



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen

In-situ measurement of the acoustical properties of noise barriers

Mesures in-situ des propriétés acoustiques des écrans anti-bruit

Empa Dübendorf, Abteilung Akustik / Lärminderung
F. Emrich
K. Heutschi

Forschungsauftrag VSS 2002/202 auf Antrag des
Verbandes Schweizerischer Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

April 2009

1285

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Frieder Emrich, Kurt Heutschi

Mitglieder

Martin Würzer

Michael Walk

Federführende Fachkommission

EK 2.09

Begleitkommission

Präsident

Markus Weber, Basler + Hofmann AG, Zürich, Präsident

Mitglieder

Maria Balmer, ASTRA, Bern

Frank Larghi, Anliker AG, Emmenbrücke

Didier Racine, Service de la protection de l'environnement du Canton de Neuchâtel, Peseux

Gregor Schgvanin, BAFU, Bern

Peter Staub, Kantonales Tiefbauamt Thurgau, Frauenfeld

Martin Stauber, Bürkel Baumann Schuler, Winterthur

sowie als externer Experte

Hans-Jörg Grolimund, Grolimund & Partner AG, Bern

Zusammenfassung

Die akustische Qualität der bei Lärmschutzwänden an Strassen verwendeten Materialien und Konstruktionen wird durch die Schalldämmung und die Absorption charakterisiert. Dazu stehen im Labor standardisierte Prüfmöglichkeiten zur Verfügung. Mit der Technischen Spezifikation CEN/TS 1793-5 (Adrienne) wurde ein Verfahren vorgeschlagen, welches die Messung dieser Eigenschaften in-situ erlaubt. Die Vorteile dieses „Feld“-Messverfahrens sind die mögliche Nachprüfbarkeit der Wirkung von Lärmschutzbauten und die Nachbildung von realitätsnaheren Schalleinfallrichtungen.

Die Messmethode basiert auf der Beschallung des zu prüfenden Objekts und Auswertung der transmittierten bzw. reflektierten Anteile. Dazu werden Impulsantworten gemessen und die gesuchten Komponenten mittels zeitlicher Gewichtung herausgefenstert. Bei der Untersuchung der Reflexions- bzw. Absorptionseigenschaften muss der Abstand zur Oberfläche genau bekannt sein um eine entsprechende Abstandsnormierung vornehmen zu können. Gegen tiefe Frequenzen hin zeigt das Verfahren eine grundlegende physikalische Beschränkung. Diese liegt in der endlichen Objektfläche und in der endlichen Länge des für die zeitliche Gewichtung verwendeten Fensters begründet.

Das Adrienne Verfahren wurde an Lärmschutzwänden unterschiedlichster Bauart an verschiedenen Standorten eingesetzt. Dabei zeigten sich erhebliche Resultatunsicherheiten, die auf die Abstandsabhängigkeit der Messergebnisse bei Profilierung der Wandoberflächen und auf die grosse Sensitivität der Ergebnisse bezüglich der Lage des ADRIENNE-Zeitfensters zurückzuführen sind. Bei tiefen Frequenzen wurden teilweise physikalisch unsinnige Resultate erhalten. Der Vergleich der in-situ gefundenen Werte mit Ergebnissen an typähnlichen Objekten im Labor zeigt wohl ähnliche Tendenzen, die grosse Resultatvariation verhindert aber eine vernünftig korrelierende Regressionsanalyse. Aus heutiger Sicht kann das Verfahren auf Grund der grossen Unsicherheiten noch nicht für den Praxiseinsatz an Lärmschutzwänden empfohlen werden. Diese Erkenntnisse decken sich mit neueren internationalen Erfahrungen, auf Grund derer ein europäisches Nachfolgeprojekt Adrienne II initiiert wurde.

Résumé

La qualité acoustique des constructions des murs anti bruit routier peut être caractérisée par l'isolation acoustique et l'absorption. Pour déterminer ces quantités il y a des procédures standardisées pour les tests en laboratoire. Cependant, avec la spécification technique CEN / TS 1793-5 (Adrienne) une méthode a été proposée qui permet l'évaluation in-situ de l'isolation acoustique et de l'absorption. L'avantage de cette procédure est la possibilité de vérifier l'efficacité effective des murs anti bruit. En plus les directions d'incidence sonore selon la situation réelle sont utilisées par rapport au champ diffus dans le laboratoire.

La méthode Adrienne utilise un haut-parleur pour la sonorisation et des microphones pour l'évaluation des composants sonores transmis et réfléchis. Dans les mesures des réponses d'impulse on choisit les sections temporelles contenant les signaux d'intérêt. Pour normaliser les atténuations du son causés par la propagation, il est essentiel de connaître exactement les distances haut-parleur/mur et mur/microphone. Pour les fréquences basses, la méthode subit des limitations principales à cause des dimensions limitées du mur et la durée maximale possible des fenêtres temporelles.

La méthode Adrienne a été utilisée avec des murs anti bruit de constructions très différentes et sur des sites différents. Les résultats ont démontré de grandes incertitudes causées par l'incertitude de la distance pour les murs à surface structuré et par la grande sensibilité en ce qui concerne la position de la fenêtre de temps Adrienne. Certains résultats à basse fréquence sont mêmes en contradiction avec la physique. Pour certains objets les résultats des tests en laboratoire ont été comparable aux résultats in-situ. Il a été constaté que les deux méthodes montrent des tendances similaires, mais aucune analyse de régression n'a été possible en raison de la grande dispersion des résultats. Du point de vue de la perspective actuelle la méthode Adrienne ne peut pas être recommandée pour un usage pratique dans le contexte des murs anti bruit. Cette conclusion coïncide avec les nouvelles expériences internationales qui mènent à une initiation d'un projet de suivi Adrienne II au niveau européen.

Summary

The acoustical quality of noise barrier materials and constructions can be characterized by transmission loss and absorption. For these quantities standardized measurement procedures in the laboratory are available. However with the Technical Specification CEN/TS 1793-5 (Adrienne) a method was proposed that allows for investigation of transmission loss and absorption in-situ. The advantages of such a field-technique are the possibility to verify the true efficiency of noise barriers and the fact that more appropriate sound incidence directions are used compared to the diffuse field in the laboratory.

The Adrienne method is based on the excitation of the object under investigation by a loudspeaker and evaluation of the transmitted and reflected sound waves by microphones. For that purpose impulse responses are measured that allow for time windowing of the components of interest. It is crucial to know the distances between loudspeaker and barrier and barrier and microphone exactly in order to apply an appropriate scaling for geometrical spreading. For low frequencies the method shows principal physical limitations due to the inherent assumption of infinitely large reflector areas and the maximum allowable length of the time window.

The method was applied to a variety of noise barriers of different constructions at different sites. The results showed considerable uncertainties that can be traced back to the problem of not well defined distance parameters in case of barriers with significant depth structures and to the large sensitivity regarding the position of the Adrienne time window. Some low frequency results were even meaningless from a physical point of view. For some items data from the laboratory could be compared with in-situ measurements. It was found that both methods show similar tendencies but no meaningful regression analysis was possible due to the large scattering of the results. From a today's perspective the Adrienne method can not be recommended for practical use in the context of noise barriers. This finding coincides with newer international experiences that lead to an initiation of a follow-up project Adrienne II on a European level.

INHALT

1	Einleitung	8
2	Projektbeschreibung	8
2.1	Problemstellung und Handlungsbedarf	8
2.2	Ziele und erwarteter Nutzen	8
2.3	Projektpartner	10
3	Bemerkungen zur Projektdurchführung	11
4	Baukonstruktionen der Lärmschutzwände, Grundannahmen.....	11
5	Durchgeführte Messungen.....	12
6	Mess- und Auswerteverfahren	13
6.1	Prinzipdarstellungen zum "ADRIENNE" - Verfahren zur Bestimmung des Schalldämmindex SI aus CEN/TS 1793-5.....	13
6.2	Prinzipdarstellungen zum "ADRIENNE" - Verfahren zur Bestimmung des Reflexionsindex RI aus CEN/TS 1793-5.....	14
7	Messergebnisse	15
7.1	Einzahlbewertungen zur Schalldämmung nach CEN/TS 1793-5 und EN1793-2	15
7.2	Einzahlbewertungen zur Absorption bzw. Reflexion nach CEN/TS 1793-5 und EN1793-1	15
7.3	Korrelation der Einzahlergebnisse nach CEN/TS 1793-5 und nach EN 1793-1 bzw. EN 1793-2	16
7.4	Diskussion der vorliegenden Messergebnisse	18
7.5	Messergebnisse aus dem Ausland.....	18
8	Einfluss der ADRIENNE-Zeitfensterung auf die Messresultate	19
8.1	Grundsatzdarstellungen	19
8.2	Zusammenfassende Beschreibung des rechnerischen Vorgehens.....	25
8.3	Hinweise zur verwendeten Mess- und Auswertesoftware.....	26
8.4	Hinweise zum verwendeten Lautsprecher	26
8.5	Einhaltung des geforderten Störgeräuschabstands (S/N ratio > 10 dB).....	27
9	Fazit und Zusammenfassung.....	28
10	Referenzen.....	29
11	Anhang A: Materialliste zur Ausrüstung für ADRIENNE in-situ Messungen an Lärmschutzwänden ..	30
12	Anhang B: Messprotokolle	31

1 Einleitung

Die Europäischen Normen EN 1793 "Lärmschutzeinrichtungen an Strassen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften" bietet in Teilen 1 und 2 europäische Standards zur messtechnischen Ermittlung der akustischen Kennwerte für die Beurteilung von Lärmschutzwänden auf der Basis bekannter Messmethoden im Labor (Hallraum, Luftschallprüfstand). [1], [2]

An der Empa wurden früher Messverfahren für Vorort- (in-situ)- Messungen an Lärmschutzeinrichtungen entwickelt [3], die jetzt durch das künftig europäisch noch zu normierende Verfahren nach CEN/TS 1793-5 (ADRIENNE Verfahren) [4] in Verbindung mit der Normenreihe VSS SN 640 571 ersetzt werden könnten.

2 Projektbeschreibung

2.1 Problemstellung und Handlungsbedarf

Eine zuverlässige in-situ Messung an Lärmschutzwänden war bisher nur mit erheblichem Aufwand möglich (siehe z. B. [3], [5], [6]). Mit der Technischen Spezifikation CEN/TS 1793-5 (siehe auch [7], [8], [9])) und deren Umsetzung im EDV- Programm [10] der Norsonic A/S wird eine weiterentwickelte Mess- und Auswertetechnik nach dem Impulsantwortverfahren, MLS-Technik, vorgestellt.

Während bisher die Bewertung von Lärmschutzwänden hinsichtlich akustischer Kennwerte in Form von Eignungsprüfungen durch Labormessungen im Hallraum bzw. im Luftschallprüfstand erfolgten, waren in-situ Abnahmeprüfungen, wie sie im Hochbau bei Zweifelsfällen über die LSV gefordert sind, für Lärmschutzwände kaum realisierbar. Damit entfiel die wirksame Nachprüfbarkeit für deren Einbauzustand.

2.2 Ziele und erwarteter Nutzen

Es wurde davon ausgegangen, dass mit der angestrebten Verfügbarkeit und Validierung des "ADRIENNE"-Verfahrens in nachträglichen Messungen am Ort bzw. in Baustellenmessungen auch bezüglich in-situ Abnahmeprüfungen an Lärmschutzwänden der Stand des Wissens umgesetzt und damit den möglichen, meist öffentlichen Auftraggebern eine wichtige Dienstleistung zum Nachweis der Leistungsfähigkeit von Lärmschirmen am ausgeführten Objekt angeboten werden kann.

Kernstück der erforderlichen Ausrüstung ist ein Impulsantwortmessgerät (hier in Form des zweikanaligen Echtzeitanalysators RTA 840 von Norsonic), ergänzt um eine Lautsprecher - Mikrofon - Kombination sowie die Regelungs- und Auswertesoftware.

Die bisher auf Hochbauten beschränkten Baumesseinrichtungen können auf die Verwendung an Lärmschutzbauten an Verkehrswegen erweitert werden. In der Zwischenzeit ist zumindest eine kommerziell erhältliche Implementierung des ADRIENNE-in-situ Verfahrens verfügbar.

Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Messverfahren (Luftschall-Doppelkammerprüfstand, Hallraumverfahren unter Diffusfeldbedingungen / „ADRIENNE“- Verfahren unter Freifeldbedingungen) für jeweils das gleiche Merkmal (Kennwert) werden in [3], [5] und anteilig in [6] erste Erfahrungen dargestellt. Die Vergleiche zeigen wie erwartet, relativ grosse Abweichungen zwischen den mit Labormessmethoden und den mit dem in-situ Messverfahren gewonnenen Kennwerten. Allerdings werden in den oben zitierten Berichten Korrelationen mit aussagekräftigen Korrelationskoeffizienten ausgewiesen, deren Allgemeingültigkeit noch mit umfangreicheren Vergleichsuntersuchungen belegt werden müsste.

Das in-situ Verfahren hat gegenüber dem Laborverfahren folgende Vorteile:

- Die Messung unter Freifeldbedingungen mit horizontaler bzw. auch vertikaler Variation der Schalleinfallrichtung entspricht eher als das diffuse Schallfeld im Hallraum der Wirkungsweise in den vorhandenen Aussenumgebungen.
- Die massgebenden akustischen Eigenschaften der Lärmschutzwände werden in der originalen Aufstellung (stehend) inklusive Bodenanschluss, Stützen, Kopfausbildung etc. gemessen. Die Wandelemente müssen nicht wie im Hallraum zur Messung auf den Boden verlegt werden.
- Abgesehen von erforderlichen Minimalabmessungen können beliebig grosse Elemente untersucht werden, auch solche, die z.B. aufgrund dreidimensional gegliederter Bauweise kaum im Labor installiert werden könnten.
- Es sind Messungen an fertig errichteten Lärmschutzwänden inklusive aller Ausführungsimperfectionen innerhalb des Messbereichs im Sinne stichprobenartiger Abnahme- bzw. Kontrollmessung zur Überprüfung der Lebensdauer möglich.

Das in-situ Verfahren birgt gegenüber dem Laborverfahren aber auch Unsicherheiten:

- Bei der in der Schweiz üblichen Bauweise besitzen die Lärmschutzwände in der Regel sehr massive Betonsockel und, denen vorgelagert, mehr oder weniger aufwändige stählerne Leiteinrichtungen, für die in Parameterstudien noch nachgewiesen werden sollte, dass sie die Messergebnisse gemäss geometrischen Annahmen zu möglichen Reflexionen nicht beeinflussen.
- Bei Oberflächenprofilierungen der Lärmschutzwände wird in [11] und [12] nachgewiesen, dass die Messergebnisse in Abhängigkeit von der Profilierungstiefe nicht objektiv sind und demzufolge die Abstände der Messanordnung vom zu prüfenden Lärmschirm (inklusive Berücksichtigung in der Mess- und Auswertesoftware) angepasst werden müssen. Grössere Abstände der Messanordnung bedingen zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen gegenüber vorbeifliessendem Verkehr und beeinflussen voraussehbar Bodeneffekte und allfällige Reflexionen aus Leiteinrichtungen.
- Ein zu geringer Störgeräuschaustand (S/N-Ratio) bei den „ADRIENNE“-Messungen in unmittelbarer Nähe starken LKW-Verkehrs kann durch Verlängerung des ADRIENNE-Zeitfensters bzw. durch Minderung des Sendepiegels günstig beeinflusst werden. Insbesondere bleibt der Einfluss einer Verlängerung des ADRIENNE-Zeitfensters auf Messunsicherheiten (Berücksichtigung ungewollter Reflexionen) hier ungeklärt.

Generell wird mit dem „ADRIENNE“ – Verfahren angestrebt, vergleichbare Kennwerte zum Laborverfahren für die Lärmschirme unter anwendungsgerechteren Bedingungen zu gewinnen. Nach beiden Verfahrensweisen ist dabei die nähere Umgebung des Lärmschirmes massgeblich.

Nicht betrachtet wird dabei, welchen Einfluss allfällige Imperfektionen auf die Schirmwirkung in realistischen Abständen vom Lärmschirm (Standard-Immissionsort "Mitte offenes Fenster" gemäss Schweizerischer Lärmschutzverordnung LSV) haben.

Trotz einiger Einschränkungen bezüglich der Mindestabmessungen (Höhe > 3m) der zu prüfenden Abschnitte bereits am Einsatzort eingebauter Lärmschutzwände und der Forderung nach Einhaltung klimatischer Randbedingungen überwiegen voraussehbar die Vorteile des „ADRIENNE“-Verfahrens gegenüber den klassischen Messmethoden im Labor. Wesentliche Voraussetzung für die Einführung des „ADRIENNE“-Verfahrens als künftigen Standardverfahren zur Beurteilung der massgeblichen akustischen

Eigenschaften von Lärmschutzwänden ist eine weitergehende Validierung des Verfahrens unter Berücksichtigung allfällig spezifischer schweizerischer Bauweisen.

In Hinblick auf die nach EN 1793-1 und –2 im Sinne der klassischen Messmethoden festgelegten Anforderungen sollte die vorliegende Untersuchung dazu beitragen, entweder

- alternative Klassifizierungstabellen zu in-situ Nachweisen analog den Gruppenzuordnungen nach Normen EN1793-1 und -2 aufzustellen

oder

- Formeln für die Umrechnung der in-situ Messergebnisse bezüglich der vorhandenen Klassifizierungstabellen festzulegen

Im Ergebnis sollte damit die Entwicklung zu einem kostengünstigen Messverfahren, für das die Errichtung spezieller Laborprüfkörper entfällt, vorangetrieben und Entscheidungshilfen in Hinblick auf Validierung und Freigabe des Verfahrens für Eignungsnachweise von LSW-Systemen bereitgestellt werden.

2.3 Projektpartner

Als mögliche Projektpartner wurden über den Cercle Bruit, die Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute angesprochen. Die kantonalen Lärmfachstellen folgender Kantone erklärten sich zur Teilnahme mit Objekten zu den in-situ Messungen bereit:

- Aargau
- Basel Stadt
- Luzern
- Tessin
- Zürich

Auf Messungen im Kanton Zürich musste verzichtet werden, da die LSW-Objekte an Kantons- und Ortsstrassen hinsichtlich der Mindesthöhe von 3 m nicht die Randbedingungen für das in-situ Messverfahren erfüllten und die grossen Baustellen an der N1 zwischen Limmattaler Kreuz und Wettingen Ost keine weiteren Einengungen zur Sicherung der Messorte duldeten. An einzelnen Objekten im Kanton Aargau stellte die Grolimund + Partner AG, Niederlassung Aarau, Messergebnisse für direkte Vergleiche zur Verfügung. Den Partnern bei den Lärmfachstellen und den Strassendiensten der Kantone, die mit Sicherungsmassnahmen halfen, sei an dieser Stelle herzlich für Ihr Engagement gedankt.

Mitwirkende der Empa:

Evaluation und Erstellen der Lautsprecher-Mikrofon-Kombination: Karl Baschnagel, Markus Studer

Messungen/Messauswertung: Michael Walk, Martin Würzer, Theo Gubler, Markus Studer, Frieder Emrich

3 Bemerkungen zur Projektdurchführung

Für die Durchführung der Messungen ist aus klimatischen Gründen das Sommerhalbjahr bis in den Spätherbst geeignet. Aus Gründen der Verkehrssicherheit mussten die Messeinsätze mit den zuständigen Verkehrsbehörden abgestimmt und allfällig von diesen mit Signalisations- und Sicherungsmassnahmen begleitet werden. Im Gebiet Basel-Stadt musste erforderlicher Spersperrungen wegen auf späte Abend- bzw. Nachtstunden für die Messungen ausgewichen werden.

Bei und nach Regenfällen wurden die Messungen unterbrochen, da der Einfluss nasser Wandoberflächen nicht als zusätzlicher Parameter berücksichtigt werden sollte und die Messeinrichtungen vor Nässe zu schützen waren.

Vergleichende Laboruntersuchungen und die wünschenswerte Erstellung einer Objektdatenbank mit Kennwerten nach den klassischen Messmethoden und Ergebnissen nach dem „ADRIENNE“- Messverfahren waren nicht Gegenstand des Projektes. Nur in Einzelfällen war eine direkte Vergleichsmessung im Labor der Empa an am Objekt entnommenen Wandelementen möglich. Im Übrigen wurde zum Vergleich mit Laborwerten auf vorhandene Prüfberichte zu den eingesetzten LSW-Systemen zurückgegriffen, ohne dass die entsprechenden Messergebnisse an den realen Objekten verifiziert werden konnten.

Aufgrund innerbetrieblicher Engpässe und mangelnder Erklärungsmöglichkeiten zur Begründung der im Folgenden näher beschriebenen Ausreisser bei tieferen Frequenzen in den Messkurven zu den in-situ Messungen zum Reflexionsindex hat sich die Erstellung des hier vorgelegten Schlussberichts zum Projekt sehr erheblich verzögert.

4 Baukonstruktionen der Lärmschutzwände, Grundannahmen

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Lärmschutzwände wurde versucht, für die Schweiz typische Systeme und Baustoffe für LSW zu berücksichtigen. Die untersuchten Standardsysteme weisen massive Sockel aus bewehrtem Beton mit auskragenden Stahlprofilstützen auf, deren strassenseitige Flansche nur bei den Betonwandsystemen (teilweise) verdeckt sind und bei den übrigen Systemen sichtbar bleiben. In der Regel waren zwischen den Beton- und Metallelementen elastische Dichtungen bzw. Kompribänder vorgesehen, die aber vor allem bei einzelnen Betonwänden Fehlstellen aufwiesen, was zur Verminderung der Schalldämmung gegenüber der planmässigen Ausführung führt.

Strassenseitig sind jeweils Schutzeinrichtungen mit Leitplanken, Rund- oder Rechteckrohren aus verzinktem Stahl angebracht, teilweise auf dem Betonsockel montiert.

Die stellvertretende (rechnerische) Wandhöhe für die Anordnung der Messeinrichtung und für die Messauswertung wird oberhalb des Betonsockels bzw. der Leiteinrichtung bis zur Wandkrone angesetzt. Die Wandlänge ist bei keinem der untersuchten Objekte massgebend (Annahme z.B. 100 m).

Die zumindest strassenseitig absorbierend ausgebildeten Wandelemente unterscheiden sich wesentlich nach den eingesetzten Materialien ihrer Oberflächen:

- Betonelemente: strassenseitig mit haufwerkporigem Beton mit Wellen- oder Trapezprofilierung (mit Bims- bzw. Blähtonzuschlag); Tragschale aus Normalbeton; Rückseite absorbierend wie Strassenseite oder reflektierend, Tragschale in Sichtbeton belassen.

- Holzelemente: strassenseitig mit (profilierter) Lattung in Vertikal- oder Diagonalanordnung; innen Rieselschutzvlies, Mineralwolle als Absorptionsschicht; Rückseite absorbierend wie Strassenseite oder reflektierend Holzschalung.
- Metallkassetten: strassenseitig mit (profiliertem) Lochblech bzw. mit Streckmetall; innen Rieselschutzvlies, Mineralwolle als Absorptionsschicht; Rückseite absorbierend wie Strassenseite oder reflektierend Profilblech, fallweise mit innen liegender Beschwerung / Bedämpfung; als Spezialkonstruktion in „ZIG-ZAG“-förmigen Stahlstützen gehalten (Areal Borra SA, Cama / TI). Die stellvertretende Wanddicke wird hier zu $t_B = 0.53$ m angenommen.
- Glas- / Metallrahmen- Sonderkonstruktion (N3 – Chiasso): Es handelt sich hier um eine galerieartige Stahlskelett- Dach- und Wandkonstruktion mit Ausfachungen aus Verbundglas 8/0.175+0.175/8mm. Die Wandverglasungen sind im Vertikalschnitt zickzackförmig mit oberen Deckblechen angeordnet. Jeweils darunter schliessen innenseitig in fünf Lagen horizontal montierte (im Querschnitt linsenförmige) Baffles mit Lochblechabdeckung an. Die stellvertretende Wandhöhe (über dem Betonsockel) für die Anordnung der Messeinrichtung und für die Messauswertung wird hier zu $h_B = 4.00$ m, die stellvertretende Wanddicke zu $t_B = 0.85$ m angenommen.

5 Durchgeführte Messungen

Für die Untersuchungen wurden zum einen in-situ Messungen nach CEN/TS 1793-5 (Adrienne Verfahren) und zum anderen Vergleichsmessungen im Bauakustiklabor der Empa mit Standard-Labormessverfahren nach EN 1793-1 bzw. nach EN 1793-2 durchgeführt. Die in-situ Messungen gliederten sich in folgende Elementarmessungen:

- a) Freifeldmessung zur Bestimmung des Bezugswertes für jede Messung der Reflexion oder der Schalldämmung eines Messobjekts mit in den hindernisfreien Raum gerichteter Lautsprecher-Mikrofon-Achse.
- b) Schalldämmmessung mit strassenseitiger Anordnung des Lautsprechers, Achse in horizontaler Stellung in mittlerer Wandhöhe im Feld zwischen den Stützen. Mikrofonraster mittig im Feld hinter der Wand angeordnet.
- c) Schalldämmmessung mit strassenseitiger Anordnung des Lautsprechers, Achse in horizontaler Stellung in mittlerer Wandhöhe vor einer Stütze. Mikrofonraster mittig hinter der Stütze angeordnet.
- d) Reflexionsmessung Lautsprecher-Mikrofon-Kombination in horizontaler Stellung in mittlerer Wandhöhe im Feld zwischen den Stützen. Horizontale bzw. vertikale Variation der Achswinkel für die Lautsprecher-Mikrofon-Kombination um $\pm 40^\circ$ in Schritten von 10° .
- e) Reflexionsmessung Lautsprecher-Mikrofon-Kombination in horizontaler Stellung in mittlerer Wandhöhe vor einer Stütze. Horizontale bzw. vertikale Variation der Achswinkel für die Lautsprecher-Mikrofon-Kombination um $\pm 40^\circ$ in Schritten von 10° .

Bei der Sonderkonstruktion (N3 - Chiasso) zusätzliche Berücksichtigung der Anordnung der Baffles bei der Wahl der Messpositionen.

Details zu allen Messungen finden sich in den Messprotokollen im Anhang B (Abschnitt 11, Seite 30).

6 Mess- und Auswerteverfahren

Eine zuverlässige in-situ Messung an Lärmschutzwänden war bisher nur mit erheblichem Aufwand möglich. Mit der europäischen Technischen Spezifikation CEN/TS 1793-5 und deren Umsetzung im EDV-Programm „ADRIENNE“ Version 2-03 der Norsonic A/S ist eine weiterentwickelte Mess- und Auswertetechnik nach dem Impulsantwortverfahren, MLS-Technik, anwendbar.

6.1 Prinzipdarstellungen zum "ADRIENNE" - Verfahren zur Bestimmung des Schalldämmindex SI aus CEN/TS 1793-5

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und Abbildung 2 zeigen die prinzipielle Messgeometrie und die Aufstellung von Lautsprecher und Mikrophon für die Ermittlung des Schalldämmindex SI. Die Symbollabel bedeuten:

S: Frontebene des Lautsprechers

M: Mikrofonposition

G: Position im Messgitternetz

Abbildung 1: Pseudo- Freifeldmessung als Referenzmessung zur Bestimmung des Schalldämmindex SI

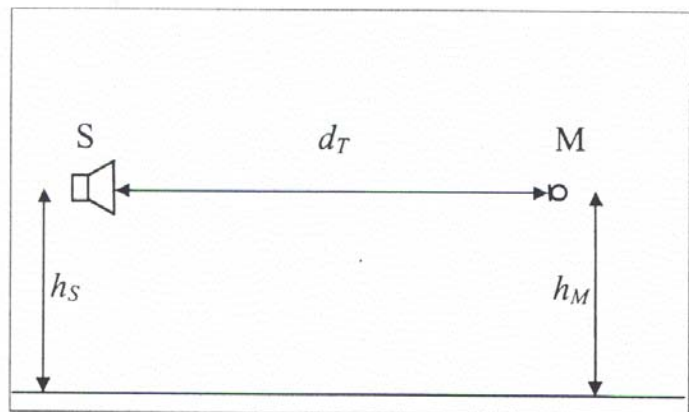
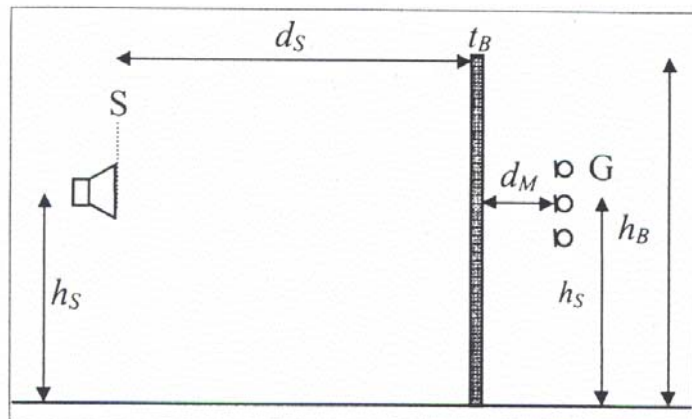


Abbildung 2: Messung des Schalldämmindex SI. Das rückwärtige orthogonale Messgitternetz enthält neun äquidistante Messpunkte



Bedingungen:

- Wandhöhe $h_B \geq 3.0$ m (Wand für Schalldämmmessung auch von der Rückseite zugänglich)
- Wandlänge $L_B \geq 6.0$ m wenn Pfosten vorhanden, sonst $L_B \geq 4.0$ m
- Wandoberfläche trocken
- Wand- und Umgebungstemperatur ≥ 0.0 °C
- Windgeschwindigkeit ≤ 5.0 m/s

6.2 Prinzipdarstellungen zum "ADRIENNE" - Verfahren zur Bestimmung des Reflexionsindex RI aus CEN/TS 1793-5

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigen die prinzipielle Messgeometrie und die Aufstellung von Lautsprecher und Mikrofon für die Ermittlung des Reflexionsindex RI. Die Symbollabel bedeuten:

S: Frontebene des Lautsprechers

M: Mikrofonposition

G: Position im Messgitternetz

Abbildung 3: Pseudo- Freifeldmessung als Referenzmessung zur Bestimmung des Schallreflexionsindex RI

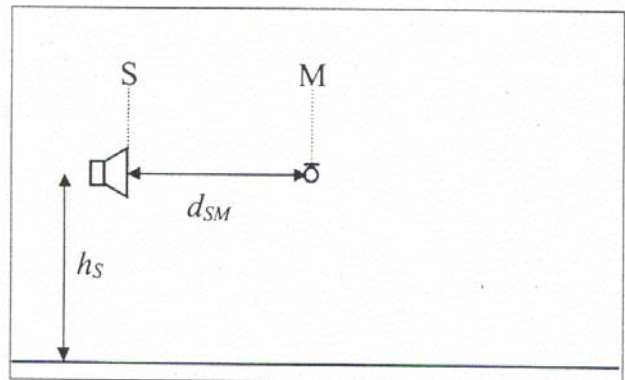
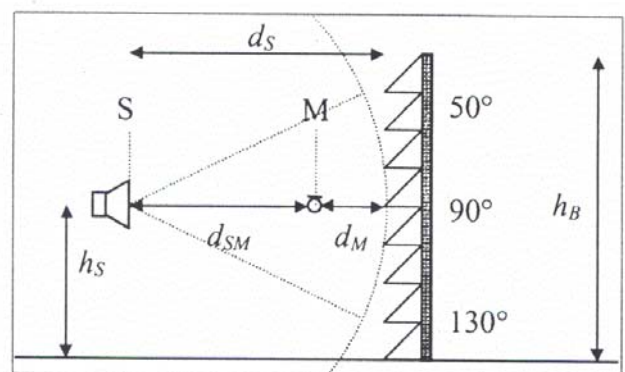


Abbildung 4: Messung des Schallreflexionsindex RI im Beispiel mit vertikaler Variation des Lautsprecher- Anstellwinkels (Es kann mit Einschränkungen zur Aussagefähigkeit auch an gekrümmten bzw. gestuften Konturen gemessen werden)



Bedingungen:

- Wandhöhe $h_B \geq 3.0$ m
- Wandlänge $L_B \geq 6.0$ m wenn Pfosten vorhanden, sonst $L_B \geq 4.0$ m
- Wandoberfläche trocken
- Wand- und Umgebungstemperatur ≥ 0.0 °C
- Windgeschwindigkeit ≤ 5.0 m/s

7 Messergebnisse

Entsprechend den Messaufgaben sind Einzahl-Messergebnisse zum Schalldämmindex DL_{SI} und zum Reflexionsindex DL_R aus in-situ Messungen nach CEN/TS 1793-5 bzw. DL_R und DL_a aus Labormessungen in Beilage B (Abschnitt 12, Seite 31) in Tabellenform zusammengestellt. Diese Einzahlangaben sind gemäss den in den beiden folgenden Abschnitten dargestellten Formeln gewonnen worden.

7.1 Einzahlbewertungen zur Schalldämmung nach CEN/TS 1793-5 und EN1793-2

Die Einzahlwerte zur Beschreibung der Schalldämmung werden aus den Terzbandangaben wie folgt gewonnen:

	ADRIENNE	konventionell
Schalldämmung	$DL_{SI} = -10 \cdot \lg \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i} 10^{-0,1SI_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i}} \right]$	$DL_R = -10 \lg \left[\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i} 10^{-0,1R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right]$

mit L_i [dB]: relativer A-bewerteter Schalldruckpegel des standardisierten Verkehrslärmspektrums nach EN 1793-3 im i-ten Terzband und m: Nummer des niedrigsten mit dem ADRIENNE-Verfahren erfassbaren Terzbandes (4 bzw. 5).

Bemerkungen:

- In den Publikationen zum in-situ Messverfahren fallen die teilweise ideale Messbedingungen wie folgt auf:
 - Schalldämm-Messungen mit kurz gemähter Rasenfläche und ohne reflektierende Hindernisse auf einer Fläche von 50x50 m² und nur sehr geringem Störgeräusch durch seltenen Strassenverkehr in 50 m Abstand, Einsatz selbst entwickelter Software ALFA. [8]
 - Schalldämm-Messungen auf ebener asphaltierter Fläche ohne reflektierende Hindernisse. Einsatz selbst entwickelter Software. [13]

7.2 Einzahlbewertungen zur Absorption bzw. Reflexion nach CEN/TS 1793-5 und EN1793-1

Die Einzahlwerte zur Beschreibung der Absorption bzw. Reflexion werden aus den Terzbandangaben wie folgt gewonnen:

Absorption

$$DL_{RI} = -10 \lg \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} RI_i \cdot 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i}} \right] \quad DL_a = -10 \lg \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right]$$

mit L_i [dB]: relativer A-bewerteter Schalldruckpegel des standardisierten Verkehrslärmspektrums nach EN 1793-3 im i -ten Terzband und m : Nummer des niedrigsten mit dem ADRIENNE-Verfahren erfassbaren Terzbandes ($m = 4$)

Bemerkungen:

- Die Ergebnisse zu den Reflexionsmessungen sind insbesondere für tiefe Frequenzen für Aussagen zur Wirkung bei grösseren Distanzen (z.B. an Fassaden von Nachbarbebauungen) ohne weitere Verfahrensabklärungen nicht aussagefähig. Die zugehörigen Messkurven werden umgerechnet mit dem Schallabsorptionsgrad α [-] über den Terzmittenfrequenzen f [Hz] dargestellt. Insbesondere dürfen für α keine negativen Werte auftreten. Damit würde der reflektierte Energieanteil für einzelne Terzmittenfrequenzen grösser als der aufgebrachte Energieanteil. Vor allem bei 400 Hz (200 Hz) aber auch in anderen Bereichen weisen einige Messkurven extrem tiefe Einbrüche auf. Um gleichwohl noch sinnvolle Einzahlkennwerte zum Reflexionsindex zu erhalten, wurden rechnerisch mittels linearer Interpolation zwischen sinnvollen Nachbarwerten die Messkurven „geglättet“ und die gemessenen Ausreisser zu einzelnen Terzmittenfrequenzen eliminiert.
- Nach [11] und [12] wäre der Messabstand in Abhängigkeit von der Profilierungstiefe am Messobjekt zu vergrössern um lokale Einflüsse im Sinne von Prognosen für das Fernfeld ausgleichen zu können. Diese Vorgehensweise scheint aber noch nicht durch die zuständige Arbeitsgruppe im CEN abgesichert zu sein und ist noch nicht in der verfügbaren Software implementiert.
- In [5] wird auf den grossen Einfluss von Temperaturdifferenzen zwischen Freifeld und Wandoberfläche auf die Ergebnisse der Reflexionsmessungen hingewiesen. Auf diesen Aspekt wird hier nicht weiter eingegangen.

7.3 Korrelation der Einzahlergebnisse nach CEN/TS 1793-5 und nach EN 1793-1 bzw. EN 1793-2

Das Teilziel, Vorschläge für die Umrechnungen von Laborkennwerten DL_a [dB] bzw. DL_R [dB] auf in-situ Kennwerte DL_{RI} [dB] bzw. DL_{SI} [dB] (und umgekehrt) für in der Schweiz übliche Lärmschutzwände zu ermöglichen, wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht erreicht. Einerseits lassen die zuvor und im Folgekapitel beschriebenen verfahrensbedingten Unsicherheiten keine gesicherten Vergleiche zu. Andererseits standen nur im Einzelfall am selben Ort entnommene Lärmschutzelemente für Laboruntersuchungen zur Verfügung.

Die Ergebnisse der übrigen Felduntersuchungen können folglich nur mit Laborergebnissen aus meist recht alten „Eignungstests“ unterschiedlicher Prüfinstitute verglichen werden. Dazu wurden die spektralen Laborergebnisse für den statistischen Absorptionsgrad α_{si} [-] bzw. für die Schalldämm-Masse R_i [dB] entsprechend EN 1793-1 bzw. EN 1793-2 in die zugehörigen Laborkennwerte DL_a [dB] bzw. DL_R [dB] umge-

rechnet. Statt Ergebnisse aus Regressionsanalysen vorzulegen, können hier also nur Wertespans zu den unterschiedlichen Bauarten mit vorgenannten Einschränkungen zur Aussagefähigkeit angegeben werden.

	Schallabsorption		Schalldämmung	
LSW-Bauart jeweils in situ mit Betonsockel und Stahlpfosten	Wertespanne aus in-situ Messungen DL_{RI} [dB] (Kurven teilw. Interpoliert)	Wertespanne aus Labormessungen DL_a [dB]	Wertespanne aus in-situ Messungen DL_{SI} [dB]	Wertespanne aus Labormessungen DL_R [dB]
Alu-Kassetten	ca. 10 bis 13	11 bis 15	21 vor Pfosten bis 36 im Feld	25 bis 28
Streckmetall- Kassetten	ca. 5 bis 12	20 (Einzelergeb- nis)	---	---
ZIG-ZAG (Cama) Stahlblechelemente	ca. 7 bis 9	---	23 vor Pfosten bis 51 im Feld	32 (Einzelergebnis)
ZIG-ZAG (Chiasso) Stahl-/Glas+Baffles	ca. 3	---	45 vor Pfosten bis 48 im Feld	---
Lavabetonelemente	ca. 6 bis 10	10 bis 11	17 vor Pfosten bis 25 im Feld	---
Holzelemente	ca. 12	12 (Einzelergebnis)	24 vor Pfosten bis 37 im Feld	28 (Einzelergebnis)
<i>Hinweis: höchste Anforderungen nach EN 1793-1,-2</i>	---	<i>Gruppe A4 > 11</i>	---	<i>Gruppe B3 > 24</i>

Tabelle 1: Wertespans aus in-situ Messungen nach CEN/TS 1793-5 und aus Labormessungen mit Hinweis auf die höchsten Anforderungsstufen nach EN 1793-1, -2

Die Ergebnisse zum Schalldämmindex DL_{SI} machen hohe Dämmverluste in direkter Umgebung der Pfosten deutlich. Auch nach optischem Befund an den jeweiligen Messorten sind diese Verluste überwiegend auf ungenügende Dichtungsanschlüsse zwischen LSW-Elementen und Pfosten zurückzuführen. Ein weiterer Anteil ist aus den versteifenden Rändern bei mehrschaligen LSW-Kassetten im Bereich des Pfostenanschlusses zu begründen. Bei den Labormessungen mit entfernteren Messpositionen im Quasidiffusfeld werden die Unterschiede zwischen Pfostenbereich und Feldbereich, sofern überhaupt Pfosten eingebaut wurden (bei älteren Labormessungen nicht üblich), „verschmiert“.

7.4 Diskussion der vorliegenden Messergebnisse

Aus den durchgeführten Messungen ergeben sich folgende Punkte

- Aufgrund der verfahrensbedingten Probleme:
 - Ausreisser bei tiefen Frequenzen
 - Abstandsabhängigkeit der Messergebnisse bei Profilierung der Wandoberflächenund
 - der im Folgenden in Kapitel 9 beschriebenen Sensitivität der Bewertung bezüglich der Anordnung des ADRIENNE-Zeitfensterskann das Verfahren mit der hier eingesetzten Software und Messausrüstung noch nicht als Standard-Abnahmeprüfverfahren für ausgeführte Lärmschirm-Objekte in der Schweiz empfohlen werden (vgl. [14]).
- Die verfahrensbedingt geforderte Mindesthöhe der zu untersuchenden Lärmschirme von $H \geq 3.0\text{m}$ stellt für die Verhältnisse in der Schweiz eine wesentliche Einschränkung dar. Zudem können bei dem ADRIENNE-Verfahren in der Regel tiefere Frequenzen nicht berücksichtigt werden. Noch bei einer Wandhöhe von $H = 4.0\text{ m}$ beträgt die niedrigste aussagefähige Terzmittenfrequenz 200 Hz.
- Die Anzahl der möglichen Direktvergleiche zwischen in-situ Messungen und Labormessungen an identischen Proben ist zu gering, um eine rechnerische Übertragung über Regression zwischen Ergebnissen von Labormessungen auf in-situ Verhältnisse und umgekehrt zuverlässig zu gewährleisten.

Eine allfällige Revision der Verfahrensgrundlagen im europäischen Projekt ADRIENNE 2 und die Umsetzung dieser Revision in eine nachvollziehbare EDV-Lösung bleibt abzuwarten. Vorab scheint es sinnvoll, Quervergleiche zum ADRIENNE-Verfahren mit anderen Lösungen z.B. mit einer Raumakustik-Software [15] für Absorptionsmessungen durchzuführen.

7.5 Messergebnisse aus dem Ausland

Untersuchungen in Österreich ([16], [17]) in Österreich und Deutschland liefern ebenfalls zu unterschiedlichen LSW-Bauarten einschliesslich Erdwällen zahlreiche Einzelergebnisse zur Reflexion und zur Schalldämmung nach CEN/TS 1793-5 unter Einsatz der Software von Software der Norsonic A/S [10].

In anderen Untersuchungen ([7], [8], [13], [18]) werden unter der Annahme gesicherter Ergebnisse Korrelationen zwischen Labor- und in-situ Messungen zur Schalldämmung für unterschiedliche LSW-Bauarten anhand linearer Regressionsanalyse vorgestellt (siehe Tabelle 2).

LSW-Bauart	Schalldämmung DL_{SI} [dB]	Korrelations- koeffizient r [-]	Quelle
Holzelemente	$DL_{SI} = 1.06 DL_R + 5.86$	0.96	[13], [18] G. R. Watts, P. A. Morgan
Beton-, Metall-, Kunststoff-, Holz- Elemente	Im Feld $DL_{SI} = 1.18 DL_R - 0.94$ vor Pfosten $DL_{SI} = 1.18 DL_R - 3.16$	0.97 0.93	[7], [8] M. Garai, P. Guidorzi

Tabelle 2: Korrelationen aus linearer Regression für Ergebnisse aus in-situ Messungen nach CEN/TS 1793-5 und aus Labormessungen nach EN 1793-2 zur Schalldämmung

8 Einfluss der ADRIENNE-Zeitfensterung auf die Messresultate

8.1 Grundsatzdarstellungen

Ein möglicher Grund für die Abweichung der mit dem ADRIENNE-Verfahren in situ gewonnenen Messresultate von entsprechenden Labormessergebnissen dürfte in der prinzipiellen Problematik der Zeitfensterung der gemessenen Impulsantworten liegen. Diese Zeitfensterung ist notwendig, um die parasitären Reflexionen von anderen Oberflächen als der untersuchten aus dem Messsignal herauszufiltern.

Das ADRIENNE-Zeitfenster hat eine Gesamtlänge von 7.9 ms (Abbildung 5). Die Gewichtung (Multiplikation) des Messsignals in der Zeitdomäne mit dem ADRIENNE-Zeitfenster hat in der Frequenzdomäne die Auswirkung einer Faltung mit der Fourier-Transformierten des ADRIENNE-Zeitfensters. Diese ist in Abbildung 6 dargestellt. Eine Faltung mit dieser Funktion bedeutet, dass die im Messsignal enthaltene Energie um mindestens ± 70 Hz um ihre wahre Frequenz „verschmiert“ wird. Im tiefen Frequenzbereich ist dieses „Verschmieren“ deutlich grösser als die Breite der verwendeten Terzbänder. Bei stark frequenzabhängigem Reflexions- oder Transmissionsverhalten der untersuchten Lärmschutzwand kann dies prinzipiell zu einer unterschiedlichen Zuordnung der Energien aus direktem und reflektiertem resp. transmittiertem Schallsignal auf die einzelnen Terzbänder und als Konsequenz zu deutlichen Fehlern bei der terzbandweisen Bestimmung des Reflexionsindex RI resp. des Schalldämmindex SI führen. Im Folgenden wird dies anhand eines fiktiven Beispiels für den Fall des Reflexionsindex RI illustriert.

Die physikalischen Hindernisse, aus einem 7.9 ms langen Zeitsignal eine Zuordnung der darin enthaltenen Schallenergie zu Terzbändern vorzunehmen, werden auch aus folgender einfacher Überlegung deutlich: überlagert man z. B. zwei Schwingungen gleicher Amplitude mit Frequenzen von 200 Hz und 250 Hz, so erhält man bekanntlich eine Schwebung. Betrachtet man beispielhaft eine Schwingung der Frequenz 225 Hz, deren Amplitude mit der Schwebungsfrequenz 25 Hz zu- und abnimmt, dauert es mit dieser Schwebungsfrequenz 10 ms (= eine Viertelperiode), bis das Schallsignal von 0 auf die Maximalamplitude anwächst, also länger als die zur Verfügung stehende Messdauer bei Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters der Dauer von 7.9 ms.

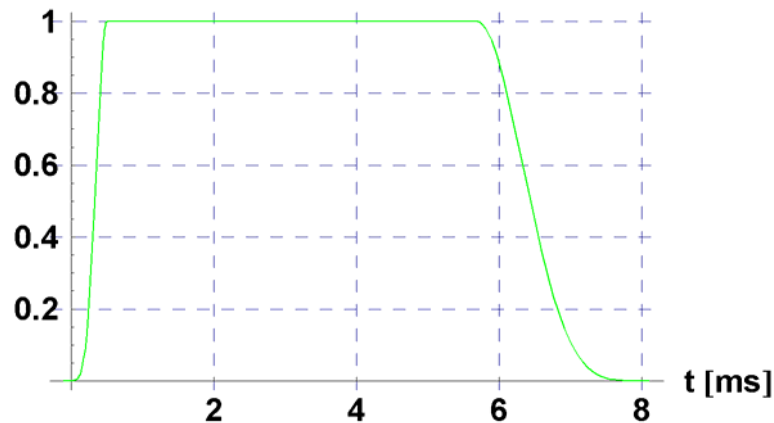


Abbildung 5: ADRIENNE-Zeitfenster

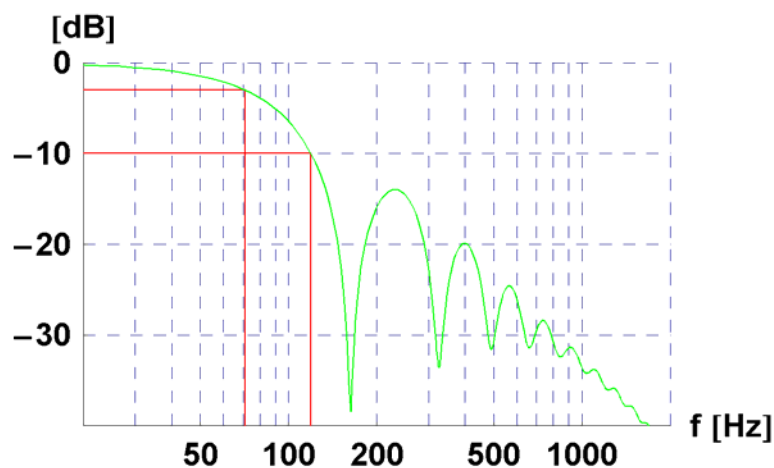


Abbildung 6: Fourier-Transformierte des ADRIENNE-Zeitfensters: Betrag, normiert auf den Grenzwert für $f \rightarrow 0$. Die Halbwertsbreite (-3 dB-Punkt) beträgt 71 Hz, der -10 dB-Punkt liegt bei 119 Hz.

Wesentlich am folgenden Illustrationsbeispiel sind vor allem zwei Beobachtungen:

- Selbst kaum erkennbare, unwesentlich erscheinende Abweichungen in der zeitlichen Darstellung der fraglichen Schallsignale können zu deutlichen Abweichungen im Terzbandspektrum von Reflexionsindex und Absorptionskoeffizient und somit auch der entsprechenden Einzahlangaben führen, bis hin zu physikalisch unsinnigen Resultaten.
- Die genaue Positionierung des ADRIENNE-Zeitfensters hat einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate.

Zur leichteren Verständlichkeit wird das Illustrationsbeispiel anhand des zeitlichen Ablaufs der zugehörigen akustischen Vorgänge beschrieben, d. h. ausgehend vom auf die Oberfläche auftreffenden Schallimpuls zum reflektierten Signal. Die Berechnungsschritte bei der Simulation entsprechen nicht diesem Ablauf; sie sind im Anhang stichpunktartig zusammengefasst.

Auf die Oberfläche, deren Reflexionsverhalten durch den in Abbildung 7 **dargestellten Frequenzgang** charakterisiert sei, treffe der in Abbildung 8 **als Zeitsignal und in Abbildung 9 im Spektrum** jeweils blau dargestellte Schallimpuls. Dieser ist den für reale **Messungen typischen Impulsantworten** nachempfunden. **Eine gewisse zeitliche Verzerrung wird dabei unvermeidlich durch den Lautsprecher verursacht.** (Die **tatsächlich gemessenen Impulsantworten klingen etwas schneller, in ca. 2...4 ms ab, enthalten aber auch wesentlich länger andauernde Komponenten,** (vgl. Abbildung 10). Wie Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen, wird dieses Signal durch die Bewertung mit dem ADRIENNE-Zeitfenster nur minimal, in kaum erkennbarem Mass verfälscht (rote Kurve resp. Balken).

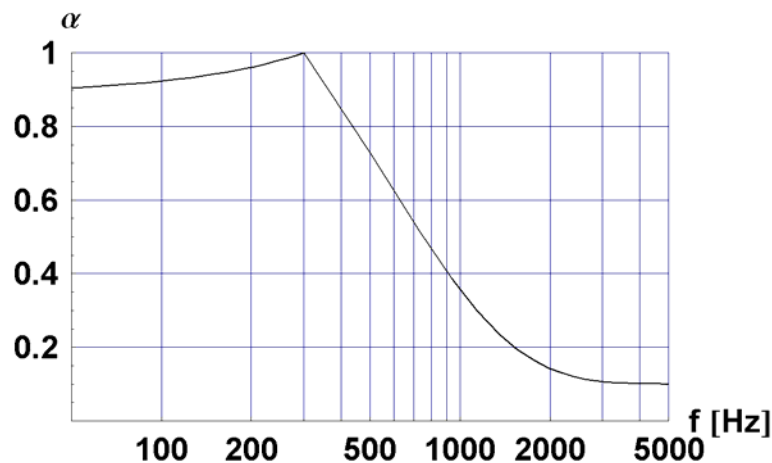


Abbildung 7: Frequenzverlauf des Reflexionsindex der für das Illustrationsbeispiel verwendeten fiktiven Oberfläche.

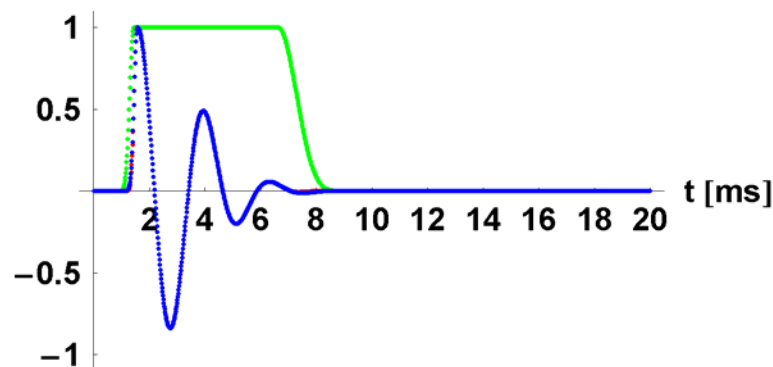


Abbildung 8: Fiktives Schallsignal vor Reflexion. Blau: vollständiges Zeitsignal; rot: Zeitsignal nach Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters; grün: ADRIENNE-Zeitfenster.

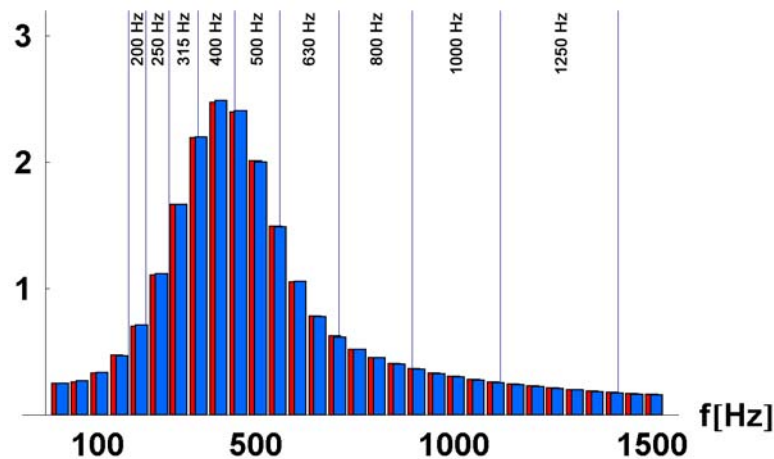


Abbildung 9: Fourier-Spektrum der Zeitsignale aus Abbildung 8. Blau: ursprüngliches Zeitsignal; rot: mit ADRIENNE-Zeitfenster bewertetes Zeitsignal.

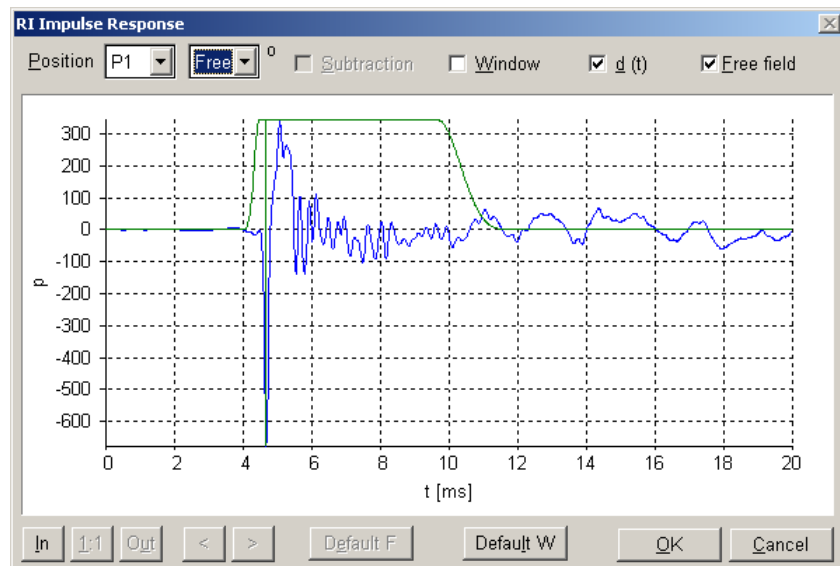


Abbildung 10: Screenshot einer realen Freifeldmessung (Nr. 61 aus der Liste). Blau: Impulsantwort nach Korrektur der Intensitätsabnahme mit der Laufzeit; grün: ADRIENNE-Zeitfenster und dessen Markierungspunkt.

Infolge der Reflexion an der Oberfläche wird dieser Schallimpuls verzerrt. Das Resultat ist in Abbildung 11 und Abbildung 12 zu sehen. Wiederum bezeichnet die blaue Farbe das vollständige Signal vor Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters, und die rote Farbe das zeitbewertete Signal. Da das Zeitsignal durch die Reflexion insgesamt verlängert wurde, „passt“ der reflektierte Schallimpuls in diesem Fall nicht mehr vollständig in das ADRIENNE-Zeitfenster, so dass gewisse Abweichungen zwischen „gefenstertem“ und „ungefenstertem“ Signal sichtbar werden. Deutlich wird insbesondere die Tendenz, dass die Schallenergie im mittleren und hohen Frequenzbereich infolge der Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters überschätzt wird.

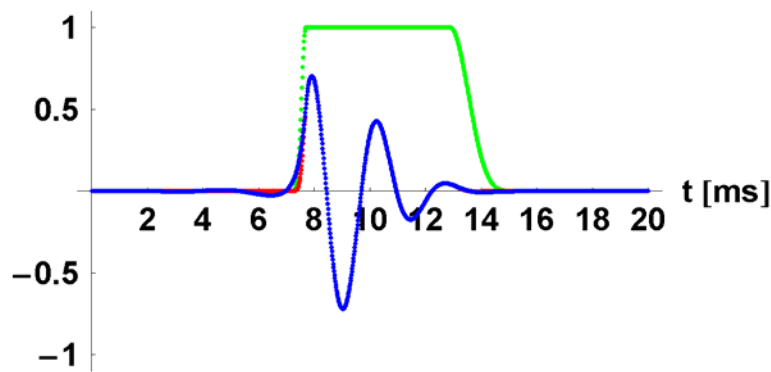


Abbildung 11: Fiktives Schallsignal nach Reflexion. Blau: vollständiges Zeitsignal; rot: Zeitsignal nach Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters; grün: ADRIENNE-Zeitfenster.

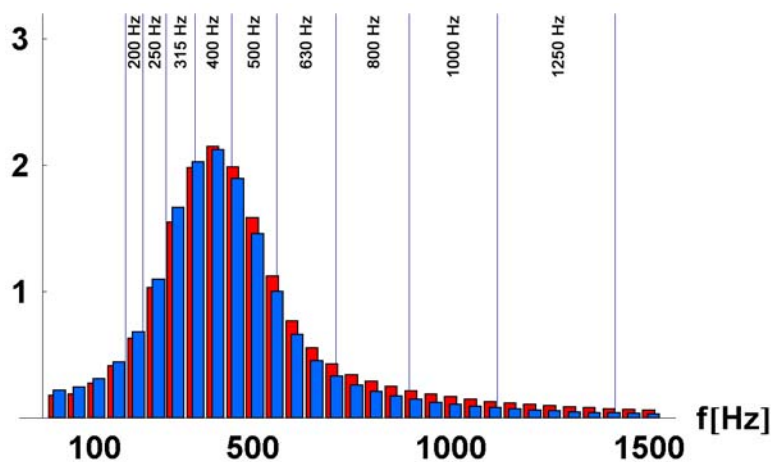


Abbildung 12: Fourier-Spektrum der Zeitsignale aus Abbildung 11. Blau: ursprüngliches Zeitsignal; rot: mit ADRIENNE-Zeitfenster bewertetes Zeitsignal.

Wesentlich deutlicher werden die Abweichungen, wenn man von dem als diskrete Fourier-Transformation berechneten Spektrum der Abbildung 9 resp. Abbildung 12 zum Terzbandspektrum übergeht. Die Lage der Terzbänder ist in beiden Abbildungen durch ihre Grenzfrequenzen markiert. Das Verhältnis der im jeweiligen Terzband enthaltenen Schallenergien in den Schallimpulsen nach und vor Reflexion ergibt gemäss der Bezeichnungsweise der ADRIENNE-Auswertungssoftware das Quadrat des Reflexionsindex RI^2 . Durch Wurzelziehen kommt man zur Terzbanddarstellung des Reflexionsindex RI , welche in Abbildung 13 im Vergleich zu den tatsächlichen Werten aus Abbildung 7 zu sehen ist. Eine gleichwertige Darstellung zeigt Abbildung 14, wobei dort statt des Reflexionsindex RI die von Labormessungen her der eher geläufige Absorptionsgrad $\alpha = 1 - RI^2$ dargestellt ist, ebenfalls in Terzbändern ausgewertet.

Wie vor allem Abbildung 14 belegt, resultiert die Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters in einer Verschiebung der im reflektierten Schallimpuls enthaltenen Energie von den tieffrequenten Terzbändern in den mittleren und hohen Frequenzbereich, was im tiefen Frequenzbereich zu einer Unterschätzung des Reflexionsindex und — zumindest im vorliegenden Beispiel — zu einer deutlichen Überschätzung des Absorptionskoeffizienten führt. Im mittleren und hohen Frequenzbereich ist es gerade umgekehrt. Der Grund für diese Verschiebung ist in Abbildung 11 sichtbar: durch die Anwendung des ADRIENNE-Zeitfensters wird die ansteigende Flanke des reflektierten Signals wesentlich steiler, was im Vergleich

zum flacher ansteigenden eigentlichen Messsignal das Vorhandensein stärkerer hochfrequenter Komponenten erfordert.

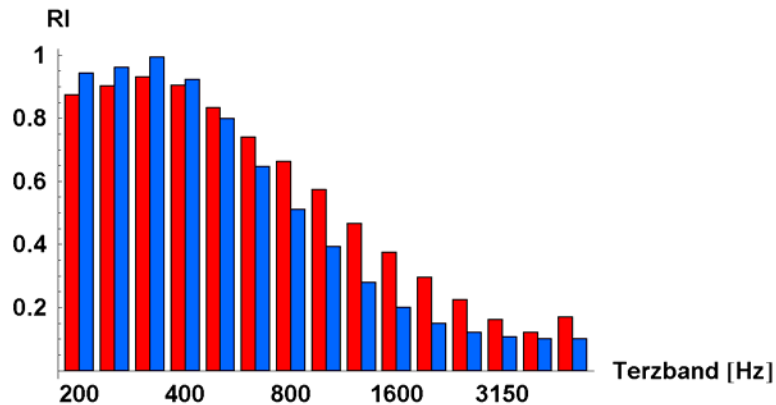


Abbildung 13: Terzbanddarstellung des Reflexionsindex RI. Blau: zur Berechnung des reflektierten Signals verwendete Werte; rot: aus den nach Bewertung mit dem ADRIENNE-Zeitfenster erhaltenen Spektren (Abbildung 9, Abbildung 12) berechnete Werte.

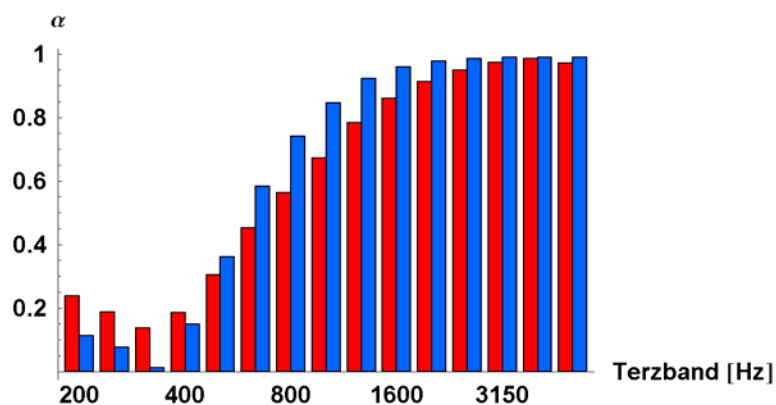


Abbildung 14: Wie Abbildung 13, umgerechnet auf die Absorptionskoeffizienten $\alpha = 1 - RI^2$.

Da das ADRIENNE-Zeitfenster der Abbildung 11 also offenbar den ansteigenden Ast des reflektierten Schallimpulses zu stark verzerrt, bietet sich als mögliche Abhilfe an, das Zeitfenster etwas nach vorne zu verschieben. Dies wurde mit den gemäss Abbildung 15 platzierten Zeitfenstern in zwei Varianten überprüft. Wie die Abbildung deutlich macht, geht allerdings die genauere Berücksichtigung der ansteigenden Flanke auf Kosten der Präzision des „Nachschwingens“. Die Folge davon ist eine Unterschätzung des Absorptionskoeffizienten in gewissen tieffrequenten Terzbändern, teilweise mit dem Resultat, dass der Absorptionskoeffizient unter 0 abrutscht, also in einen physikalisch nicht mehr sinnvollen Wertebereich.

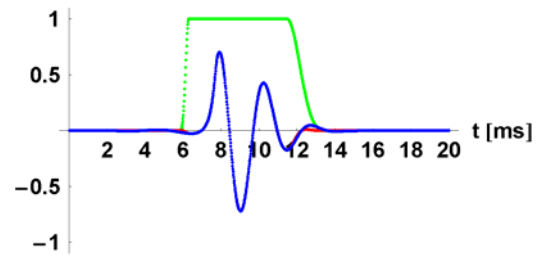
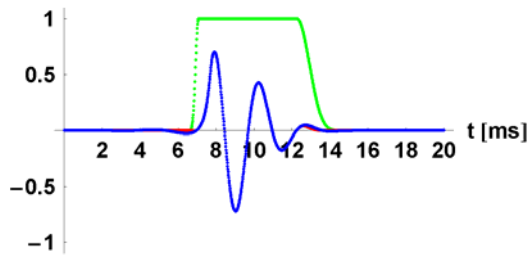


Abbildung 15: Wie Abbildung 11, hier wird das ADRIENNE-Zeitfenster bei reflektiertem Signal zu früh angesetzt. Links: ADRIENNE-Zeitfenster um ca. 1 ms zu früh; rechts: ADRIENNE-Zeitfenster um ca. 1.5 ms zu früh.

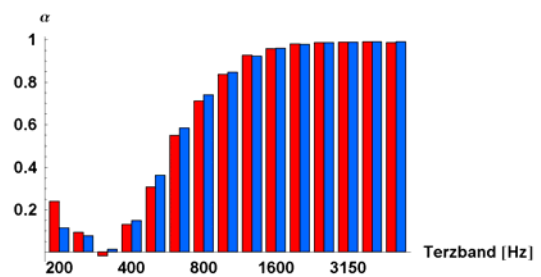
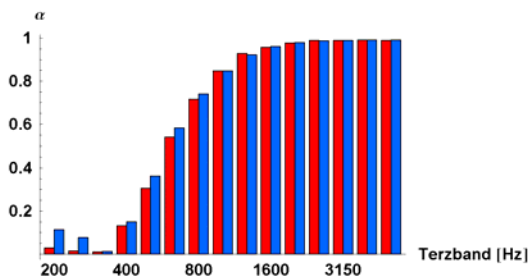


Abbildung 16: Wie Abbildung 14, ADRIENNE-Zeitfenster bei reflektiertem Signal zu früh angesetzt. Links: ADRIENNE-Zeitfenster um ca. 1 ms zu früh; rechts: ADRIENNE-Zeitfenster um ca. 1.5 ms zu früh.

8.2 Zusammenfassende Beschreibung des rechnerischen Vorgehens

- Mathematische Darstellung eines fiktiven Spektralverlaufs der Reflexionseigenschaften der Oberfläche (Abbildung 7)
- Mathematische Darstellung einer fiktiven Freifeld-Impulsantwort als diskretes Zeitsignal (Abbildung 8 blau)
- Bestimmung des zugehörigen Spektrums durch diskrete Fourier-Transformation (Abbildung 9 blau)
- Berechnung des Spektrums des reflektierten Signals durch Multiplikation des Spektrums der Freifeld-Impulsantwort mit dem angenommenen Frequenzverlauf des Reflexionsindex gemäss Abbildung 7. Dabei werden die Werte des Reflexionsindex als rein reell angenommen, d. h. Phasenverschiebungen bei der Reflexion bleiben unberücksichtigt. Als Resultat erhält man Abbildung 12, blaue Säulen.
- Rücktransformation des so erhaltenen Spektrums in die Zeitdomäne (Abbildung 11 blau)
- Gewichtung beider Zeitsignale mit dem ADRIENNE-Zeitfenster (Abbildung 8, Abbildung 11, jeweils rote Linie)
- Bestimmung der zugehörigen Spektren durch Fourier-Transformation (Abbildung 9, Abbildung 12, jeweils rote Säulen)

- Zuordnung der Spektrallinien der 4 relevanten Spektren zu den üblichen Terzbändern. Es ist uns nicht gelungen, die von der Software vorgenommene Zuordnung der Schallenergie auf die Terzbänder nachzuvollziehen; der Einfachheit halber gehen wir hier davon aus, dass jede Einzelfrequenz vollständig demjenigen Terzband zugeordnet wird, zu dem sie nominell gehört, also z. B. 300 Hz und 350 Hz dem Terzband mit Mittenfrequenz 315 Hz, 400 Hz dem Terzband mit Mittenfrequenz 400 Hz, 450 Hz, 500 Hz und 550 Hz dem Terzband mit Mittenfrequenz 500 Hz, etc.
- Aufsummieren der Energie jedes einzelnen der 4 Signale pro Terzband, Berechnung des Reflexionsindex für jedes Terzband als Wurzel aus dem Verhältnis der Energien von reflektiertem und einfallendem Signal (Abbildung 13)
- Umrechnung des Reflexionsindex RI in den Absorptionskoeffizienten $\alpha = 1 - RI^2$ pro Terzband (Abbildung 14)

8.3 Hinweise zur verwendeten Mess- und Auswertesoftware

Für die hier dargestellten Messergebnisse wurde das Programm NOR-ADRIENNE 1023, Version 2.05, verwendet. Das zugehörige Handbuch bezieht sich auf Version 1.0 © 2000 Norsonic-Tippkemper, D 59302 Oelde-Stromberg; mit Ergänzung zu Version 2: Basic use of program ADRIENNE / Use of particular dialog boxes.

- Die Programmlogik liegt in der Software und dem Handbuch nicht so offen, dass die Mess- und Auswertestrategie eindeutig nachvollziehbar wären.
- Aus dem Handbuch [10] Fig. 31 und den Messauswertungen (vgl. Abbildung 10) geht hervor, dass der mit dem Programm ermittelte Markierungspunkt als Anfangspunkt des konstanten Teils des ADRIENNE-Zeitfensters nicht zwingend entsprechend CEN/TS 1793-5:2003, Ziffer 4.4.6 mit 0.2 ms vor der Spitze der Direktkomponente festgelegt wird.
- Im Handbuch [10], u.a. in Fig. 25, sind Zahlenbeispiele mit (physikalisch nicht sinnvollen) negativen Werten der Einzulangaben zur Schallreflexion DLRI [dB] von -4.41 bis -4.52 dB angegeben. Als Reflexionsindex werden dort Werte für RI bis 16.77 aufgeführt entsprechend einem Absorptionsgrad $\alpha = -280$ [-].

8.4 Hinweise zum verwendeten Lautsprecher

Abbildung 17 zeigt den Frequenzgang des Lautsprechers für verschiedene Abstrahlwinkel bzgl. der Lautsprecherachse (= 0°). Grössere Nichtlinearitäten im Frequenzgang zeigen sich im höheren Frequenzbereich $f > 3000$ Hz für Abweichungen von der Lautsprecherachse vor allem um 20° bis 30°. (Die gravierenden Frequenzeinbrüche bei den Reflexionsmessungen lagen dagegen überwiegend bei 400 Hz).

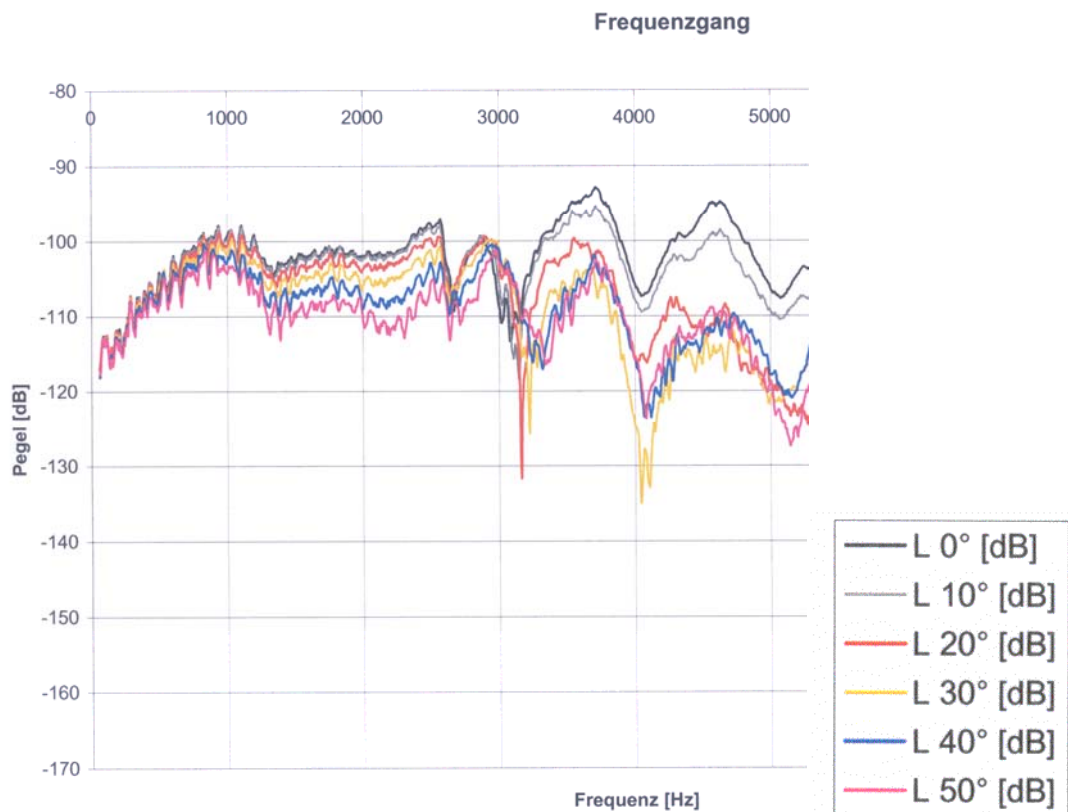


Abbildung 17: Frequenzgang des eingesetzten Lautsprechers

8.5 Einhaltung des geforderten Störgeräuschabstands (S/N ratio > 10 dB)

Insbesondere bei den Messungen an der A2 südlich Basel Badischer Bahnhof war das LKW-Verkehrsaufkommen so gross und der Abstand vorbeifahrender LKW zur Sende- und Messeinrichtung so gering, dass der geforderte Störgeräuschabstand mit dem gewählten Sendepiegel und der Standardlänge des ADRIENNE-Zeitfensters (Total length of flat portion = 5.18 ms) nicht eingehalten werden konnte.

- Die Verlängerung des ADRIENNE-Zeitfensters vergl. [5], [14] und [18] nach den Angaben im Handbuch [10], Kapitel 'Window' und Fig. 20 führte zur Einhaltung des S/N ratio > 10 dB aber mit dem Risiko, dass späte Reflexionen das Messergebnis noch beeinflussen.
- Bei späteren Messungen konnte das Problem aufgrund einer Anregung des Repräsentanten des ADRIENNE Software-Anbieters in der Schweiz gelöst werden. Bei Reduktion der Sendeleistung des Lautsprechers auf ca. 90 dB konnten offenbar Nichtlinearitäten des Systems bei sehr hoher Lautsprecherleistung so weit gemindert werden, dass auch mit der Standardlänge des ADRIENNE-Zeitfensters (Total length of flat portion = 5.18 ms) der geforderte Störgeräuschabstand eingehalten werden konnte.

9 Fazit und Zusammenfassung

Mit der Technischen Spezifikation CEN/TS 1793-5 und deren Umsetzung im EDV- Programm ADRIENNE der Norsonic A/S wurde eine Mess- und Auswertetechnik nach dem Impulsantwortverfahren, MLS- Technik, zur in-situ Überprüfung des Schalldämm- und des Reflexionsverhaltens ausgeführter Lärmschutzwände unterschiedlicher Bauart in mehreren Kantonen der Schweiz eingesetzt. Berücksichtigt wurden Lärmschutz-Wandelemente mit Alu-Kassetten, Streckmetallabdeckung, offenporigem Lavabeton, Holzlaten sowie mit zackenförmiger Profilierung in Stahlblech- bzw. Stahl-/Glas-Ausführung. Bei letzteren sorgten horizontal durchgehende Baffels mit linsenförmigem Querschnitt für eine gewisse Oberflächenabsorption. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen weisen aufgrund verfahrensbedingter Probleme mit „Ausreissern“ bei tiefen Frequenzen, Abstandsabhängigkeit der Messergebnisse bei Profilierung der Wandoberflächen und der Sensitivität der Bewertung bezüglich der Anordnung des ADRIENNE-Zeitfensters erhebliche Unsicherheiten auf, die derzeit das Verfahren mit der hier eingesetzten Software und Messausrüstung noch nicht für Standard-Abnahmeprüfverfahren für ausgeführte Lärmschirm-Objekte in der Schweiz empfehlen lassen. Ursprünglich vorgesehene Direktvergleiche mit an vor Ort entnommenen LSW-Elementen konnten nur im Einzelfall realisiert werden. Meist musste auf alte Eignungstests in Labors zurückgegriffen werden, die nur einen Typvergleich ermöglichen und insbesondere keine zuverlässige Korrelation in Regressionsanalysen erlauben.

Das ADRIENNE-Verfahren lässt in der bisherigen Version aussagefähige Bewertungen der in-situ Messungen ab einer Mindesthöhe der Lärmschirme ab 3.0 Meter zu, was die Anzahl in der Schweiz bewertbarer Objekte einschränkt. Zudem können tiefere Terzmittenfrequenzen erst bei grösseren Wandhöhen berücksichtigt werden.

Zur Validierung des Verfahrens im Sinne einer uneingeschränkten Anwendbarkeit in der Schweiz sind weitere Konsolidierungen mit internationalen Untersuchungen im Sinne des Projekts ADRIENNE 2 erforderlich.

10 Referenzen

- [1] SN EN 1793-1 * SN 640571-1 (1997), Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption
- [2] SN EN 1793-1 * SN 640571-2 (1997), Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 2: Produktspezifische Merkmale der Luftschalldämmung
- [3] R. Hofmann, A. Rosenheck, K. Eggenschwiler: Empa- Forschungsauftrag 39/80 des ASTRA 10/93, "Echomethode"
- [4] CEN / TS 1793-5:2003, 2003, Lärmschutzeinrichtungen an Strassen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Schallreflexion und der Luftschalldämmung
- [5] E. Mommertz: Angle-dependent in-situ measurement of reflection coefficients using a subtraction technique Applied Acoustics 46, pp 251-263, 1995
- [6] G. R. Watts: In situ method for determining the transmission loss of noise barriers, applied acoustics Vol. 51, No. 4, pp. 421-438, 1997
- [7] M. Garai, P. Guidorzi: Experimental Verification of the European Methodology for Testing Noise Barriers in Situ: Sound Reflection, Inter-Noise 2000
- [8] M. Garai, P. Guidorzi: European methodology for testing the airborne sound insulation characteristics of noise barriers in situ: Experimental verification and comparison with laboratory data, Journal of the Acoustical Society of America 108 (3), pp.1054-1067, 2000.
- [9] Chr. Nocke: in-situ Messung der akustischen (Wand-)Impedanz, Aachen, Shaker, 2000.
- [10] Norsonic-Tippkemper: Handbuch Nor – ADRIENNE 1023, Version 1.0, Oelde-Stromberg, 2000, Ergänzung 2002 zu Version 2.05.
- [11] G. Schupp, L. Weber, Y. Zhang: Schalldämmung und Schallabsorption von Schallschirmen, die nicht nach ZTV-Lsw 88 und DIN EN 1973 geprüft werden können, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 877, FIB-Stuttgart 2004
- [12] D. F. P. Pazos, L. Weber, K. Sedlbauer, Ph. Leistner: Schallabsorption von Lärmschutzwänden: Vergleich unterschiedlicher Messverfahren, DAGA 06, pp. 583-584, Braunschweig
- [13] G. Watts, Ph. Morgan: Validation of BS CEN/TS 1793-5 for the measurement of airborne sound insulation of timber noise barriers, TRL Limited, final project report ppr040, 2005
- [14] W. Bartolomäus: Anmerkungen zu den Vornormen zur in-situ-Bestimmung von Schallreflexion, Luftschalldämmung und Schallbeugung von Lärmschutzeinrichtungen an Strassen.
- [15] Brüel & Kjær: Technical documentation, DIRAC room acoustics software type 7841, user manual, Version 4.0, Nærum, 2007
- [16] G. Rauscher, M. Haider: Lärmschutzelemente an Strassen – akustische Messungen vor Ort, Strassenforschung Heft 547, Wien 2006
- [17] M. Haider, G. Rauscher, J. Bohrn: In-situ investigation of Austrian noise barriers using the ADRIENNE method, Inter-Noise 2007
- [18] G. Watts, Ph. Morgan: Measurement of airborne sound insulation of timber noise barriers: Comparison of in situ method CEN/TS 1793-5 with laboratory method EN 1793-2, applied acoustics 68, pp. 421-436, 2007

11 Anhang A: Materialliste zur Ausrüstung für ADRIENNE in-situ Messungen an Lärmschutzwänden

- o Planunterlagen zum Auffinden und identifizieren der Messobjekte
- o Notstromaggregat (Yamaha EF2400A 2.4kVA)
- o 10 Liter Benzin-Kanister Bleifrei 95
- o Motorenöl Kanister
- o Netz-Kabelrollen
- o N840 intern Nr.3 mit ADRIENNE-Software
- o ADRIENNE Lautsprecher mit Stativ (reicht für Lautsprecherhöhen von 1.5 bis 2.1m)
- o Kurbelstativ von Beschallungsanlage (für Lautsprecherhöhen über 2m)
- o ADRIENNE Zubehörkoffer

Aus allgemeiner Bauakustik-Ausrüstung:

- o Kalibrator mit 1/2" Adapter
- o 2 Mikrofon-Kabelrollen mit Auskoppelungskabel
- o 2 Lautsprecher- Kabelrollen mit Auskoppelungskabel
- o Kopfhörer
- o Reserve Impedanzwandler (MG) und 1/2" Mikrofon
- o Reserve Windschirm 1/2"
- o Thermometer/Hygrometer
- o Oberflächenthermometer
- o Windmesser
- o Längenmessmittel, Teleskopmassstab zur Wandhöhenermittlung
- o Raster-Gitter für Messung der Schalldämmung
- o Teleskopstange mit Abstandshalter und Mic-Halter für schlecht zugängliche Wände
- o Mikrofon-Stativ mit Schwenkarm für schlecht zugängliche Wände
- o Linhof-Stativ (2 Stk im Meswagen)
- o Alu-Bockleiter, Auszugleiter
- o UPS (Gross)
- o HP DeskJet 500er zum Ausdrucken der Messprotokolle
- o Funkgeräte + Natel für interne und externe Kommunikation
- o Hand- od. Taschenlampen (Nachtmessungen)
- o Ev. Backup-Disketten
- o Digitalkamera
- o Leuchtstreifen-Gilet's
- o Absperrmaterial
- o Keile, Spannseile, Markierungsölkreide, -tape etc.

12 Anhang B: Messprotokolle

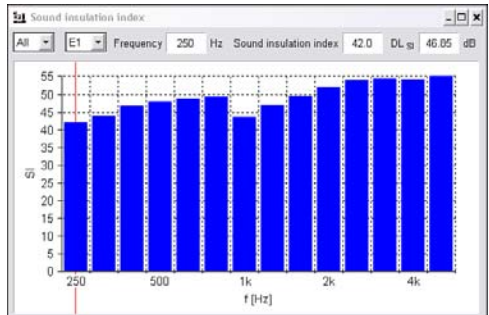
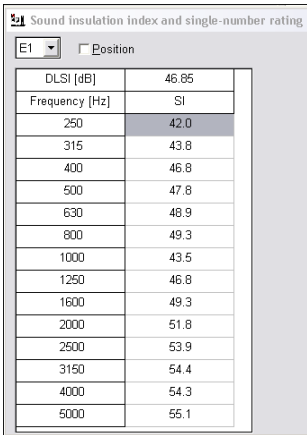
Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso
21./22.09.2004

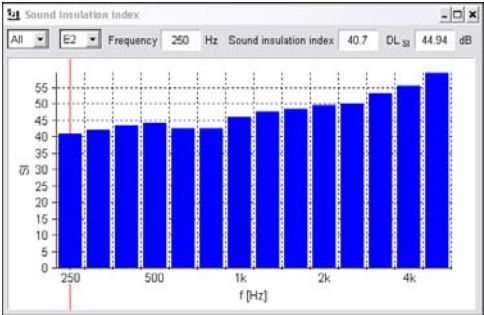
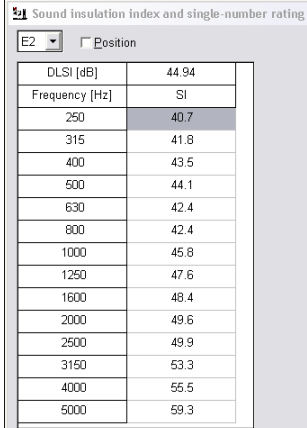
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Glas-Metall-LSW, Verbundglas 8/2x 0.175/ 8 mm
System:	"Botta" ZIG-ZAG-Wand mit Galerie
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso
Messdatum / Zeit:	21.09.2004
Witterung:	Sonnig, trocken
Windgeschwindigkeit:	0.2 m/s
Lufttemperatur:	21 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	65.9%
Wandtemperatur:	21 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	4.90 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.85 m



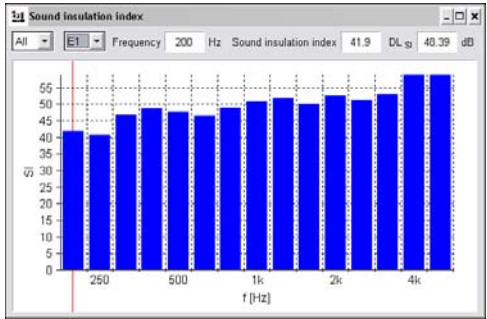
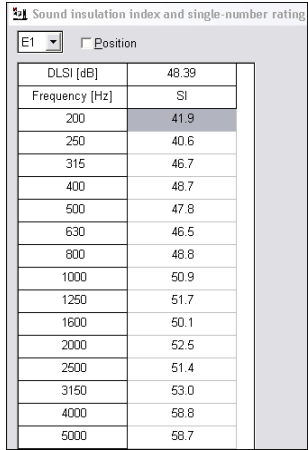
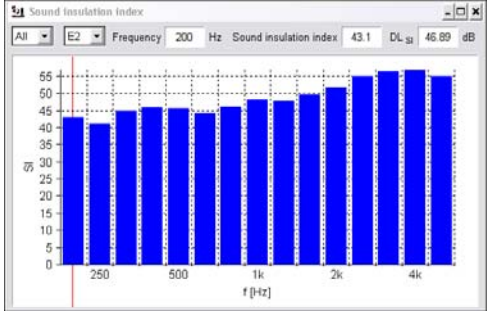
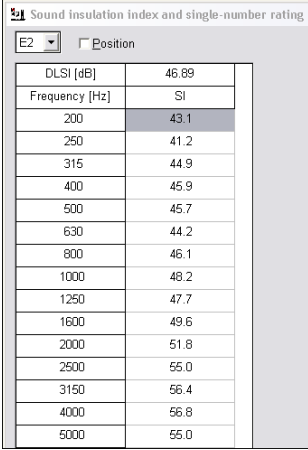
A) in-situ Messung des Schalldämmindex

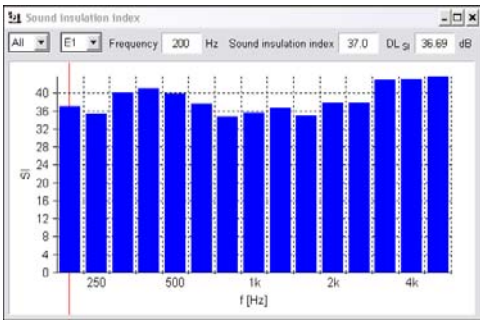
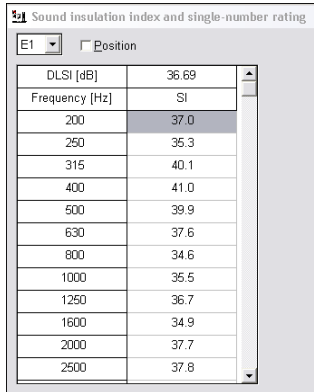
Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld zusätzliche Sockel-dichtung mit Winkel-profil	47	 

1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten zusätzliche Sockel- dichtung mit Winkel- profil	45	 
---	---	----	---

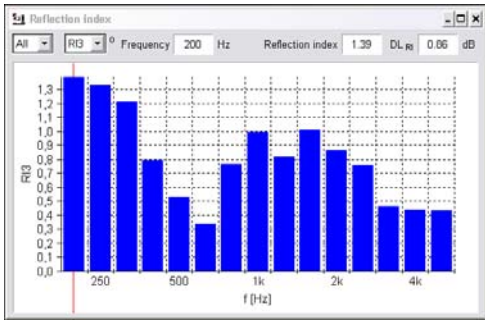
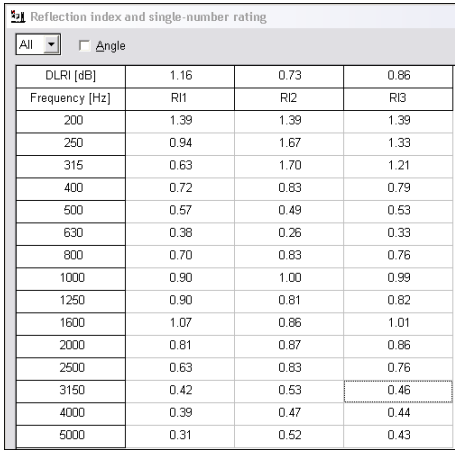
Bauart:	Glas-Metall-LSW, Verbundglas 8/ 2x 0.175/ 8 mm
System:	"Botta" ZIG-ZAG-Wand mit Galerie
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso
Messdatum / Zeit:	21.09.2004
Witterung:	Sonnig, trocken
Windgeschwindigkeit:	0.2 m/s
Lufttemperatur:	27 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	40%
Wandtemperatur:	32 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	4.90 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.85 m



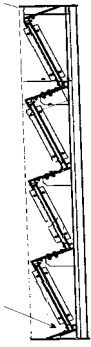
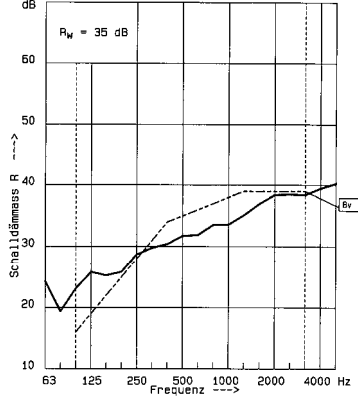
Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindices und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld ohne zusätzliche Sockeldichtung	48	 
3	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten ohne zusätzliche Sockeldichtung	47	 

4	Messposition im Bereich der Fluchttür ohne seitlich angrenzende zusätzliche Sockeldichtung	37	 
---	--	----	---

B) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Terzband-Messwerte RI [dB]
5	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal, ohne zusätzliche Sockeldichtung	1.00	 

C) Referenzergebnis zu Labor-Schalldämmmessungen nach ISO 140-3, ISO 717-1 bzw. EN 1793-2

Messung Nr. Messlabor	Bemerkungen bewertetes Schall- dämm-Mass Schalldämmung	Einzahlwerte $R_w (C, C_{tr}) [dB]$ bzw. $DL_R [dB]$	Ergebnisdiagramm zu den spektralen Schalldämmmas- sen $R_w [dB]$
6 Empa Bericht Nr. 427028.2	ZigZag-Wand ohne Baffles (Prototyp) Kein Direktvergleich  Seitenschnitt	35 (-1, -3) 28	

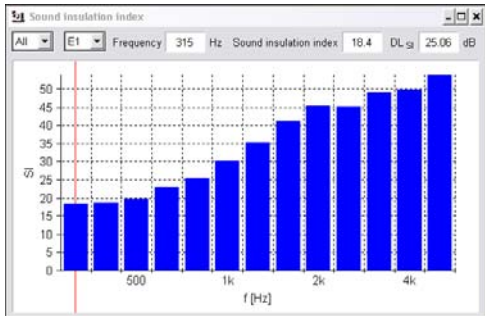
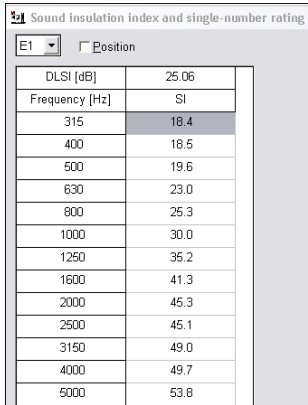
**Autobahn A2 (BS), Bäumlihofbrücke Mittelwand;
Fahrtrichtung Deutschland
14.05.2003**

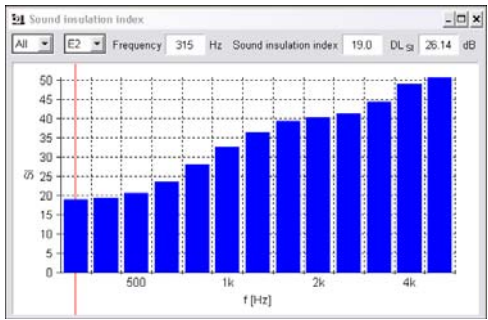
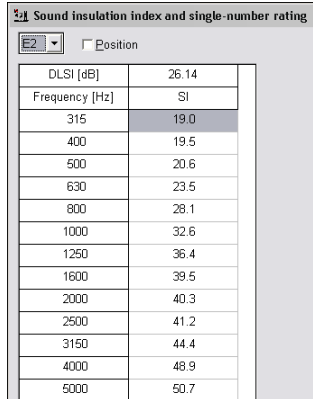
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Beschichtete Alu-Zahnbleche 1 mm
System:	ALU-L/ 111, Allensbach +Co. AG
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 (BS) Bäumlhofbrücke
Messdatum / Zeit:	14.05.2003
Witterung:	Sonnig, trocken
Windgeschwindigkeit:	0 m/s
Lufttemperatur:	10 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	---%
Wandtemperatur:	10 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	3.25 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 2.50 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.11 m

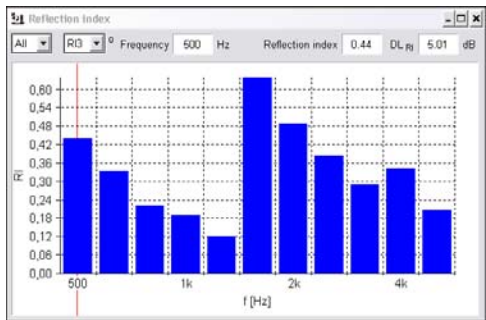
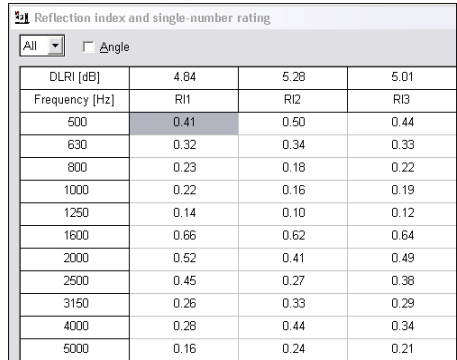


D) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	25	 

1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	26	 
---	--	----	---

E) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DLRI [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindices und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	5.0	 

F) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach ISO 354 bzw. EN 1793-1

[illegible]

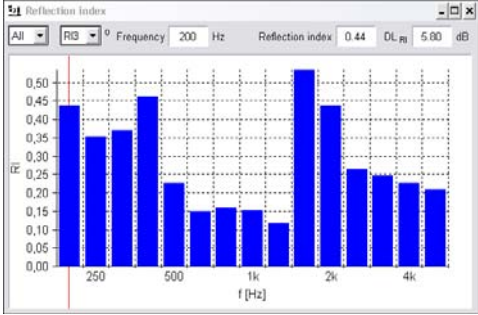
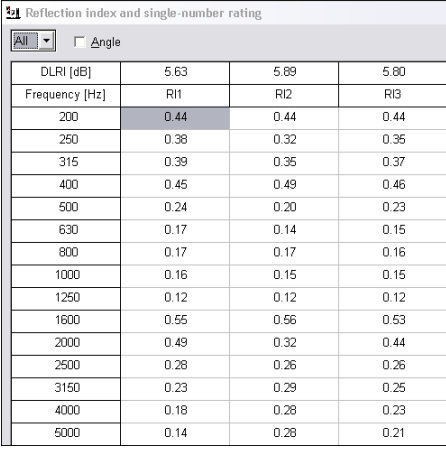
**Autobahn A2 (BS), Blockstation vor Pratteltunnel;
Fahrtrichtung Zürich
15.05.2003**

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

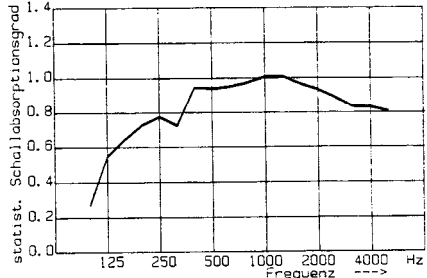
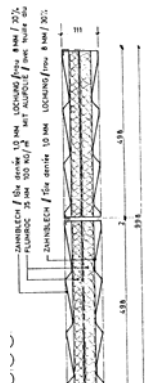
Bauart:	Beschichtete Alu-Zahnbleche 1 mm
System:	ALU-L/ 111, Allensbach +Co. AG
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 (BS) Blockstation
Messdatum / Zeit:	15.05.2003
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	0 m/s
Lufttemperatur:	12 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	---%
Wandtemperatur:	12 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	4.70 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.50 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.11 m



G) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexions-index	Einzahlwerte DLRI [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindices und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]																																																																
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	5.0	  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency [Hz]</th><th>RI1</th><th>RI2</th><th>RI3</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>200</td><td>0.44</td><td>0.44</td><td>0.44</td></tr> <tr><td>250</td><td>0.38</td><td>0.32</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>315</td><td>0.39</td><td>0.35</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>400</td><td>0.45</td><td>0.49</td><td>0.46</td></tr> <tr><td>500</td><td>0.24</td><td>0.20</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>630</td><td>0.17</td><td>0.14</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>800</td><td>0.17</td><td>0.17</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0.16</td><td>0.15</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>1250</td><td>0.12</td><td>0.12</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0.55</td><td>0.56</td><td>0.53</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0.49</td><td>0.32</td><td>0.44</td></tr> <tr><td>2500</td><td>0.28</td><td>0.26</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>3150</td><td>0.23</td><td>0.29</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0.18</td><td>0.28</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0.14</td><td>0.28</td><td>0.21</td></tr> </tbody> </table>	Frequency [Hz]	RI1	RI2	RI3	200	0.44	0.44	0.44	250	0.38	0.32	0.35	315	0.39	0.35	0.37	400	0.45	0.49	0.46	500	0.24	0.20	0.23	630	0.17	0.14	0.15	800	0.17	0.17	0.16	1000	0.16	0.15	0.15	1250	0.12	0.12	0.12	1600	0.55	0.56	0.53	2000	0.49	0.32	0.44	2500	0.28	0.26	0.26	3150	0.23	0.29	0.25	4000	0.18	0.28	0.23	5000	0.14	0.28	0.21
Frequency [Hz]	RI1	RI2	RI3																																																																
200	0.44	0.44	0.44																																																																
250	0.38	0.32	0.35																																																																
315	0.39	0.35	0.37																																																																
400	0.45	0.49	0.46																																																																
500	0.24	0.20	0.23																																																																
630	0.17	0.14	0.15																																																																
800	0.17	0.17	0.16																																																																
1000	0.16	0.15	0.15																																																																
1250	0.12	0.12	0.12																																																																
1600	0.55	0.56	0.53																																																																
2000	0.49	0.32	0.44																																																																
2500	0.28	0.26	0.26																																																																
3150	0.23	0.29	0.25																																																																
4000	0.18	0.28	0.23																																																																
5000	0.14	0.28	0.21																																																																

H) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach ISO 354 bzw. EN 1793-1

Messung Nr.	Bemerkungen	Einzahlwerte	Ergebnisdiagramm zu den spektralen statistischen Absorp- tionsgraden																																						
Messlabor	bewerteter Ab- sorptionsgrad Schallabsorption	α_w [-] bzw. DLa [dB]	α_s [-]																																						
Bericht																																									
1	Schnittskizze	---	<table><tr><th>Frequenz [Hz]</th><th>α_s</th></tr><tr><td>100</td><td>0.27</td></tr><tr><td>125</td><td>0.55</td></tr><tr><td>160</td><td>0.64</td></tr><tr><td>200</td><td>0.73</td></tr><tr><td>250</td><td>0.78</td></tr><tr><td>315</td><td>0.72</td></tr><tr><td>400</td><td>0.95</td></tr><tr><td>500</td><td>0.94</td></tr><tr><td>630</td><td>0.95</td></tr><tr><td>800</td><td>0.97</td></tr><tr><td>1000</td><td>1.01</td></tr><tr><td>1250</td><td>1.01</td></tr><tr><td>1600</td><td>0.96</td></tr><tr><td>2000</td><td>0.93</td></tr><tr><td>2500</td><td>0.88</td></tr><tr><td>3150</td><td>0.83</td></tr><tr><td>4000</td><td>0.83</td></tr><tr><td>5000</td><td>0.80</td></tr></table> Messmethode: ISO R354-1983 Prüfobjekt: Tertiärbandrauschen Empfängerfilter: Tertiärbandfilter	Frequenz [Hz]	α_s	100	0.27	125	0.55	160	0.64	200	0.73	250	0.78	315	0.72	400	0.95	500	0.94	630	0.95	800	0.97	1000	1.01	1250	1.01	1600	0.96	2000	0.93	2500	0.88	3150	0.83	4000	0.83	5000	0.80
Frequenz [Hz]	α_s																																								
100	0.27																																								
125	0.55																																								
160	0.64																																								
200	0.73																																								
250	0.78																																								
315	0.72																																								
400	0.95																																								
500	0.94																																								
630	0.95																																								
800	0.97																																								
1000	1.01																																								
1250	1.01																																								
1600	0.96																																								
2000	0.93																																								
2500	0.88																																								
3150	0.83																																								
4000	0.83																																								
5000	0.80																																								
Empa Bericht Nr. 177773																																									

**Autobahn A2 (BS), Einfahrt Baldeggerstrasse
20.05.2003**

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Einseitig absorbierende Blechkassetten, Vorne Lochblech, hinten geschlossen	
System:	Lochblechkassetten 1.00 x 3.00 m	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A2 (BS), Einfahrt Baldeggerstrasse	
Messdatum / Zeit:	20.05.2003	
Witterung:	Bewölkt, kurze Schauer	
Windgeschwindigkeit:	--- m/s	
Lufttemperatur:	14 °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	--- %	
Wandtemperatur:	14 °C	
Wandfeuchtezustand:	feucht	
Wandhöhe	4.70 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m	
Wandbreite	> 10 m	
Wanddicke	tB = 0.08 m	

l) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld zusätzliche Sockeldichtung mit Winkelprofil	47	
1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten zusätzliche Sockeldichtung mit Winkelprofil	45	

Bauart:	Glas-Metall-LSW, Verbundglas 8/ 2x 0.175/ 8 mm	
System:	"Botta" ZIG-ZAG-Wand mit Galerie	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso	
Messdatum / Zeit:	21.09.2004	
Witterung:	Sonnig, trocken	
Windgeschwindigkeit:	0.2 m/s	
Lufttemperatur:	27 °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	40%	
Wandtemperatur:	32 °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	4.90 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m	
Wandbreite	> 10 m	
Wanddicke	tB = 0.85 m	

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL _{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindices und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld ohne zusätzliche Sockeldichtung	48	
3	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten ohne zusätzliche Sockeldichtung	47	

4	Messposition im Bereich der Fluchttür ohne seitlich angrenzende zusätzliche Sockeldichtung	37	
----------	--	-----------	--

J) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
4	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal, ohne zusätzliche Sockeldichtung	1.00	

K) Referenzergebnis zu Labor-Schalldämmmessungen nach ISO 140-3, ISO 717-1 bzw. EN 1793-2

Messung Nr. Messlabor	Bemerkungen bewertetes Schalldämm-Mass Schalldämmung	Einzahlwerte R_w (C , C_{tr}) [dB] bzw. DL_R [dB]	Ergebnisdiagramm zu den spektralen Schalldämmmassen R_w [dB]
7 Empa Bericht Nr. 427028.2	ZigZag-Wand ohne Baffles (Prototyp) Kein Direktvergleich	35 (-1, -3) 28	

Autobahn A2 (BS) Baldeggerbrücke

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Glas-Metall-LSW, Verbundglas 8/2x 0.175/ 8 mm	
System:	"Botta" ZIG-ZAG-Wand mit Galerie	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso	
Messdatum / Zeit:	21.09.2004	
Witterung:	Sonnig, trocken	
Windgeschwindigkeit:	0.2 m/s	
Lufttemperatur:	21 °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	65.9%	
Wandtemperatur:	21 °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	4.90 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m	
Wandbreite	> 10 m	
Wanddicke	tB = 0.85 m	

L) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld zusätzliche Sockeldichtung mit Winkelprofil	47	
1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten zusätzliche Sockeldichtung mit Winkelprofil	45	

Bauart:	Glas-Metall-LSW, Verbundglas 8/2x 0.175/ 8 mm	
System:	"Botta" ZIG-ZAG-Wand mit Galerie	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A2 Viale Galli, Chiasso	
Messdatum / Zeit:	21.09.2004	
Witterung:	Sonnig, trocken	
Windgeschwindigkeit:	0.2 m/s	
Lufttemperatur:	27 °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	40%	
Wandtemperatur:	32 °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	4.90 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m	
Wandbreite	> 10 m	
Wanddicke	tB = 0.85 m	

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindices und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld ohne zusätzliche Sockeldichtung	48	
3	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten ohne zusätzliche Sockeldichtung	47	

4	Messposition im Bereich der Fluchttür ohne seitlich angrenzende zusätzliche Sockeldichtung	37	
----------	--	-----------	--

M) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
4	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal, ohne zusätzliche Sockeldichtung	1.00	

N) Referenzergebnis zu Labor-Schalldämmmessungen nach ISO 140-3, ISO 717-1 bzw. EN 1793-2

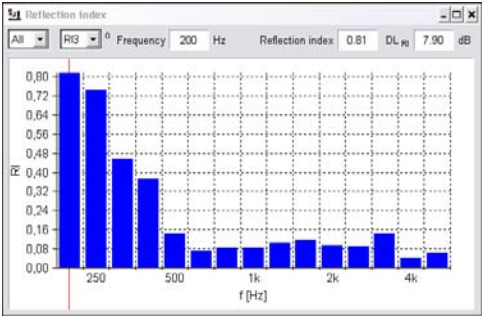
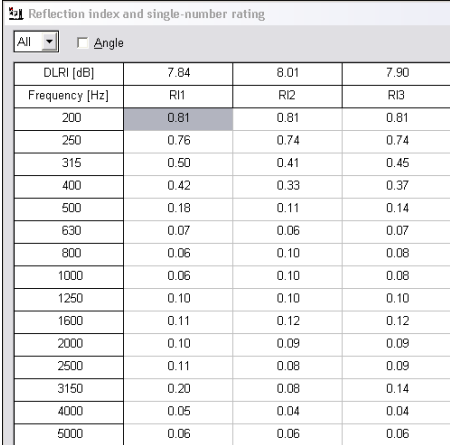
Messung Nr. Messlabor	Bemerkungen bewertetes Schalldämm-Mass Schalldämmung	Einzahlwerte R_w (C , C _{tr}) [dB] bzw. DL_R [dB]	Ergebnisdiagramm zu den spektralen Schalldämmmassen R_w [dB]
7 Empa Bericht Nr. 427028.2	ZigZag-Wand ohne Baffles (Prototyp) Kein Direktvergleich	35 (-1, -3) 28	

Autobahn A2 (BS), Einfahrt Grenzach
15.05.2003

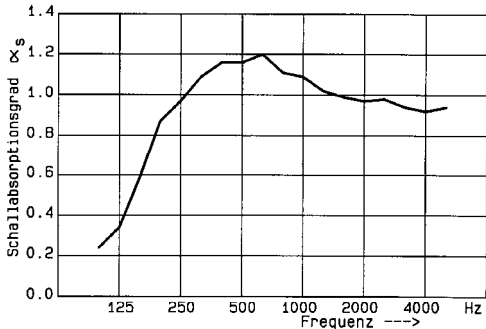
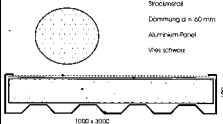
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	ALU-Panel, 60mm Mineralwolle, Front Streckmetall
System:	Lärmschutz-ALU-Panel
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 (BS) Einfahrt Grenzach
Messdatum / Zeit:	15.05.2003
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	0.0 m/s
Lufttemperatur:	13 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	--- %
Wandtemperatur:	13 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	4.00 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.00 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.1 m

O) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexions-index	Einzahlwerte DLRI [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindices und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	8.00	 

P) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach ISO 354 bzw. EN 1793-1

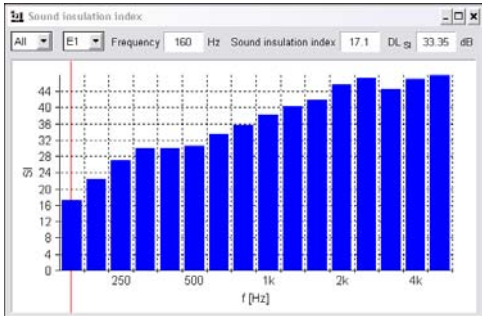
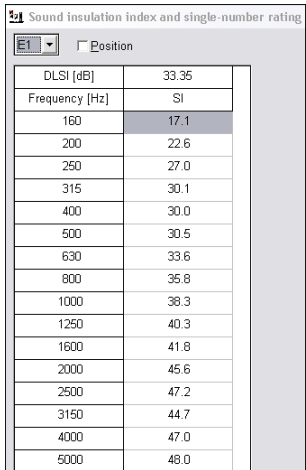
Messung Nr.	Bemerkungen	Einzahlwerte	Ergebnisdiagramm zu den spektralen statistischen Absorp- tionsgraden																																							
Messlabor	bewerteter Ab- sorptionsgrad Schallabsorption	α_w [-] bzw. DLa [dB]	α_s [-]																																							
Bericht																																										
1	Schnittskizze	20	<table><tr><th>Frequenz [Hz]</th><th>α_s</th></tr><tr><td>100</td><td>0.24</td></tr><tr><td>125</td><td>0.34</td></tr><tr><td>160</td><td>0.59</td></tr><tr><td>200</td><td>0.87</td></tr><tr><td>250</td><td>0.97</td></tr><tr><td>315</td><td>1.09</td></tr><tr><td>400</td><td>1.16</td></tr><tr><td>500</td><td>1.16</td></tr><tr><td>630</td><td>1.20</td></tr><tr><td>800</td><td>1.11</td></tr><tr><td>1000</td><td>1.09</td></tr><tr><td>1250</td><td>1.02</td></tr><tr><td>1600</td><td>0.99</td></tr><tr><td>2000</td><td>0.97</td></tr><tr><td>2500</td><td>0.98</td></tr><tr><td>3150</td><td>0.94</td></tr><tr><td>4000</td><td>0.92</td></tr><tr><td>5000</td><td>0.94</td></tr></table>	Frequenz [Hz]	α_s	100	0.24	125	0.34	160	0.59	200	0.87	250	0.97	315	1.09	400	1.16	500	1.16	630	1.20	800	1.11	1000	1.09	1250	1.02	1600	0.99	2000	0.97	2500	0.98	3150	0.94	4000	0.92	5000	0.94	
Frequenz [Hz]	α_s																																									
100	0.24																																									
125	0.34																																									
160	0.59																																									
200	0.87																																									
250	0.97																																									
315	1.09																																									
400	1.16																																									
500	1.16																																									
630	1.20																																									
800	1.11																																									
1000	1.09																																									
1250	1.02																																									
1600	0.99																																									
2000	0.97																																									
2500	0.98																																									
3150	0.94																																									
4000	0.92																																									
5000	0.94																																									
Empa Bericht Nr. 840624.1			Mittelwerte α_s: <table><tr><td>100 - 315 Hz: 0.68</td><td>400 - 1250 Hz: 1.12</td><td>1600 - 5000 Hz: 0.96</td></tr><tr><td>500 - 2000 Hz: 1.08</td><td>125 - 4000 Hz: 0.96</td><td>100 - 5000 Hz: 0.92</td></tr></table> Auswertung nach EN 1793-1 (1997): DLa: 20dB Gruppe: A4		100 - 315 Hz: 0.68	400 - 1250 Hz: 1.12	1600 - 5000 Hz: 0.96	500 - 2000 Hz: 1.08	125 - 4000 Hz: 0.96	100 - 5000 Hz: 0.92																																
100 - 315 Hz: 0.68	400 - 1250 Hz: 1.12	1600 - 5000 Hz: 0.96																																								
500 - 2000 Hz: 1.08	125 - 4000 Hz: 0.96	100 - 5000 Hz: 0.92																																								

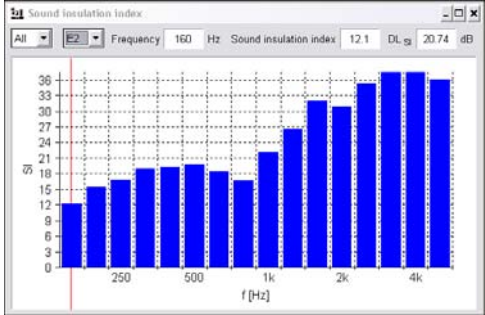
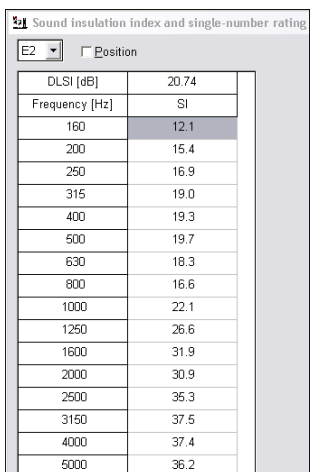
Autobahn A3 (AG), Rheinfelden
05.07.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

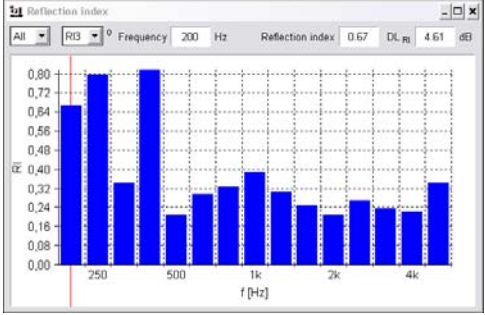
Bauart:	Alukassetten F01	
System:	Forster Typ G, Anlieker AG	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A3 (AG), Rheinfelden km 17.5	
Messdatum / Zeit:	05.07.2004	
Witterung:	Trocken, zeitweise feucht	
Windgeschwindigkeit:	0.0 m/s	
Lufttemperatur:	-- °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	-- %	
Wandtemperatur:	-- °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	4.50 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.50 m	
Wandbreite	12 m	
Wanddicke	tB = 0.13 m	

Q) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	33	 

1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	21	 
---	--	----	--

R) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	5.00	

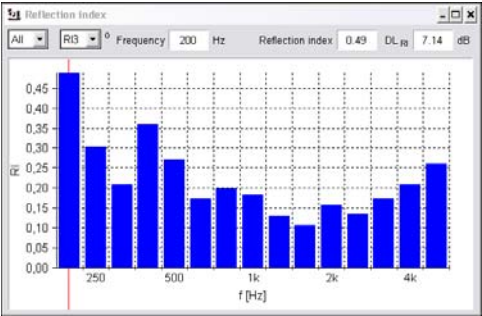
			Reflection index and single-number rating All ☐ Angle <table> <tr> <td>DLRI [dB]</td><td>5.48</td><td>3.82</td><td>4.61</td></tr> <tr> <td>Frequency [Hz]</td><td>R11</td><td>R12</td><td>R13</td></tr> <tr> <td>200</td><td>0.67</td><td>0.67</td><td>0.67</td></tr> <tr> <td>250</td><td>0.95</td><td>0.78</td><td>0.80</td></tr> <tr> <td>315</td><td>0.37</td><td>0.39</td><td>0.34</td></tr> <tr> <td>400</td><td>0.72</td><td>0.82</td><td>0.82</td></tr> <tr> <td>500</td><td>0.18</td><td>0.23</td><td>0.21</td></tr> <tr> <td>630</td><td>0.28</td><td>0.30</td><td>0.30</td></tr> <tr> <td>800</td><td>0.29</td><td>0.35</td><td>0.32</td></tr> <tr> <td>1000</td><td>0.28</td><td>0.51</td><td>0.39</td></tr> <tr> <td>1250</td><td>0.19</td><td>0.40</td><td>0.30</td></tr> <tr> <td>1600</td><td>0.11</td><td>0.38</td><td>0.25</td></tr> <tr> <td>2000</td><td>0.14</td><td>0.28</td><td>0.21</td></tr> <tr> <td>2500</td><td>0.21</td><td>0.39</td><td>0.27</td></tr> <tr> <td>3150</td><td>0.17</td><td>0.30</td><td>0.24</td></tr> <tr> <td>4000</td><td>0.15</td><td>0.30</td><td>0.22</td></tr> <tr> <td>5000</td><td>0.39</td><td>0.42</td><td>0.34</td></tr> </table>	DLRI [dB]	5.48	3.82	4.61	Frequency [Hz]	R11	R12	R13	200	0.67	0.67	0.67	250	0.95	0.78	0.80	315	0.37	0.39	0.34	400	0.72	0.82	0.82	500	0.18	0.23	0.21	630	0.28	0.30	0.30	800	0.29	0.35	0.32	1000	0.28	0.51	0.39	1250	0.19	0.40	0.30	1600	0.11	0.38	0.25	2000	0.14	0.28	0.21	2500	0.21	0.39	0.27	3150	0.17	0.30	0.24	4000	0.15	0.30	0.22	5000	0.39	0.42	0.34
DLRI [dB]	5.48	3.82	4.61																																																																				
Frequency [Hz]	R11	R12	R13																																																																				
200	0.67	0.67	0.67																																																																				
250	0.95	0.78	0.80																																																																				
315	0.37	0.39	0.34																																																																				
400	0.72	0.82	0.82																																																																				
500	0.18	0.23	0.21																																																																				
630	0.28	0.30	0.30																																																																				
800	0.29	0.35	0.32																																																																				
1000	0.28	0.51	0.39																																																																				
1250	0.19	0.40	0.30																																																																				
1600	0.11	0.38	0.25																																																																				
2000	0.14	0.28	0.21																																																																				
2500	0.21	0.39	0.27																																																																				
3150	0.17	0.30	0.24																																																																				
4000	0.15	0.30	0.22																																																																				
5000	0.39	0.42	0.34																																																																				

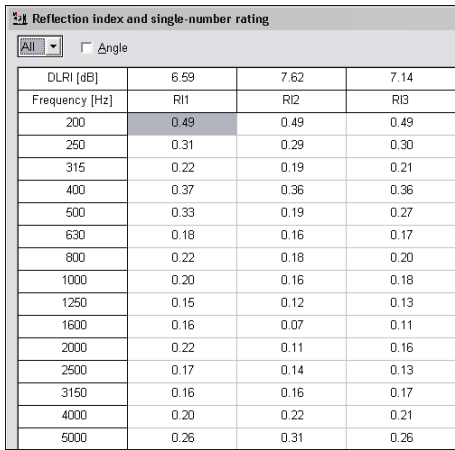
Autobahn A3 (AG), Rheinfelden
26.11.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

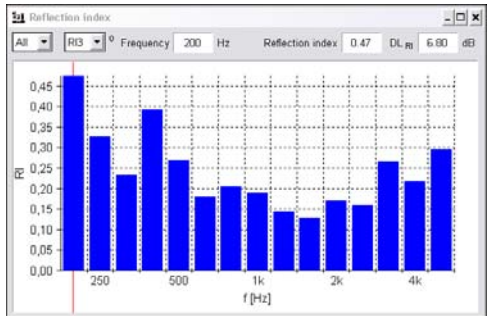
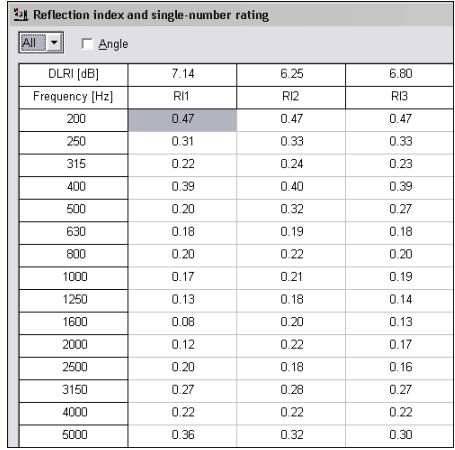
Bauart:	Alukassetten F01	
System:	Forster Typ G, Anlieker AG	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A3 (AG), Rheinfelden km 17.5	
Messdatum / Zeit:	26.11.2004	
Witterung:	Trocken, zeitweise feucht	
Windgeschwindigkeit:	3 m/s	
Lufttemperatur:	5 °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	75 %	
Wandtemperatur:	9 °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	4.50 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.50 m	
Wandbreite	12 m	
Wanddicke	tB = 0.13 m	

S) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	7.00	

			
--	--	--	--

T) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
1	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	7.00	 

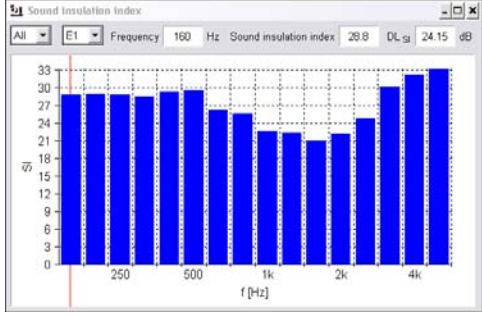
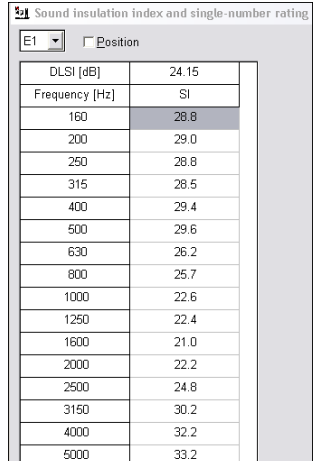
Autobahn A3 (AG), Frick
05.07.2004

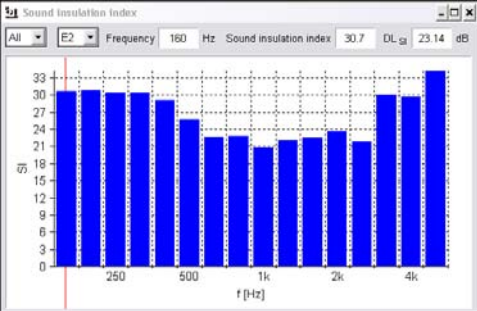
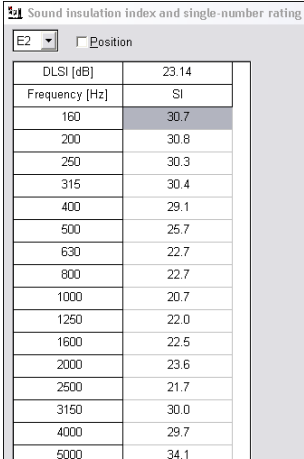
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Lavabetonwand
System:	Favre Betonwaren AG, Typ C
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A3 (AG), Frick km 40, Richtung Basel
Messdatum / Zeit:	05.07.2004
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	0.0 m/s
Lufttemperatur:	23 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	-- %
Wandtemperatur:	22 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	5.70 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.80 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.22 m

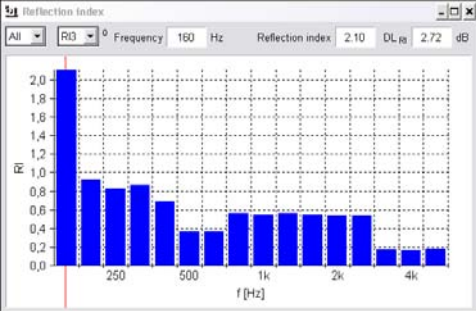


U) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	24	 

1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	23	 
---	--	----	---

V) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	3.00	

Reflection index and single-number rating			
All Angle			
DLRI [dB]	2.75	2.76	2.72
Frequency [Hz]	R11	R12	R13
160	2.10	2.10	2.10
200	0.92	0.92	0.92
250	0.80	0.83	0.83
315	0.91	0.81	0.86
400	0.68	0.74	0.69
500	0.33	0.39	0.37
630	0.29	0.41	0.37
800	0.54	0.57	0.57
1000	0.65	0.43	0.55
1250	0.61	0.53	0.56
1600	0.41	0.67	0.54
2000	0.46	0.57	0.54
2500	0.59	0.48	0.54
3150	0.19	0.16	0.18
4000	0.17	0.17	0.16
5000	0.20	0.17	0.18

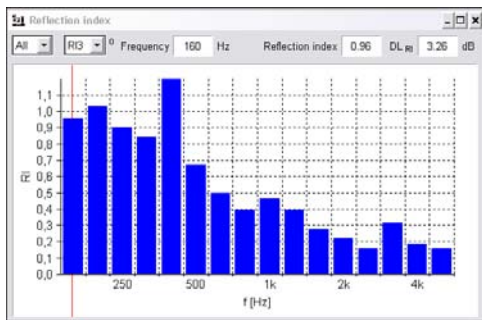
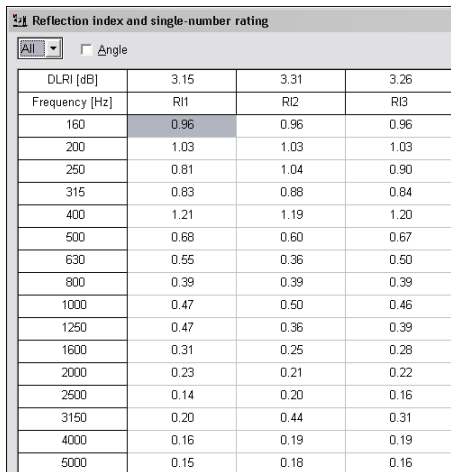
Autobahn A3 (AG), Frick
26.11.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

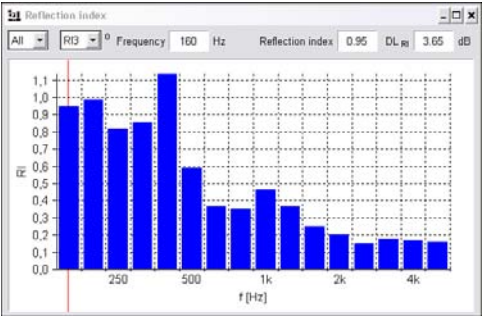
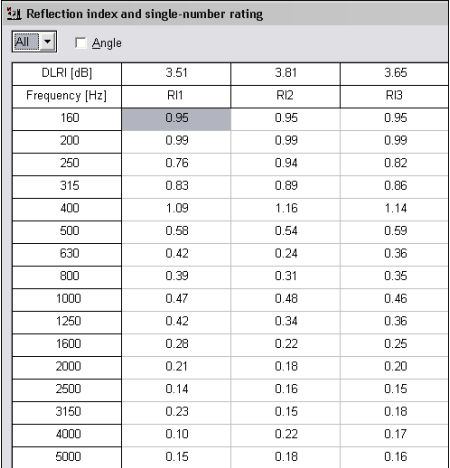
Bauart:	Lavabetonwand
System:	Favre Betonwaren AG, Typ C
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A3 (AG), Frick km 40, Richtung Basel
Messdatum / Zeit:	05.07.2004
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	2.3 m/s
Lufttemperatur:	1.5 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	80 %
Wandtemperatur:	1.5 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	5.70 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.80 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.22 m



W) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	3.00	 

X) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
1	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	4.00	 

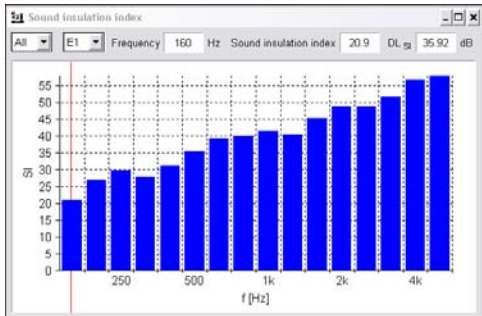
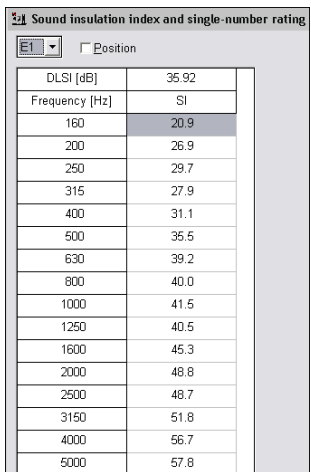
Autobahn A1 (AG), Safenwil
07.07.2004

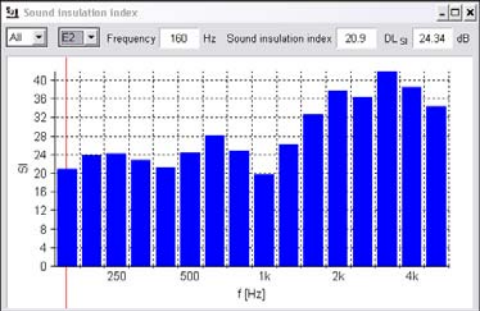
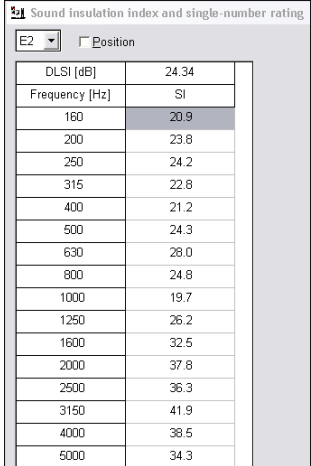
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Holzwand
System:	System Eilinger, Holzhandel AG ZH, Typ LWK/H
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A1 (AG) Safenwil, Richtung Bern
Messdatum / Zeit:	07.07.2004
Witterung:	feucht
Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Lufttemperatur:	19.5 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	-- %
Wandtemperatur:	20.3 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	5.54 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 5.08 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.16 m

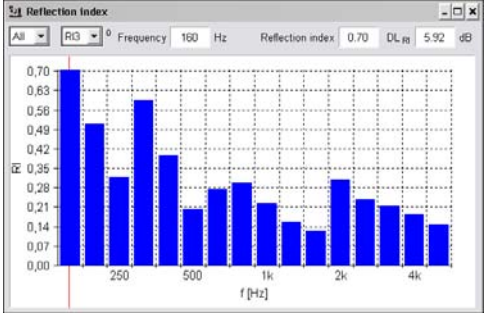


Y) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	36	 

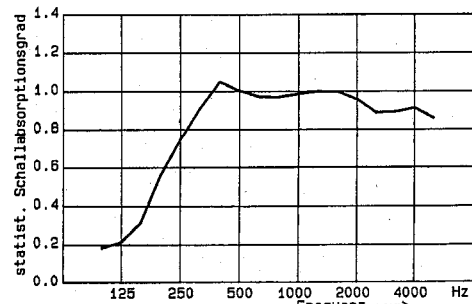
1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	24	 
---	--	----	---

Z) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Tabelle Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	6.00	

			2.1 Reflection index and single-number rating All ☐ Angle <table> <tr> <td>DLRI [dB]</td><td>5.54</td><td>6.45</td><td>5.92</td></tr> <tr> <td>Frequency [Hz]</td><td>R1</td><td>R2</td><td>R3</td></tr> <tr> <td>160</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.70</td></tr> <tr> <td>200</td><td>0.51</td><td>0.51</td><td>0.51</td></tr> <tr> <td>250</td><td>0.32</td><td>0.32</td><td>0.32</td></tr> <tr> <td>315</td><td>0.61</td><td>0.61</td><td>0.60</td></tr> <tr> <td>400</td><td>0.41</td><td>0.40</td><td>0.40</td></tr> <tr> <td>500</td><td>0.25</td><td>0.15</td><td>0.20</td></tr> <tr> <td>630</td><td>0.30</td><td>0.24</td><td>0.28</td></tr> <tr> <td>800</td><td>0.33</td><td>0.26</td><td>0.30</td></tr> <tr> <td>1000</td><td>0.29</td><td>0.14</td><td>0.22</td></tr> <tr> <td>1250</td><td>0.20</td><td>0.12</td><td>0.16</td></tr> <tr> <td>1600</td><td>0.15</td><td>0.10</td><td>0.13</td></tr> <tr> <td>2000</td><td>0.31</td><td>0.26</td><td>0.31</td></tr> <tr> <td>2500</td><td>0.15</td><td>0.33</td><td>0.24</td></tr> <tr> <td>3150</td><td>0.19</td><td>0.21</td><td>0.21</td></tr> <tr> <td>4000</td><td>0.20</td><td>0.18</td><td>0.19</td></tr> <tr> <td>5000</td><td>0.15</td><td>0.14</td><td>0.15</td></tr> </table>	DLRI [dB]	5.54	6.45	5.92	Frequency [Hz]	R1	R2	R3	160	0.70	0.70	0.70	200	0.51	0.51	0.51	250	0.32	0.32	0.32	315	0.61	0.61	0.60	400	0.41	0.40	0.40	500	0.25	0.15	0.20	630	0.30	0.24	0.28	800	0.33	0.26	0.30	1000	0.29	0.14	0.22	1250	0.20	0.12	0.16	1600	0.15	0.10	0.13	2000	0.31	0.26	0.31	2500	0.15	0.33	0.24	3150	0.19	0.21	0.21	4000	0.20	0.18	0.19	5000	0.15	0.14	0.15
DLRI [dB]	5.54	6.45	5.92																																																																								
Frequency [Hz]	R1	R2	R3																																																																								
160	0.70	0.70	0.70																																																																								
200	0.51	0.51	0.51																																																																								
250	0.32	0.32	0.32																																																																								
315	0.61	0.61	0.60																																																																								
400	0.41	0.40	0.40																																																																								
500	0.25	0.15	0.20																																																																								
630	0.30	0.24	0.28																																																																								
800	0.33	0.26	0.30																																																																								
1000	0.29	0.14	0.22																																																																								
1250	0.20	0.12	0.16																																																																								
1600	0.15	0.10	0.13																																																																								
2000	0.31	0.26	0.31																																																																								
2500	0.15	0.33	0.24																																																																								
3150	0.19	0.21	0.21																																																																								
4000	0.20	0.18	0.19																																																																								
5000	0.15	0.14	0.15																																																																								

AA) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach ISO 354 bzw. EN 1793-1

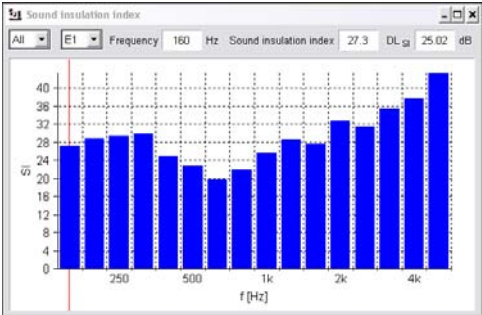
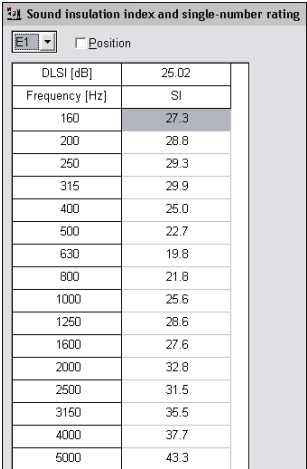
Messung Nr.	Bemerkungen	Einzahlwerte	Ergebnisdiagramm zu den spektralen statistischen Absorp- tionsgraden																																						
Messlabor	bewerteter Ab- sorptionsgrad	α_w [-]	α_s [-]																																						
Bericht	Schallabsorption	bzw. DLa [dB]																																							
3	Schnittskizze																																								
Empa Bericht Nr. 132991.1			<table><tr><th>Frequenz α_s [Hz]</th><th></th></tr><tr><td>100</td><td>0.18</td></tr><tr><td>125</td><td>0.21</td></tr><tr><td>160</td><td>0.32</td></tr><tr><td>200</td><td>0.56</td></tr><tr><td>250</td><td>0.75</td></tr><tr><td>315</td><td>0.91</td></tr><tr><td>400</td><td>1.05</td></tr><tr><td>500</td><td>1.00</td></tr><tr><td>630</td><td>0.97</td></tr><tr><td>800</td><td>0.97</td></tr><tr><td>1000</td><td>0.99</td></tr><tr><td>1250</td><td>1.00</td></tr><tr><td>1600</td><td>1.00</td></tr><tr><td>2000</td><td>0.96</td></tr><tr><td>2500</td><td>0.89</td></tr><tr><td>3150</td><td>0.89</td></tr><tr><td>4000</td><td>0.91</td></tr><tr><td>5000</td><td>0.86</td></tr></table>  Mittelwerte: 100 - 315 Hz: 0.49 400 - 1250 Hz: 1.00 1600 - 5000 Hz: 0.92 500 - 2000 Hz: 0.98 125 - 4000 Hz: 0.84 100 - 5000 Hz: 0.80	Frequenz α_s [Hz]		100	0.18	125	0.21	160	0.32	200	0.56	250	0.75	315	0.91	400	1.05	500	1.00	630	0.97	800	0.97	1000	0.99	1250	1.00	1600	1.00	2000	0.96	2500	0.89	3150	0.89	4000	0.91	5000	0.86
Frequenz α_s [Hz]																																									
100	0.18																																								
125	0.21																																								
160	0.32																																								
200	0.56																																								
250	0.75																																								
315	0.91																																								
400	1.05																																								
500	1.00																																								
630	0.97																																								
800	0.97																																								
1000	0.99																																								
1250	1.00																																								
1600	1.00																																								
2000	0.96																																								
2500	0.89																																								
3150	0.89																																								
4000	0.91																																								
5000	0.86																																								
Messmethode: ISO 354-1985 Prüfschall: Terzbandrauschen Empfang: Terzbandfilter																																									

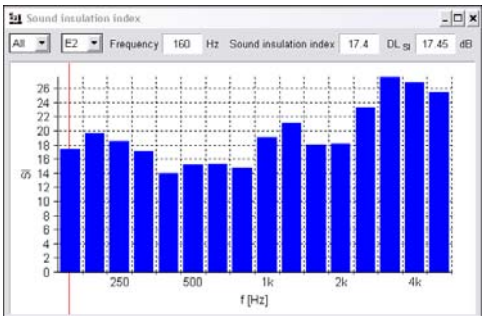
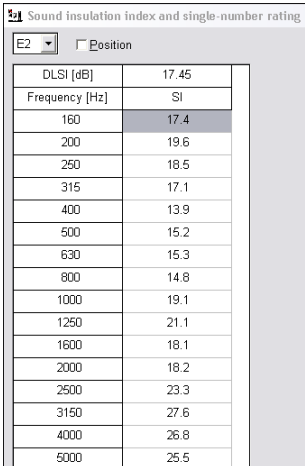
Autobahn A1/ A2 (AG), Oftringen
07.07.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

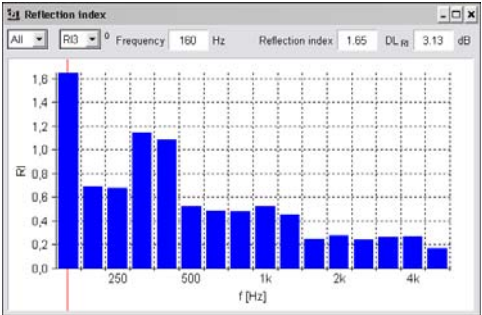
Bauart:	Lavabetonelemente	
System:	Favre Betonwaren AG, Typ C	
Messdurchführung	Empa	
Messort:	Autobahn A1/2 (AG) Oftringen, Richtung Bern	
Messdatum / Zeit:	07.07.2004	
Witterung:	trocken	
Windgeschwindigkeit:	10.4 m/s	
Lufttemperatur:	-- °C	
Rel. Luftfeuchtigkeit:	-- %	
Wandtemperatur:	-- °C	
Wandfeuchtezustand:	trocken	
Wandhöhe	5.46 m	
Eff. Höhe über Sockel	hB = 5.14 m	
Wandbreite	> 10 m	
Wanddicke	tB = 0.22 m	

BB) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	25	 

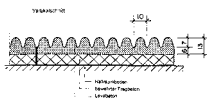
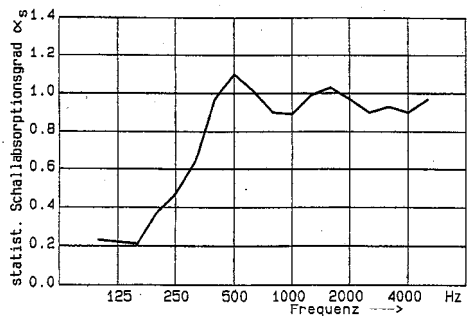
1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	17	 
---	--	----	--

CC) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	3.00	

			Reflection index and single-number rating All Angle <table> <tr> <td>DLRI [dB]</td><td>3.35</td><td>3.06</td><td>3.13</td></tr> <tr> <td>Frequency [Hz]</td><td>R11</td><td>R12</td><td>R13</td></tr> <tr> <td>160</td><td>1.65</td><td>1.65</td><td>1.65</td></tr> <tr> <td>200</td><td>0.69</td><td>0.69</td><td>0.69</td></tr> <tr> <td>250</td><td>0.76</td><td>0.73</td><td>0.68</td></tr> <tr> <td>315</td><td>1.20</td><td>1.20</td><td>1.15</td></tr> <tr> <td>400</td><td>0.98</td><td>1.10</td><td>1.08</td></tr> <tr> <td>500</td><td>0.39</td><td>0.58</td><td>0.52</td></tr> <tr> <td>630</td><td>0.44</td><td>0.47</td><td>0.49</td></tr> <tr> <td>800</td><td>0.45</td><td>0.48</td><td>0.48</td></tr> <tr> <td>1000</td><td>0.60</td><td>0.45</td><td>0.52</td></tr> <tr> <td>1250</td><td>0.42</td><td>0.48</td><td>0.45</td></tr> <tr> <td>1600</td><td>0.17</td><td>0.29</td><td>0.25</td></tr> <tr> <td>2000</td><td>0.22</td><td>0.31</td><td>0.27</td></tr> <tr> <td>2500</td><td>0.17</td><td>0.31</td><td>0.24</td></tr> <tr> <td>3150</td><td>0.28</td><td>0.22</td><td>0.26</td></tr> <tr> <td>4000</td><td>0.24</td><td>0.26</td><td>0.27</td></tr> <tr> <td>5000</td><td>0.18</td><td>0.14</td><td>0.17</td></tr> </table>	DLRI [dB]	3.35	3.06	3.13	Frequency [Hz]	R11	R12	R13	160	1.65	1.65	1.65	200	0.69	0.69	0.69	250	0.76	0.73	0.68	315	1.20	1.20	1.15	400	0.98	1.10	1.08	500	0.39	0.58	0.52	630	0.44	0.47	0.49	800	0.45	0.48	0.48	1000	0.60	0.45	0.52	1250	0.42	0.48	0.45	1600	0.17	0.29	0.25	2000	0.22	0.31	0.27	2500	0.17	0.31	0.24	3150	0.28	0.22	0.26	4000	0.24	0.26	0.27	5000	0.18	0.14	0.17
DLRI [dB]	3.35	3.06	3.13																																																																								
Frequency [Hz]	R11	R12	R13																																																																								
160	1.65	1.65	1.65																																																																								
200	0.69	0.69	0.69																																																																								
250	0.76	0.73	0.68																																																																								
315	1.20	1.20	1.15																																																																								
400	0.98	1.10	1.08																																																																								
500	0.39	0.58	0.52																																																																								
630	0.44	0.47	0.49																																																																								
800	0.45	0.48	0.48																																																																								
1000	0.60	0.45	0.52																																																																								
1250	0.42	0.48	0.45																																																																								
1600	0.17	0.29	0.25																																																																								
2000	0.22	0.31	0.27																																																																								
2500	0.17	0.31	0.24																																																																								
3150	0.28	0.22	0.26																																																																								
4000	0.24	0.26	0.27																																																																								
5000	0.18	0.14	0.17																																																																								

DD) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach ISO 354 bzw. EN 1793-1

Messung Nr.	Bemerkungen	Einzahlwerte	Ergebnisdiagramm zu den spektralen statistischen Absorp- tionsgraden																																						
Messlabor	bewerteter Ab- sorptionsgrad	α_w [-]	α_s [-]																																						
Bericht	Schallabsorption	bzw. DLa [dB]																																							
3	Schnittskizze																																								
Empa Bericht Nr. 174643			<table><tr><th>Frequenz [Hz]</th><th>α_s</th></tr><tr><td>100</td><td>0.23</td></tr><tr><td>125</td><td>0.22</td></tr><tr><td>160</td><td>0.21</td></tr><tr><td>200</td><td>0.37</td></tr><tr><td>250</td><td>0.47</td></tr><tr><td>315</td><td>0.64</td></tr><tr><td>400</td><td>0.97</td></tr><tr><td>500</td><td>1.10</td></tr><tr><td>630</td><td>1.01</td></tr><tr><td>800</td><td>0.90</td></tr><tr><td>1000</td><td>0.89</td></tr><tr><td>1250</td><td>0.99</td></tr><tr><td>1600</td><td>1.03</td></tr><tr><td>2000</td><td>0.97</td></tr><tr><td>2500</td><td>0.90</td></tr><tr><td>3150</td><td>0.93</td></tr><tr><td>4000</td><td>0.90</td></tr><tr><td>5000</td><td>0.97</td></tr></table> 	Frequenz [Hz]	α_s	100	0.23	125	0.22	160	0.21	200	0.37	250	0.47	315	0.64	400	0.97	500	1.10	630	1.01	800	0.90	1000	0.89	1250	0.99	1600	1.03	2000	0.97	2500	0.90	3150	0.93	4000	0.90	5000	0.97
Frequenz [Hz]	α_s																																								
100	0.23																																								
125	0.22																																								
160	0.21																																								
200	0.37																																								
250	0.47																																								
315	0.64																																								
400	0.97																																								
500	1.10																																								
630	1.01																																								
800	0.90																																								
1000	0.89																																								
1250	0.99																																								
1600	1.03																																								
2000	0.97																																								
2500	0.90																																								
3150	0.93																																								
4000	0.90																																								
5000	0.97																																								
Mittelwerte α_s: 100 - 315 Hz: 0.36 400 - 1250 Hz: 0.98 1600 - 5000 Hz: 0.95 500 - 2000 Hz: 0.98 125 - 4000 Hz: 0.78 100 - 5000 Hz: 0.76 Auswertung nach prEN ISO 11'654 (1994): α_p: 250Hz: 0.50 500Hz: 1.00 1000Hz: 0.95 2000Hz: 0.95 4000Hz: 0.95 α_w: 0.75 (4) Messmethode: EN 20354-1993 Prüfschall: Terzbandrauschen Empfang: Terzbandfilter																																									

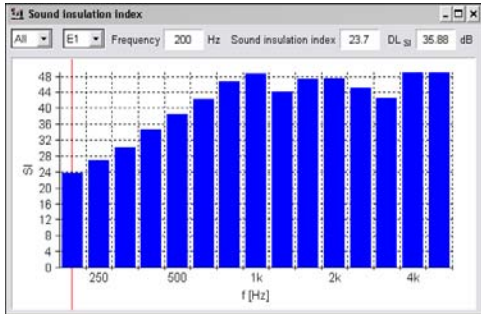
Autobahn A2 (LU), Kriens
31.08.2004

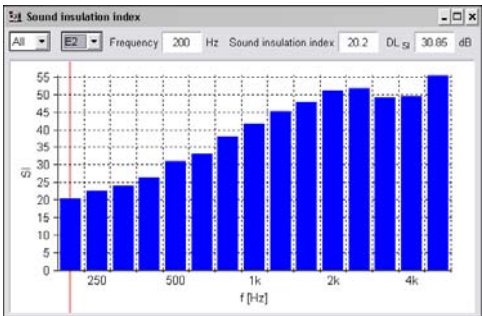
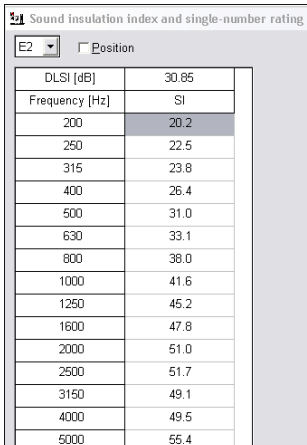
Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	ALU-Kassetten, beidseitig Lochblech
System:	ALU-Lärmschutzkassetten Forster, Typ DG14/COL, Anlieker AG
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A2 (LU), Kriens Grosshofbrücke
Messdatum / Zeit:	31.08.2004
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	1.7 m/s
Lufttemperatur:	18 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	56.8 %
Wandtemperatur:	19 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	-- m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 3.84 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.13 m

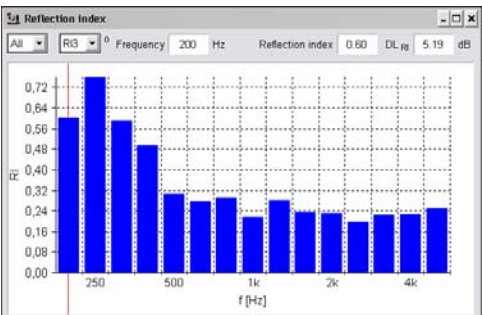


EE) in-situ Messung des Schalldämmindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schalldämmindex	Einzahlwerte DL_{SI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schalldämmindizes und Tabelle Terzband-Messwerte SI [dB]																																																																		
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld	36	<table><tr><th>Frequency [Hz]</th><th>SI [dB]</th></tr><tr><td>200</td><td>23.7</td></tr><tr><td>250</td><td>26.9</td></tr><tr><td>315</td><td>30.2</td></tr><tr><td>400</td><td>34.6</td></tr><tr><td>500</td><td>38.5</td></tr><tr><td>630</td><td>42.3</td></tr><tr><td>800</td><td>46.8</td></tr><tr><td>1000</td><td>48.8</td></tr><tr><td>1250</td><td>44.0</td></tr><tr><td>1600</td><td>47.3</td></tr><tr><td>2000</td><td>47.6</td></tr><tr><td>2500</td><td>45.1</td></tr><tr><td>3150</td><td>42.5</td></tr><tr><td>4000</td><td>48.9</td></tr><tr><td>5000</td><td>48.9</td></tr></table> <table><tr><th>DL_{SI} [dB]</th><td>35.88</td></tr><tr><th>Frequency [Hz]</th><th>SI</th></tr><tr><td>200</td><td>23.7</td></tr><tr><td>250</td><td>26.9</td></tr><tr><td>315</td><td>30.2</td></tr><tr><td>400</td><td>34.6</td></tr><tr><td>500</td><td>38.5</td></tr><tr><td>630</td><td>42.3</td></tr><tr><td>800</td><td>46.8</td></tr><tr><td>1000</td><td>48.8</td></tr><tr><td>1250</td><td>44.0</td></tr><tr><td>1600</td><td>47.3</td></tr><tr><td>2000</td><td>47.6</td></tr><tr><td>2500</td><td>45.1</td></tr><tr><td>3150</td><td>42.5</td></tr><tr><td>4000</td><td>48.9</td></tr><tr><td>5000</td><td>48.9</td></tr></table>	Frequency [Hz]	SI [dB]	200	23.7	250	26.9	315	30.2	400	34.6	500	38.5	630	42.3	800	46.8	1000	48.8	1250	44.0	1600	47.3	2000	47.6	2500	45.1	3150	42.5	4000	48.9	5000	48.9	DL _{SI} [dB]	35.88	Frequency [Hz]	SI	200	23.7	250	26.9	315	30.2	400	34.6	500	38.5	630	42.3	800	46.8	1000	48.8	1250	44.0	1600	47.3	2000	47.6	2500	45.1	3150	42.5	4000	48.9	5000	48.9
Frequency [Hz]	SI [dB]																																																																				
200	23.7																																																																				
250	26.9																																																																				
315	30.2																																																																				
400	34.6																																																																				
500	38.5																																																																				
630	42.3																																																																				
800	46.8																																																																				
1000	48.8																																																																				
1250	44.0																																																																				
1600	47.3																																																																				
2000	47.6																																																																				
2500	45.1																																																																				
3150	42.5																																																																				
4000	48.9																																																																				
5000	48.9																																																																				
DL _{SI} [dB]	35.88																																																																				
Frequency [Hz]	SI																																																																				
200	23.7																																																																				
250	26.9																																																																				
315	30.2																																																																				
400	34.6																																																																				
500	38.5																																																																				
630	42.3																																																																				
800	46.8																																																																				
1000	48.8																																																																				
1250	44.0																																																																				
1600	47.3																																																																				
2000	47.6																																																																				
2500	45.1																																																																				
3150	42.5																																																																				
4000	48.9																																																																				
5000	48.9																																																																				

1	Messposition mittig zwischen den Baffles vor einem Pfosten	31	 
---	--	----	--

FF) in-situ Messung des Reflexionsindex

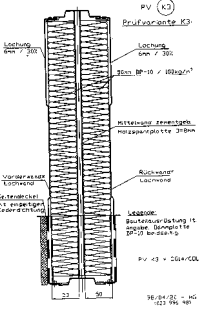
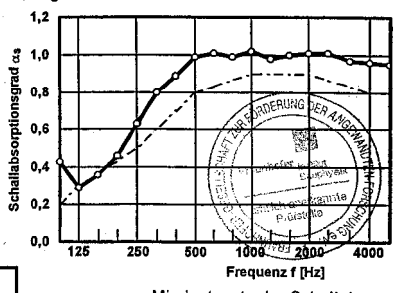
Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Terzband-Messwerte RI [dB]
2	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	1.00	

			Reflection index and single-number rating All Angle <table> <tr> <td>DLRI [dB]</td><td>5.74</td><td>4.29</td><td>5.19</td></tr> <tr> <td>Frequency [Hz]</td><td>R11</td><td>R12</td><td>R13</td></tr> <tr> <td>200</td><td>0.60</td><td>0.60</td><td>0.60</td></tr> <tr> <td>250</td><td>0.78</td><td>0.85</td><td>0.76</td></tr> <tr> <td>315</td><td>0.96</td><td>0.63</td><td>0.59</td></tr> <tr> <td>400</td><td>0.51</td><td>0.48</td><td>0.49</td></tr> <tr> <td>500</td><td>0.23</td><td>0.35</td><td>0.31</td></tr> <tr> <td>630</td><td>0.22</td><td>0.32</td><td>0.28</td></tr> <tr> <td>800</td><td>0.21</td><td>0.35</td><td>0.29</td></tr> <tr> <td>1000</td><td>0.18</td><td>0.27</td><td>0.22</td></tr> <tr> <td>1250</td><td>0.21</td><td>0.40</td><td>0.28</td></tr> <tr> <td>1600</td><td>0.16</td><td>0.35</td><td>0.24</td></tr> <tr> <td>2000</td><td>0.22</td><td>0.33</td><td>0.23</td></tr> <tr> <td>2500</td><td>0.21</td><td>0.26</td><td>0.20</td></tr> <tr> <td>3150</td><td>0.27</td><td>0.29</td><td>0.23</td></tr> <tr> <td>4000</td><td>0.31</td><td>0.29</td><td>0.23</td></tr> <tr> <td>5000</td><td>0.31</td><td>0.34</td><td>0.25</td></tr> </table>	DLRI [dB]	5.74	4.29	5.19	Frequency [Hz]	R11	R12	R13	200	0.60	0.60	0.60	250	0.78	0.85	0.76	315	0.96	0.63	0.59	400	0.51	0.48	0.49	500	0.23	0.35	0.31	630	0.22	0.32	0.28	800	0.21	0.35	0.29	1000	0.18	0.27	0.22	1250	0.21	0.40	0.28	1600	0.16	0.35	0.24	2000	0.22	0.33	0.23	2500	0.21	0.26	0.20	3150	0.27	0.29	0.23	4000	0.31	0.29	0.23	5000	0.31	0.34	0.25
DLRI [dB]	5.74	4.29	5.19																																																																				
Frequency [Hz]	R11	R12	R13																																																																				
200	0.60	0.60	0.60																																																																				
250	0.78	0.85	0.76																																																																				
315	0.96	0.63	0.59																																																																				
400	0.51	0.48	0.49																																																																				
500	0.23	0.35	0.31																																																																				
630	0.22	0.32	0.28																																																																				
800	0.21	0.35	0.29																																																																				
1000	0.18	0.27	0.22																																																																				
1250	0.21	0.40	0.28																																																																				
1600	0.16	0.35	0.24																																																																				
2000	0.22	0.33	0.23																																																																				
2500	0.21	0.26	0.20																																																																				
3150	0.27	0.29	0.23																																																																				
4000	0.31	0.29	0.23																																																																				
5000	0.31	0.34	0.25																																																																				

GG) Referenzergebnis zu Labor-Schalldämmmessungen nach ÖNORM EN 173-2 bzw. EN 173-3

Messung Nr.	Bemerkungen	Einzahlwerte	Ergebnisdiagramm zu den spektralen Schalldämmmas- sen																																												
Messla- bor	bewertetes Schalldämm-Mass Schalldämmung	R _w (C, C _{tr}) [dB] bzw. DLR [dB]	R _w [dB]																																												
3	ALU- Lärmschutzkas- sette DG14/COL	34 (-1, -6)	Prüffläche: 10,7 m² flächenbezogene Masse: 30 kg/m² bewertetes Schalldämm-Mass R_w(C(C_{tr})) = 34 (-1;-6) dB Korrektur A C_{tr}, C_{tr} = 22 dB Einzahl-Angabe D₁₄ = 28 dB gemäß ÖNORM EN 173-2, Tabelle 1993 <table><thead><tr><th>f in Hz</th><th>R in dB</th></tr></thead><tbody><tr><td>50</td><td>--</td></tr><tr><td>63</td><td>--</td></tr><tr><td>80</td><td>--</td></tr><tr><td>100</td><td>20,0</td></tr><tr><td>125</td><td>14,3</td></tr><tr><td>160</td><td>17,0</td></tr><tr><td>200</td><td>19,6</td></tr><tr><td>250</td><td>20,1</td></tr><tr><td>315</td><td>23,9</td></tr><tr><td>400</td><td>28,2</td></tr><tr><td>500</td><td>22,3</td></tr><tr><td>630</td><td>17,7</td></tr><tr><td>800</td><td>22,3</td></tr><tr><td>1000</td><td>16,6</td></tr><tr><td>1250</td><td>20,0</td></tr><tr><td>1600</td><td>22,3</td></tr><tr><td>2000</td><td>52,2</td></tr><tr><td>2500</td><td>49,6</td></tr><tr><td>3150</td><td>44,9</td></tr><tr><td>4000</td><td>42,5</td></tr><tr><td>5000</td><td>43,5</td></tr></tbody></table>	f in Hz	R in dB	50	--	63	--	80	--	100	20,0	125	14,3	160	17,0	200	19,6	250	20,1	315	23,9	400	28,2	500	22,3	630	17,7	800	22,3	1000	16,6	1250	20,0	1600	22,3	2000	52,2	2500	49,6	3150	44,9	4000	42,5	5000	43,5
f in Hz	R in dB																																														
50	--																																														
63	--																																														
80	--																																														
100	20,0																																														
125	14,3																																														
160	17,0																																														
200	19,6																																														
250	20,1																																														
315	23,9																																														
400	28,2																																														
500	22,3																																														
630	17,7																																														
800	22,3																																														
1000	16,6																																														
1250	20,0																																														
1600	22,3																																														
2000	52,2																																														
2500	49,6																																														
3150	44,9																																														
4000	42,5																																														
5000	43,5																																														
Techn. Gewer- bemu- seum Wien	ÖNORM EN 173-2/ 3	28																																													
Bericht Nr.																																															
9515/WS																																															

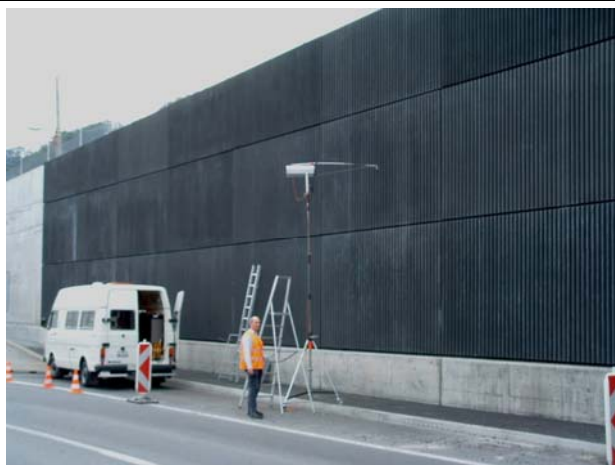
HH) Referenzergebnis zur Schallabsorption aus Labormessungen nach EN 1793-1

Messung Nr. Messlabor Bericht	Bemerkungen bewerteter Absorptionsgrad Schallabsorption	Einzahlwerte α_w [-] bzw. DL_a [dB]	Ergebnisdiagramm zu den spektralen statistischen Absorptionsgraden α_s [-]
4 Empa Bericht Nr. 840624.1	Schnittskizze 	-- 12	Masse einer Aluminiumkassette: (LxB: 1,960 m x 0,498 m): 28,9 kg Flächenbezogene Masse: 29,6 kg/m² Prüffläche: 13,86 m² Hallraum: mit geneigten Oberflächen und 15 Diffusoren: 10 Stück à 1,60 m x 1,25 m 5 Stück à 1,25 m x 1,25 m Volumen: V = 392 m³ Prüfbedingungen: rel. Feuchte: 56% Temperatur: 20 °C Prüfschall: rosa Rauschen Prüfdatum: 13. Mai 1998 Bewertung nach ZTV-Lsw 88 $\Delta L_{A, \alpha, Str} = 10$ dB. Das geprüfte System ist nach Abschnitt 7.2.2 der ZTV-Lsw 88 hochabsorbierend. Bewertung nach DIN EN 1793-1:1997 $DL_a = 12$ dB. Die Schallabsorptionseigenschaften des geprüften Systems sind der Gruppe A4 zuzuordnen.  ----- Mindestwerte der Schallabsorption nach DB-Richtlinie 800.2001(1997) Bewertung nach DB-Richtlinie 800.2001 (1997): Die Mindestwerte der Schallabsorption werden im Frequenzbereich von 125 Hz bis 160 Hz unterschritten.

Autobahn A2 (LU), Horw-Luzern
31.08.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Betonelement mit Lavabeton-Vorsatz
System:	Lärmschutzwand Favre Betonwaren AG, Typ C
Messdurchführung	Empa
Messort:	Kantonsstrasse Tunnel Schlund vor Einfahrt Autobahn A2 (LU), Horw
Messdatum / Zeit:	31.08.2004
Witterung:	trocken
Windgeschwindigkeit:	1.5 m/s
Lufttemperatur:	20 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	52.2 %
Wandtemperatur:	22 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	8.11 m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 7.16 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = 0.30 m



II) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL_{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Terzband-Messwerte RI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	3.00	

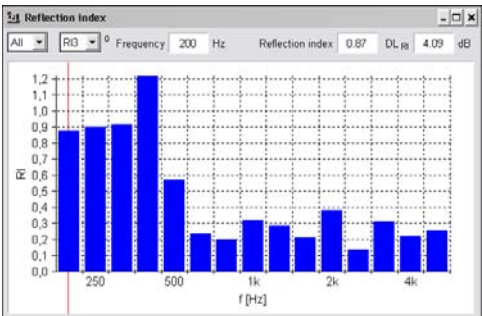
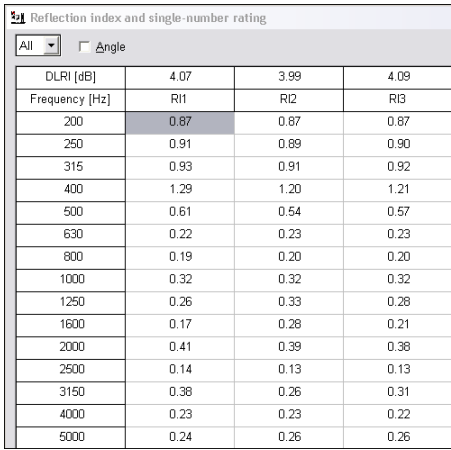
Autobahn A3 (AG), Eiken
26.11.2004

Bestimmung der akustischen Eigenschaften einer Lärmschutzwand

Bauart:	Lavabeton Favorit 70, Rundprofil
System:	
Messdurchführung	Empa
Messort:	Autobahn A3 (AG), Eiken
Messdatum / Zeit:	26.11.2004
Witterung:	Sonnig, trocken
Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Lufttemperatur:	5 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit:	80 %
Wandtemperatur:	5 °C
Wandfeuchtezustand:	trocken
Wandhöhe	-- m
Eff. Höhe über Sockel	hB = 4.50 m
Wandbreite	> 10 m
Wanddicke	tB = -- m



KK) in-situ Messung des Reflexionsindex

Messung Nr.	Messposition zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	Einzahlwerte DL _{RI} [dB] nach CEN/TS 1793-5	Ergebnisdiagramme zu den spektralen Schallreflexionsindizes und Terzband-Messwerte RI [dB]
0	Messposition mittig zwischen den Baffles im Feld Winkelvariation 50° bis 130° Vertikal	1.00	 



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am:

24.06.2009

Grunddaten

Projekt-Nr.:

VSS 2002/202

Projekttitel:

In- situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen

Enddatum:

30.4.2009

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Die akustische Qualität von Material und Konstruktionen von Lärmschutzwänden an Strassen ist mittels der Schalldämmung und der Absorption zu charakterisieren. Mit der Technischen Spezifikation CEN/TS 1793-5 (Adrienne) wurde ein Verfahren vorgeschlagen, welches die Messung dieser Eigenschaften in-situ erlaubt. Die Vorzüge Messverfahrens sind die mögliche Nachprüfbarkeit der Wirkung von Lärmschutzbauten und die Nachbildung von realitätsnaheren Schalleinfallrichtungen.

Die Messmethode basiert auf der Beschallung des zu prüfenden Objekts und Auswertung der transmittierten bzw. reflektierten Anteile. Bei der Untersuchung der Reflexions- bzw. Absorptionseigenschaften muss der Abstand zur Oberfläche genau bekannt sein um eine entsprechende Abstandsnormierung vornehmen zu können. Gegen tiefe Frequenzen hin zeigt das Verfahren grundlegende physikalische Beschränkungen. Diese liegen in der endlichen Objektfläche und in der endlichen Länge des für die zeitliche Gewichtung verwendeten Fensters begründet.

Das Adrienne Verfahren wurde an Lärmschutzwänden unterschiedlichster Bauart an verschiedenen Standorten eingesetzt. Dabei zeigten sich erhebliche Resultatunsicherheiten, die auf die Abstandsabhängigkeit der Messergebnisse bei Profilierung der Wandoberflächen und auf die grosse Sensitivität der Ergebnisse bezüglich der Lage des ADRIENNE-Zeitfensters zurückzuführen sind. Bei tiefen Frequenzen wurden teilweise physikalisch unsinnige Resultate erhalten. Der Vergleich der in-situ gefundenen Werte mit Ergebnissen an typähnlichen Objekten im Labor zeigt wohl ähnliche Tendenzen,



die grosse Resultatvariation verhindert aber eine vernünftig korrelierende Regressionsanalyse.

Zielerreichung:

Die für einen praktischen Einsatz des neuen Messverfahrens benötigten Hard- und Software-Elemente wurden bereitgestellt und teilweise selbst entwickelt. Anhand umfangreicher Messungen an unterschiedlichsten Aufbauten konnten die kritischen Schritte in der ganzen Mess- und Auswerteprozedur identifiziert werden. Die so erkannten Fehlerquellen wurden mittels theoretischer Überlegungen und numerischen Simulationen als grundlegend dem Verfahren anhaftend bestätigt. Das Ziel der Etablierung eines quantitativen Zusammenhangs zwischen in-situ Werten und Laborwerten konnte als Folge der grossen Resultatunsicherheit der Adrienne-Methode nicht erreicht werden.

Folgerungen und
Empfehlungen:

Aus heutiger Sicht kann das Verfahren auf Grund der grossen Unsicherheiten noch nicht für den Praxiseinsatz an Lärmschutzwänden empfohlen werden. Diese Erkenntnisse decken sich mit neueren internationalen Erfahrungen. Zur Validierung des Verfahrens im Sinne einer uneingeschränkten Anwendbarkeit in der Schweiz sind weitere Konsolidierungen mit internationalen Untersuchungen im Sinne des Projekts ADRIENNE 2 erforderlich.

Publikationen:

keine



Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Ziel des Forschungsprojektes war es, das Verfahren ADRIENNE II zu verifizieren und praktisch umzusetzen. Die Messungen wurden wie vorgesehen ausgeführt und ausgewertet. Es zeigte sich jedoch, dass das Verfahren vor allem für unebene Strukturen, einem der angepeilten Hauptanwendungsbereiche, nicht geeignet war und teils zu unsinnigen Resultaten führte. Dies deckt sich mit Untersuchungen, die zur gleichen Zeit in andern europäischen Ländern durchgeführt worden sind.

Das Forschungsprojekt hat ein klares Resultat ergeben und damit sein Ziel erreicht, auch wenn sich letztendlich herausgestellt hat, dass das Verfahren die in es gesteckten Erwartungen nicht erfüllen kann.

Umsetzung:

Das Verfahren wird auf gesamteuropäischer Ebene nicht weiterverfolgt, dass sich auch bei andern Untersuchungen vergleichbare Resultate ergeben haben.

Zurzeit wird durch die CEN ein Nachfolgeprojekt mit dem Namen QUIESST gestartet, in dem ein Verfahren entwickelt werden soll, das ADRIENNE II ersetzen soll.

weitergehender
Forschungsbedarf:

Zurzeit kein weiterer Forschungsbedarf. Das Projekt QUIESST wird vorerst auf europäischer Ebene weiter voran getrieben. Daraus könnte sich zu einem späteren Zeitpunkt auch wieder ein Forschungsbedarf für die Schweiz ergeben

Einfluss auf
Normenwerk:

Das Verfahren ADRIENNE II ist in der EN 1793-5 beschrieben. Änderungen erfolgen also auf Ebene der EN.

Präsident Begleitkommission:

Name:

Weber

Vorname:

Markus

Amt, Firma, Institut:

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer

Strasse, Nr.:

Bachweg 1

PLZ:

8133

Email:

markus.weber@bhz.ch

Ort:

Esslingen

Telefon:

044 387 16 33

Kanton, Land:

ZH, Schweiz

Fax:

044 387 15 00

Unterschrift Präsident Begleitkommission: