeriert. Die Felder 18 und 43 in unserem Beispiel entsprechen Kategorie 3 und werden als mangelhaft eingestuft. Feld 18 zeigt offensichtlich einen Spalt zwischen zwei Elementen mit Durchsicht, Feld 43 schließt im oberen Bereich nicht bündig mit dem angrenzenden Pfosten ab, da es schräg eingebaut wurde. 162 Felder werden der Kategorie 1 zugeordnet, da hier der Einbau augenscheinlich in Ordnung ist. 36 Felder werden der Kategorie 2 zugeordnet. Für diese bestehen meist breite Fugen ohne unmittelbar wahrnehmbare Durchsichtigkeit.

Schritt 2: Messungen gemäß ÖNORM EN 1793-6

Die Wand umfasst 200 Elemente zu jeweils 4 m Breite, das heißt, das gesamte Baulos umfasst 800 m. Aufgrund dieser Länge ergeben sich 3 Messungen nach ÖNORM EN 1793-6 über das Baulos verteilt. Felder der Kategorie 3 scheiden für die Messungen aus, da diese bereits in Schritt 1 als mangelhaft

eingestuft wurden. Für Kategorie 1 wird eine Stelle ausgesucht. Die beiden weiteren Felder, die ausgesucht werden, sind der Kategorie 2 zugeordnet. Die Messergebnisse für die ausgesuchten Felder 12 (Kategorie 2), 89 (Kategorie 1), und 173 (Kategorie 2) sind in nachfolgenden Tabellen 17 und 18 für Elemente und Pfosten getrennt angegeben. Die Messung der Pfosten erfolgte, straßenseitig betrachtet, stets rechts vom jeweiligen Element. Breitere Fugen ohne Durchsicht zeigten sich bei Feld 173 beim Element und bei Feld 176 beim Pfosten. Daher wurden in diesem Beispielfall Messungen von Element und Pfosten an getrennten Feldern durchgeführt.

Die breitere Fuge am Element bei Feld 173 lag am Übergang zwischen den Lärmschutzwandelementen in 2 m Höhe. Daher wurde die Bezugsposition zur Schalldämmungsmessung in diese Höhe verlegt und die untere Grenzfrequenz der Messung angepasst.

Tabelle 17: Beispielergebnisse von Messungen an Elementen

Feld	Feld 12	Feld 89	Feld 173
Kategorie	Kategorie 2	Kategorie 1	Kategorie 2
$DL_{SI,E}$	27,32 dB	29,03 dB	28,14 dB

Tabelle 18: Beispielergebnisse von Messungen an Pfosten

Feld	Feld 12	Feld 89	Feld 176
Kategorie	Kategorie 2	Kategorie 1	Kategorie 2
$DL_{SI,P}$	22,86 dB	26,92 dB	28,24 dB

Die Messergebnisse werden nun mit der erweiterten Messunsicherheit U beaufschlagt. Für die Schalldämmung liegt die erweiterte Messunsicherheit bei 2,08 dB für das Element und bei 1,41 dB für den Pfosten (Tabelle 2). Die Messunsicherheit wird zu den Messwerten addiert (95%-Vertrauensniveau). Dadurch wird verhindert, dass Felder, für die die Messergebnisse im Bereich der Messunsicherheit unter dem geforderten Mindestwert liegen, als mangelhaft bewertet werden. Der Messunsicherheit wird somit in der Beurteilung von Lärmschutzwand-Feldern Rechnung getragen. Die ungerundeten Messwerte werden mit der erweiterten Messunsicherheit U beaufschlagt und die resultierenden oberen Grenzen des 95%-Vertrauensniveaus K kaufmännisch auf eine Nachkommastelle gerundet. Diese müssen die Bemessungsfestlegung (Abnahme-Kriterium (10)) erfüllen.

In unserem Beispiel bedeutet dies:

Tabelle 19: Beispielergebnisse an Elementen mit einer Bemessungsfestlegung von 25 dB

Feld-Nr.	Kategorie	$DL_{SI,E}$ [dB] (Prüfbericht)*	$DL_{SI,E}$ [dB] (ungerundet)	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)	Abnahme erfolgreich
12	2	27	27,32	29,40	29,4	JA
89	1	29	29,03	31,11	31,1	JA
173	2	28	28,14	30,22	30,2	JA

* Die auf eine ganze Zahl gerundete Einzahlangabe $DL_{SI,E}$ aus dem Prüfbericht ist rein informativ und dient zur Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen gerundeter Einzahlangabe laut Norm und der zum Vergleich mit der Bemessungsfestlegung herangezogenen oberen Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K .

Tabelle 20: Beispielergebnisse an Pfosten mit einer Bemessungsfestlegung von 25 dB

Feld-Nr.	Kategorie	$DL_{SI,P}$ [dB] (Prüfbericht)*	$DL_{SI,P}$ [dB] (ungerundet)	K [dB] (ungerundet)	K [dB] (gerundet)	Abnahme erfolgreich
12	2	23	22,86	24,27	24,3	NEIN
89	1	27	26,92	28,33	28,3	JA
176	2	28	28,24	29,65	29,7	JA

* Die auf eine ganze Zahl gerundete Einzahlangabe $DL_{SI,P}$ aus dem Prüfbericht ist rein informativ und dient zur Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen gerundeter Einzahlangabe laut Norm und der zum Vergleich mit der Bemessungsfestlegung herangezogenen oberen Grenze des 95%-Vertrauensniveaus K .

Für Feld 12 der Kategorie 2 wird beim Pfosten der geforderte Dämmwert nach ÖNORM EN 1793-6 nicht erreicht. Die weitere Vorgehensweise hinsichtlich der Nichterfüllung der Werte ist mit dem Auftraggeber abzuklären.

Literatur

- [1] QUIESST. (2012) *Final procedural report on WP4 activities: Including public database of European NRD, data analysis and definition of NRD families*. 2012, http://www.quiesst.eu/images/QUIESST_D4.3_MS4.2.pdf, abgerufen im August 2017.
- [2] A. Fuchs, R. Wehr, M. Conter. *Proposal for an In Situ Approval Testing and Quality Assurance Procedure for Assessing Sound Reflection Properties of Noise Barriers*. 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24). London, 2017.
- [3] M. Pfister, M. Gröschl, P. Reiter, R. Wehr, M. Conter. *Impact of Gaps on in situ Airborne Sound Insulation of Noise Barriers*. 6th Congress of Alps-Adria Acoustics Association. Graz, 2014.
- [4] ZTV - Lsw 06. *Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswegen. Köln, 2006.
- [5] ISO/IEC Guide 98-3:2008 *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Genf, 2008.
- [6] M. Garai, E. Schoen, G. Behler, B. Bragado, M. Chudalla, M. Conter, J. Defrance, P. Demizieux, C. Glorieux, P. Guidorzi, *Repeatability and reproducibility of In Situ Measurements of Sound Reflection and Airborne Sound Insulation Index of Noise Barriers*, *Acta Acustica United with Acustica*; 100(6): 1186-1201, 2014.

Kontakt

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Center for Mobility Systems
Transportation Infrastructure Technologies
Giefinggasse 2, 1210 Wien
www.ait.ac.at
Fax +43 (0) 50550 - 6439

DI Reinhard Wehr

+43 (0) 50550 - 6293
reinhard.wehr@ait.ac.at

DI Andreas Fuchs, BSc.

+43 (0) 50550 - 6051
andreas.fuchs@ait.ac.at

Dott.-Ing. Marco Conter

+43 (0) 50550 - 6331
marco.conter@ait.ac.at

TAS-SV GmbH

Emil-Rathenau-Straße, Linz
www.tas.at
Fax +43 (0) 732 383880 - 8

DI Heinz Hoislbauer

+43 (0) 732 383880 - 43
h.hoislbauer@tas.at

Ing. Gerhard Strohmayer

+43 (0) 732 383880
g.strohmayer@tas.at