

Forschungsprojekt REFLEX – Vergleich der Schallabsorptionsmessung von Lärmschutzwänden nach Hallraum- und in-situ-Verfahren

Marco Conter¹, Reinhard Wehr¹

¹ AIT Austrian Institute of Technology GmbH, 1210 Wien, E-Mail: marco.conter@ait.ac.at

Einleitung

Das Forschungsprojekt REFLEX wurde vom Austrian Institute of Technology (AIT) und der Firma TAS im Auftrag von Infrastrukturbetreibern (ASFINAG und ÖBB-Infrastruktur AG¹), zwei Bundesministerien (BMVIT und BMFLUW), sowie von fünf Bundesländern (Tirol, Vorarlberg, Steiermark, Oberösterreich und Kärnten) und acht unterschiedlichen Lärmschutzwandherstellern 2013 und 2014 durchgeführt.

Das Hauptziel des Projektes war die Untersuchung der Reflexionseigenschaften von Lärmschutzwänden im Nah- und Fernfeld. In diesem Vorhaben wurde der Zusammenhang von Labor-, Nah- und Fernfeldmessmethoden sowie Simulationen zur Beschreibung des Absorptionsverhaltens von Lärmschutzwänden untersucht, wobei die Untersuchung der ersten Reflexion sowie die Mehrfachreflexion nicht Teil des Projektes waren.

Die Ergebnisse der Labormethode nach EN 1793-1 wurden von den Herstellern geliefert, während zur Messung der in-situ Eigenschaften ein eigener Prüfstand errichtet wurde. Die Messungen wurden nach CEN/TS 1793-5 sowie nach der im EU Projekt QUIESST entwickelten Methode durchgeführt, die voraussichtlich in die zukünftige EN 1793-5 einfließen wird. Alle Einzahlangaben wurden nicht nur mit dem Straßenverkehrsspektrum nach EN 1793-3 sondern auch mit dem standardisierten Schienenverkehrsspektrum nach FprEN 16272-3-2 berechnet. Dieses Paper wird insbesondere das Thema der Korrelation zwischen Hallraummethode den beiden Nahfeld-in-situ-Methoden behandeln. Andere Aspekte dieses Projektes, wie die Vergleiche zwischen Messungen und Simulationen und zwischen Nahfeld- und Fernfeldmessungen, werden demnächst in weiteren Fachkonferenzen präsentiert.

Methodik

Zur Messung der akustischen Eigenschaften in situ wurde ein eigener Lärmschutzwand-Prüfstand in Bad Wimsbach-Neydharting in Oberösterreich errichtet, wo alle Lärmschutzwände getestet wurden. Dort wurden die Messungen nach CEN/TS 1793-5 (auch Adrienne-Methode genannt) sowie die Messungen der Fernfeldwirkung der Prüflinge durchgeführt (in einer Entfernung von bis zu 25 m). Die Ergebnisse der Fernfeldmessungen werden in einem anderen Beitrag gesondert präsentiert. Zusätzlich zum ursprünglichen Plan wurden nicht nur die in-situ Messungen im Nahfeld nach CEN/TS 1793-5 sondern auch nach der QUIESST-Methode durchgeführt, die voraussichtlich die zukünftige Messmethode der EN 1793-5 beeinflussen wird.

Ergebnisse der in-situ Methoden im Nahfeld

Tabelle 1 fasst die auf eine Nachkommastelle gerundeten Ergebnisse der Einzahlangaben aller verwendeten in-situ Messmethoden im Nahfeld für die jeweiligen Prüflinge zusammen. Es wurde sowohl für die Adrienne Methode nach CEN/TS 1793-5 als auch für die QUIESST Methode nicht nur die Bewertung mit dem Straßenverkehrslärmspektrum sondern auch die mit dem Schienenlärmspektrum nach FprEN 16272-3-2 angewendet.

Generell sind die Ergebnisse mit dem Schienenspektrum um 0,2 bis 1,4 dB höher als mit der Bewertung mit dem Straßenspektrum, wobei in einzelnen Fällen die Bewertung mit dem Schienenspektrum etwas niedrigere Werte aufweisen kann. Die Einzahlangaben nach der QUIESST-Methode weisen generell etwas niedrigere Werte als die nach CEN/TS 1793-5 auf, wobei das auf die Berücksichtigung der Richtcharakteristik der Schallquelle zurückzuführen ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Einzahlangaben aller verwendeten in-situ Messmethoden im Nahfeld für die jeweiligen Prüflinge (inklusive Referenzwand)

Prüfling	Einzahlangabe DLRI [dB] nach			
	CEN/TS 1793-5 (Straße)	CEN/TS 1793-5 (Schiene)	QUIESST (Straße)	QUIESST (Schiene)
A	5,7	6,3	5,2	5,6
B	5,2	6,1	4,8	5,4
C	6,4	7,6	5,9	6,9
D	5,9	5,7	5,5	4,9
E	5,3	5,5	4,6	4,4
F	5,3	6,0	4,8	5,3
G	6,8	8,2	5,9	6,5
H	2,7	3,1	2,2	2,5
Ref.	0,7	0,9	0,2	0,2

Korrelationsanalyse

Vergleich Literaturdaten aus der QUIESST-Datenbank

Die QUIESST-Datenbank wurde im Rahmen des Arbeitspakets WP4 entwickelt und ist im Abschlussbericht D 4.3 des EU-Projektes QUIESST beschrieben. Diese beinhaltet Frequenzverläufe und Einzahlangaben aus Messungen von verschiedenen Lärmschutzwänden aus ganz Europa nach EN 1793-1 und CEN/TS 1793-5 (Adrienne Methode) und bildet daher eine gute Datenbasis für einen Vergleich mit den in REFLEX gesammelten in-situ Daten. Abbildung 1 zeigt den Vergleich zwischen Einzahlangaben nach EN 1793-1 und CEN/TS 1793-5 sowie zwischen Daten

aus der QUIESST Datenbank (in grau dargestellt) und Daten aus den Messungen nach der in-situ-Methode (Adrienne-Verfahren) aus dem REFLEX Projekt (in rot).

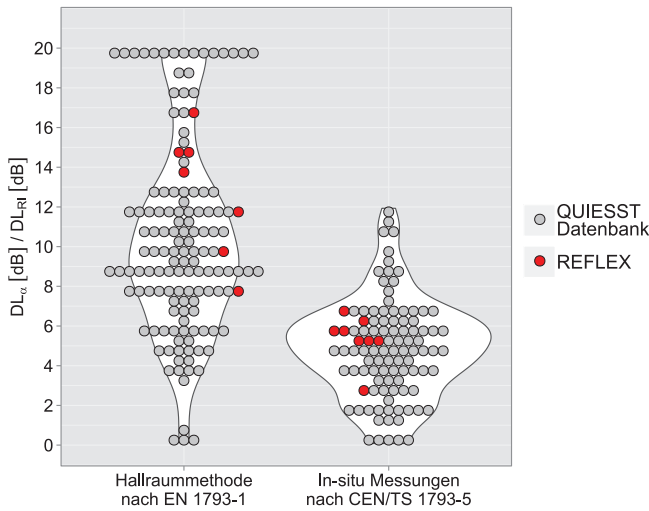


Abbildung 1: Vergleich zwischen Einzahlangaben nach EN 1793-1 und CEN/TS 1793-5 und zwischen Daten aus der QUIESST Datenbank (in grau) und Daten aus den Messungen aus dem REFLEX Projekt (in rot)

Es ist klar zu sehen, dass die Ergebnisse der Hallraummethode sich zwischen 0 und 20 dB bewegen, während die Ergebnisse der in-situ Methode zwischen 0 und 12 dB liegen. Die in diesem Projekt getesteten Prüflinge weisen Absorptionswerte im oberen Drittel der Daten auf. Das gilt speziell für die Hallraummethode, wobei auch für die in-situ Methode fast alle Wände (bis auf die Mischwand) in der oberen Hälfte der Ergebnisse zu finden sind. Die Grafik zeigt, dass die Ergebnisse der Hallraummethode generell höher sind als die der in-situ Methode.

Vergleich zwischen in-situ Methode nach CEN/TS 1793-5 und Hallraummethode nach EN 1793-1

Die Hallraum- und die Adrienne-Methode unterscheiden sich sowohl in ihrer grundlegenden Messmethodik (Schalldruckmessungen im Vergleich mit der Messung von Impulsantworten bzw. Übertragungsfunktionen) als auch in ihrer physikalischen Grundannahme (diffuses Schallfeld im Hallraum bzw. gerichtetes Schallfeld in-situ). Es ist daher davon auszugehen, dass die Methoden verschiedene Ergebnisse liefern, auch wenn die grundlegend zu messende Größe der Schallabsorption dieselbe ist.

In Abbildung 2 ist die Regressionsanalyse der Einzahlergebnisse der beiden Messmethoden dargestellt. Um den Vergleich zwischen den beiden Messmethoden zu erleichtern, wurden die Einzahlangaben zur Schallabsorption DL_{α} in dieser Auswertung insofern abgewandelt, als α_i -Werte in den einzelnen Frequenzbändern von über 1 zugelassen wurden; dies geschieht in Übereinstimmung mit der Auswertemethodik der Adrienne-Messung. Daher wird für eine Lärmschutzwand ein DL_{α} von über 20 dB ermöglicht. Ebenfalls werden bei der Berechnung der Einzahlangabe ausschließlich Frequenzbänder ab 200 Hz berücksichtigt.

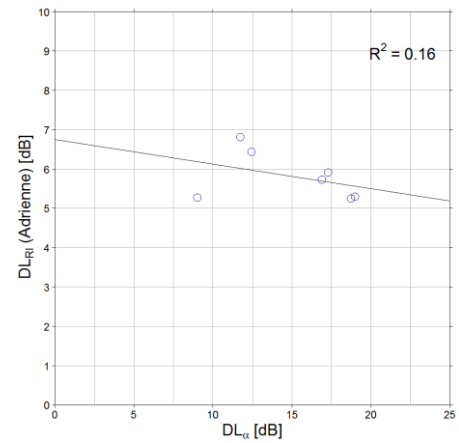


Abbildung 2: Regressionsanalyse der Adrienne- und QUIESST-Messverfahren mit Anwendung des Straßenverkehrslärmspektrums nach EN 1793-3

Ein Vergleich zwischen den Reflexionsindizes RI nach der Adrienne-Methode und den im Hallraum ermittelten Schallabsorptionsgraden bzw. deren Komplement zu eins, d.h. den Schallreflexionsgraden zeigt einen vergleichbaren spektralen Verlauf (Abbildung 3), allerdings sind die Hallraumwerte zu geringeren Reflexionsgraden hin verschoben und über teilweise weite Bereiche unter null, wobei sich die geringeren Reflexionswerte durch das diffuse Schallfeld erklären lassen. Die Hallraumwerte zeigen hier teilweise Reflexionsgrade von unter 0, was darauf hinweist, dass diese Messmethode die Absorptionseigenschaften der Lärmschutzwände deutlich überschätzt.

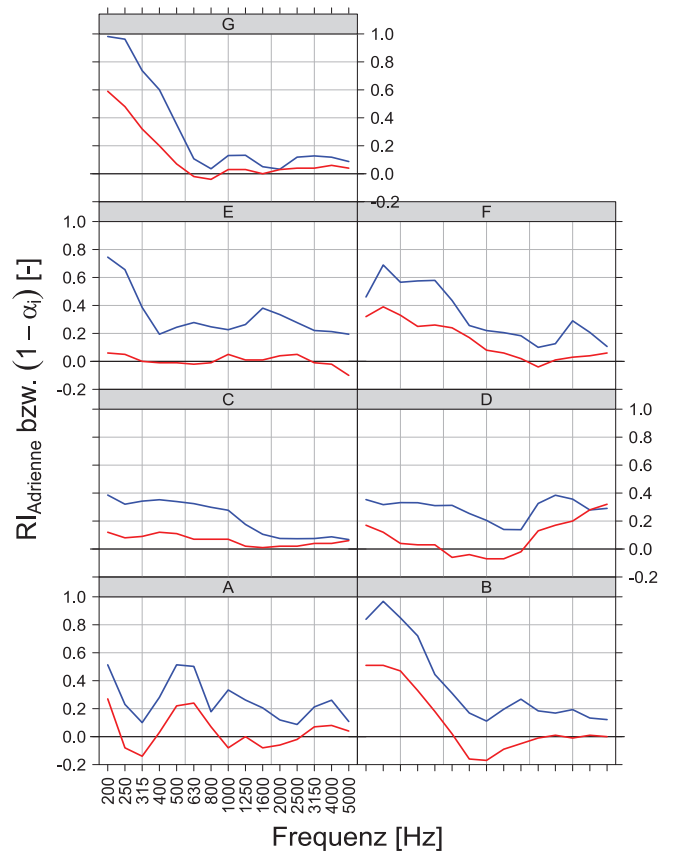


Abbildung 3: Spektrale Verläufe der Adrienne- (blau) und Hallraummessungen (rot) für die getesteten Prüflinge

Vergleich zwischen CEN/TS 1793-5 und in-situ Methode nach QUIESST

Nachdem die Adrienne-Methode im Zuge des im siebenten Forschungsrahmenprogramm durchgeführten Projektes „QUIESST - QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport“ überarbeitet wurde, um Messunsicherheiten zu verringern, wurden die in-Situ-Messungen sowohl nach der Adrienne- als auch nach der QUIESST-Methode durchgeführt. Während sich die beiden Methoden in ihrer grundlegenden Herangehensweise der Messung von Impulsantworten vor einer Lärmschutzeinrichtung nicht unterscheiden, weist die QUIESST-Methode neben einer veränderten Messpunktanordnung auch Korrekturfaktoren für den Lautsprechereinfluss, den Messverstärker und eine geänderte Einbeziehung der Ausbreitungskorrektur der Schallwelle auf. Eine Regressionsanalyse der beiden Methoden ist in Abbildung 4 dargestellt, sie weist für die hier untersuchten Lärmschutzwände ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß auf.

Tendenziell sind die durch die QUIESST-Methode erhobenen Einzahlangaben zur Schallabsorption etwas niedriger. Dies kann durch den in der QUIESST-Methode eingeführten Korrekturfaktor für die Richtcharakteristik des Lautsprechers begründet werden.

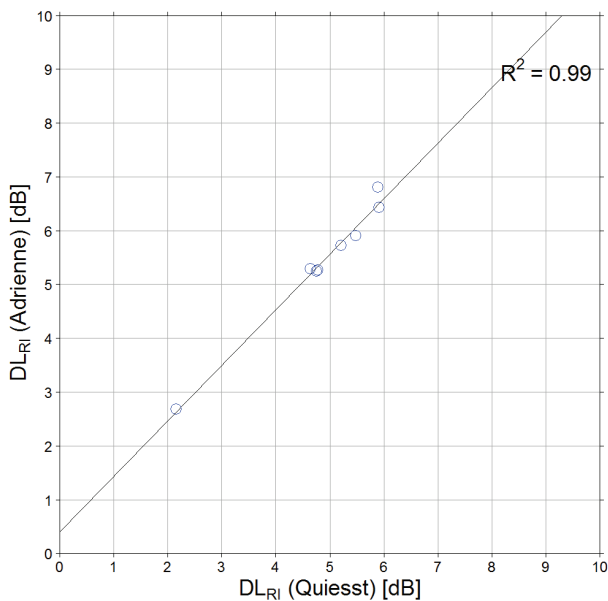


Abbildung 4: Regressionsanalyse der Adrienne- und QUIESST-Messverfahren mit Anwendung des Straßenverkehrslärmspektrums nach EN 1793-3

In Abbildung 5 sind die spektralen Verläufe zur Schallreflexion nach der Adrienne- und QUIESST-Methode dargestellt. Wie nach dem hohen Grad an Korrelation zwischen den Einzahlangaben zu erwarten war, zeigen auch die RI's vergleichbare Verläufe. Lediglich hochfrequent bildet sich ein Trend in Richtung höherer RI's durch die QUIESST-Messungen. Dieser ist insofern erklärbar, als in der QUIESST-Methode ein Korrekturfaktor für die Richtcharakteristik der Schallquelle eingeführt wurde. Auch hier können bei Wänden wie zum Beispiel bei der Referenzwand aufgrund von möglichen Interferenzeffekten RI-Werte von größer 1 auftreten.

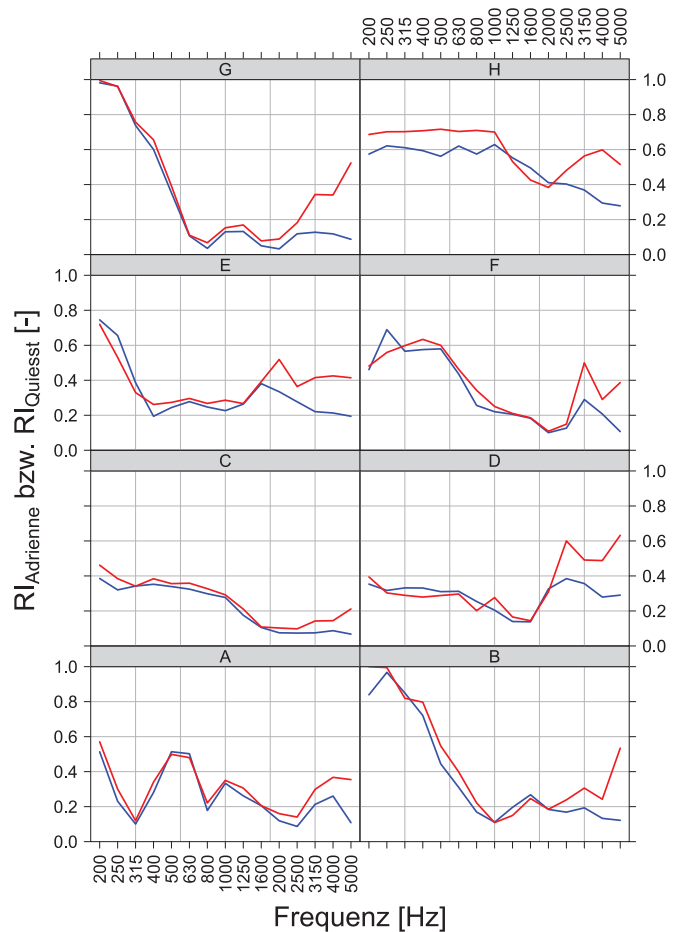


Abbildung 5: Spektrale Verläufe der Adrienne- (blau) und QUIESST-Messungen (rot) für die getesteten Prüflinge

Zusammenfassung der Ergebnisse

Anwendung des Straßenverkehrslärmspektrums

Alle Prüflinge, die als „hochabsorbierend“ nach der ZTV-LSW06 (bzw. Klasse A3 oder A4 nach EN 1793-1) definiert wurden, liegen bei der Hallraummethode in einem Bereich zwischen 8 und 17 dB, wobei anzumerken ist, dass bei einzelnen Frequenzbändern eine Überschreitung der Absorption von > 100% auftreten kann. Wenn man nur die Frequenzen ab 200 Hz betrachtet, wie für den Vergleich mit der in-situ Methode notwendig, erhöhen sich die Werte um ca. 1 bis 3,5 dB, was mit dem besonderen Verlauf des Straßenverkehrslärmspektrums zu begründen ist.

Im Vergleich dazu liegen die Werte der in-situ Methode nach CEN/TS 1793-5 in einem Bereich zwischen 5,2 und 6,8 dB, wobei die Mischwand mit 2,7 dB und die Referenzwand mit 0,7 dB aus einem direkten Vergleich mit der Hallraummethode ausgeschlossen werden sollen. Bei der in-situ-Methode nach QUIESST sinken die Werte um ca. 0,4 bis 1 dB und liegen dann im Bereich zwischen 4,6 und 5,9 dB, wobei die Mischwand bei 2,2 und die Referenzwand bei 0,2 dB liegen. Besonders die Referenzwand, die mit einem Wert von 0,2 dB beinahe die volle Reflexion abbildet, zeigt, dass die QUIESST-Methode betreffend Einzahlangaben eine Verbesserung der in-Situ-Methode bedeutet, wobei anzumerken ist, dass bei einzelnen Frequenzbändern eine Überschreitung des Reflexionsindex RI (d.h. RI > 1)

auftreten kann (in dieser Untersuchung bei der Referenzwand).

Anwendung des Schienenverkehrslärmspektrums

Alle Prüflinge liegen bei der Hallraummethode in einem Bereich zwischen 10 und 20 dB, wobei anzumerken ist, dass bei einzelnen Frequenzbändern eine Überschreitung der Absorption von $> 100\%$ auftreten kann. Wenn man nur die Frequenzen ab 200 Hz betrachtet, wie für den Vergleich mit der in-situ Methode notwendig, erhöhen sich die Werte um ca. 1 dB, was mit dem besonderen Verlauf des Schienenverkehrslärmspektrums zu begründen ist.

Im Vergleich dazu liegen die Werte bei der in-situ Methode nach CEN/TS 1793-5 in einem Bereich zwischen 5,5 und 8,2 dB, wobei die Mischwand mit 3,1 dB und die Referenzwand mit 0,9 dB aus einem direkten Vergleich mit der Hallraummethode ausgeschlossen werden sollten.

Bei der in-situ-Methode nach QUIESST sinken die Werte um ca. 0,6 bis 1,7 dB und liegen dann im Bereich zwischen 4,4 und 6,9 dB wobei die Mischwand bei 2,5 und die Referenzwand bei 0,2 liegen. Besonders die Referenzwand, die mit einem Wert von 0,2 dB beinahe die volle Reflexion abbildet, zeigt, dass die QUIESST-Methode betreffend Einzahlwerten eine Verbesserung der in-Situ-Methode bedeutet, wobei anzumerken ist, dass bei einzelnen Frequenzbändern eine Überschreitung des Reflexionsindex RI (d.h. $RI > 1$) auftreten kann (in dieser Untersuchung bei der Referenzwand).

Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse zwischen den Hallraumwerten gemäß EN 1793-1 und den in-situ Werten gemäß CEN/TS 1793-5 zeigt keine physikalisch sinnvolle Korrelation (Bestimmtheitsmaß von 0,13 für die Straße und 0,14 für die Schiene). Im Hinblick auf die baldige Veröffentlichung der EN 1793-5, die die QUIESST-Methode beinhalten wird, wurde der Zusammenhang zwischen diesen beiden in-situ Methoden (Adrienne und QUIESST) ebenfalls untersucht. Diese weist einen hohen Grad an Korrelation auf (Bestimmtheitsmaß von 0,99 mit der Anwendung des Straßenverkehrsspektrums), wobei die QUIESST-Methode generell eine geringere Messunsicherheit aufweist, da nicht nur die geometrische Korrektur für die Schallausbreitung sondern auch eine Korrektur für die Richtcharakteristik der Schallquelle berücksichtigt wird.

Empfehlungen

Die hier durchgeführten Untersuchungen zeigen deutliche zahlenwertmäßige Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Hallraummethode und den mit den in-situ-Methoden (Adrienne- und QUIESST-Methode) ermittelten Werten. Mit den im Hallraum erhobenen Daten konnte kein Zusammenhang hergestellt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass – verglichen zur Fernfeldmessung – die Einzahlwerte der QUIESST-Methode wie auch jene der Adrienne-Methode tendenziell niedriger ausfallen. Darüber hinaus ergeben beide Verfahren hinsichtlich der Schallabsorption mit dem

Schienenverkehrslärmspektrum höhere Werte als mit dem Straßenverkehrslärmspektrum. Dabei liegt die Adrienne-Methode geringfügig näher an der durch die Fernfeldmessung repräsentierten Anrainersituation als die QUIESST-Methode.

Deshalb ist nach gegenwärtigem Wissensstand ein direkter Einsatz der mit den In-situ-Methoden erhobenen Werten in Ausbreitungsrechnungen nicht möglich. Daher sollte angedacht werden, weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Verbesserung der Prognosequalität bei schalltechnischen Berechnungen unter Einbeziehung der im gegenständlichen Bericht berücksichtigten Methoden durchzuführen.

Des Weiteren könnten hier neben der Einzahlangabe die Vor- bzw. Nachteile einer Berücksichtigung der Terzbandaufgelösten Absorptions- bzw. Reflexionsgraden untersucht werden. Im Hinblick auf Abnahmeprüfungen sowie Vor-Ort-Prüfungen der Einbauqualität oder Untersuchungen des Langzeitverhaltens ist jedenfalls die in-situ-Methode vorzuziehen. Daher wäre es sinnvoll, eine Richtlinie zur Anwendung dieser Methode zu erstellen.

Literatur

- [1] CEN/TS 1793-5 “Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – In-situ values of sound reflection and airborne sound insulation”, 2003, CEN.
- [2] EN 1793-1 “Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption”, 1997, CEN.
- [3] EN 1793-3 “Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 3: Normalized traffic noise spectrum”, 1997, CEN.
- [4] FprEN 16272-3-2: Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3-2: Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahl-Angaben für gerichtete Schallfelder, 2014
- [5] ENTWURF ÖNORM EN 1793-5:2014 “Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften Teil 5: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern“
- [6] M. Conter, M. Haider: “Deliverable No. 4.1 of QUIESST: State of the art report on the relationship between laboratory and in-situ methods” 2010
- [7] M. Conter, M. Haider: “Deliverable No. 4.3 & Milestone MS 4.2: Final procedural report, including database, data analysis and definition of NRD families” 2012